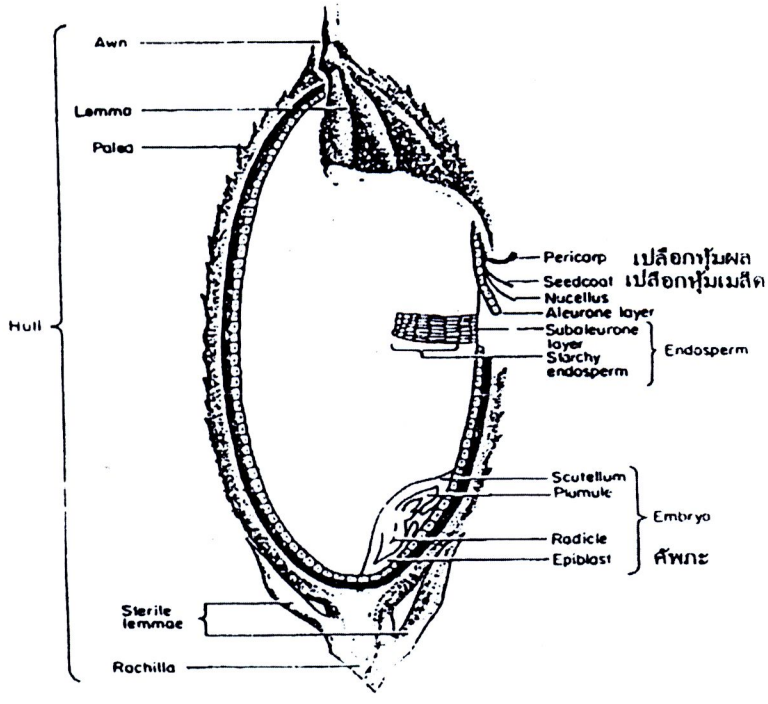
บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นชื่อของพันธุ์ข้าวหอมดอกมะลิ ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa L.* มีชื่อสามัญว่า Jasmine rice หรือที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ ข้าวหอมมะลิ ซึ่งข้าวดอกมะลิ 105 นั้น ได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรว่าเป็นพันธุ์ที่ขึ้นทะเบียนที่ 33/2542 เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2542 และเป็นพันธุ์พื้นเมืองรับรองเลขที่ 15/2542 เมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2542

โครงสร้างของเมล็ดข้าวเบื้องต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล 2538) ส่วนประกอบของเมล็ดข้าวแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
ที่มา : อรอนงค์ นัยวิกุล (2538)

1) เปลือกนอก (hull, husk) คือส่วนที่เรียกว่าแกลบ

2) เปลือกเมล็ด (caryopsis) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มแป้ง อยู่ภายในแกลบ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ส่วน คือ เพอริคาร์พ (pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) และชั้นของนูเซลลัส (nucellus) เมื่อกระเทาะเปลือกนอกของเมล็ดออกจะได้ "ข้าวกล้อง"

3) แป้ง (endosperm) ส่วนที่เป็นแป้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.1) ชั้นของแอลิวโลน (aleurone layer) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของส่วนที่เป็นแป้ง จำนวนชั้นของเนื้อเยื่อแอลิวโลน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวและสิ่งแวดล้อม อาจมีถึง 3 ชั้น โดยชั้นของแอลิวโลนมีธาตุฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและโพแทสเซียมอยู่มาก

3.2) ส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง (starchy endosperm) เนื้อแป้งนี้ประกอบด้วยเซลล์เม็ดแป้งและโปรตีน โปรตีนในเมล็ดข้าวจะอยู่รอบนอกใกล้ๆ กับชั้นในของชั้นแอลิวโลน ส่วนเซลล์เม็ดแป้งจะอยู่ในชั้นถัดเข้าไป

4) คัพภะ (embryo) คือส่วนที่เรียกว่าจมูกข้าว (germ) เป็นตำแหน่งรวมของส่วนที่จะงอกเป็นต้นข้าวใหม่ คัพภะประกอบด้วยส่วนที่จะงอกเป็นยอดอ่อน (pulmule) ส่วนที่จะงอกเป็นรากและรากแรกกำเนิด (radical) ทั้งสองส่วนนี้ยึดติดกันด้วยปล้องที่สั้นมาก เรียกว่า "มีโซคอททิล" (mesocotyl) ยอดอ่อนจะห่อหุ้มด้วยลักษณะที่คล้ายใบเรียกว่า เยื่อหุ้มยอดอ่อน (coleptile)

1. องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าว (อรอนงค์ นัยวิกุล 2538)

1.1 คาร์โบไฮเดรต

1.1.1 สตาร์ช แหล่งเกิดของสตาร์ชจะเกิดภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีลักษณะเป็นห้าเหลี่ยมขนาด 3-9 ไมโครเมตร รวมกันอยู่เป็นกลุ่มภายในแอมิโลพลาสต์ (amyloplast) ที่มีลักษณะกลมหรือรี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7-39 ไมโครเมตร โดยภายในแต่ละแอมิโลพลาสต์มีสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ด และระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกอยู่เห็นเป็นร่องบนเม็ดสตาร์ช

1.1.2 พอลิแซ็คคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง พบมากในเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งมีมากกว่าในส่วนของเนื้อและคัพภะของเมล็ดจะเป็นพอลิแซกคาไรด์ที่วิเคราะห์ได้ในรูปของเส้นใยอาหาร ซึ่งประกอบด้วย แอมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารเพคติน ลิกนิน

1.1.3 น้ำตาลอิสระ ที่พบมากในส่วนของคัพภะและเนื้อเมล็ดของข้าว คือ ซูโครส นอกนั้นเป็น ลาบิโนส กลูโคส และฟรุคโตส โดยพบว่าน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณร้อยละ 5-22 ในรำมีประมาณร้อยละ 6.5 และในข้าวสารมีประมาณร้อยละ 0.52 น้ำตาล non-reduced ที่สำคัญคือ ซูโครส และน้ำตาลรีดิวซ์ ที่พบมากคือ กลูโคส และฟรุคโตส

1.2 โปรตีน

ภายในสตาร์ชมีส่วนประกอบของโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนจะเกาะบริเวณพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของสตาร์ช คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชมีผลต่อการกระจายของเม็ดสตาร์ชทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์เปลี่ยนไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ สีและกลิ่นผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต โดยถ้าคิดปริมาณรวมของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนที่ร่างกายได้รับจะมาจากเนื้อเมล็ดมากเนื่องจากสัดส่วนของเนื้อเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น และมีแหล่งโปรตีนมากอีกส่วนหนึ่งคือชั้นถัดจากชั้นแอลิวโลน โดยสะสมอยู่เป็นกลุ่มโปรตีนในชั้นแอลิวโลนมีอัลบูมินมาก ซึ่งในคัพภะเป็นอัลบูมินเกือบทั้งหมด ส่วนกลุ่มโปรตีนในข้าวจะมีโกลบูลินมากที่สุด

1.3 ไขมัน

ในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะเป็นทรงกลม แทรกอยู่ในชั้นแอลิวโลน ขนาดเล็กกว่า 1.5 ไมโครเมตร อยู่ในชั้นถัดจากแอลิวโลนมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และอยู่ในส่วนของคัพภะขนาดเล็กกว่า 0.7 ไมโครเมตร สำหรับในเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกับโปรตีนและในเม็ดสตาร์ชจะมีไขมันชนิดอื่นที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น โดยส่วนใหญ่สตาร์ชจะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ชนิดของไขมันที่อยู่ในสตาร์ชมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ช โดยลดความสามารถในการพองตัว การละลายและการจับตัวของน้ำกับสตาร์ช เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ไขมันจะรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงและขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับแอมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง

1.4 เถ้า

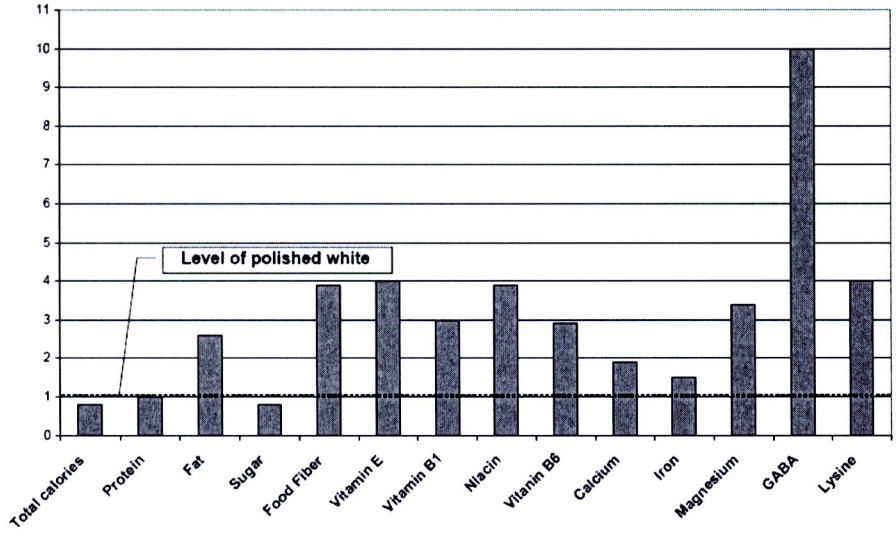
โดยทั่วไปข้าวสารมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.26-1.95 โดยน้ำหนัก ซึ่งข้าวเมล็ดยาว เมล็ดยาวปานกลาง และเมล็ดสั้นของสหรัฐมีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยร้อยละ 0.69 , 0.64 และ 0.61 ตามลำดับ

ชนิดของ Macrominerals ในเถ้าที่พบได้แก่ ฟอสฟอรัส โปแทสเซียม ซิลิกอน แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นกับปริมาณแร่ธาตุในดินที่ปลูกข้าวนั้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีการกระจายตัวของปริมาณเถ้าดังนี้ คือ ในรำร้อยละ 51 ในคัพภะร้อยละ 10 ในเปลือกร้อยละ 11 ในข้าวสารร้อยละ 28

สำหรับวิตามินพบมากในข้าวกล้องซึ่งมีมากกว่าข้าวสาร โดยเฉพาะในส่วนของคัพภะและชั้นแอลิวโลน ซึ่งไทอามินและไนอาซินเป็นวิตามินที่สำคัญที่สุดในข้าว พบมากที่ชั้นนอกสุดของเอนโดสเปิร์มและน้อยสุดในเอนโดสเปิร์ม ดังนั้นกระบวนการสีข้าวทำให้สูญเสียวิตามินถึงร้อยละ 50

2. ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก (germinated Brown Rice) เป็นอาหารที่ประชาชนชาวญี่ปุ่นในสมัยโบราณนิยมรับประทาน โดยนำข้าวกล้องมาผ่านการแช่น้ำ ในทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก พบว่า ในระหว่างกระบวนการงอกสารอาหารต่างๆ ในข้าวกล้องเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยสารอาหารที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ γ-aminobutyric acid (GABA), dietary fiber, inositols, ferulic acid, phytic acid, tocotrienols, magnesium, potassium, zinc, γ-oryzanol และ polylendopeptide inhibitor (Kayahara and Tukahara 2000) ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของสารอาหารที่ประกอบในข้าวกล้องงอกเมื่อเปรียบเทียบกับในข้าวสาร พบว่า ข้าวกล้องมี GABA ในปริมาณที่มากกว่าในข้าวสารถึง 10 เท่า มีเส้นใยอาหาร วิตามินอี ไนอะซิน และไลซีน มากกว่า 4 เท่า และพบว่า มีปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินบี 6 และแมงกานีส มากกว่าข้าวสาร 3 เท่า



ภาพที่ 2 อัตราของปริมาณสารอาหารที่ประกอบในข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับข้าวสาร
ที่มา : Kayahara and Tukahara (2000)

ข้าวกล้องเมื่อผ่านกระบวนการทำให้งอกด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสมเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในตลาดญี่ปุ่น ซึ่งในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมาญี่ปุ่นเริ่มมีการผลิตข้าวกล้องงอกในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น เช่น บริษัทขนาดใหญ่ต่างหันมาผลิตข้าวสำหรับการบริโภค ที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับข้าวกล้องงอก (germinated brown rice: GBR) และขนมปังจากข้าว (rice bread: RB) รวมทั้งได้มีการพัฒนาช่องทางการทำตลาดของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำให้ปัจจุบันสามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก GBR และ RB ตามท้องตลาดทั่วไปในญี่ปุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในร้านค้าปลีกที่นับวันจะมีผลิตภัณฑ์จาก GBR และ RB ในรูปแบบต่างๆ วางจำหน่ายเพิ่มมากขึ้น (สถาบันอาหาร 2549)

2.1 การผลิตข้าวงอก

กระบวนการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหรือองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวนั้นมีหลายกระบวนการคือ กระบวนการแช่ข้าว (soaking) และกระบวนการงอก (germination) ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะทำให้เกิดการงอกของเมล็ดข้าวเกิดขึ้น เมล็ดข้าวที่เกิดการงอกนั้นจะมีเอนไซม์ทำหน้าที่ย่อยสตาร์ช สารพอลิแซ็คคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชและโปรตีน ซึ่งทำให้ได้โอลิโกแซ็คคาไรด์และกรดอะมิโน(Manna and others 1995) การสลายตัวของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงในระหว่างกระบวนการงอกทำให้เกิดสารชีวภาพและมีผลในการปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในการบริโภค เช่น มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและกลิ่นเพิ่มขึ้นในข้าวบาร์เลย์ (Beal and Mottram 1993) ข้าวฟ่าง (Subba and Murulikrishna 2002) ข้าวโอ๊ต (Heinio and others 2001) และข้าวไรซ์ (Karppinen and others 2000)

การผลิตข้าวงอกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การแช่ข้าวและการงอกของข้าวซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Manna and others 1995)

2.1.1 การแช่ข้าว (soaking process)

มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและเกิดการกระจายตัวเข้าไปในส่วนต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการงอกของเมล็ด และการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเมล็ด การดูดน้ำของข้าวแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะแรก เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยกระบวนการแพร่ (diffusion) เพียงอย่างเดียวจน กระทั่งได้ความชื้นประมาณร้อยละ 32 โดยการเพิ่มขึ้นของความชื้นในระยะนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวดังนั้นระยะเวลาในการดูดน้ำจนได้ความชื้นตามที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้

ระยะที่สอง เป็นช่วงที่มีการดูดน้ำลดลง (lag phase)

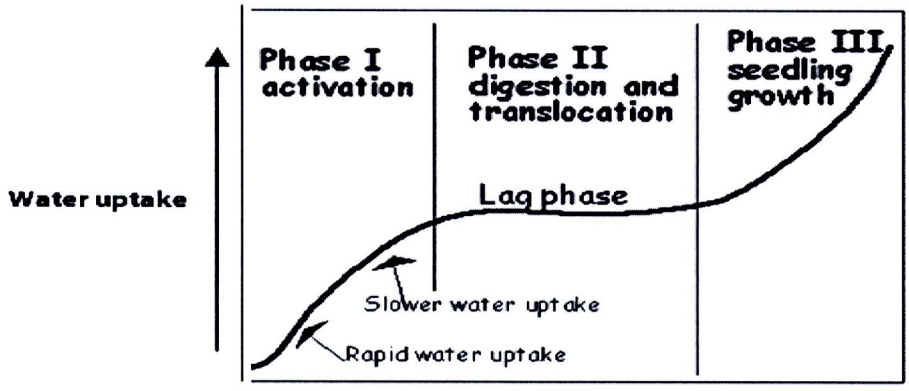
ระยะสุดท้าย มีอัตราการดูดน้ำเพิ่มขึ้นจนกระทั่งได้ความชื้นคงที่ประมาณร้อยละ 45

อัตราเร็วของการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ขนาดของเมล็ด ชนิดและสายพันธุ์ของข้าว ตลอดจนลักษณะของส่วนประกอบในเนื้อเมล็ด ผลของอุณหภูมิต่อการแช่ พบว่า อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดได้อย่างรวดเร็วทำให้การกระจายตัวของความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะในส่วนเนื้อเมล็ดและคัพภะทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการผลิตเอนไซม์ การเจริญของรากและลำต้นมีประสิทธิภาพต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิในการแช่ต่ำเกินไป การดูดน้ำของเมล็ดจะเป็นไปอย่างช้าเกิดการกระจายตัวของเมล็ดได้ดี แต่จะใช้ระยะเวลานานเป็นการเพิ่มโอกาสในการเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของเมล็ดและทำให้ประสิทธิภาพการงอกของเมล็ดต่ำลง ในช่วงการแช่ข้าวมีความสัมพันธ์กับการงอกของเมล็ดส่วนของเนื้อเมล็ด (endosperm) และคัพภะหรือจมูกข้าว (embryo) มีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งได้ความชื้นร้อยละ 60-65 ภายในเวลา 24 ชั่วโมง และจะเริ่มเกิดการงอกของรากเทียมออกมา (coleorhizae) เป็นจุดเริ่มต้นของการงอก การสร้างรากเทียมนี้เกิดขึ้นในส่วนที่เจริญเป็นใบเลี้ยงอ่อน (scutellum) ซึ่งเป็นส่วนที่สะสมสารอาหารต่างๆ ไว้สำหรับการงอกเป็นรากและลำต้น ความชื้นที่เหมาะสมในการสร้างรากเทียมของใบเลี้ยงเริ่มต้นที่ร้อยละ 55 และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อเมล็ด เป็นการปรับสภาพความชื้นให้เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ในขั้นตอนการงอกต่อไป

2.1.2 การงอก (germination process)

มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่สะสมในเนื้อเมล็ดให้อยู่ในรูปโครงสร้างที่สลายได้ง่ายโดยการทำงานของเอนไซม์ ในขั้นตอนการงอกเมล็ดจึงมีการผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งที่มีปริมาณสูง โดยทั่วไปในเมล็ดข้าวมีเอนไซม์เบต้าแอไมเลสสะสมอยู่แล้ว เอนไซม์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาพร้อมกับการพัฒนาของเมล็ด จนกลายเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ ดังนั้นในขั้นตอนการงอกของเมล็ดจึงเป็นการผลิตเอนไซม์เบต้าแอไมเลสเป็นหลัก การสร้างเอนไซม์ เบต้าแอไมเลสเกิดขึ้นในส่วนคัพภะ โดยการกระตุ้นของฮอร์โมนจิบเบอเรลริกที่ถูกสร้างในขณะเกิดการงอก นอกจากนี้เอนไซม์เบต้าแอไมเลสและกรดจิบเบอเรลริกยังเป็นตัวกระตุ้นให้เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดผลิตเอนไซม์ชนิดอื่นๆ เช่น เบต้ากลูแคนเนส (β-glucanase) แพนโตแซนเนส (pentosanase) เป็นต้น ซึ่งเอนไซม์จะมีกิจกรรมในการสลายสารอาหารต่างๆ ที่สะสมในส่วนเนื้อเมล็ด โดยการย่อยแป้งและโปรตีนในเนื้อเมล็ดได้น้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส มอลโตส ฟรุคโตส และกรดอะมิโน สิ่งที่บ่งบอกว่าเกิดการงอกของเมล็ดคือการเกิดจุดขาว (white chit) เป็นส่วนของรากเทียม (root sheet) และแทงทะลุส่วน pericarp และ testa ออกมา

จากนั้นจึงเกิดการสร้างรากแท้ (acrospires) การงอกของเมล็ดพืช แบ่งออกเป็น 3 ระยะ (Manna and others 1995) ดังภาพที่ 3



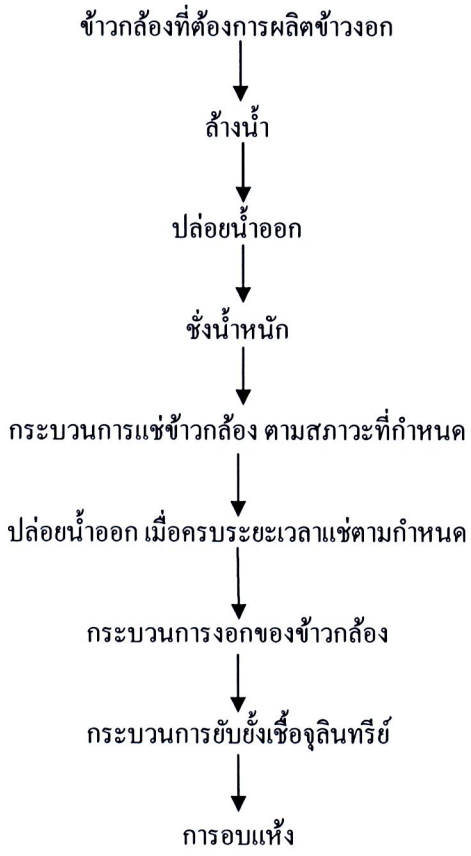
ภาพที่ 3 ระยะต่างๆ ในการงอกของเมล็ดพืช
ที่มา : Manna and others (1995)

ระยะแรก การดูดซึมของน้ำเข้าสู่เมล็ดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งกระตุ้นการเกิดกิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ และมีการย่อยสลายสารอาหารต่างๆ ภายในเมล็ดบางส่วน

ระยะที่สอง การดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดลดลงจนอิ่มตัวและมีการสังเคราะห์เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของผนังเซลล์ของชั้นแอลิวโลน เช่น เบต้าแอไมเลส เบต้ากลูแคนเนส เมื่อเกิดการย่อยของผนังเซลล์จะทำให้เอนไซม์ชนิดอื่นๆ ที่เกิดขึ้นซึมผ่านเข้าไปสู่เนื้อเมล็ดเพื่อย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์อื่นๆ เมื่อเกิดการย่อยผนังเซลล์แล้วเอนไซม์กลุ่มที่ย่อยโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเมล็ดก็จะทำงานโดยย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ

ระยะสุดท้าย เกิดการเพิ่มปริมาณของเซลล์และเกิดการเจริญของต้นพืช

กระบวนการผลิตข้าวงอก ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตข้าวกล้องงอก

ที่มา : ดัดแปลงจากวิธีของ Komatsuzaki and others (2005)

Komatsuzaki and others (2005) ศึกษาข้าวกล้องพันธุ์ Haiminori แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 35°ซระยะเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนอิสระของข้าวกล้องที่แช่เปรียบเทียบกับข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่ (ตัวอย่างควบคุม) พบว่า กรดแอสพาติก (aspartic acid) เซอรีน (serine) แอสพาราจีน (asparagines) และกรดกลูตามิก (glutamic acid) ลดลง ส่วนกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ มีปริมาณเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะ GABA ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดอะมิโนอิสระ (มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักสด)ในข้าวพันธุ์ Haiminori ที่ผ่านการแช่ในน้ำ

กรดอะมิโน	ข้าวกล้อง	ข้าวกล้องที่ผ่านการแช่[1]
แอสพาติกแอซิด (Aspartic ;Asp)	6.6 ± 1.04	1.2 ±0.22
ทรีโอนีน (Threonine ; Thr)	1.0 ± 0.48	3.1 ± 0.76
เซอรีน (Serine ; Ser)	3.5 ± 0.29	2.0 ± 0.75
แอสพาราจีน (Asparagine ; Asn)	7.1 ± 1.69	3.7 ± 0.55
กลูตาเมต (Glutamate ; Glu)	12.4 ± 3.06	4.5 ± 0.41
โพรลีน (Proline ; Pro)	1.9 ± 1.66	5.1 ± 0.67
ไกลซีน (Glycine ; Gly)	1.5 ± 0.89	4.3 ± 0.82
อะลานีน (Alanine ; Ala)	12.2 ± 4.48	13.0 ± 2.00
วาลีน (Valine ; Val)	0.8 ± 0.33	4.5 ± 0.76
ซีสเทอีน (Cysteine ; Cys)	1.4 ± 0.51	1.9 ± 1.41
เมทไทโอนีน (Methionine ; Met)	0.4 ± 0.40	2.2 ± 0.52
ไอโซลิวซีน (Iso-Leucine ; I-Leu)	0.7 ± 0.15	3.7 ± 0.67
ลิวซีน (Leucine ; Leu)	0.9 ±0.17	6.4 ± 0.97
ไทโรซีน (Tyrosine ; Tyr)	1.4 ± 0.39	4.1 ± 0.37
ฟีนิวอะลานีน (Phenylalanine ; Phe)	1.0 ± 0.59	3.8 ± 0.37
GABA	7.3 ± 2.05	10.1 ±1.36
ไลซีน (Lysine ; Lys)	3.9 ± 1.45	4.4 ± 0.84
ฮีสทิดีน (Histidine ; His)	1.0 ± 0.30	2.4 ± 0.79
อาจินีน (Arginine ; Arg)	4.9 ± 1.14	9.0 ± 3.06

หมายเหตุ [1] หมายถึง ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ที่มา : Komatsuzaki and others (2005)

3. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอก

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอกมีผลต่อโภชนาการบำบัดแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างกิจกรรมของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในข้าวกล้องงอก

แกมมาอมิโนบิวเทอริกแอซิด (γ-aminobutyric acid=GABA)	รักษาระดับความดันโลหิต ป้องกันอาการปวดศีรษะ ลดความตรึงเครียดภายหลังการใช้สมอง ป้องกันสภาวะผนังโลหิตแดงหนาและมีความยืดหยุ่นน้อย ป้องกันเส้นโลหิตในสมองแตก ป้องกันความผิดปกติช่วงเปลี่ยนวัย และรักษากิจกรรมการทำงานของไต
เส้นใย (dietary fiber)	บรรเทาอาการท้องผูก ป้องกันมะเร็งในลำไส้ รักษาระดับน้ำตาลในเลือด
อินโนทอล (inosital)	เร่งการเผาผลาญไขมัน ป้องกันไขมันจับที่ตับ ป้องกันสภาวะผนังหนังหลอดเลือดแดงหนาและมีความยืดหยุ่นน้อย
กรดเฟอรูริก (feruric acid)	สารต่อต้านมะเร็ง ลดจุดด่างดำ
กรดไฟติก (phytic acid)	มีผลต่อต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันโรคเกี่ยวกับหัวใจ ป้องกันภาวะเกล็ดเลือดเป็นก้อน
โทโคโตรอีนอล(tocotrienol)	สารต่อต้านมะเร็ง ป้องกันผิวหนังจากแสงอุลตร้าไวโอเลต
แมกนีเซียม (magnesium)	ป้องกันโรคหัวใจ
โพตัสเซียม (potassium)	ลดความดันโลหิต
สังกะสี (zinc)	ช่วยฟื้นฟูกิจกรรมและบทบาทของร่างกายดีขึ้น ป้องกันเส้นโลหิตแข็งตัว
แกมมาออโอริซานอล (γ-oryzanol)	ต่อต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันผิวเหี่ยวย่น ลดคลอเรสเทอรอล (cholesterol)
Prolylendopeptidse inhibitor	ป้องกันโรคความจำเสื่อม

ที่มา : Kayahara and Tsukaha (2000)

3.1 γ-aminobutyric acid (GABA)

γ-aminobutyric acid (GABA) เป็นกรดอะมิโนที่ไม่ใช่โปรตีน (Shelp and others 1999) กล่าวคือเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่อะมิโน (NH_2) และหมู่คาร์บอกซิล (COOH) อย่างละ 1 หมู่ ต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอม มีคุณสมบัติ ดังนี้

1) สูตรโมเลกุลคือ $H_2N(CH_2)_3COOH$

2) มวลโมเลกุล 103.12 ในโครงสร้างประกอบด้วย คาร์บอน 4 อะตอม GABA จะมีหมู่อะมิโนตรงตำแหน่งแอลฟาคาร์บอน (α-carbon)

3) โครงสร้างเป็นเส้นตรงและ อยู่โดยไม่เกาะกับโมเลกุลอื่น (ภาพที่ 5)

4) มีคุณสมบัติในการละลายในน้ำได้สูง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

5) เป็น zwitterionic ซึ่งมีทั้งขั้วบวกและขั้วลบ

6) ค่า p*K* เท่ากับ 4.03 และ10.56

ภาพที่ 5 โครงสร้างของ GABA

ที่มา : Shelp and others (1999)

โดยทั่วไปแล้วระดับของ GABA ที่พบในเนื้อเยื่อของพืชจะต่ำ โดยพบในช่วงระดับ0.03 ถึง 2.00 ไมโครโมลต่อกรัมของน้ำหนักสด (Brown and Shelp 1989, 1997) แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อตอบสนองกับการกระตุ้น เช่น การให้ความร้อนอย่างรุนแรง หรือ ในสภาวะที่เนื้อเยื่อของพืชขาดออกซิเจน (hypoxia) ในสภาวะที่ออกซิเจนในเนื้อเยื่อพืชต่ำกว่าปกติ (anoxia) จะทำให้ GABA ในเมล็ดข้าวงอกจะเพิ่มขึ้นถึง 8 ไมโครโมล/กรัมของน้ำหนักสด (ประมาณ 0.825 มิลลิกรัม/กรัม) (Reggiani and others 1988) ซึ่งกระบวนการเมตาบอลิซึมของ GABA นั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์ (Shelp and others 1999)

GABA มีความสำคัญกับระบบประสาท ใช้รักษาผลกระทบจากการที่สมองเกิดความเสียหายจากการทุบตีและถูกกระทบกระเทือน ช่วยรักษาระดับความดันเลือดให้คงที่ และลดไขมันในเส้นเลือด (Zhang and others 2005) การรับประทาน GABA เข้าไปอย่างต่อเนื่อง 8 สัปดาห์จะทำให้สามารถยับยั้งความดันเลือดและช่วยให้มีการนอนหลับ รักษาระบบทำงานของอวัยวะระหว่างวัยหมดประจำเดือน (Okada and others 2000) และข้าวกล้องงอกจะมีประสิทธิภาพที่จะยับยั้งการเสียหายของตับ (Jeon and others 2003)

จารุรัตน์ สันเต (2550) ศึกษาผลของกระบวนการแช่และกระบวนการงอกต่อปริมาณแกมมาอะมิโนบิวเทอริก แอซิด (GABA) และปริมาณกลูตาเมตของข้าวกล้องงอก โดยนำข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 แช่ในสารละลายที่มี pH แตกต่างกัน (pH 4, 4.5, 5, 5.5, 6 และ 6.5) ที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 3 ชั่วโมง พบว่า การแช่ในสารละลายที่ pH 5 มีปริมาณ GABA สูงสุด (21.93 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) เมื่อนำข้าวมาแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (1 มิลลิโมลาร์/ลิตร, pH 5) ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°ซ นาน 3, 8 และ 12ชั่วโมง พบว่า การแช่ที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 8 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA สูงสุด (31.18 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง) มีปริมาณแคลเซียม 2.77 มิลลิกรัม/100กรัม น้ำหนักแห้ง เมื่อนำข้าวกล้องมางอกที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50°ซ นาน 12, 24 และ 36 ชั่วโมง พบว่า การงอกข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 36 ชั่วโมง มีปริมาณ GABA สูงสุด ในขณะที่กลูตาเมตน้อยที่สุด (96.83 และ 453.37 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) การงอกข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°ซ นาน 36 ชั่วโมง มีผลให้มีปริมาณ GABA สูงขึ้นประมาณ 9.2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการแช่ (GABA ประมาณ 10.55 มิลลิกรัม/100กรัมน้ำหนักแห้ง)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 11 มิ.ย. 2556
เลขทะเบียน 208823
เลขเรียกหนังสือ

พัชรี ตั้งตระกูล (2550) ทำการสกัดและวิเคราะห์ปริมาณ GABA โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่า ปริมาณ GABA ในข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสต่ำ (31.0-37.2 มิลลิกรัม/100 กรัมดัพภะ) มีค่าสูงกว่าข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูง (21.4-28.8 มิลลิกรัม/100กรัมดัพภะ) ส่วนข้าวเหนียวมีปริมาณ GABA สูงกว่าข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 29.6-72.8 มิลลิกรัม/100กรัมดัพภะ โดยพบปริมาณ GABA สูงที่สุดในข้าวเหนียวพันธุ์ R 258 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเพิ่มปริมาณ GABA ในดัพภะข้าว จากปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มปริมาณสาร GABA ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าว โดยศึกษาวิธีการงอกและการเพิ่มปริมาณของ GABA ในดัพภะข้าวแต่ละประเภทโดยวิธีการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 40 และ 50°ซ เปรียบเทียบระยะเวลาการแช่ต่างกันจาก 1 ถึง 4 ชั่วโมง พบว่า ดัพภะของข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมีการเพิ่มขึ้นของ GABA หลังจากการแช่น้ำ โดยอัตราการเพิ่มของ GABA ในข้าวทุกสายพันธุ์จะค่อนข้างสูงโดยเฉพาะใน 1 ชั่วโมงแรกของการแช่ข้าว ในกระบวนการงอกนี้น้ำเป็นส่วนสำคัญที่สุดเพราะก่อให้เกิดกระบวนการแยกสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) เพื่อส่งถ่ายสารอาหารจากส่วนต่างๆ ของเมล็ด โดยเฉพาะส่วนเนื้อในเมล็ดมาสู่ส่วนดัพภะ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีน การเพิ่มขึ้นของใยอาหาร วิตามินและส่วนประกอบอื่นๆ นอกจากน้ำแล้วเอนไซม์ต่างๆ ภายในเมล็ดจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายและเสริมสร้างอาหารชนิดต่างๆ โดยมีน้ำเป็นส่วนสำคัญในการทำงาน หรือที่เรียกว่าเอนไซม์ไฮโดรไลติก จนกระทั่งเกิดเป็นต้นอ่อนของพืชต่อไป

วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ (2551) รายงานว่า ข้าวกล้องงอกสายพันธุ์ชัยนาทและพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณไขมัน เส้นใย มอลโตส กลูโคส GABA, δ-tocopherol และ γ-tocopherol มากกว่าข้าวกล้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) โดยข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาทและพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น 9.59 และ 8.11 เท่าตามลำดับ ส่วนข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาท มีปริมาณ มอลโตส และกลูโคสเพิ่มขึ้นร้อยละ 51.91 และร้อยละ 41 ตามลำดับ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณมอลโตส และกลูโคสเพิ่มขึ้นร้อยละ 29.54 และร้อยละ 39.5 ตามลำดับ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาทและข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ γ-tocopherol เพิ่มขึ้น 6.09 และ 5.96 เท่าตามลำดับ ข้าวกล้องงอกพันธุ์ชัยนาทและข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มี δ-tocopherol เพิ่มขึ้น 3.28 และ 2.32 เท่า ตามลำดับ

วรนุช ศรีเจษฎารักษ์ (2552) รายงานถึง ปริมาณของ γ-tocopherol, α-tocopherol และ γ-oryzanol ในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวฮางงอกขาวดอกมะลิ 105 จากแหล่งผลิต 5 สถานที่ที่มีสภาวะการผลิตข้าวฮางและฮางงอกขาวดอกมะลิ 105 โดยมีการตากแห้งข้าวเปลือกงอกโดยแสงแดด พบว่า ข้าวฮาง ข้าวฮางงอกขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณ γ-tocopherol, α-tocopherol ลดลงมากกว่าข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอกตามลำดับ แต่ปริมาณ γ-oryzanol ของข้าวฮาง ข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอกขาวดอกมะลิ 105 มีมากกว่าข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105

Moongngarm and Saetung (2010) ได้เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวเปลือกงอกและข้าวกล้องงอก โดยใช้ตัวอย่างข้าว 4 ชนิด คือ ข้าวกล้อง (UGR), ข้าวกล้องงอก (GBR), ข้าวเปลือกงอก (GRR) และผงข้าวกล้องงอกสกัดจากการงอกทั้งเปลือก (GRP) พบว่า ความเข้มข้นของ crude protein, total free amino acid, α -tocopherol, γ-oryzanol, วิตามินบี 1, วิตามินบี 3 และวิตามินบี 6 ใน GRR และ GRP สูงกว่า GBR และ UGR อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ไม่มีความแตกต่างของปริมาณ crude fat, คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ปริมาณกรดอะมิโนของข้าวที่ผ่านการงอกมีความแตกต่างจากข้าวที่ไม่ผ่านการงอกซึ่ง

ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยพบว่ากรดอะมิโน (GABA, ไกลซีน, ไลซีน และลิวซีน) ใน GBR, GRR และ GRPมากกว่า UGR

4. คุณภาพของข้าว

คุณภาพของข้าวแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ (งามชื่น คงเสรี 2542)

4.1 คุณภาพทางกายภาพ เป็นลักษณะภายนอกที่มองเห็นได้ ซึ่งประกอบด้วย

4.1.1 ขนาดและรูปร่างของเมล็ด (grain size and shape) ในแต่ละประเทศมีความนิยมข้าวที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เช่น คนญี่ปุ่น เกาหลี ชอบข้าวเมล็ดป้อม แต่คนไทยนิยมข้าวเมล็ดเรียวยาว จากมาตรฐานข้าวประกาศกระทรวงพาณิชย์ (2540) กำหนดขนาดเมล็ดดังนี้

ชนิดของเมล็ดข้าว	ขนาด (มิลลิเมตร)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (Extra long grain)	มากกว่า 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (Long grain)	6.6-7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (Medium grain)	6.2-6.6
ข้าวเมล็ดสั้น (Short grain)	สั้นกว่า 6.2

ตามมาตรฐานข้าวไทยไม่ได้ระบุรูปร่างของเมล็ด แต่ผู้ค้าข้าวมักจะพิจารณารูปร่างเมล็ดควบคู่ไปกับความยาว และข้าวที่มีเมล็ดยาวจะต้องมีรูปร่างเพรียวจึงเป็นที่นิยม การวัดขนาดเมล็ดจะนิยมใช้ micrometer หรือ vernier

4.1.2 ท้องไข่ (Chalkiness) เป็นจุดขาวทึบแสงภายในเมล็ดข้าวเจ้า จุดนี้เกิดจากผลึกหรือกลุ่มแป้งภายในเมล็ดอัดกันไม่แน่นพอทำให้เกิดช่องอากาศเล็กๆ ขึ้น การเกิดท้องไข่อาจเกิดได้หลายตำแหน่ง เช่น

White helly เกิดทางด้านข้าง หรือด้านท้องหรือด้านเดียวกับคัพภะ (embryo)

White center เกิดที่ใจกลางเมล็ด

White back เกิดทางด้านหลังหรือด้านตรงข้ามคัพภะ

หากท้องไข่ในเมล็ดมีขนาดใหญ่ จะเป็นจุดอ่อนทำให้เมล็ดหักง่ายในระหว่างการสี นอกจากนี้ตามมาตรฐานของไทยระบุว่า ข้าวคุณภาพดีต้องมีท้องไข่น้อย(ร้อยละ 0.5 สำหรับข้าวสารร้อยละ 100)

4.1.3 คุณภาพการสี ประเมินได้จากปริมาณของข้าวเต็มเมล็ด (head rice) และข้าวสารที่ได้ทั้งหมด (total milled rice) จากการสีข้าวเปลือก ซึ่งจะแสดงออกมาเป็นร้อยละของข้าวเต็มเมล็ดและข้าวสาร จึงอาจกล่าวได้ว่าคุณภาพในการสีของข้าวอธิบายถึงความสามารถของเมล็ดข้าวต่อความคงทนในการสีและการขัด ซึ่งข้าวที่มีคุณภาพในการสีที่ดีนั้นต้องให้ปริมาณข้าวหักน้อย ในขณะที่ได้ผลผลิตของข้าวสารสูงและมีสัดส่วนของข้าวเต็มเมล็ดที่สูงเมื่อเทียบกับข้าวหัก (Singh and others 2000)

ในการทดสอบคุณภาพการสีมีขั้นตอน ดังนี้ (งามชื่น คงเสรี 2542)

1) ทำความสะอาดข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องเป่า
2) กะเทาะเปลือกออกโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวและแยกแกลบออกได้เป็นข้าวกล้อง
3) ขัดข้าวกล้องเป็นข้าวสารโดยใช้เครื่องสีขนาดเล็ก จะได้ข้าวสาร

4) แยกหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหัก ด้วยเครื่องแยกเมล็ดและคัดด้วยมือซ้ำอีกครั้ง ในการคำนวณร้อยละข้าวสารและข้าวเต็มเมล็ดที่ได้จากการสีสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละข้าวสารที่ได้ทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักข้าวสาร X 100}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

$$\text{ร้อยละต้นข้าว} = \frac{\text{น้ำหนักต้นข้าว X 100}}{\text{น้ำหนักข้าวเปลือก}}$$

4.2 คุณภาพการหุงต้มและการรับประทาน

คุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าวขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และคุณสมบัติทางเคมีของเมล็ดแป้งภายในข้าว ดังนี้

4.2.1 ปริมาณแอมิโลส ในแป้งของข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบย่อย 2 ส่วน คือ

แอมิโลเพคติน (amylopectin) เป็นสารประกอบที่สลับซับซ้อน(complex) ซึ่งภายในโมเลกุลเกิดจากการจับตัวของหน่วยกลูโคสเป็นจำนวนมาก(polymer of glucose) และมีโครงสร้างเป็นลักษณะแตกแขนงคล้ายกิ่งไม้ (branches chain) เป็นส่วนประกอบของแป้งข้าวและทำให้ข้าวสุกเหนียวจับกันเป็นก้อนและนุ่มมาก

แอมิโลส (amylose) เป็นสารที่มีโมเลกุลเกิดจากการจับตัวของกลูโคสเช่นเดียวกับแอมิโลเพคติน แต่โครงสร้างมีลักษณะเป็นเส้นยาว (linear chain) ส่วนนี้ทำให้ข้าวสุกมีความเหนียวลดลงและมีความร่วนเพิ่มมากขึ้น

ในแป้งข้าวเหนียวมีแต่แอมิโลเพคตินหรืออาจมีแอมิโลสเพียงเล็กน้อย ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีแอมิโลส อยู่ประมาณร้อยละ 10-34 การที่แป้งข้าวมีสัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินต่างกัน ทำให้คุณภาพการหุงต้มและการรับประทานของข้าวสุกต่างกันและมีการแบ่งประเภทข้าว โดยระบุปริมาณแอมิโลสดังนี้

ข้าวตามประเภทแอมิโลส	ปริมาณ (ร้อยละ)	คุณลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 – 2	เหนียวมาก
ข้าวแอมิโลสต่ำ	10 -19	เหนียว-นุ่ม
ข้าวแอมิโลสปานกลาง	20 – 25	ค่อนข้างนุ่ม
ข้าวแอมิโลสสูง	25 – 34	ร่วน แข็ง

ข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการหุงต้มจึงมีส่วนกระทบต่อคุณภาพข้าวสุก เช่น ข้าวแอมิโลสต่ำต้องการน้ำน้อย หากใส่น้ำมากจะได้ข้าวแฉะเละ แต่สำหรับข้าวแอมิโลสสูงหากใส่น้ำปริมาณเท่ากับข้าวแอมิโลสต่ำ จะได้ข้าวที่แข็งกระด้างมาก เนื่องจากการหุงต้มข้าวแอมิโลส สูงต้องการน้ำมาก และเมื่อสุกแล้วจะได้ข้าวร่วนฟู ทำให้ข้าวนั้นขยายปริมาตรมาก หรือเป็นข้าวขึ้นหม้อ ในขณะที่ข้าวแอมิโลสต่ำเป็นข้าวเหนียวติดกันเป็นก้อนจึงไม่ขึ้นหม้อ

4.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกสูง เมื่อหุงสุกจะมีความแข็งกว่าข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกต่ำ ค่าความคงตัวของแป้งสุกจะแตกต่างกันไปและมีความสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณแอมิโลเพคติน ในแป้งข้าวแต่ละชนิด (อุสาห์ เจริญวัฒนา 2526)

ในการทดสอบความคงตัวของแป้งสุก สามารถทำได้โดยให้แป้งทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แล้ววัดระยะทางที่แป้งไหลได้ กรณีที่แป้งไหลไกล แสดงว่าแป้งนั้นมีความคงตัวต่ำ และในทางตรงกันข้ามถ้าแป้งไหลได้น้อย แสดงว่าแป้งนั้นมีความคงตัวสูง

4.2.3 อุณหภูมิที่แป้งสุก (gelatinization temperature) คือ อุณหภูมิที่ทำให้แป้งเปลี่ยนจากลักษณะขุ่นทึบเป็นโปร่งใส เป็นลักษณะที่สัมพันธ์กับเวลาที่ต้องการต้มให้ข้าวสุก (cooking time) ข้าวเหนียวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงหรือปานกลาง จะนึ่งสุกยากหรือมีลักษณะนึ่งไม่สุก นอกจากนั้นข้าวสุกที่ได้ค่อนข้างแข็ง สำหรับข้าวเจ้าหากเป็นข้าวแอมิโลสต่ำก็จะได้ผลเป็นเช่นเดียวกัน หากอุณหภูมิแป้งสุกสูงก็อาจมีปัญหาการหุงไม่สุกหรือข้าวแฉะ ทั้งนี้เนื่องจากข้าวต้องการระยะเวลาในการหุงต้มนาน จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมาก

4.2.4 การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้มข้าวสาร เมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยเฉพาะทางด้านความยาวของเมล็ด ลักษณะนี้ช่วยเสริมการขึ้นหม้อของข้าวหากเป็นข้าวที่ไม่เหนียวติดกัน

4.2.5 กลิ่น มีผลต่อคุณภาพในการรับประทาน ข้าวที่มีกลิ่นหอมชวนให้น่ารับประทาน กลิ่นเหล่านี้พบว่าเกิดจากสารพวก formaldehyde, ammonia และ hydrogen sulfide นอกจากนี้ไรโบฟลาวิน ยังมีส่วนทำให้เกิดกลิ่นไอของข้าวสุกอีกด้วย

5. การอบแห้ง (Drying)

ในการอบแห้งวัสดุทั่วๆ ไปนั้น มักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวโดย capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (surface force) ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศโดยการแพร่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (vapor diffusion) และความดันไอ (partial pressure of vapor) ที่แตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับลมร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของลมร้อนมีค่าคงที่ และเมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่บริเวณผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างการอบแห้งด้วยอัตราคงที่ อัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต อัตราการอบแห้งจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งไม่เกิดความแตกต่างของความดันไอ จะเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับความชื้นสมดุล (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ 2540)

5.1 การอบแห้งเมล็ดข้าว (เอกสงวน ชูวิสัฐกุล 2544)

หลังจากเก็บเกี่ยวและนวดข้าวจะได้ข้าวเปลือก (paddy, rough rice) ซึ่งยังคงมีความชื้นภายในเมล็ดสูง เมล็ดเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ การอบแห้งเมล็ดจึงมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา อัตราการเสื่อมคุณภาพ

ดังนั้นหลังจากการเก็บเกี่ยวจะต้องรีบตากหรือทำให้แห้งโดยเร็วที่สุด เพื่อลดอัตราการหายใจของเมล็ด ลดการเกิดเชื้อราซึ่งเป็นสาเหตุให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพเร็วยิ่งขึ้น

5.1.1 ความชื้นของเมล็ดข้าวมีสิ่งที่ควรทราบ 2 ประการ คือ

5.1.1.1 สถานะภาพน้ำในเมล็ด โดยทั่วไปจะมีสถานะภาพ 3 รูป คือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ แต่ในเมล็ดข้าวน้ำจะมีอยู่ 2 รูปคือ ในรูปของเหลวซึ่งอยู่ภายในผนังเซลล์และองค์ประกอบต่างๆของผนังเซลล์ อีกรูปหนึ่ง คือ อยู่ในรูปไอน้ำซึ่งอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ต่างๆ ในการอบแห้งของข้าวน้ำส่วนที่จะถูกดึงออกจากเมล็ด คือ น้ำส่วนที่เป็นไอหรือส่วนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์

5.1.1.2 เมล็ดข้าวเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีคุณสมบัติอย่างหนึ่ง เรียกว่า ไฮโกรสโคปิค คือ เมล็ดสามารถรับความชื้นจากบรรยากาศรอบๆ เมล็ด หรือถ่ายเทความชื้นของเมล็ดให้บรรยากาศที่อยู่รอบๆ เมล็ด จนถึงจุดๆ หนึ่งความชื้นในเมล็ดจะคงที่ จุดนี้เรียกว่า จุดสมดุล (มีการถ่ายเทและรับความชื้น โดยมีอัตราการถ่ายเทและรับความชื้นเท่ากัน ความชื้นจึงคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง)

5.1.2 การอบแห้งเมล็ดเป็นกระบวนการที่แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

5.1.2.1 การระเหยของความชื้นที่ผิวเมล็ดสู่บรรยากาศรอบๆ เมล็ด

5.1.2.2 การเคลื่อนย้ายของความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดออกมาที่ผิวแทนความชื้นที่ระเหยออกไป

โดยทั้ง 2 ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นพร้อมกัน ความชื้นจะระเหยออกจากผิวเมล็ดก่อน หมายความว่าผิวจะแห้งก่อนและความชื้นจากภายในจะแพร่กระจายออกมาสู่ผิวนอก ซึ่งช่วงระยะเวลาที่ความชื้นภายในเมล็ดแพร่ออกมาที่ผิวเมล็ด เรียกว่า Tempering period ระยะเวลาจะเร็วหรือช้าขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ส่วนใหญ่จะผันแปร ระหว่าง 4-8 ชั่วโมง

ถ้าอุณหภูมิปานกลาง (ประมาณ 38°ซ) การแพร่กระจายของความชื้นจากภายในเมล็ดสู่ผิวจะเร็วกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิว ดังนั้น Tempering period จะสั้น

ถ้าอุณหภูมิสูง (ประมาณ 60°ซ) อัตราการระเหยของน้ำจากภายในสู่ผิวเมล็ดจะช้ากว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิวเมล็ดสู่บรรยากาศ จึงทำให้ผิวนอกแห้งลงอย่างมากและเกิดความเค้น (stress) ทำให้เมล็ดเกิดการหดตัวและแตกร้าวภายในซึ่งจะทำให้เมล็ดเกิดการแตกหักหากนำไปสี ดังนั้นในการอบแห้งที่เหมาะสมระดับอุณหภูมิหรือความร้อนที่ใช้จึงไม่ควรสูงเกินไป

Juliano (1993) รายงานว่า กระบวนการให้ความร้อนมีผลให้ปริมาณกรดอะมิโนไลซีนในข้าวเกิดการสลายตัว ในขณะที่กรดอะมิโนทริปโตเฟนมีความคงตัวมากกว่ากรดอะมิโนเมทไธโอนีนและไลซีนในระหว่างกระบวนแปรรูปและการเก็บรักษา Ohtsubo and others (2005) รายงานว่า ข้าวกล้องก่อนการงอก (pre-germinated brown rice) ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30°ซ นาน 72 ชั่วโมงแล้วนำมาอบแห้งที่ 50°ซ ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจนมีความชื้นร้อยละ 13-15 มีใยอาหารทั้งหมด กรดเฟอรูลิคทั้งหมด และสาร GABA ในปริมาณสูงกว่าข้าวกล้องที่ไม่ผ่านการแช่หรือข้าวขัดขาว นอกจากนี้ข้าวกล้องก่อนการงอกที่ผ่านการทำให้ขึ้นพอง (puffing pre-germinated brown rice) มีสารออไรซานอล อิโนซิทอล กรดเฟอรูลิค และใยอาหารทั้งหมดสูงกว่าข้าวขัดขาวที่ไม่ผ่านการขึ้นพอง (unpuffed polished rice) ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการแปรรูปอาหาร การหุงต้ม หรือการเก็บรักษานอกจากจะมีผลต่อคุณภาพในการบริโภคของข้าวแล้วยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารออกฤทธิ์ทาง

ชีวภาพของข้าวกล้อง เช่น การสูญเสียวิตามินที่ไวต่อความร้อน กรดอะมิโน และกรดไขมันที่จำเป็น รวมถึงก่อให้เกิดกลิ่นผิดปกติ

นฤบดี ศรีสังข์ (2550) ศึกษาการอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศร้อน พบว่า การอบแห้งเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศร้อน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งข้าวกล้องงอก โดยอุณหภูมิอบแห้งที่สูงช่วยให้อัตราการอบแห้งสูง แต่จะมีการร้าวของเมล็ดข้าว ซึ่งอุณหภูมิอบแห้งที่ 150°ซ แม้จะมีรอยร้าวน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่นๆแต่เมล็ดข้าวเกิดการร้าวทั้ง 2 แกน เมื่อนำไปหุงต้มเมล็ดข้าวจะแตกและมีความแข็งลดลง ดังนั้นอุณหภูมิอบแห้งจึงไม่ควรเกิน 130°ซ ปริมาณสาร GABA และคุณสมบัติทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัส (texture properties) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิในการอบแห้ง ยกเว้นค่าความแข็ง (hardness) ที่ลดลงตามอุณหภูมิที่อบ และปริมาณของจุลินทรีย์หลังการอบแห้งลดลงต่ำกว่า 10^4 CFU/g ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยในอาหาร

Taweerattanapanish and others (1999) ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบด พบว่า ข้าวเปลือกที่มีความชื้นระหว่างร้อยละ 30-42.8 น้ำหนักแห้ง เมื่อผ่านการอบแห้งจะได้ร้อยละต้นข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการเป่าด้วยธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากบางส่วนของแป้งเกิดเจลาทิไนเซชัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inprasit and Noomhorm (2001) ที่พบว่า การข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งเทคนิคฟลูอิไดซ์เบด มีแป้งบางส่วนภายในเมล็ดเกิดเจลาทิไนเซชันและข้าวที่ผ่านการอบแห้งมีลักษณะคล้ายข้าวนึ่ง

Wongpornchai and others (2004) ได้ศึกษาวิธีการอบแห้งและระยะเวลาในการเก็บรักษาที่มีผลต่อกลิ่นและคุณภาพในการสีของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้วิธีการอบแห้งหลังการเก็บเกี่ยว 6 วิธี คือ ใช้ลมแห้งที่อุณหภูมิ 30 และ 40°ซ ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 70°ซ และการอบแห้งโดยใช้ลานตาก พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ลมร้อน คือ 70°ซ ส่งผลอย่างชัดเจนต่อร้อยละต้นข้าว คือได้ผลผลิตน้อยกว่าการอบแห้งด้วยวิธีอื่นๆ และการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งร่วมกับการเก็บข้าวโดยใช้เวลาสั้นจะทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพของกลิ่นดีกว่า

6. การเก็บในที่อับอากาศ (Tempering)

ข้าวภายหลังจากการอบแห้งจะเกิดการแตกหักซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในอุตสาหกรรมข้าว โดยการแตกหักของเมล็ดข้าวทำให้ได้ร้อยละต้นข้าวต่ำซึ่งส่งผลเสียอย่างมากในเชิงการค้า (Cnossen and others 2003) การเก็บในที่อับอากาศถือเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญที่ต่อเนื่องจากกระบวนการอบแห้ง ซึ่งการเก็บในที่อับอากาศจะทำให้ความชื้นภายในเมล็ดหลังจากการอบแห้งกระจายทั่วทั้งเมล็ดจนเข้าสู่สมดุลย์ ส่งผลทำให้เมล็ดข้าวไม่แตกหักเมื่อนำไปสีหรือกะเทาะเปลือก (Hwang and others 2009) การเก็บในที่อับอากาศ เป็นการนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการอบแห้งหรือแช่น้ำไปได้ช่วงหนึ่งมาเก็บในที่อับอากาศ เพื่อลดความชื้น (moisture gradient) ภายในเมล็ด ซึ่ง Cnossen and others (2002) อ้างถึงใน Hwang and others (2009) กล่าวว่า วัตถุประสงค์ของการเก็บในที่อับอากาศของข้าวภายหลังจากการอบแห้ง เพื่อทำให้ปริมาณความชื้นภายในเมล็ดกระจายเท่ากันทั่วทั้งเมล็ด ซึ่งระยะเวลาในการเก็บในที่อับอากาศเป็นตัวแปรสำคัญ เพราะหากใช้เวลามากเกินไปจะทำให้คุณภาพของเมล็ดลดลง (อนุชา ใจกล้า 2549)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

Steffe and Singh (1980) อ้างถึงใน อนุชา ใจกล้า (2549) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บข้าวเปลือกในที่อับอากาศ พบว่า เมื่อทำการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ช่องว่างระหว่างเมล็ดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่ผิวเมล็ดที่เกิดขึ้นจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้ว โดยความเข้มข้นที่ผิวมีมากกว่าบริเวณใจกลางเมล็ด การเก็บในที่อับอากาศทำให้เกิดการแพร่จนกระทั่งความเข้มข้นของของเหลวเท่ากันทั้งเมล็ด

Elbert and others (2001) ศึกษาสภาวะการอบแห้งของข้าวนึ่ง (parboiled rice) ที่มีต่อร้อยละต้นข้าว ซึ่งใช้ข้าวเมล็ดยาวสายพันธุ์ Don Juan โดยข้าวจะผ่านกระบวนการแช่ที่อุณหภูมิ 70°ซ นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำมานึ่งด้วยหม้อนึ่งความดัน 198.53 kPa เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาอบแห้งร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศโดยข้าวนึ่งมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ16, 18 และ 20 นำมาอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้อุณหภูมิ 40-80°ซ โดยแต่ละขั้นตอนการอบแห้งจะมีการนำข้าวนึ่งภายหลังจากการอบแห้งมาเก็บในที่อับอากาศ (นาน 2-4 ชั่วโมง) ซึ่งขั้นตอนเก็บในที่อับอากาศจะนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาเก็บในขวดพลาสติกแล้วปิดผนึกเพื่อป้องกันความชื้น จากนั้นนำเข้าเก็บในที่อับอากาศโดยใช้อุณหภูมิเดียวกับการอบแห้ง ผลการทดลอง พบว่า ข้าวนึ่งที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 16 ระยะเวลาเก็บในที่อับอากาศมีผลต่อร้อยละต้นข้าวขณะที่อุณหภูมิไม่มีผลต่อต่อร้อยละต้นข้าว โดยการเก็บในที่อับอากาศเป็นระยะเวลานานขึ้นจะช่วยเพิ่มร้อยละต้นข้าวของข้าวนึ่ง ขณะที่การอบแห้งข้าวนึ่งโดยใช้อุณหภูมิสูงทำให้ได้ร้อยละต้นข้าวปริมาณน้อย

อนุชา ใจกล้า (2549) ศึกษาหาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการเร่งความเก่าของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยใช้กระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด พบว่า ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25 น้ำหนักเปียก และมีการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 130 และ 150°ซ เป็นเวลา 2.30 และ 2.00 นาที ตามลำดับ แล้วนำข้าวเปลือกเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 60-90 นาที และนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อมเป็นเวลา 30 นาที จะทำให้การยืดตัวของเมล็ดข้าว การดูดซับน้ำของข้าวสุกเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำข้าวสุกลดลง รวมทั้งยังมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายข้าวที่มีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อม ร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น และสมบัติความหนืดค่าความขาวมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าข้าวที่มีการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือนแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

Jaiboon and others (2009) ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดและการเก็บในที่อับอากาศที่มีต่อคุณภาพของข้าวเหนียว โดยข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 90, 110 และ 130°ซ จนได้ความชื้นข้าวเหนียวร้อยละ 22-23 จากนั้นนำไปเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°ซ) นาน 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที พบว่า ข้าวเหนียวที่ผ่านการอบแห้งและไม่ผ่านการเก็บในที่อับอากาศจะมีร้อยละต้นข้าวต่ำกว่าข้าวเหนียวก่อนอบอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) การอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 และ 130°ซ ระยะเวลาในการเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อร้อยละต้นข้าว ขณะที่ถ้าอบแห้งที่ 90°ซ ระยะเวลาในการเก็บในที่อับอากาศตั้งแต่ 60 นาทีมีผลทำให้ร้อยละต้นข้าวสูงขึ้น โดยร้อยละต้นข้าวจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 37.5 ที่ 60 นาที เป็นร้อยละ 44.0 ที่ 120 นาที และการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (130°ซ)จะได้ร้อยละต้นข้าวสูง หลังจากผ่านการอบแห้งที่ 90°ซ พบว่า ระยะเวลาในการเก็บในที่อับอากาศไม่มีผลต่อค่าความขาว (whiteness index) นอกจากนี้เมื่อข้าวเหนียวผ่านการเก็บในที่อับอากาศเป็นระยะเวลานานขึ้น ค่าความขาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°ซ พบว่า ค่าความขาวลดลงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จากตัวอย่างข้าวอ้างอิง

Aquerreta and others (2007) ได้ศึกษาผลของจำนวนขั้นตอนการอบแห้งข้าวเปลือกเมล็ดยาวชั้น 3 (medium grain) แบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้อุณหภูมิ 60°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 4 แบบขั้นตอนเดียว 2 ขั้นตอนและ 3 ขั้นตอน แล้วนำมาผ่านการเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ คือ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20°ซ) อุณหภูมิปานกลาง (40-50°ซ) และอุณหภูมิสูง (60°ซ) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพของข้าวเปลือกด้านปริมาณความชื้น ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ด (fissure kernels) และร้อยละต้นข้าว (head rice yield) พบว่า การอบแห้งและการเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิสูง (60°ซ) ส่งผลให้น้ำภายในเมล็ดเคลื่อนที่มายังผิวเมล็ดได้ดี ร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดจะลดลงอย่างมากเมื่อผ่านการอบแห้งแบบ 2 และ 3 ขั้นตอนเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียว และพบว่า การเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิสูงจะลดร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดและเพิ่มร้อยละต้นข้าว

Dong and others (2010) ทำการศึกษาผลของการอบแห้งและการเก็บในที่อับอากาศที่มีต่อการแตกร้าวของข้าว พบว่า การเกิดรอยแตกร้าวของข้าวเปลือกเมล็ดสั้นสายพันธุ์ Akitakomachi และเมล็ดยาวสายพันธุ์ L201, Delta ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 40 นาน 15, 30 และ 60 นาที แล้วนำมาผ่านการเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 50°ซ ในช่วง 0 ถึง 330 นาที นอกจากนี้ได้นำข้าวมาเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 และ 50°ซ เป็นเวลา 60 นาที พบว่า กระบวนการอบแห้งและการเก็บในที่อับอากาศมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยมีผลต่อการลดลงของความชื้นและการเกิดรอยแตกร้าวของเมล็ดข้าว เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บในที่อับอากาศมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ต่อร้อยละการแตกร้าวของเมล็ดข้าว โดยข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์มีร้อยละการแตกร้าวลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บในที่อับอากาศเพิ่มขึ้น และพบว่าการใช้เวลาการเก็บในที่อับอากาศที่สั้นเมล็ดข้าวจะเกิดการแตกร้าวมากขึ้น และระยะเวลาในการเก็บในที่อับอากาศของข้าวเปลือกเมล็ดยาวใช้เวลาน้อยกว่าข้าวเปลือกเมล็ดสั้น เนื่องจากข้าวเมล็ดยาวมีปริมาณ แอมิโลสสูงกว่าจึงทนต่อการแตกร้าวได้ดีกว่าและเพื่อป้องกันการแตกร้าวของเมล็ด การเก็บในที่อับอากาศที่อุณหภูมิสูงจะสามารถลดความชื้นและทำให้ข้าวเกิดการแตกร้าวน้อยลง