

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ข้าวไร่ (Upland Rice)

ข้าวไร่ คือ การปลูกข้าวบนที่สูงซึ่งไม่มีน้ำขังในพื้นที่ปลูก เนื่องจากพื้นที่สูง เช่น เขิงภูเขา มักจะมีระดับที่ไม่สม่ำเสมอจึงไม่สามารถไถเตรียมดินและปรับระดับได้เหมือนกับพื้นที่ราบ ดังนั้นชาวนามักจะปลูกข้าวแบบหยอด โดยขั้นตอนแรกทำการตัดหญ้าและต้นไม้อเล็ก ๆ ออกจากพื้นที่ ทำความสะอาดพื้นที่ที่จะปลูก ใช้ไม้ซึ่งส่วนปลายมีลักษณะแหลมกดลงดินให้เป็นหลุมเล็ก ๆ ลึกประมาณ 3 cm ปากหลุมมีขนาดกว้างประมาณ 1 inch หยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวลงในหลุมโดยหยอด 5-8 เมล็ดต่อหลุม กลบดินที่บริเวณปากหลุม เมื่อฝนตกลงมาหรือเมื่อเมล็ดได้รับความชื้นจากดินจะทำให้เมล็ดเริ่มงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นอ่อนต่อไป เนื่องจากในพื้นที่สูงไม่มีน้ำขังและไม่มีชลประทาน การปลูกข้าวไร่จึงต้องใช้น้ำฝนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นพื้นดินที่ปลูกข้าวไร่จะแห้งและขาดน้ำทันทีเมื่อสิ้นฤดู ด้วยเหตุนี้การปลูกข้าวไร่จะต้องใช้พันธุ์ที่มีอายุเบา ปลูกในต้นฤดู และสามารถเก็บเกี่ยวได้ในปลายเดือนฤดูฝน ประเทศไทยมีการปลูกข้าวไร่มากในภาคเหนือและภาคใต้ [1]

2.1.1.1 ลักษณะพันธุ์ข้าวไร่

ดอกพะยอม (Dawk Pa-yawm) เป็นพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมือง ซึ่งได้มาจากการรวบรวมพันธุ์ข้าวไร่พื้นเมืองในพื้นที่ภาคใต้ ในระหว่างปี พ.ศ. 2502-2521 รับรองพันธุ์โดยคณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 7 ธันวาคม 2522 ข้าวไร่ดอกพะยอม เป็นพันธุ์ข้าวที่ไวต่อช่วงแสง เมล็ดข้าวมีลักษณะเรียวยาว ข้าวเปลือกมีสีจางกันจุด เมล็ดข้าวเปลือก ยาว 10.3 mm กว้าง 2.4 mm หนา 2.0 mm เมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.3 mm กว้าง 2.2 mm หนา 1.8 mm ลำต้นโตเต็มที่สูงประมาณ 150 cm ลำต้นมีสีเขียว ใบยาว ค่อนข้างแคบ การเก็บเกี่ยว ถ้าปลูกต้นเดือนมิถุนายนสามารถเก็บเกี่ยวได้ในปลายเดือนตุลาคม และถ้าปลูกปลายเดือนสิงหาคมสามารถเก็บเกี่ยวได้ปลายเดือนมกราคม (อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 145-150 วัน) ระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 2 สัปดาห์ มีปริมาณ Amylose 24% คุณภาพของข้าวเมื่อนำมาหุงสุกมีลักษณะ ร่วน นุ่ม มีกลิ่นหอม [2]

หอมเจ็ดบ้าน (Homjed ban) เป็นพันธุ์ข้าวไร่ที่ทางราชการแนะนำให้ปลูกในภาคใต้ ตั้งแต่ พ.ศ. 2523 จนมีปลูกมาถึงปัจจุบัน พันธุ์ข้าวไร่หอมเจ็ดบ้าน เปลือกเมล็ดสีฟาง ข้าวกล้องสีแดง มีปริมาณ Amylose 19.02% [3]

2.1.2 ข้าวเปลือกงอก (Germinated paddy)

ข้าวเปลือกงอก หรือ ข้าวฮาง เป็นข้าวแปรรูปที่ผลิตขึ้นตามภูมิปัญญาของชาวไทยอีสาน โดยการนำเอาข้าวเปลือกมาแช่น้ำไว้เพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอก จากนั้นจึงนำข้าวเปลือกมานึ่งและตากให้แห้ง และนำไปกะเทาะเปลือก [4] ทั้งนี้การนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำเพื่อกระตุ้นให้เกิดการงอกของข้าว ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดข้าวเกิดสารอาหารที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารแกมมาอะมิโนบิวทริกแอซิด หรือเรียกสั้นๆว่า สาร GABA ซึ่งจะเพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวโดยทั่วไป 2-7 เท่า [5]

2.1.2.1 วิธีการผลิตข้าวฮาง

วิธีการผลิตข้าวฮางโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนแรกการเพาะงอก เป็นขั้นตอนการกระตุ้นเมล็ดข้าวให้เกิดการงอก โดยนำข้าวมาแช่น้ำเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่งเมล็ดข้าวเกิดการงอกที่บริเวณจุกข้าว ซึ่งจะปรากฏเป็นตุ่มเล็กๆ ประมาณ 0.5-1 mm [6] ดังแสดงในภาพที่ 2.1

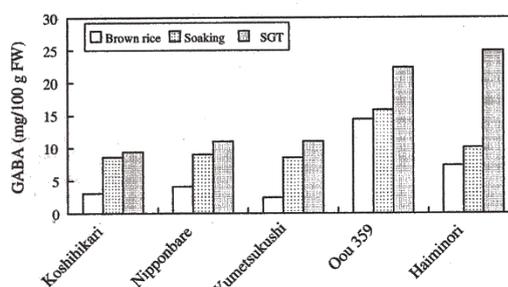


ภาพที่ 2.1 ตุ่มขนาดเล็กงอกจากบริเวณจุกข้าว

- ขั้นตอนที่สองการฆ่าเชื้อ เป็นขั้นตอนที่ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการเพาะงอก โดยนำข้าวงอกมาผ่านการลวกหรือนึ่งเพื่อฆ่าเชื้อ

- ขั้นตอนที่สามการอบแห้ง เป็นขั้นตอนในการลดความชื้นของเมล็ดข้าวให้อยู่ที่ระดับ 13-15% (d.b.) [7] ซึ่งเป็นระดับความชื้นที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา

วิธีการผลิตข้าวงอกดังกล่าวข้างต้น มีข้อแก้ไขที่ต้องปรับปรุงในเรื่องของปริมาณจุลินทรีย์บนเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในระหว่างการแช่น้ำ และกลิ่นการหมักที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่น้ำ ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์สำหรับผู้บริโภค นอกจากนี้วิธีการผลิตข้าวงอกดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากการต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำตลอดเวลาการเพาะงอกข้าว เพื่อลดกลิ่นการหมักและปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่ข้าว นอกจากนี้จากผลการศึกษาของ Komatsuzaki et al. (2007) [8] ซึ่งศึกษาถึงผลกระทบของวิธีการงอกที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อปริมาณสาร GABA โดยการศึกษาใช้วิธีการเพาะงอกข้าวที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ วิธี SGT (Soaking and gaseous treatment) เป็นการเพาะงอกข้าวโดยนำข้าวกล้องมาแช่น้ำ (Soaking treatment) เป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง จากนั้นนำข้าวกล้องไปบ่มในที่อับอากาศ (Gaseous treatment) และวิธีการแช่น้ำ (Soaking) เป็นการเพาะงอกข้าวโดยนำข้าวกล้องมาแช่น้ำจนกระทั่งเกิดการงอก ผลการศึกษา พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยวิธี SGT จะมีปริมาณสาร GABA มากกว่าข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยวิธีการแช่น้ำ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 เนื่องจากข้าวกล้องงอกที่ผลิตด้วยวิธี SGT จะมีปริมาณของ Glutamic acid เพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีการแช่น้ำ ซึ่ง Glutamic acid เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการผลิตสาร GABA



ภาพที่ 2.2 ปริมาณสาร GABA ที่ได้รับจากข้าวกล้องงอก (5 สายพันธุ์) ด้วยวิธีการแช่น้ำ และวิธี SGT [8]

2.1.2.2 สารอาหารในข้าวเปลือกงอก [9]

สาร GABA เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการ Decarboxylation ของกรดกลูตามิก GABA มีบทบาทสำคัญในการเป็น Neurotransmitter ในระบบประสาทส่วนกลาง สาร GABA สามารถใช้ในการรักษาโรคหรือบำบัดอาการเจ็บป่วยได้ เช่น โรควิตกกังวล โรคซึมเศร้า ช่วยในการทำงานของไตดีขึ้นและยังมีคุณสมบัติในการลดความดันโลหิต ช่วยป้องกันการทำลายสมองเนื่องจากสารเบต้าอไมลอยด์เปปไทด์ ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคอัลไซเมอร์ ช่วยบำบัดอาการนอนไม่หลับ [10] ช่วยในการไหลเวียนโลหิตในสมองดีขึ้น ช่วยยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง [11] และช่วยลดไขมันในเส้นเลือด นอกจากนี้ในข้าวเปลือกงอกยังมีสารอาหารอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น

- สารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลิก (Phenolic compounds) ช่วยยับยั้งการเกิดฝ้า และชะลอความแก่
- สารแกมมาออริซานอล (Gamma orizanol) ช่วยควบคุมระดับคอเลสเตอรอล และลดอาการผิดปกติของวัยทอง
- เยื่อใยอาหาร (Dietary fiber) ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันมะเร็งลำไส้ และลดอาการท้องผูก
- วิตามิน E สูง ช่วยกระจายออกซิเจนไปตามกระแสเลือด ชะลอความแก่ของเซลล์ ช่วยให้ผิวพรรณดี สดใส และป้องกันแคลเซียมเกาะผนังหลอดเลือด
- ธาตุเหล็ก ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง

2.1.3 การอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อให้ความชื้นภายในวัสดุเกิดการระเหย วิธีการอบแห้งโดยทั่วไปที่ง่ายที่สุดจะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า การอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งความร้อนถูกถ่ายเทสู่วัสดุด้วยการพา ความร้อนโดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุ และอากาศจะนำพาความชื้นที่ระเหยออกมาจากวัสดุออกไปทิ้งยังภายนอก ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจากวัสดุอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการระเหย นอกจากนี้ยังมีการอบแห้งในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งแตกต่างกันไปตามกลไกการถ่ายเทความร้อน เช่น การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดหรือไมโครเวฟ ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งด้วยการแผ่รังสี และการอบแห้งด้วยลูกกลิ้งร้อนที่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งด้วยการนำความร้อน โดยในการอบแห้งจะฉีดของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งไปยังลูกกลิ้งร้อน ทำให้ของเหลวแห้งติดอยู่บนลูกกลิ้ง จากนั้นจึงใช้ใบมีดขูดของเหลวที่แห้งออกจากลูกกลิ้ง

โดยทั่วไปในการอบแห้งเมล็ดพืชจะใช้วิธีการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อน โดยในการอบแห้งจะใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง อากาศร้อนที่เป่าผ่านเมล็ดพืชทำให้น้ำระเหยไปกับอากาศร้อนทางช่องระบายอากาศภายในห้องอบแห้ง สำหรับการเลือกใช้อุณหภูมิของอากาศจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน และวิธีที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้ โดยไม่ทำให้คุณภาพของเมล็ดพืชเสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็ว ส่งผลให้เครื่องอบแห้งมีขนาดเล็ก ทำให้การลงทุนต่ำ เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจจะสามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดตามการเคลื่อนที่ของเมล็ดพืช คือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลจะมีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงกว่าแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่และมีการกระจายความชื้นของเมล็ดพืชที่สม่ำเสมอ

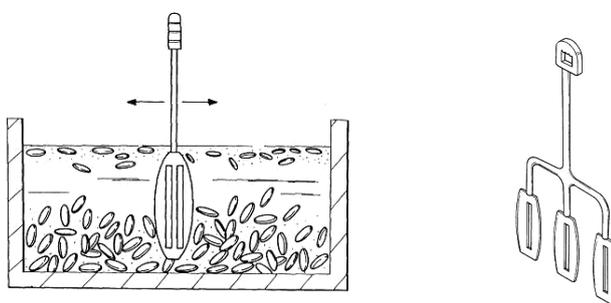
2.1.3.1 การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจน

การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนเป็นเทคนิคการอบแห้งที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องอบแห้งอาหารในครัวเรือนเนื่องจากสะดวกในการใช้งาน และไม่มีอันตรายจากการแผ่รังสีเหมือนกับเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนเป็นการใช้ความร้อนจากหลอดฮาโลเจนในการอบแห้ง โดยใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตน ซึ่งความร้อนจะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของรังสีอินฟราเรดเช่นเดียวกับหลอด Incandescent ต่างกันตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน โบรมีน และฟลูออรีน ลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ เพื่อป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังส่งผลให้หลอดมีอายุยาวนานขึ้น เนื่องจากไอระเหยของทังสเตนเมื่อรวมกับฮาโลเจนจะกลายเป็นทังสเตนฮาไลด์ (Tungsten halide) แทนที่ทังสเตนจะไปเกาะที่ผิวกระเปาะหลอดไฟตามใน เมื่อถูกความร้อนทังสเตนจะกลับไปเกาะที่ไส้หลอดได้อีก

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Banchuen และคณะ [12] ศึกษาหาสภาวะการงอกที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ปริมาณสาร GABA สูงที่สุดสำหรับข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุง และเฉียงพัทลุง ผลการศึกษา พบว่า การทำข้าวกล้องงอกด้วยการนำมาแช่ใน Citrate buffer ที่ pH 3 อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 h จากนั้นนำมาห่อในผ้าบางๆเพื่อรักษาความชื้น และนำมาเพาะงอกในภาชนะปิดสนิท (อากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปในกล่องได้) เป็นเวลา 36 h ทำให้ปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอกสังข์หยดพัทลุง และเฉียงพัทลุงเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยเพิ่มขึ้นจาก 2.66 เป็น 44.53 mg/100 g ข้าวกล้อง และ 3.09 เป็น 29.25 mg/100 g ข้าวกล้อง ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเพาะงอกในภาชนะเปิด (ฝากล่องเจาะรูให้อากาศผ่านเข้าไปในกล่องได้) ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสาร GABA จาก 2.66 เป็น 26.88 mg/100 g ข้าวกล้อง สำหรับในข้าวกล้องงอกสังข์หยดพัทลุง และเพิ่มขึ้นจาก 3.09 เป็น 22.98 mg/100 g ข้าวกล้อง สำหรับในข้าวกล้องงอกเฉียงพัทลุง ซึ่งข้าวกล้องงอกที่เพาะงอกในภาชนะปิดมีปริมาณสาร GABA เพิ่มขึ้นมากกว่าข้าวกล้องงอกที่เพาะงอกในภาชนะเปิด (กล่องพลาสติกเปิดฝา) เนื่องจาก Glutamic acid สามารถถูกสังเคราะห์ได้ดีในสภาวะอับอากาศ ทำให้สามารถผลิตสาร GABA ได้มากขึ้น

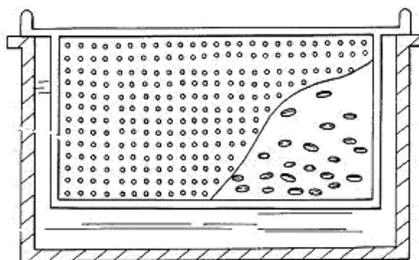
Se-Soon Jang [13] ได้นำเสนอวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกจากข้าวเปลือก โดยเริ่มต้นจากนำข้าวเปลือกมาแช่ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงและทำการกวนด้วยอุปกรณ์กวน ดังแสดงในภาพที่ 2.3



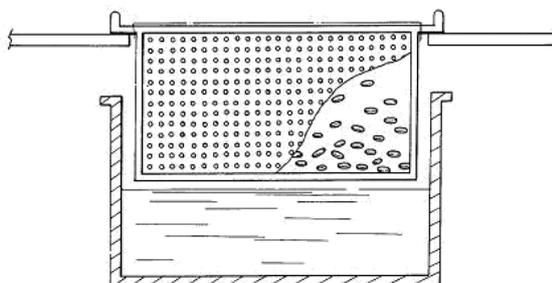
ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์กวน [13]

การกวนเป็นวิธีการคัดเลือกเมล็ดข้าวที่แข็งแรงและพร้อมที่จะงอก โดยเมล็ดที่แข็งแรงจะจมลงสู่ด้านล่าง ส่วนเมล็ดที่ไม่แข็งแรงพอที่จะทำการงอกจะลอยขึ้นสู่ด้านบน นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวจะช่วยปกป้อง

เปลือกบนเมล็ดข้าวเปลือก ทำให้ได้เมล็ดข้าวกล้องที่แข็งแรงพร้อมจะนำไปทำการงอก เมล็ดข้าวกล้องจะถูกนำไปใส่ในตะแกรงเหล็ก และนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 12–18°C เป็นเวลา 6-10 h หลังจากนั้นจะเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเป็น 20–32°C ขึ้นตอนทั้งหมดเป็นขั้นตอนเพื่อเตรียมการงอก (Pre-germinating) ของเมล็ดข้าว ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ข้าวกล้องที่ผ่านขั้นตอนเตรียมการงอกแล้ว จะถูกนำขึ้นมาจากน้ำและผึ่งลมเป็นเวลา 2-5 h เพื่อให้เกิดการงอก (Germinating) โดยการยกตะแกรงเหล็กขึ้นมาสูงจากน้ำประมาณ 1 cm ดังแสดงในภาพที่ 2.5 หลังจากนั้นนำข้าวกล้องมาแช่น้ำเกลือที่อุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 8-24 h นำข้าวกล้องมาผึ่งลมสลับกับการแช่น้ำเกลือ จนกระทั่งสังเกตว่าไม่มีการเกิดฟองอากาศขึ้นในระหว่างการแช่ข้าวกล้อง นำข้าวกล้องมาผึ่งลม 26-32°C และแช่น้ำเกลือที่อุณหภูมิเดียวกัน จนกระทั่งสังเกตเห็นการงอกจากเมล็ดข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอกที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น และสามารถนำมาหุงต้มได้ด้วยวิธีการเดียวกันกับที่ใช้ในการหุงต้มข้าวขาว ซึ่งจะได้ข้าวที่เหนียว นุ่ม มีรสหวาน มีคุณค่าทางโภชนาการสูง



ภาพที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่ข้าว [13]



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการทำให้ข้าวงอกด้วยการผึ่งลม [13]

วัฒนา และคณะ [14] ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาของการแช่ข้าวต่อคุณภาพของข้าวกล้องงอก โดยศึกษาจากพันธุ์ข้าวดอกมะลิและข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 จากการทดลองพบว่า pH ของน้ำ อุณหภูมิ และ เวลาในการแช่น้ำมีผลต่อปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอก ทั้ง 2 พันธุ์ โดยมีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นภายหลังการงอก สภาวะที่ดีที่สุดที่ทำให้ข้าว GBR ทั้ง 2 พันธุ์ มีปริมาณ GABA สูงสุด คือ การแช่น้ำที่อุณหภูมิ 35°C และเวลาการแช่น้ำ 24 h

จักรพงษ์ และคณะ [15] ศึกษาผลกระทบของวิธีการงอกและระยะเวลาการงอกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวเปลือกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 โดยจัดทดลองแบบ

2×8 แพคต่อเรียลในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ในการทดลองใช้วิธีการงอก 2 วิธี คือ การงอกโดยการแช่น้ำ และการงอกบนผ้าขาวบางเปียก และใช้ระยะเวลาการงอก 12 24 36 48 72 84 และ 96 h ทำการงอกที่อุณหภูมิ $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ผลการศึกษาพบว่า วิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกได้แป้งข้าวกล้องที่มีน้ำตาลรีดิวซ์สูงชันมากกว่าวิธีการแช่น้ำ เมื่อระยะเวลาการงอกเพิ่มมากขึ้นน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นแต่ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวของแป้งข้าวกล้องงอกของทั้ง 2 วิธีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และวิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกได้แป้งข้าวกล้องงอกที่มีกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (GABA) สูงกว่าการงอกโดยวิธีการแช่น้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่ช่วงระยะเวลาการงอก 24-60 h แต่ที่ระยะเวลาการงอก 96 h การงอกโดยการแช่น้ำได้ GABA สูงกว่าวิธีการงอกบนผ้าขาวบางเปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Capanzana และคณะ [16] ได้ศึกษาวิธีการเพาะงอกข้าวสาลีพันธุ์อะไมโลสสูงด้วยวิธีการตอบสนองต่อพื้นผิว เพื่อศึกษาเวลาในการเพาะงอกและอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่ออะไมโลสและปริมาณวิตามิน B ของแป้ง ผลการศึกษาสภาวะการเพาะงอกพบว่า ปริมาณอะไมโลสและปริมาณวิตามิน B ของแป้งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญตามสภาวะการงอกที่เปลี่ยนแปลงไป สภาวะการงอกที่ดีที่สุดสำหรับข้าวอะไมโลสสูง คือ แช่น้ำเป็นเวลา 24 h ที่ 25°C หรือ 16 h ที่ 35°C และเวลาการเพาะงอก 3 วัน ที่อุณหภูมิ 30°C

วรินทร์ และสุนัน [17] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งกายภาพและทางเคมีของข้าวกล้องที่ผ่านกระบวนการงอก ในการศึกษาใช้ข้าวพันธุ์ดอกมะลิ ซึ่งเป็นข้าวในกลุ่มอะไมโลสต่ำ กระบวนการงอกถูกออกแบบการทดลองโดยศึกษา 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการแช่ข้าวกล้องในน้ำ กระบวนการบ่ม และกระบวนการลดความชื้น ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการแช่และการบ่ม ควรแช่ข้าวกล้องในน้ำที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 4 h ร่วมกับการบ่มที่อุณหภูมิ 40°C ความชื้นสัมพัทธ์ 90% เป็นเวลา 20 h จากนั้นจึงนำมาลดความชื้นจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 12-13% (w.b.) ซึ่งพบว่าปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (GABA) ของข้าวกล้องงอกลดลง เมื่ออุณหภูมิในการลดความชื้นสูงชัน อย่างไรก็ตามปริมาณของกรดแกมมาอะมิโนบิวทริก (GABA) ที่เหลืออยู่นั้นยังคงมากกว่า ข้าวกล้องที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการงอก

Gulum และคณะ [18] ได้ศึกษาการอบแห้งขึ้นแครอทโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับหลอดฮาโลเจนและอากาศร้อน ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของระดับพลังงานไมโครเวฟลดเวลาการอบแห้งได้สูงที่สุด และการอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนร่วมกับไมโครเวฟลดเวลาการอบแห้งลง 98% เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งทั่วไป นอกจากนี้ในกรณีของการอบแห้งด้วยหลอดฮาโลเจนร่วมกับหลอดไมโครเวฟระดับความชื้นลดลงในระดับที่ต่ำ และแครอทมีการเปลี่ยนสีน้อยกว่า

วัชรินทร์ [19] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในอุตสาหกรรมอาหารเพื่ออธิบายหลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม สำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่จะใช้ในการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการต่างๆ เช่น การคั่ว และการอบแห้ง เป็นต้น จากการศึกษาพบว่ารังสีอินฟราเรดมีลักษณะเด่น คือ สามารถถ่ายความร้อนสู่อาหารได้อย่างมี

ประสิทธิภาพจึงช่วยลดเวลาของกระบวนการและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากนี้ผลิตผลหลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วมีคุณภาพดี

อภินันท์ และคณะ [20] ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่มีต่อสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของเห็ดนางฟ้าภูฐานระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดแบบถังหมุน ในการศึกษาใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 70 80 และ 90°C ผลการศึกษาพบว่า ความชื้นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง ความชื้นที่ลดต่ำลงมีผลทำให้ค่าความสว่าง (L^*) ลดลง

อุไรวรรณ และสุภารัตน [21] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาการแช่ และเวลาการเพาะที่มีผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในข้าวกล้องงอก โดยนำข้าวกล้องแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 และ 40°C เป็นเวลา 3 6 9 และ 12 h จากนั้นนำมาเพาะเป็นเวลา 0 6 12 18 24 30 และ 36 h ก่อนนำไปอบแห้ง และทำการวัดฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก ผลการศึกษาพบว่า การแช่ข้าวที่ 30 และ 40°C มีร้อยละการงอกของเมล็ดอยู่ในช่วง 55-85 และ 56-83 ตามลำดับ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 92.65-94.78% และ 93.81-95.38% ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มี Interaction ระหว่างปัจจัย แต่พบผลของปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิและเวลาการเพาะ โดยพบว่า ข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 40°C มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวที่แช่น้ำอุณหภูมิ 30°C ด้านผลของการเพาะ พบว่า ข้าวกล้องงอกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพาะเป็นเวลา 18 h ขึ้นไป ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการงอกของข้าวกล้องที่มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ คือ อุณหภูมิแช่น้ำ 40°C ระยะเวลาการแช่ 3 h และระยะเวลาการเพาะที่ 18 h

จารุรัตน์ [22] ได้ศึกษาผลของกระบวนการแช่และกระบวนการงอกของข้าวกล้อง (หอมมะลิ 105) ต่อปริมาณสาร GABA ในข้าวกล้องงอก พบว่า การงอกข้าวกล้องที่อุณหภูมิ 40°C นาน 36 h มีปริมาณ GABA สูงสุด ในขณะที่ปริมาณกลูตาเมตน้อยที่สุด (96.83 และ 453.27 mg/100g น้ำหนักแห้งตามลำดับ) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวกล้องหอมมะลิ 105 ที่ไม่ผ่านการแช่ (ปริมาณ GABA 10.55 mg/100g น้ำหนักแห้ง) ดังนั้นการเพาะข้าวกล้องให้งอกที่อุณหภูมิ 40°C นาน 36 h มีผลให้มีปริมาณ GABA สูงขึ้นประมาณ 9.2 เท่า

แสงทิวา และคณะ [23] ได้ศึกษาผลของกระบวนการแช่และการงอกต่อปริมาณของสาร Gamma-amino butyric acid (GABA) ในข้าวเหนียวดำหรือข้าวกำแพงชัยดอยสะเก็ด ข้าวเจ้ากำแพงชัยหอมนิล เปรียบเทียบกับข้าวเจ้าขาวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาในการแช่ข้าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสาร GABA ของข้าวแต่ละพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยข้าวที่ไม่ผ่านการแช่มีสาร GABA ในเมล็ดอยู่แล้วและสารดังกล่าวมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาแช่ข้าว 4 8 และ 12 h ซึ่งมีสารกาบาสูงสุดในข้าวเจ้าพันธุ์หอมนิล รองลงมาคือพันธุ์กำแพงชัยดอยสะเก็ด และขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการเพาะเมล็ดให้งอกนาน 12 24 และ 36 h มีผลต่อการสะสมสาร GABA ซึ่งการเพาะนาน 24 h มีผลให้ค่าเฉลี่ยจากข้าวทุกพันธุ์มีสาร GABA สูงสุด อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์ข้าวและช่วงเวลาการเพาะมีผลต่อการสังเคราะห์กาบาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยในข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิมีการสะสมเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่าหลังจากบ่มเพาะนาน 24 h ซึ่งสูงกว่าข้าวพันธุ์อื่นๆ และเพิ่มขึ้นเป็น 26.38

มิลลิกรัม/100 กรัมเมื่อเพาะนาน 36 h ในขณะที่พันธุ์หอมนิลมีการสะสมสาร GABA ลดลงเมื่อเพาะนาน 36 h แต่ไม่แตกต่างกันในพันธุ์ก่ำตอยสะเกิด

Kayahara และ Tsukahara [24] ได้รายงานว่าข้าวกล้องงอกมี GABA มากกว่าข้าวขัดสีถึง 10 เท่า มีใยอาหาร วิตามินอี (สารต้านอนุมูลอิสระ) ไนอะซิน และไลซีนมากกว่า 4 เท่า และมีวิตามินบี 1 บี 6 และแมกนีเซียมมากกว่า 3 เท่า ซึ่งไลซีนช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า การผลิตข้าวงอกด้วยการแช่น้ำควรแช่ที่อุณหภูมิ 40°C เนื่องจากจะให้สาร GABA ในปริมาณที่สูง และในการอบแห้งข้าวงอกควรใช้หลอดฮาโลเจนเพื่อช่วยเร่งกระบวนการอบแห้งและสามารถรักษาคุณภาพของข้าวงอกหลังการอบแห้ง

2.3 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) [25]

ภายในเครื่องผลิตข้าวงอกมีทั้งกระบวนการแช่ และกระบวนการอบแห้ง ซึ่งต้องใช้ความร้อนในแต่ละกระบวนการ ดังนั้นจึงมีการถ่ายเทความร้อนในหลายรูปแบบภายในเครื่องผลิตข้าวงอกดังต่อไปนี้

2.3.1 การนำความร้อน (Conduction heat transfer)

การนำความร้อน คือ การส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวกลาง โดยส่งผ่านพลังงานจากด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยอัตราการถ่ายความร้อนสามารถหาได้จากสมการฟูเรียร์ดังแสดงในสมการ (1)

$$Q_x = -kA (dT/dX) \quad (1)$$

เมื่อ

Q_x คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (m^2)

k คือ ค่าการนำความร้อน ($W/m.K$)

dT/dX คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวกลางตามทิศทางแกน X (K/m)

2.3.2 การพาความร้อน (Convection heat transfer)

การพาความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) จะเคลื่อนมาแทนที่ ทำให้เกิดการพาความร้อนออกไป ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการ (2)

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad (2)$$

เมื่อ

Q_{conv} คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการพา (W)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient) ที่สัมผัสของไหลกับวัตถุ ($W/m^2 \cdot K$)

A คือ พื้นที่ของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_s คือ อุณหภูมิของผิววัตถุ (K)

T_f คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล (K)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเป็นคุณสมบัติที่ได้จากการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมีหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ ลักษณะการไหลของของไหล และคุณสมบัติของของไหล เป็นต้น

2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งไม่ต้องใช้ตัวกลางในการส่งผ่านความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$Q_{rad} = \epsilon \sigma A T_A^3 \quad (3)$$

เมื่อ

Q_{rad} คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนด้วยการแผ่รังสี (W)

ϵ คือ ค่าการแผ่รังสี (Emissivity)

A คือ พื้นที่ของวัตถุที่แผ่รังสี (m^2)

σ คือ ค่าคงที่ Stefan Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)

T_A คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุแผ่รังสีความร้อน (K)

ค่าการแผ่รังสีเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุที่แผ่รังสี ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น รูปร่างของวัตถุ และลักษณะพื้นผิว เป็นต้น

2.4 การคำนวณแรงบิด และกำลังของมอเตอร์ [26]

2.4.1 แรงบิด

แรงบิด (Torque, T) คือ แรงบิดของแกนหมุนใด ๆ มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร ($N \cdot m$) การคำนวณแรงบิด หาได้จาก สมการ (4)

$$T = F \times r \quad (4)$$

เมื่อ

T คือ แรงบิด ($N \cdot m$)

F คือ แรงที่มากระทำ (N)

r คือ ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนถึงแนวแรง (m)

2.4.2 กำลังของมอเตอร์

เมื่อมีแรง F นิวตัน กระทำกับเพลลาทำให้เพลลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลลาหมุนไป 1 รอบสามารถคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ดังสมการ (5)

$$S = 2 \times (22/7) \times r \quad (5)$$

เมื่อ

S คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ (m)

r คือ รัศมีของเพลลา (m)

งานในการหมุนเพลลา 1 รอบ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (6)

$$W_F = F \times 2 \times (22/7) \times r \quad (6)$$

ถ้าเพลลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณงานในการหมุนเพลลาได้ดังสมการ (7)

$$W_F = F \times 2 \times (22/7) \times r \times n \quad (7)$$

เพราะฉะนั้นการคำนวณหา กำลังมอเตอร์สามารถคำนวณได้ดังสมการ (8)

$$P = 2 \times (22/7) \times T \times n/60 \quad (8)$$

เมื่อ

P คือ กำลังในการหมุนเพลลา (W)

T คือ แรงบิด (N*m)

n คือ ความเร็วรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)

2.5 การหาปริมาณความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบ่งบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลวัสดุชื้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงออกเป็น 2 แบบ คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก M_w เป็นความชื้นที่นิยมใช้ในการค้า สามารถคำนวณได้ดังสมการ (9)

$$M_w = (w - d)/w \quad (9)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง M_d เป็นความชื้นที่นิยมใช้ในงานวิจัย เนื่องจากมวลวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาในการอบ ความชื้นมาตรฐานแห้งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (10)

$$M_d = (w - d)/d \quad (10)$$

เมื่อ

w คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

2.6 อัตราการอบแห้ง

ในกรณีที่อากาศไหลผ่านวัสดุขึ้น ตัวอากาศร้อนจะทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุและพาความชื้นออกไปด้วย ถ้าอากาศร้อนนั้นมีอุณหภูมิและความชื้นคงที่จะพบว่ามีการอบแห้งเกิดขึ้นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกอัตราการอบแห้งจะคงที่ โดยในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่จำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งถ้าสภาวะสิ่งแวดล้อมมีค่าคงที่จะทำให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อออกไปจนกระทั่งถึงความชื้นค่าหนึ่ง จะพบว่าอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลง เรียกช่วงนี้ว่า อัตราการอบแห้งลดลง และเรียกความชื้นที่จุดนี้ว่าความชื้นวิกฤต ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงอิทธิพลของอากาศภายนอกจะลดลงด้วย และอัตราการอบแห้งจะถูกควบคุมโดยอัตราการเคลื่อนที่ของของน้ำภายในเนื้อวัสดุ

2.6.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate drying period)

จากภาพที่ 2.6 ในช่วง A ถึง B ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากการระเหยของน้ำที่ผิวเร็วกว่าการแพร่ของความชื้นภายในวัสดุมายังผิวของวัสดุ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของผิวมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ T_{wb} และความเข้มข้นของน้ำที่ผิววัสดุคงที่ ดังนั้นอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวจะเป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง ถ้า P_{wb} คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก, P คือ ความดันย่อยของไอในอากาศ และ K_p คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (kg/s.m^2) ดังนั้นค่าอัตราการระเหยของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ผิววัสดุ (N) ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่แสดงได้ดังสมการ (11)

$$N = K_p(P_{wb} - P) \quad (11)$$

เมื่ออุณหภูมิที่ผิวของวัสดุไม่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ แสดงว่าความร้อนทั้งหมดถูกถ่ายโอนไปยังวัสดุเพื่อใช้ระเหยในการกลายเป็นไอ จากสมการ (11) สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการ (12)

$$N = (h_p/\lambda) \times (T - T_{wb}) \quad (12)$$

โดยที่

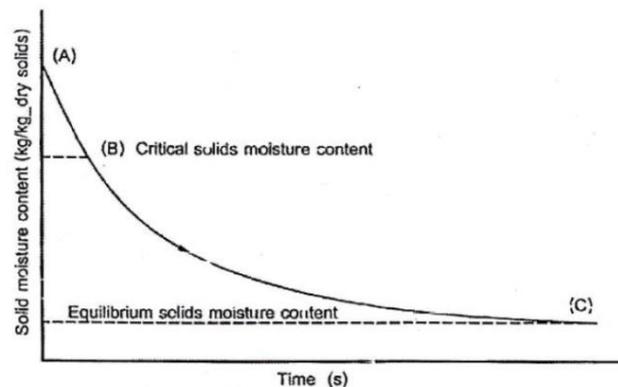
h_p คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปสู่วัสดุ ($\text{kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

λ คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ ($^\circ\text{C}$)

2.6.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate drying period)

จากภาพที่ 2.6 ช่วง B ถึง C หลังจาก que ความชื้นบริเวณผิวหน้าของวัสดุถูกระเหยออกไปมากแล้วอัตราการอบแห้งจะเริ่มเปลี่ยนแปลงจากช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่ตำแหน่ง B นี้เรียกว่า ความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ในอัตราการอบแห้งลดลงนั้น ความชื้นภายในวัสดุจะแพร่กระจายมาที่ผิวของวัสดุ และอุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทให้กับวัสดุถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับวัสดุส่วนหนึ่ง จึงมีความร้อนเพียงบางส่วนเท่านั้นที่ใช้ในการระเหยน้ำ



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของแข็งและเวลาในการอบแห้ง [27]