

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ผูกพันกับการดำรงชีวิตของคนไทยมาโดยตลอด ความนิยมในการบริโภคก๋วยเตี๋ยวมิเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากธุรกิจการค้าขายก๋วยเตี๋ยวที่มีการเติบโตสูงขึ้นในปัจจุบัน จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์สันนิษฐานว่า ก๋วยเตี๋ยวในประเทศไทยได้เริ่มประมาณสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยมีการติดต่อกับชาวต่างชาติ รวมถึงชาวจีนซึ่งเป็นชนชาติที่นำก๋วยเตี๋ยวเข้ามาในประเทศไทย นอกจากนี้ในสมัยที่จอมพล ป. พิบูลย์สงคราม เป็นนายกรัฐมนตรี ได้มีนโยบายรัฐนิยมที่สนับสนุนให้คนไทยบริโภคก๋วยเตี๋ยว เพื่อเป็นการแก้ไขเศรษฐกิจของชาติในขณะนั้นด้วย (เบญจพล, 2547)

ก๋วยเตี๋ยว คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำแป้งข้าวเจ้าที่มีความเข้มข้นเหมาะสมมาทำให้ร้อน ในขณะที่น้ำแป้งมีลักษณะเป็นฟิล์มบางจนเกิดการเจลาทิไนเซชัน แล้วจึงลดความชื้นส่วนเกินลงจนได้แผ่นแป้งที่มีความคงตัว ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ คือ ข้าววัตถุดิบที่นำมาผลิตแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากในปัจจุบันผู้ผลิตไม่สามารถควบคุมคุณภาพวัตถุดิบให้สม่ำเสมอได้ เพราะข้าวหรือข้าวหักที่ใช้เป็นวัตถุดิบนั้นเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ซึ่งมักรวมพันธุ์ข้าวต่างชนิดเข้าด้วยกัน ข้าวต่างสายพันธุ์จะมีปริมาณอะมิโลสภายในเมล็ดแตกต่างกัน จึงมีผลต่อคุณภาพของก๋วยเตี๋ยว โดยข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสมากกว่าร้อยละ 20 จะทำให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของเส้นก๋วยเตี๋ยวมີค่าสูงขึ้น (Tatsumi *et al.*, 2001)

ก๋วยเตี๋ยวสามารถแบ่งตามลักษณะของเส้นได้ 4 ชนิด คือ (ณรงค์, 2538; วิภา, 2541)

1. เส้นก๋วยเตี๋ยวดก เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการนำแผ่นก๋วยเตี๋ยวมานั่นเป็นเส้น โดยไม่ผ่านการทำแห้ง อาจเป็นเส้นเล็กหรือเส้นใหญ่ก็ได้ เส้นเล็กมีขนาดกว้างประมาณ 0.4-0.5 เซนติเมตร สำหรับเส้นใหญ่มีขนาดกว้างประมาณ 1.5-2.5 เซนติเมตร มีความชื้นประมาณร้อยละ 62-64 เป็นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บได้ไม่นาน ต้องรับประทานภายใน 1-2 วัน

2. เส้นก๋วยเตี๋ยวเล็กกึ่งแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการอบแห้ง และผึ่งลมมาบ้าง เพื่อลดความชื้นลง ก๋วยเตี๋ยวชนิดนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 37 ปกติเก็บรักษาได้เพียง 2-3 วันเท่านั้น

3. เส้นก๋วยเตี๋ยวเล็กแห้ง เป็นก๋วยเตี๋ยวที่มีการตัดเส้น จากนั้นทำให้แห้งจนมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13 ทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานในสภาวะที่เหมาะสม

4. แผ่นก้วยจับ เป็นก้วยเดี่ยวที่หนึ่งให้สุกเพียงครึ่งเดียวของความหนา แล้วตัดให้มีขนาด 3.0-3.5 เซนติเมตร มักเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 เมื่อนำมาต้มสุกจะม้วนเป็นหลอด

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นก้วยเดี่ยว

1. ข้าวเจ้า

ข้าวมีแหล่งกำเนิดในเอเชียอาคเนย์แล้วแพร่หลายไปยังยุโรปและญี่ปุ่น ข้าวที่ปลูกในปัจจุบันมีวิวัฒนาการมาจากข้าวที่ขึ้นเอง โดยการคัดเลือกพันธุ์ของคนและธรรมชาติจนได้พันธุ์ที่มีเมล็ดโต ร่วงยาก ข้าวเจริญได้ดีในดินที่แตกต่างกันมาก เช่น บนพื้นที่ราบสูง ที่ราบลุ่มมีน้ำขัง หรือแม้กระทั่งบริเวณที่มีดินเค็มจัด และเจริญได้แม้ในแถบที่มีอากาศค่อนข้างหนาวอีกด้วย ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มีการปลูกข้าวกันอย่างแพร่หลาย

ข้าวมีเมล็ดแบ่งที่มีขนาดเล็กเพียง 3-5 ไมครอน โดยมีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือหลายเหลี่ยม องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเป็นคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 90 ซึ่งเป็นสตาร์ชเกือบทั้งหมด นอกจากนี้ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 7 ไขมันร้อยละ 1.5 และเป็นวิตามิน เกือบแรม และสารอาหารอื่นอีกร้อยละ 1.5 โดยสตาร์ชในเมล็ดข้าวประกอบด้วยอะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกติน (amylopectin) ซึ่งเป็นสายของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวต่างกันที่สายโซ่อะมิโลสไม่แตกแขนงเป็นกิ่งก้านสาขาเหมือนอะมิโลเพกติน โดยขนาดและน้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสจะน้อยกว่าอะมิโลเพกติน และสัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกตินจะขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ชนั้นๆ (อรอนงค์, 2547) โดยข้าวสามารถจำแนกประเภทออกได้ตามปริมาณอะมิโลส ได้แก่ ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำ (ร้อยละ 10-19) ข้าวเจ้าอะมิโลสปานกลาง (ร้อยละ 20-25) และข้าวเจ้าอะมิโลสสูง (ร้อยละ 26-34) (งามชื่น, 2538)

ข้าวเจ้าที่ใช้ในการผลิตก้วยเดี่ยวมีผลต่อคุณภาพเส้นก้วยเดี่ยวมาก โดยปกติแล้วข้าวที่ใช้จะเป็นข้าวเจ้าเมล็ดแข็ง มีปริมาณอะมิโลสสูงระหว่างร้อยละ 27-33 (อรอนงค์, 2547) โดยเมล็ดหรือข้าวเปลือกหลังจากที่ได้เก็บเกี่ยวมาแล้วควรเก็บไว้นานประมาณ 6 เดือนขึ้นไป ซึ่งจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 20 จากนั้นนำมาตากแดดแห้งหรืออบด้วยเครื่องทำแห้ง จนความชื้นเหลือร้อยละ 12 ซึ่งถ้าน้อยกว่านี้เวลาสีข้าวจะทำให้ข้าวหักมาก แต่ถ้าความชื้นสูงกว่านี้จะทำให้เก็บข้าวได้ไม่นาน เพราะจะมีราเกิดขึ้นได้ง่าย จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้มาเข้าเครื่องสี จะได้ข้าวสารขาวและข้าวหัก ซึ่งข้าวหักนี้จะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเส้นก้วยเดี่ยวต่อไป

2. น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผลิตควรเป็นน้ำสะอาดเหมาะสำหรับการบริโภค ปราศจากสารแขวนลอย มีความกระด้างต่ำ มีคลอรีน 0.2-0.5 ส่วนในล้านส่วน ความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 5.0-7.0 ซึ่งจะให้เจลที่มีความเหนียวสูงสุด ถ้ามีความเป็นกรด-เบสสูงหรือต่ำกว่านี้ เจลจะมีความเหนียวน้อยลง เนื่องจากโมเลกุลแป้งแตกตัว นอกจากนี้ น้ำที่ใช้ไม่ควรมีเกลือแคลเซียมหรือแมกนีเซียมมากเกินไป เพราะเกลือทั้งสองนี้มีผลทำให้เม็ดแป้งแตกตัวยาก และถ้ามีเหล็กหรือสารแขวนลอยอยู่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (ณรงค์, 2538; วิภา, 2541)

3. สารเคมี

โซเดียมหรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตก๋วยเตี๋ยวนั้นมีจุดประสงค์เพื่อรักษาหรือฟอกสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวมากกว่าเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ ซึ่งซัลเฟอร์มีผลต่อสปอร์เชื้อราและแบคทีเรียมากกว่ายีสต์ ดังนั้นเมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมเบนโซเอตซึ่งมีผลต่อยีสต์จึงสามารถป้องกันการเน่าเสียได้ดี โดยทั่วไปซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะระเหยไปกับไอน้ำถึงร้อยละ 90 สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้มีได้ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ น้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับกรดเบนโซอิกหรือโซเดียมเบนโซเอตถือว่าเป็นสารเคมีที่ใช้ได้ผลดี ถ้าอยู่ในรูปของเกลือจะละลายน้ำได้ดีกว่าอยู่ในรูปของกรด กรดเบนโซอิกจะช่วยป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย แต่จะทำให้สีอาหารเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วจึงใช้ร่วมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยปริมาณกรดเบนโซอิกหรือโซเดียมเบนโซเอตที่อนุญาตให้ใช้ได้ทั่วไปไม่เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วน

4. น้ำมันที่ใช้เคลือบแผ่นก๋วยเตี๋ยว

ต้องเป็นน้ำมันที่บริโภคได้ มีคุณภาพดี ไม่มีกลิ่นเหม็นหืน และไม่ควรเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิสูง โดยปกติโรงงานอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวมักใช้น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันถั่วลิสง ทั้งนี้ น้ำมันที่ผ่านการใช้แล้วไม่ควรนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตซ้ำอีก (กัลยาณี, มปป.)

กรรมวิธีการผลิตก๋วยเตี๋ยว

1. การทำความสะอาด ข้าวหรือข้าวหักที่ซื้อมาเป็นวัตถุดิบมักจะมีสิ่งเจือปนและสิ่งสกปรกมาด้วย อาจจะมีกรวดเศษผงต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเอาสิ่งสกปรกออก โดยใช้เครื่องจักรหรือด้วยแรงคนขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงานที่ทำการผลิต

2. การล้างข้าวและการแช่ข้าว เนื่องจากข้าวที่ใช้ในการผลิตมีสิ่งเจือปนมาก โดยเฉพาะกรวดทราย ผุ่นละออง ก่อนล้างควรผ่านตะแกรงร่อนแยกเอาสิ่งเหล่านี้ออกก่อน การล้างควรใช้น้ำมากๆ และคนอยู่เสมอ อัตราส่วนของน้ำต่อเมล็ดข้าวที่ใช้อยู่ระหว่าง 2.5:1-4:1 ขึ้นอยู่กับสิ่งสกปรก

การล้างควรทำอย่างรวดเร็ว ล้างจนน้ำที่ล้างใส บางโรงงานใช้อะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ผสมช่วยให้สีขาวและตกตะกอนสิ่งที่ถูกขัดแยกออกมา และแช่ขาวที่ล้างแล้วด้วยน้ำสะอาดเช่นกัน เมื่อขาวอ่อนตัวจะไม่ได้ง่าย การล้างแบบเก่าจะใช้แรงงานคนโดยใช้มือถู การล้างแบบนี้จะไม่สะอาดพอและเสียเวลา ในปัจจุบันจึงนิยมใช้เครื่องล้าง ซึ่งจะทุ่นแรงและเป็นการล้างที่สมบูรณ์ขึ้น เพราะเครื่องล้างจะขัดสีผิวของเมล็ดข้าวขณะที่หมุนซึ่งใช้เวลาครั้งละ 10-15 นาที ถ้าเมล็ดข้าวสะอาดแล้วอาจจะล้างเพียง 3 ครั้ง การล้างต้องขัดสีข้าวให้ขาวปราศจากเศษรำที่ติดอยู่ เมล็ดข้าวที่ล้างสะอาดจริงๆ เมื่อนำไปเข้ากรรมวิธีจะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ขาวสะอาด ไม่เปื่อยยุ่ย หรือไม่ขาดง่าย ถ้านำมาผลิตก๋วยเตี๋ยวอบแห้งจะเก็บได้นาน ไม่เหม็นหืนง่าย เนื่องจากไขมันถูกล้างออกเป็นส่วนใหญ่

3. การไม่ วิธีการไม่ข้าวมีผลต่อความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว วิธีการไม่มี 2 วิธี คือ การไม่แห้ง และการไม่เปียก ในการไม่แห้งเม็ดแป้งไม่แตกมากทำให้คูดน้ำช้า เส้นก๋วยเตี๋ยวจะขาดง่าย แต่ถ้าไม่เปียกโดยผสมน้ำในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เม็ดแป้งจะแตกละเอียดคูดน้ำได้เร็ว ทำให้อะมิโลสและอะมิโลเพกตินจับตัวกันได้ดี เส้นก๋วยเตี๋ยวจะเหนียว อุปกรณ์ที่ใช้ไม่ส่วนใหญ่เป็น โม่หินที่หมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า (มีผลให้เม็ดแป้งแตกตัวได้มาก) ซึ่งสามารถปรับช่องระหว่างหินโม่ซึ่งจะทำให้โม่แป้งได้หยาบหรือละเอียด การทำก๋วยเตี๋ยวจะต้องโม่ให้ละเอียด อย่างไรก็ตามการโม่แป้งละเอียดโดยการปรับหินโม่ให้ชิดนี้จะทำให้หินโม่สึกกร่อนเร็ว ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเซาะหินโม่มากขึ้น แต่ก็เป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความเหนียวตรงกับความต้องการของผู้บริโภค น้ำแป้งที่ได้ควรเก็บไว้ระยะหนึ่งเพื่อให้หน้าซึมเข้าไปในเม็ดแป้งมากขึ้น และทำการหมักน้ำแป้งเพื่อให้มีค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสม จะได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีลักษณะเหนียวนุ่ม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tatsumi *et al.* (2003) ที่พบว่าน้ำแป้งหมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 27 ชั่วโมง จะมีค่าความเป็นกรด-เบส 4.0 ส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความเงาใส เหนียวนุ่ม และยืดหยุ่น ส่วนตัวอย่างควบคุมที่ทำการหมักน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะทำให้เส้นก๋วยเต๋วมีสีขาวขุ่น เนื้อแน่น และไม่ยืดหยุ่น ส่วนงานวิจัยของนวรรตน์ และคณะ(2549) พบว่าเมื่อน้ำแป้งขนมจีนหมักมีค่าความเป็นกรด-เบสลดลง ปริมาณกรดทั้งหมดคิดเทียบกรดแล็กติกจะเพิ่มขึ้น

4. การกรอง น้ำแป้งที่ได้ควรผ่านการกรองโดยใช้ filter press (ไม่เป็นระบบต่อเนื่อง) หรือ rotary filter (ระบบต่อเนื่อง) ขึ้นอยู่กับระบบการทำงาน น้ำแป้งที่ผ่านเครื่องกรองจะมีความชื้นร้อยละ 40-43

5. การนึ่ง เมื่อน้ำแป้งผ่านการกรองแล้ว จะผ่านเข้าตู้นึ่งที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาที่ถูกต้องและสม่ำเสมอ น้ำแป้งจะเข้าตู้นึ่งด้วยเครื่องมือที่เป็นลูกกลิ้ง มีการปรับความหนาบางตามความต้องการ มีใบมีดทำหน้าที่ปาดแผ่นฟิล์มออกจากผิวของแท่งเหล็กลูกกลิ้ง โดยผ่านสายพานที่ทำด้วยแท่งเหล็กสแตนเลสหรือผ้าใบ ซึ่งสายพานผ้าใบมีราคาถูกลงกว่า แต่มีอายุการใช้งานเพียง 1

เดือนเท่านั้น ในขณะที่สายพานสแตนเลสมีราคาแพง แต่มีอายุการใช้งานได้ถึง 1 ปี นอกจากนี้ กว๊วยเตี๋ยวที่ได้จากการนึ่งบนสายพานผ้าใบจะมีลักษณะอมน้ำเปื่อยยุ่ย

ดังนั้นผู้ผลิตจึงนิยมใช้สายพานสแตนเลส โดยน้ำแป้งจะฉาบบนสายพานแล้วเคลื่อนเข้า อุโมงค์ที่ให้ความร้อนโดยไอน้ำร้อน ความยาวตู้หนึ่งประมาณ 30 ฟุต ใช้เวลาที่น้ำแป้งอยู่ในอุโมงค์ 3 นาที แป้งที่ออกมาจะสุกพอดี ระหว่างแป้งเคลื่อนที่ในอุโมงค์ จะมีน้ำมันพืชซึ่งปกติจะใช้น้ำมัน ถั่วลิสงหยดเป็นระยะเพื่อให้เส้นมัน ลื่น ไม่ติดสายพาน แต่ไม่ควรใช้มากเพราะจะทำให้อายุการเก็บ รักษา กว๊วยเตี๋ยวน้อยลง เกิดกลิ่นหืนได้

6. การผึ่งลม สำหรับเส้นก๊วยเตี๋ยวสด เมื่อแผ่นก๊วยเตี๋ยวออกจากอุโมงค์หนึ่งจะมีสายพาน เหล็กเป็นซี่ๆ มารับก๊วยเตี๋ยว ผึ่งลมโดยใช้พัดลมเป่าให้เส้นเย็นตัวลง นำไปตัดเป็นเส้นต่อไป หาก ต้องการทำให้เส้นหมาดควรนำไปผึ่งลมหรือตากหรืออบ เพื่อลดความชื้นประมาณ 1 ชั่วโมง

7. การอบ กรณีต้องการผลิตก๊วยเตี๋ยวอบแห้งหรือก๊วยเตี๋ยวเส้นจันทน์ ควรติดตั้งเตาอบ เพิ่มเติม เพื่อลดความชื้นเหลือร้อยละ 11-12 ปกติอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง หากอุณหภูมิสูงกว่านี้ จะทำให้เส้นแห้ง แดก และมีลักษณะเป็นปล้อง สาน (cracking)

8. การตัดเส้นก๊วยเตี๋ยว เมื่อสายพานแผ่นก๊วยเตี๋ยวสุกเคลื่อนที่ออกจากอุโมงค์ไอน้ำ แผ่น ก๊วยเตี๋ยวจะเคลื่อนไปตามสายพาน โดยมีพัดลมคอยเป่าเป็นระยะให้แห้ง จนถึงจุดตัดก๊วยเตี๋ยวแผ่น ใหญ่ ตรงจุดนี้จะมีช่องที่จะให้น้ำมันพืชหยดสัมผัสกับแผ่นก๊วยเตี๋ยว เพื่อให้แผ่นก๊วยเตี๋ยวไม่ติดกัน เมื่อซ้อนกันหลังจากที่ทำการตัด อย่างไรก็ตามการตัดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของก๊วยเตี๋ยว ดังนี้

8.1 เส้นก๊วยเตี๋ยวสด ก่อนตัดควรนำมาเรียงกันแล้วนำมาเข้าเครื่องตัดเป็นเส้น ก๊วยเตี๋ยวสดเพื่อการจำหน่ายภายใน 1 วัน

8.2 เส้นก๊วยเตี๋ยวกึ่งแห้ง จะมีกรรมวิธีแบบเดียวกับเส้นก๊วยเตี๋ยวสด จนถึง ขั้นตอนแผ่นก๊วยเตี๋ยวออกจากอุโมงค์ไอน้ำ จากนั้นจะเคลื่อนเข้าสู่เครื่องอบแห้ง ซึ่งมีลักษณะยาว เหมือนอุโมงค์ โดยสายพานจะพาแผ่นก๊วยเตี๋ยวเคลื่อนที่ไปเป็นชั้นๆ ภายในอุโมงค์เครื่องอบ โดย สายพานอาจจะเคลื่อนที่ไปถึง 7-13 ชั้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องอบที่จะให้แผ่นก๊วยเตี๋ยวแห้ง ตามที่ต้องการคือ แผ่นก๊วยเตี๋ยวมี่ลักษณะกึ่งแห้ง จากนั้นนำเข้าเครื่องตัดเป็นเส้นจำหน่ายต่อไป กว๊วยเตี๋ยวประเภทนี้สามารถเก็บได้ประมาณ 2-3 วัน

8.3 กว๊วยเตี๋ยวอบแห้ง (ก๊วยเตี๋ยวจันทน์) มีขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 8.2 ตัดเป็นเส้น แล้วนำเส้นก๊วยเตี๋ยวใส่ถาดที่เป็นชุด และปล่อยให้เคลื่อนเข้าสู่อุโมงค์อบแห้ง จนกระทั่งได้ กว๊วยเตี๋ยวแห้ง (ความชื้นร้อยละ 11-12) สามารถเก็บได้นาน 6-12 เดือน

9. การบรรจุ ไม่ว่าจะ เป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวสดหรือเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งควรบรรจุกับ โตะที่มีความสูงไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร ไม่ควรบรรจุกับพื้นโรงงานโดยตรง ภาชนะบรรจุที่ใช้โดยเฉพาะกับเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งควรใช้วัสดุที่ความชื้นผ่านเข้าออกไม่ได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นก๋วยเตี๋ยวถูกความชื้นจากภายนอก และทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมคุณภาพ ซึ่งภาชนะบรรจุต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่องภาชนะบรรจุ

10. การเก็บผลิตภัณฑ์ ควรจัดแยกเป็นสัดส่วน เก็บในที่ที่มีอากาศถ่ายเท ไม่อับชื้น มีแสงสว่างเพียงพอ มีชั้นหรือยกพื้นรองรับ สามารถเก็บเส้นก๋วยเตี๋ยวในสภาวะบรรยากาศและสูญญากาศได้ โดยไม่มีผลต่อปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา ซึ่งการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ช้าลง (น้ำฝน, 2548) สาเหตุสำคัญที่ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว เกิดจากการปนเปื้อนของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต รวมถึงพนักงานที่เกี่ยวข้องด้วย (ดรุณี และคณะ, 2551) และต้องตรวจสอบผลิตภัณฑ์อีกครั้งก่อนจำหน่ายสู่ท้องตลาด โดยพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดจะลดลง เกิดจากการสูญเสียความชื้น ส่วนค่าสี b^* จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ลักษณะสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดมีสีคล้ำลง และมีสีเหลืองมากขึ้น เนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ให้สารประกอบที่มีสีน้ำตาล (ดรุณี และคณะ, 2551) และจากงานวิจัยของ Huang *et al.* (2007) พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวสดเพิ่มขึ้น จะทำให้มีปริมาณแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ปัจจัยของสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเสื่อมเสียของก๋วยเตี๋ยว

1. ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)

จุลินทรีย์ต้องการน้ำในการเจริญเติบโต หากขาดน้ำจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตประกอบไปด้วยน้ำในปริมาณมาก เช่น มากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งน้ำจำนวนนี้ สิ่งมีชีวิตต้องการไว้สำหรับรักษาเซลล์ให้อยู่ในสภาพที่ยังทำงานได้ หากไม่มีน้ำสิ่งมีชีวิตรวมทั้งจุลินทรีย์จะไม่สามารถเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ได้ โดยปริมาณน้ำอิสระ หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความดันไอของสารละลาย (vapour pressure) กับความดันไอของน้ำ (vapour pressure of water) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายจะทำให้ความดันไอของสารละลายลดลง ดังนั้นการลดค่า a_w เมื่ออาหารถูกทำให้แห้งอย่างสมบูรณ์ จะไม่มีโมเลกุลของน้ำที่จะทำให้เกิดความดันไอของสารละลาย ค่า a_w จะมีค่าเท่ากับ 0 ในขณะที่น้ำบริสุทธิ์จะมีค่า a_w เท่ากับ 1

สำหรับผลของค่า a_w ต่อจุลินทรีย์นั้น พบว่าจุลินทรีย์มีช่วงของค่า a_w ที่จะเจริญได้ ซึ่งค่า a_w ที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญ ส่วนใหญ่จะเข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นค่าที่สูง และที่จุดนั้นจะมีสารอาหารละลายอยู่ ซึ่งเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ ค่า a_w ต่ำสุดที่จุลินทรีย์จะเจริญได้อยู่ที่ 0.61 ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านั้น ได้แก่ ราต่างๆ หากค่า a_w ลดลงกว่าจุดต่ำสุดที่จุลินทรีย์จะสามารถเจริญได้ จะส่งผลทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ และค่อยๆ ตายลง

ความเสียหายของเซลล์เกิดจากการสูญเสียแรงดันภายในเซลล์ที่ทำให้เซลล์เต่ง เซลล์จะเหี่ยว การเจริญเติบโตและการแบ่งเซลล์หยุดชะงัก เยื่อหุ้มเซลล์ถูกทำลาย ยังส่งผลไปถึงเอนไซม์ในไซโตพลาสซึมถูกทำลาย

2. ความเป็นกรด-เบส (pH)

โดยทั่วไปเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ยอมให้อิออน H^+ หรือ OH^- ผ่านเข้าออกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น รวมทั้งภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์มีระบบบัฟเฟอร์ควบคุมการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด-เบส จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสภายในเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่าใกล้เคียงกับ 7

หากความเป็นกรด-เบสอยู่นอกช่วงที่จุลินทรีย์จะเจริญได้ อาจเกิดผลเสียต่อสิ่งต่างๆ ของเซลล์ คือ เอนไซม์ที่เกี่ยวกับการดูดซึมสารอาหารและแร่ธาตุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งรวมถึงอาจเกิดความผิดปกติในการสร้างเอนไซม์ที่ทำงานภายนอกเซลล์และกิจกรรมต่างๆ ตลอดจนกลไกการสร้าง adenosine tri phosphate (ATP) ในแบคทีเรีย ซึ่งเกี่ยวข้องกับผนังเซลล์

3. อุณหภูมิ

จุลินทรีย์อาจจะเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจนถึงมากกว่าจุดเดือด อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์แต่ละกลุ่มจะเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด ซึ่งพิจารณาได้จากผลกระทบของช่วงอุณหภูมิที่มีต่อการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์และเอนไซม์ต่างๆ

อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต โดยปัจจัยอื่นๆ จะต้องอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมด้วยเช่นกัน เช่น ค่าความเป็นกรด-เบส ค่าปริมาณน้ำอิสระ เป็นต้น หากสภาพแวดล้อมอื่นๆ ไม่เหมาะสม อุณหภูมิต่ำสุดที่จุลินทรีย์สามารถจะเติบโตได้ก็จะเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิสูงสุดที่จุลินทรีย์จะเจริญได้ก็จะลดลงด้วย

4. แบคทีเรีย

แบคทีเรียสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามความต้องการปริมาณออกซิเจนได้ดังนี้

4.1 aerobic bacteria คือ แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนสำหรับการเจริญเติบโต เช่น *Escherichia* sp.

4.2 anaerobic bacteria คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน เช่น *Clostridium* sp.

4.3 facultative bacteria คือ แบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน เช่น *Staphylococcus* sp.

ข้าว

ข้าว หมายถึง เมล็ดของพืชพวกหญ้าในวงศ์แกรมมีนีส (Gramineae) ใช้เป็นอาหารสำคัญปลูกกันในประเทศเขตร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว คำว่า “ธัญ (ตัน)” หรือ “ธัญ (ตันยะ)” หมายถึง ข้าวเปลือก คำว่า “ธัญชาติ” หมายถึง คำรวมเรียกข้าวต่างๆ เช่น ข้าวเปลือก ข้าวสาลี คำว่า “ธัญญาหาร” หมายถึง อาหาร ซึ่งคือข้าว และคำว่า “ธัญพืช” หมายถึง พืชข้าวกล้า ดังนั้นข้าวจึงหมายถึงเมล็ดของธัญพืช หรือข้าวเปลือก เมื่อนำข้าวมาประกอบอาหาร เรียกว่า ธัญญาหาร หรือกล่าวได้ว่าข้าวเป็นธัญชาติชนิดหนึ่ง ซึ่งได้มาจากเมล็ดของธัญพืชพวกหญ้าวงศ์ Gramineae (อรอนงก์, 2539 อ้างโดย ออรอนงก์, 2547) มีลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน พืชล้มลุกที่มีอายุเพียงหนึ่งปี (annual grass) มีใบชนิดใบเลี้ยงเดี่ยว (monocotyledon) มีรากเป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) สามารถเจริญเติบโตได้ในลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกันทั้งในเขตร้อน (tropical zone) และเขตอบอุ่น (temperate zone) ตั้งแต่พื้นที่น้ำท่วมสูงไปจนถึงพื้นที่สูงตามไหล่เขา จึงทำให้เกิดความหลากหลายของข้าวชนิดต่างๆ ที่แพร่กระจายไปทั่วโลก อย่างไรก็ตามพบว่ามีข้าวเพียง 2 ชนิด ที่มนุษย์ปลูกเพื่อการบริโภค หรือเรียกว่า ข้าวปลูก (cultivated rice) ได้แก่ ข้าวเอเชีย (*Oryza sativa* Linn.) และข้าวแอฟริกา (*Oryza glaberrima* Steud) นอกเหนือจากข้าวปลูกดังกล่าวแล้วข้าวที่เหลืออีกประมาณ 21 ชนิด จัดเป็นกลุ่มของข้าวป่า (wild rice) (จาร์ธ, 2534)

สำหรับวิวัฒนาการและการแพร่กระจายของข้าวนั้น นักวิชาการสันนิษฐานว่า บรรพบุรุษของข้าวทั้ง 2 กลุ่ม คือ ข้าวป่า และข้าวปลูก น่าจะเกิดจากบรรพบุรุษแรกสุดเดียวกัน ต่อมาจึงเปลี่ยนแปลงจากข้าวป่าไปเป็นข้าวปลูก สำหรับข้าวเอเชียสันนิษฐานว่าเกิดจากการที่มนุษย์โบราณชาวเอเชียได้นำข้าวป่ามาปลูกบริเวณที่อยู่อาศัยจนกลายเป็นข้าวปลูกเมื่อประมาณ 10,000 ปีที่แล้ว ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย และบริเวณภาคตะวันตกเฉียงใต้ ต่อมาในช่วงไม่เกิน 9,000 ปีที่แล้ว พบบริเวณที่ปลูกข้าวในทวีปเอเชียอีกหลายแห่ง ตั้งแต่ทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย ภาคเหนือของบังคลาเทศ ภาคเหนือของจีน แถบตะวันออกเฉียงใต้ของทวีปเอเชีย ภาคตะวันตกเฉียงใต้ และภาคใต้ของจีน เช่น บริเวณรอบที่ราบแม่น้ำตอนเหนือของอินเดีย ทางตอนล่างด้านตะวันออกเฉียงเหนือของจีนเขาหิมาลัย ตอนบนของพม่า

ภาคเหนือของไทย ลาว และเวียดนามเหนือไปจนถึงบริเวณภาคตะวันตกเฉียงใต้ และภาคใต้ของจีน ต่อจากนั้นข้าวเอเชียใต้แพร่กระจายออกไปเป็น 3 กลุ่มย่อย (subspecies) (จำรัส, 2534) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 เรียกว่า จาปอนิกา (Japonica) โดยการนำข้าวเอเชียจากบริเวณเนปาล-ฮิสสัม-พม่า-ยูนาน เข้าไปปลูกบริเวณลุ่มแม่น้ำเหลืองของจีน และจากอิน โดจีนไปตามชายฝั่งเข้าสู่บริเวณตอนล่างของกลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียง จนได้สายพันธุ์เฉพาะที่เหมาะสมในการปลูกในเขตอบอุ่น มีชื่อว่า “Keng” หรือ “Japonica” เมื่อประมาณ 300 ปีก่อนคริสตศักราช แล้ว แล้วจึงแพร่กระจายไปยังเกาหลี และญี่ปุ่น ข้าวสายพันธุ์นี้มีลักษณะเมล็ดสั้น ทนต่ออากาศหนาว และมีปริมาณอะมิโลสต่ำ ต่อมาได้มีการนำข้าวนี้ไปปลูกทางตอนใต้ของยุโรป รัสเซีย และอเมริกาใต้

กลุ่มที่ 2 เรียกว่า อินดิกา (Indica) โดยแพร่กระจายลงมาจากตอนใต้ของอินเดียสู่ศรีลังกา และหมู่เกาะมลายู แล้วแพร่กระจายกลับไปทางเหนือไปยังภาคกลางและภาคใต้ของจีนมีชื่อว่า “Hsien” สันนิษฐานว่ามีการปลูกข้าวสายพันธุ์ “อินดิกา” นี้ในบริเวณภาคกลางของกลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียงเมื่อประมาณ ค.ศ. 200 และเชื่อว่าในสมัยอินเดียโบราณ มนุษย์ได้นำข้าวสายพันธุ์นี้ไปสู่โลกซีกตะวันตก แถบตะวันออกกลาง ยุโรป แอฟริกา อเมริกาใต้ และอเมริกากลาง ส่วนในทวีปอเมริกาเหนือในประเทศสหรัฐอเมริกา มีรายงานว่าได้มีการปลูกข้าวสายพันธุ์อินดิกาซึ่งนำมาจากหมู่เกาะมะละกา เมื่อราวคริสต์ศตวรรษที่ 17 ข้าวสายพันธุ์นี้มีลักษณะเมล็ดยาว และเพาะปลูกได้ดีในเขตร้อน

กลุ่มที่ 3 เรียกว่า จาวานิกา (Javanica) สันนิษฐานว่าข้าวสายพันธุ์นี้เป็นผลการคัดเลือกจากข้าวสายพันธุ์อินดิกา มีการปลูกในอิน โดนีเซีย เมื่อประมาณ 1,800 ปี ก่อนคริสตกาล ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังประเทศฟิลิปปินส์ ไต้หวัน กลุ่มหมู่เกาะริวกู (Ryukyu) และญี่ปุ่น ข้าวสายพันธุ์นี้มีลักษณะเมล็ดใหญ่-ป้อม มีลำต้นสูง

ประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตความผันแปรของทั้งข้าวป่าและข้าวปลูก จึงพบข้าวป่าแพร่กระจายทั่วประเทศ 5 ชนิด โดยมีชนิดที่เป็นบรรพบุรุษของข้าวปลูกเอเชีย คือ ข้าวป่าข้ามปี (*O. rufipogon* Griff.) และข้าวป่าปีเดียว (*O. nivara* Shamma) นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีความหลากหลายในพันธุ์ข้าวปลูก ซึ่งสถาบันวิจัยข้าวได้รวบรวมพันธุ์ข้าวปลูกและข้าวป่าไว้มากกว่า 19,000 ตัวอย่าง พบว่า อย่างน้อย 5,500 ตัวอย่าง มีชื่อข้าวปลูกที่ต่างกัน จึงเป็นที่ยอมรับว่าประเทศไทยจัดเป็นศูนย์กลางกำเนิดและแพร่กระจายของข้าวเอเชียแห่งหนึ่งของโลก (สงกรานต์, 2544 อ้างโดย อรอนงค์, 2547)

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการแบ่งชนิดของข้าวตามลักษณะทางพันธุกรรม และสภาพทางภูมิศาสตร์ในการปลูกเท่านั้น เมื่อพิจารณาลักษณะอื่นด้วย อาจแบ่งชนิดข้าวตามลักษณะที่เกี่ยวข้องกับข้าวได้ดังนี้ (ประสูติ, 2524)

1. ความยาวของเมล็ด
2. รูปร่างของเมล็ด (อัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้าง)
3. สภาพภูมิอากาศ และสายพันธุ์ข้าว
4. สภาพพื้นที่ปลูก
5. สภาพการปลูก หรือวิธีการทำนา
6. สภาพของแสงแดดในขณะที่ข้าวเจริญเติบโต (หรือฤดูปลูก)
7. สภาพการเก็บเกี่ยวข้าว โดยแบ่งตามอายุ หรือเวลาในการเก็บเกี่ยวข้าว
8. ลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเมื่อหุงสุก

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีของข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาพการปลูก และกระบวนการแปรรูป จากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้องและข้าวสาร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของน้ำฝน (2548) ที่ศึกษาอิทธิพลของพันธุ์ข้าวและกระบวนการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว ซึ่งทำการศึกษาร่วมกับพันธุ์เหลือง 11 บริษัทเอกชน และ กข 7 พบว่าสายพันธุ์ข้าวมีผลต่อปริมาณอะมิโลส ความนุ่ม ความเหนียว ความยืดหยุ่น และค่าสีเหลืองของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากข้าวสายพันธุ์บริษัทเอกชนมีค่าสีเหลืองมากที่สุด ส่วนข้าวสายพันธุ์ กข 7 มีค่าสีเหลืองน้อยที่สุด ส่วนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไป ใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีโดยประมาณ (proximate analysis) เพื่อให้ทราบองค์ประกอบทางเคมี หรือสารอาหารหลักที่มีในข้าว ซึ่งได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก นอกจากนี้เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ให้คุณค่าทางอาหารและโภชนาการ ได้แก่ วิตามิน แร่ธาตุ และปริมาณกรดอะมิโนที่มีในโปรตีนของข้าว (Juliano, 1993 อ้างโดย อรอนงค์, 2547)

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเมล็ดข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำหรือความชื้น ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของข้าวทั้งในลักษณะข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวสาร โดยคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีสตาร์ชเป็นหลัก และสตาร์ชนี้ประกอบด้วยอะมิโลส และอะมิโลเพกตินในสัดส่วนต่างๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ทำให้ข้าวมีลักษณะในการหุงต้ม และคุณภาพในการกิน

ต่างกันไป ตลอดจนมีผลต่อคุณค่าทางอาหารด้วย เนื่องจากเป็นแหล่งสะสมพลังงาน สำหรับโปรตีนในข้าวยังนับว่าเป็นแหล่งอาหารโปรตีนหลัก ซึ่งจะช่วยในการเจริญเติบโตของผู้บริโภคในประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ส่วนไขมันในข้าวจะอยู่เป็นกลุ่มไขมันที่มีรูปร่าง (lipid bodies) หรือหยดกลม (spherosomes) โดยอยู่ร่วมกับเม็ดสตาร์ช และโปรตีนในชั้นแอลิวโรนและคัพพะ ทั้งนี้ไขมันจะมีผลในการเสื่อมเสียขณะเก็บรักษาเมล็ด รวมทั้งเมล็ดที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ นอกจากนี้ น้ำหรือความชื้น ก็มีผลต่อคุณภาพข้าวในด้านการเก็บรักษาด้วยเช่นกัน สำหรับรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมีดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

1. คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากที่สุด เนื้อเมล็ดของข้าว (ประมาณร้อยละ 90) จึงมีผลต่อคุณภาพของข้าวมากที่สุดด้วยเช่นกัน โดยโมเลกุลของสตาร์ชที่รวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) นั้น มีขนาด 3-5 ไมครอน ซึ่งนับว่าเล็กที่สุดในกลุ่มธัญชาติ มีรูปร่างลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายเหลี่ยม รวมตัวกันอยู่ในอะมิโลพลาส หรือคลอโรพลาสของเซลล์จำนวน 20-60 เม็ดสตาร์ชเป็นกลุ่มก้อนกลมหรือยาวรี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกลุ่มเม็ดสตาร์ชในอะมิโลพลาสนี้ประมาณ 7-39 ไมครอน (Champagne, 1996 อ้างโดย อรอนงค์, 2547)

ในการสกัดสตาร์ชออกจากเมล็ดข้าว มักใช้การบดเปียกด้วยน้ำ หรือสารละลายเบสเพื่อสกัดแยกส่วนโปรตีนออก และช่วยไม่ให้เม็ดสตาร์ชเสียหายในขณะบด เมื่อแยกส่วนสตาร์ชออกจากสารละลายแล้ว จะผ่านการทำแห้ง และบดให้ละเอียด จะได้สตาร์ชจากข้าว ทั้งนี้สตาร์ชข้าวเจ้าและข้าวเหนียวจะมีสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์แตกต่างกันไปบ้าง ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชข้าวเจ้าเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวเหนียว

สมบัติ	สตาร์ช	
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจล (องศาเซลเซียส)	58-79	58-78.9
ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมครอน)	1.6-8.7	1.9-8.1
ความหนาแน่น (แทนที่โดยไซลีน, กรัม/มิลลิลิตร)	1.49-1.51	1.48-1.50
ความสามารถในการจับไอโอดีน (ร้อยละ)	2.36-6.96	0.15-0.86
ความข้นหนืดของเจล (ร้อยละ 6 ใน 0.2 N KOH เซนติพอยซ์)	140-1,200	64-1,890
ความข้นหนืดในตัว (มิลลิลิตร/กรัม)	160-194	46-164
โปรตีน (ไนโตรเจน) ที่เหลืออยู่ (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)	0.02-0.12	0.01-0.02
ฟอสฟอรัสที่เหลืออยู่ (มิลลิกรัม/กรัม)	0.12-0.45	0.02-0.03
โคลีน (ไมโคร โมล/กรัม)	3.9-9.2	0-0.02
กลูโคส-6-ฟอสเฟต (ไมโคร โมล/กรัม)	0.2-0.7	0.3-0.6
ไขมันที่เกาะเกี่ยว (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)		
- สกัดด้วยน้ำ-บิวทานอลอิมตัวที่เย็น	0.2-0.4	0.03-0.04
- สกัดด้วยน้ำ-บิวทานอลอิมตัวที่ร้อน	0.5-0.9	0.1-0.2

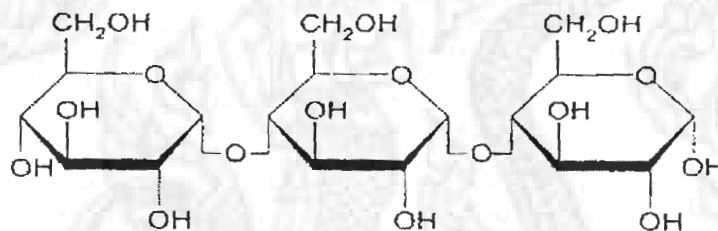
ที่มา: Juliano (1993) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

จากตาราง 1 พบว่าความแตกต่างที่เห็นได้ชัดคือ ความสามารถในการจับกับไอโอดีนของสตาร์ชข้าวเจ้าจะมีมากกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชข้าวเจ้ามากกว่าส่วนความหนืดนั้น สตาร์ชข้าวเหนียวมีช่วงต่างกันมากกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า นอกจากนี้สารอาหารอื่นๆ ที่เกาะเกี่ยวสตาร์ชข้าวเหนียวจะน้อยกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า แสดงว่าการสกัดสตาร์ชข้าวเหนียวสามารถทำได้บริสุทธิ์กว่าข้าวเจ้า

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบไปด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ลักษณะคือ อะมิโลสและอะมิโลเพกติน ซึ่งโมเลกุลทั้งสองจะจัดเรียงตัวกันแน่นจนเป็นเม็ดสตาร์ช โดยมีโครงสร้างลักษณะเป็นรัศมีจากจุดกลางแบบกิ่งผลึก โดยบางส่วนจะอยู่ร่วมกับส่วนของไขมัน

1.1 อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1, 4 (α -1, 4) ดังภาพ 1 ส่วน

แป้งจากธัญชาติ เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณร้อยละ 28 แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาकु มีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณร้อยละ 20 แป้งข้าวเหนียว (waxy starch) ไม่มีอะมิโลสเลย ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลและขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกันไป แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้น จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ลดลง ในแป้งอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มากนัก



ภาพ 1 โครงสร้างของอะมิโลส
ที่มา: กล้านรงค์ และเกื้อกุล (2546)

โครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลสมีหลายรูป เช่น สายตรง สายพันเป็นเกลียว (helix) เดี่ยว หรือคู่ มีลักษณะเป็นเกลียวม้วน หรือเกลียวที่คลายตัว หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง

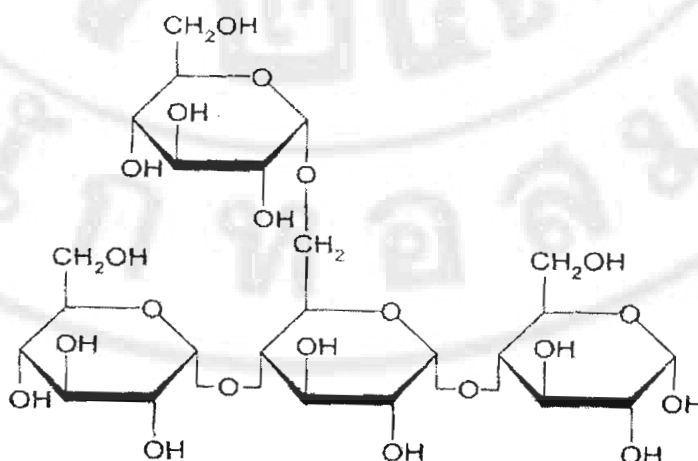
1.2 อะมิโลเพกติน ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงเป็นพอลิเมอร์ที่มีโซ่กิ่งเป็นแขนงมาก โดยประมาณร้อยละ 96 จะต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4 และอีกร้อยละ 4 ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6 มีระดับชั้นการพอลิเมอไรเซชันเฉลี่ย 4,700-18,500 ความยาวของสายเฉลี่ย 18-21 มีจำนวนสาย 220-1,000 โดยความยาวของสายภายนอกเฉลี่ย 12-14 และความยาวของสายภายในเฉลี่ย 5-6 ดังตาราง 2

ตาราง 2 สมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลเพกติน

กลุ่มข้าว	ระดับชั้นพอลิ เมอไรเซชันเฉลี่ย	ความยาว สายเฉลี่ย	จำนวนสาย เฉลี่ย	ความยาวสาย ภายนอกเฉลี่ย	ความยาวสาย ภายในเฉลี่ย
อินดิกา	4,700	21	220	14	6
จาปอนิกา	12,800	19	670	13	5
ข้าวเหนียว	18,500	18	1,000	12	5

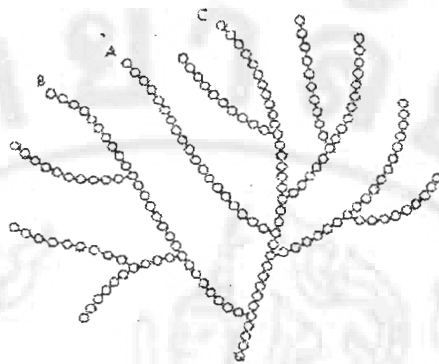
ที่มา: Champagne (1996) อ้างโดย อรอนงค์ (2547)

โครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลเพกตินมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน ลักษณะโซ่เกลียวคู่ จากสายที่ต่อด้านน้ำตาลกลูโคสเริ่มต้น ซึ่งมีคาร์บอนตัวที่หนึ่งเป็นหมู่รีดิวซ์ (ภาพ 2) ดังนั้นโมเลกุลของอะมิโลเพกตินแต่ละโมเลกุลจะประกอบด้วยสายแกนหนึ่งสายเท่านั้น (C-chain) สำหรับสายที่มาต่อกับสายแกนนี้จะป็นสายกิ่งเชื่อม (B-chain) ต่อกับสายอื่นๆ และสายที่มีจุดเชื่อมตำแหน่งเดียว (A-chain) ดังภาพ 3 ซึ่งรวมอยู่ในโมเลกุลอะมิโลเพกตินจำนวน 10^4 - 10^5 สาย โดยมีสัดส่วนของสายโซ่กิ่งกับสายเชิงเส้นประมาณ 1.0 ทั้งโซ่กิ่งและสายเชิงเส้นประมาณ 22-25 สายรวมกันเป็นกลุ่ม (cluster) ซึ่งแต่ละกลุ่มจะอยู่ในบริเวณผลึก (crystalline regions) ของสตาร์ซ์ สำหรับพันธุ์ข้าวเหนียว ซึ่งมีอะมิโลเพกตินเกือบร้อยละ 100 ดังนั้นกลุ่มสายโซ่กิ่งจะรวมเป็นกลุ่มเดี่ยวประมาณร้อยละ 80-90 และที่เหลือจะเกาะเกี่ยวกัน



ภาพ 2 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกุล (2546)



ภาพ 3 การแตกกิ่งทั้ง 3 แบบของอะมิโลเพกติน

ที่มา: Lee (1983) อ้างโดย ปราณี (2549)

เมื่อนำเมล็ดข้าวและแป้งข้าวที่มีองค์ประกอบหลักของสตาร์ช มาผ่านกระบวนการแปรรูปสมบัติหรือการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชเนื่องจากการแปรรูปดังกล่าว จึงมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากข้าวหรือแป้งข้าวนั้นๆ การตรวจวิเคราะห์สมบัติของวัตถุดิบสตาร์ชก่อนนำมาแปรรูปจึงเป็นการบ่งบอกถึงคุณภาพของข้าว หรือแป้งข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปว่าเหมาะสมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากข้าวนั้นๆ อย่างไร ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคหรือไม่

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสตาร์ช หรือเม็ดสตาร์ชในเมล็ดข้าว หรือแป้งข้าวจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำและความร้อนซึ่งจำเป็นในการหุงต้ม หรือการทำให้สุก เมื่อสุกแล้วผู้บริโภคจะรับประทานข้าวสุก หรือผลิตภัณฑ์อาหารที่ทำมาจากแป้งข้าวในขณะที่อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิสูงหรือร้อนเกินไป

จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชได้เป็นลำดับด้วยการนำแป้งข้าวมาผสมน้ำ ขณะที่น้ำยังเย็นอยู่ โดยถ้ามีน้ำในปริมาณที่มากกว่าแป้งในสัดส่วนประมาณร้อยละ 1-5 (ตัวอย่างเช่น แป้ง 100 กรัม เติมน้ำ 101-105 กรัม) เมื่อผสมกันในระยะแรกจะเห็นว่า ส่วนผสมมีสีขาวขุ่นในลักษณะเป็นแป้งแขวนลอยในน้ำ แต่ถ้าทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะพบว่า แป้งตกตะกอนแยกออกจากส่วนน้ำซึ่งคล้ายกับเมื่อก่อนที่จะผสม แสดงว่าเม็ดสตาร์ชในแป้งไม่ดูดซึมน้ำขณะที่เย็นหรือดูดซึมน้ำได้น้อยมาก เมื่อให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของน้ำและแป้งหรือเม็ดสตาร์ช จะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีการพองตัวอุ้มน้ำเข้าไปเพิ่มขึ้นในขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่ทำให้ส่วนต่างๆ ของอะมิโลเพกตินเกาะเกี่ยวกันเองในบริเวณอสัณฐาน (amorphous zone) จนโครงสร้างโมเลกุลอะมิโลเพกตินคลายตัวลง สามารถจับกับ

โมเลกุลของน้ำในส่วนผสม หรืออุ้มน้ำเข้าไปภายในเม็ดสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชพองขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับขึ้นหนืดขึ้น ซึ่งเรียกว่า การเกิดเจลลาคีในเซชัน (gelatinization) ซึ่งถ้าเป็นระบบที่มีน้ำมาก น้ำจะเข้าไปในบริเวณผลึก (crystalline zone) และทำลายโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชพร้อมทั้งให้ความชื้นหนืดสูงสุด เพราะน้ำเข้าไปอยู่ในเม็ดสตาร์ชจนไม่มีเหลือเป็นน้ำอิสระในส่วนผสม แต่เมื่อคนส่วนผสมต่อไปเรื่อยๆ ที่อุณหภูมิสูงอีกระยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 20-30 นาที) พบว่าความหนืดลดลง เนื่องจากโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายทำให้โมเลกุลของอะมิโลเพกติน และอะมิโลสกระจายออกจากเม็ดสตาร์ช และแขวนลอยในส่วนผสม เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจะเกิดการคืนตัวหรือรีโทรเกรเดชัน (set back หรือ retrogradation) เกิดลักษณะพุ่งกลับคืนและมีความชื้นหนืดขึ้นอีกครั้ง และเมื่อตั้งทิ้งไว้อีกชั้ระยะเวลาอาจเห็นน้ำแยกตัวออกจากสตาร์ช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำให้เย็นตัวลงด้วย โดยถ้าทำให้เย็นลงอย่างช้าๆ โอกาสที่น้ำจะแยกตัวออกจากโมเลกุลของสตาร์ช โดยเฉพาะจากโมเลกุลอะมิโลสที่มีสายสั้น เนื่องจากจะทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายนั้นกลับมาเกาะเกี่ยว ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นหรือตกตะกอน (precipitation) ขึ้น

นอกจากปัจจัยของอุณหภูมิจะทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชถูกทำลายแล้ว ยังขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบสอีกด้วย โดยน้ำแป้งที่มีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ จะส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการแตกออก และสายโซ่ของโมเลกุลแป้งถูกตัดออกเป็นสายสั้นๆ (Wang *et al.*, 2000) สอดคล้องกับงานวิจัยของภักวดีวัฒน์ และอรอนงค์ (2548) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของข้าวในระหว่างกระบวนการหมักขนมจีน พบว่าผลของการหมักทำให้ค่า peak viscosity, final viscosity และ setback viscosity ลดลง และงานวิจัยของ Yuan *et al.* (2008) ที่ค่า peak viscosity, breakdown viscosity, final viscosity และ setback viscosity ลดลง เมื่อระยะเวลาการหมักของก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวโพดเพิ่มขึ้น

สมบัติของสตาร์ชทั้งส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินมีผลต่อคุณภาพของข้าวสุก โดยมีผลต่อความนุ่ม ร่วน และการพองตัวของเมล็ดข้าว ดังนั้นจึงสามารถแบ่งประเภทคุณภาพข้าวหุงสุกตามปริมาณอะมิโลสได้ ดังตาราง 3

ตาราง 3 คุณภาพของข้าวหุงสุกแบ่งตามปริมาณอะมิโลส

ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละน้ำหนักแห้ง)		ชนิดข้าว	ข้าวสุก
Juliano (1993)	งามชื่น (2539)		
0-5	0-3	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
5.1-12.0	4-11	ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำมาก	เหนียว
12.1-20.0	12-19	ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำ	นุ่ม-เหนียว/หุงแฉะง่าย
20.1-25.0	20-25	ข้าวเจ้าอะมิโลสปานกลาง	ค่อนข้างนุ่ม ร่วน
> 25	26-34	ข้าวเจ้าอะมิโลสสูง	ร่วน แข็ง/หุงขึ้นหม้อ

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

จากตาราง 3 พบว่าส่วนประกอบโมเลกุลสตาร์ชของข้าวเหนียวจะเป็นอะมิโลเพกตินทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด ซึ่งเมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวมาก ดัดมือ เมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้นในสตาร์ชของข้าวเจ้า จะทำให้ข้าวเจ้าที่หุงสุกมีความนุ่มเหนียวลดลงเป็นลำดับ ในกรณีที่ข้าวปริมาณอะมิโลสมากกว่าร้อยละ 25 จะจัดเป็นข้าวเจ้าชนิดข้าวแข็ง ที่มีลักษณะ ร่วน แข็ง และมักจะหุงขึ้นหม้อซึ่งหมายถึงการขึ้นฟูของข้าวสุก

2. โปรตีน

โปรตีนในข้าวที่มีปริมาณแตกต่างกันนั้นจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยทั่วไปจะมีปริมาณน้อยกว่าในธัญชาติชนิดอื่น การวิเคราะห์และคำนวณปริมาณโปรตีนในข้าวใช้แฟกเตอร์ 6.25 คูณปริมาณไนโตรเจน โปรตีนที่มีในข้าวนี้จะเกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด โดยมีมากที่สุดในส่วนเปลือกหุ้มเมล็ด และในส่วนเนื้อเมล็ดด้านนอกจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าในใจกลางเมล็ด

Cagampang *et al.* (1996) อ้างโดย อรอนงค์ (2547) ได้ทำการสกัดโปรตีนจากข้าว 3 พันธุ์ (ซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 6.8-8.5) พบว่าประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายในน้ำหรือ แอลบูมิน (albumin) ประมาณร้อยละ 3.8-8.8 ของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือ หรือ โกลบูลิน (globulin) ประมาณร้อยละ 9.6-10 โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ หรือโพรลามิน (prolamin) หรือออริซานิน (oryzanin) ประมาณร้อยละ 66.1-78.0 และยังมีกลูเทลิน (glutelin) เป็นโปรตีนหลักขององค์ประกอบในโปรตีนสะสม (storage protein) เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของกลูเทลินมีกรดอะมิโนหลายชนิดในปริมาณที่สมดุล จึงจัดเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีกว่าโปรตีนในธัญพืชอื่นๆ

โมเลกุลของโปรตีนที่รวมตัวกันเป็นรูปร่างโปรตีน (protein bodies) ซึ่งมีกลูเทลินเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ภายในนั้นจะมี 3 รูปแบบ คือ แบบผลึก (crystalline) แบบรูปร่างกลมขนาดเล็ก และแบบรูปร่างกลมขนาดใหญ่ ซึ่งโปรตีนที่กระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อเมล็ดจะมีโปรตีนรูปร่างกลมขนาดเล็ก ส่วนโปรตีนรูปร่างกลมขนาดใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า และจะมีมากในส่วนใจกลางเมล็ดเท่านั้น โดยในองค์ประกอบของโปรตีนจะเป็นโพรลามิน ร่วมกับกลูเทลิน สำหรับร่างแหโปรตีน (protein matrix) จะพบน้อยมากหรือไม่พบเลยในเมล็ดของข้าวซึ่งต่างจากธัญชาติอื่น ถ้าพบก็จะมีลักษณะเชื่อมโยงเป็นเส้นใยโปรตีน (protein fibrils) ระหว่างโปรตีนที่มีรูปร่าง เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเมล็ดจะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช และโปรตีนที่เชื่อมโยงกับเม็ดสตาร์ช อาจมีผลต่อการเกิดเจลลาติในเซชันของเม็ดสตาร์ช โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชไม่เสีรูปร่างได้ง่าย มีผลต่อลักษณะความอ่อน หรือแข็งของเจลเมื่อเย็นลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่มีลักษณะนุ่ม เหนียว หรือร่วน อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถสรุปผลเด่นชัดว่า โปรตีนมีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวโดยตรง จึงจำเป็นต้องทำงานวิจัยในด้านนี้ต่อไป

3. ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 3 คล้ายคลึงกับธัญชาติชนิดอื่น และมีอยู่ในส่วนด้านนอกเมล็ดมากกว่าในใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าว จึงทำให้ข้าวสารเจ้ามีปริมาณไขมันน้อยร้อยละ 0.3-0.5 ซึ่งเป็นไขมันที่เกาะเกี่ยว (bound lipids) กับสารอื่นประมาณร้อยละ 0.3-0.4 ส่วนในข้าวเหนียวมีไขมันที่เกาะเกี่ยวนี้้น้อยกว่าร้อยละ 0.03 โดยไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ชิดกันกับโปรตีน ซึ่งอยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก หรืออาจอยู่รวมกับโครงสร้างของอะมิโลเพกตินสายนอก เช่น สาย A หรือ B ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ช ในลักษณะที่สองนั้น ไขมันจะอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช โดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช ส่วนลักษณะที่สามจะอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชแต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช

ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) รองลงมาคือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) โกลโคลิพิด (glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบมอโนแอซิล (monoacyl) ซึ่งกลุ่มของมอโนแอซิลประกอบด้วยไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า สำหรับไขมันภายนอกและไขมันภายในเม็ดสตาร์ชยังมีไลโซเลซิทีน (lysolecithin) และกรดไขมันอีกด้วย

4. ปริมาณความชื้น

องค์ประกอบทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ดข้าวโดยตรงและทางอ้อม คือ ปริมาณความชื้นของข้าว ในการซื้อขายข้าวทั้งข้าวเปลือกและข้าวสาร ได้ใช้ความชื้นเป็นเกณฑ์มาตรฐานสำคัญ เนื่องจากปริมาณความชื้นสามารถบ่งบอกถึงน้ำหนักของเนื้อข้าว และบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว หรือบ่งบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี จากการทดลองพบว่าข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเสียเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ ระดับความชื้นที่เหมาะสมของข้าวที่ยอมรับว่าปลอดภัยต่อการเก็บรักษา คือ ร้อยละ 13 ซึ่งจะเก็บรักษาได้ดีภายในเวลา 6 เดือน และข้าวที่ความชื้นร้อยละ 12 จะเก็บรักษาได้นานขึ้น นอกจากนี้ความชื้นของข้าวยังมีผลต่อคุณภาพการสีของข้าวเปลือก โดยปัจจัยสำคัญจะเริ่มตั้งแต่การเก็บเกี่ยวข้าวที่แก่ ซึ่งความชื้นที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 22-26 จากนั้นจึงมีการตากข้าวเปลือกเพื่อลดความชื้นลงให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษา (ความชื้นไม่สูงกว่าร้อยละ 14) จนถึงเวลาการสีข้าวเปลือกที่มีความชื้นเหมาะสมจะทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดในปริมาณสูง และมีปริมาณข้าวหักน้อย

คุณภาพของข้าวขณะเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงของข้าวเกิดขึ้นตลอดเวลาตั้งแต่การเก็บเกี่ยวจนถึงผู้บริโภค โดยขึ้นอยู่กับสภาวะการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ เวลา และความชื้น เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าว และอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าสภาวะอื่น ลักษณะที่เปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดคือลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกในข้าวใหม่ (เก็บเกี่ยวมาใหม่) จะมีลักษณะนุ่ม และ เกาะติดกัน มีของแข็งละลายในน้ำที่ใช้หุงมาก อุ่นน้ำได้น้อย ขยายปริมาตรไม่มาก ซึ่งตรงกันข้ามกับลักษณะข้าวหุงสุกจากข้าวเก่าซึ่งร้อน แข็ง ไม่เกาะติดกัน มีของแข็งละลายในน้ำที่ใช้หุงน้อย อุ่นน้ำมาก ขยายปริมาตรมาก (หุงขึ้นหม้อ) นอกจากนี้เมล็ดข้าวเก่าที่เก็บไว้นานในที่ๆ มีอุณหภูมิสูง จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะลดลงถ้าเก็บที่อุณหภูมิต่ำ สำหรับกลิ่นและรสชาติของข้าวเก่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่เป็นองค์ประกอบของข้าว โดยเฉพาะในกลุ่มสารระเหยที่ให้กลิ่นผิดปกติจากไขมัน กรดอะมิโน วิตามิน รวมถึงสารกลุ่มแอลดีไฮด์ คีโตน เช่น เมทิลเมอร์แคปแทน (methyl mercaptan) ไดเมทิลซัลไฟด์ (dimethyl sulfide) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) เป็นต้น โดยพบว่า สารเหล่านี้จะเพิ่มหรือลดลงบ้างในระหว่างการเก็บรักษา และมีผลต่อกลิ่นที่ผิดปกติที่ทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับได้ (อรอนงค์, 2547)

งามขึ้น และคณะ (2528) ได้นำข้าวกล้อง และข้าวสารพันธุ์ขาวตาแห้ง 17 บรรจุในภาชนะ 4 แบบ คือ กระสอบปอบบรรจุ 100 กิโลกรัม โองเคลือบบรรจุ 150 กิโลกรัม ถุงพลาสติกบรรจุ 1 กิโลกรัม และถุงพลาสติกสุญญากาศบรรจุ 1 กิโลกรัม และเก็บในโรงเก็บสภาพอุณหภูมิห้อง ที่โรงสีข้าวทดลองคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในกรณีข้าวกล้องได้ทำการสีด้วยเครื่องสีแมกคิลล์ (McGill) เบอร์ 1 เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพการรับประทาน คุณภาพการหุงต้ม และคุณสมบัติของเมล็ด โดยวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในข้าวสาร การสลายเมล็ดในเบส ความคงตัวของแป้งสุก ปริมาณโปรตีน และกรดไขมัน ผลการตรวจสอบพบว่า คุณภาพการรับประทานของข้าวกล้อง หรือข้าวสารที่บรรจุในถุงพลาสติกสุญญากาศเป็นวิธีการที่ดีที่สุด เพราะเมื่อนำข้าวสารมาหุงต้มจะได้ข้าวสุกที่มีคะแนนในด้านการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 เดือน สำหรับกระสอบ ถุงพลาสติก หรือ โองเคลือบ สามารถเก็บข้าวสารได้เพียง 2-3 เดือนเท่านั้น หากเก็บนานกว่านั้นข้าวสุกที่ได้จะเกิดกลิ่นสาบขึ้น และมีแมลงเข้าทำลายข้าวสาร และข้าวกล้อง การขัดสีข้าวกล้องให้เป็นข้าวสารก่อนนำไปหุงต้ม จะช่วยขจัดกลิ่นสาบได้หากเก็บไว้ในช่วงสั้นๆ อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บข้าวกล้องไว้นานจนเกิดการทำลายของแมลงอย่างรุนแรง การสีไม่สามารถขจัดกลิ่นได้หมด ทำให้ข้าวสารสุกมีกลิ่นสาบรุนแรงได้ ทั้งนี้พบว่าการเสื่อมคุณภาพจะรุนแรงที่สุดในข้าวกล้องที่เก็บใน โองเคลือบ นอกจากนี้ข้าวที่ถูกทำลายสูง เมื่อหุงสุกจะมีสีคล้ำ เกิดกลิ่นสาบอ่อนๆ ในข้าวสุก ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มค่าความเป็นกรดของไขมัน (fat acidity) ทั้งในข้าวสารและข้าวกล้อง ซึ่งการสีสามารถขจัดออกไปได้ แต่เมื่อนำข้าวสารมาหุงให้สุก ความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันของข้าวเก่ามีแนวโน้มลดลง แต่การดูดซับน้ำ และขยายตัวตามปริมาตร (ขึ้นห่ม) เพิ่มขึ้น ค่าการคืนตัว (set back) ของน้ำแป้งที่ได้จากข้าวเก่าจะสูงกว่าข้าวใหม่ เมื่อวัดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์วิสโคกราฟ (brabender viscograph) ทั้งนี้ปริมาณของอะมิโลส (ร้อยละ 26) โปรตีน (ร้อยละ 8.77) และการสลายของเมล็ดในสารละลายเบสของข้าวสารไม่พบการเปลี่ยนแปลง

ไพจิตร และคณะ (2528) ได้ทดลองเก็บรักษาข้าวสาร และข้าวกล้องในระยะยาวทำนองเดียวกับงามขึ้น และคณะ (2528) ซึ่งพบว่าได้ผลการทดลองคล้ายคลึงกัน จึงสรุปได้ว่าการเก็บรักษาข้าวกล้อง และข้าวสารในถุงพลาสติกสุญญากาศจะช่วยรักษาคุณภาพข้าวได้ดีที่สุด ส่วนการเก็บในถุงพลาสติกธรรมดาเหมาะสมสำหรับการขายปลีกซึ่งอยู่ในระยะช่วงสั้น และไม่ควรเก็บรักษานานจนถึง 3 เดือน เพราะค่าความเป็นกรดของไขมันสูงเร็วมาก แม้ว่าจะเก็บในถุงพลาสติกสุญญากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวกล้อง ทั้งนี้เพราะในข้าวสารมีส่วนของไขมันที่เกิดจากการออกซิไดส์เอง (auto oxidation) น้อยกว่าในข้าวกล้อง ดังนั้นแม้ว่าจะเก็บในถุงพลาสติกสุญญากาศก็ยังมี การเปลี่ยนแปลงภายในได้

การผลิตแป้งข้าว

แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหักในขั้นการแปรรูปปฐมภูมิหรือการแปรรูปขั้นต้น ซึ่งยังไม่สามารถนำมาบริโภคได้ แต่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหาร และที่ไม่ใช่อาหารได้ การเลือกข้าวหัก ซึ่งนิยมใช้ข้าวหักใหญ่ชนิดเอวันเลพิเศษ ข้าวดังกล่าวเป็นข้าวหักที่มีความยาวตั้งแต่ 5.0 ส่วนขึ้นไป ประมาณร้อยละ 74 หรืออาจใช้ข้าวหักเอวันเลพิเศษ ซึ่งเป็นข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 6.5 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 จากนั้นนำข้าวหักมาทำความสะอาดด้วยชุดเครื่องทำความสะอาด เช่นเดียวกับการทำความสะอาดข้าวเปลือกและข้าวสารร่วมกัน ได้แก่ การผ่านเครื่องแยกแม่เหล็ก เครื่องแยกหิน และเครื่องขัดขาว เพื่อขจัดผิวข้าวหักให้สะอาด หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการโม่ให้เป็นแป้ง ซึ่งทำได้ 3 วิธี คือ

1. การโม่เปียกหรือการโม่น้ำ

เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย เนื่องจากใช้วัตถุดิบเป็นข้าวหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ยังมีสิ่งเจือปนมาก ต้องทำความสะอาดในระบบแห้งด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ และต้องล้างด้วยน้ำให้สะอาด แช่วข้าวหักจนนิ่มแล้ว จึงทำการโม่ด้วยเครื่อง โม่แบบหินจาน ซึ่งใช้ไฟฟ้าในการทำงานของเครื่อง โม่ข้าวหักพร้อมทั้งน้ำในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ได้แป้งที่ละเอียดสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นจึงผ่านน้ำแป้งเข้าเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง โรงงานขนาดใหญ่นิยมใช้เครื่องกรองด้วยแรงอัดสูง (filter press) จะได้ก้อนแป้งที่แห้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 40 ต้องทำการตีปนก้อนแป้งให้เป็นผงก่อนจึงผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง อาจใช้วิธีเป่าด้วยลมร้อนจนแป้งเป็นผงแห้ง นำมาผ่านเข้าเครื่องบดและร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยทั่วไปจะมีขนาดประมาณ 180 ไมครอน และมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13

2. การโม่แบบผสม

มีขั้นตอนการ โม่คล้ายคลึงกับวิธีการ โม่เปียกในขั้นตอนการล้างข้าวหัก และแช่วข้าวหักจนนิ่ม ต่อจากนั้นนำข้าวหักขึ้นจากน้ำ แช่วให้สะอาดแล้วผ่านไปยังเครื่องอบให้ข้าวแห้งระดับหนึ่ง (ประมาณร้อยละ 15-17) ข้าวหักจะผ่านการเข้าบดหรือ โม่แบบแห้ง ตามวิธีการโม่แห้งจนได้แป้งแห้งผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 ไมครอน) จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีการ โม่จะผสมระหว่างโม่เปียกกับโม่แห้งเข้าด้วยกัน จึงเรียกว่า วิธีการ โม่แบบผสม (งามชื่น, 2539 อ้างโดย อรอนงค์, 2547)

3. การโม่แห้ง

เป็นการนำข้าวหักที่ผ่านระบบการทำความสะอาดแบบแห้ง แล้วเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้ง เป็นแป้งผง ร่อนผ่านเครื่องร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 ไมครอน)

แป้งข้าวที่ผลิตขายทั่วไปจะมี 2 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ซึ่งขายทั้งในประเทศและต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียวให้มีคุณภาพ และเป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ได้ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2529) กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แป้งข้าวเจ้า (มอก. 638-2529) โดยกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการ วัตถุประสงค์อาหาร สุขลักษณะ การบรรจุ เครื่องหมาย ฉลาก การคัดตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสินในการทดสอบแป้งข้าวเจ้านี้ มีสาระสำคัญบางประการคือ แป้งข้าวเจ้าต้องเป็นผงละเอียดไม่จับตัวกันเป็นก้อน ส่วนที่ค้างบนตะแกรง 180 ไมครอน ต้องไม่เกินร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ต้องมีสีขาวหรือขาวนวล มีกลิ่นตามธรรมชาติของแป้งข้าวเจ้า ไม่มีกลิ่นอับ หืน เหม็นเปรี้ยว หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ ต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอม และเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมขนาด 2-9 ไมครอน

การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งข้าว

เนื่องจากแป้งข้าวทำมาจากข้าวหักหรือปลายข้าว ดังนั้นการตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งข้าวจึงคล้ายคลึงกับการตรวจสอบคุณสมบัติของข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการ โม่แป้ง เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของแป้งข้าวแต่ละชนิด ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้นี้จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ต่อไป

คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวที่ตรวจสอบได้แก่ โปรตีน ไขมัน สตาร์ช เถ้า และอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินในสตาร์ช เป็นต้น สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ การวัดอุณหภูมิการเกิดเจลลาทิโนเซชันของแป้งข้าว โดยการใช้อุปกรณ์มาตรฐานร้อน การวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่องบราเวนเดอร์หรือเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (rapid visco analyser, RVA) การวิเคราะห์ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำให้สตาร์ชเกิดการเจลลาทิโนเซชันในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิ และสตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันในขณะที่ลดอุณหภูมิลงด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) เป็นต้น

วัตถุกันเสีย

วัตถุกันเสีย คือ สารประกอบเคมี หรือของผสมของสารประกอบเคมี ที่ใช้เติมลงในอาหาร เพื่อชะลอการเน่าเสียหรือช่วยยืดอายุการเก็บของอาหาร หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโต หรือทำลายจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่จะทำให้อาหารนั้นเกิดการเน่าเสีย (ศิวาพร, 2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของวัตถุกันเสีย

ประสิทธิภาพของวัตถุกันเสียต่างๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของวัตถุกันเสีย
2. ความเข้มข้นของวัตถุกันเสีย
3. วิธีการใช้วัตถุกันเสีย
4. ชนิด จำนวน อายุ และประวัติของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหาร
5. อุณหภูมิ
6. คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของอาหาร

วิธีการใช้วัตถุกันเสียในอาหาร

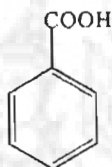
สำหรับการใช้วัตถุกันเสียในอาหารนั้น อาจทำได้โดยการเติมลงไป ในอาหารโดยตรง ในขณะแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารนั้น หรืออาจทำให้อยู่ในรูปของสารละลายก่อน แล้วค่อยเติมลงไป ตัวอย่าง เช่น ในผลิตภัณฑ์ผลไม้ต่างๆ หรืออาจใช้วิธีพ่นหรือเคลือบบนผิวอาหาร เช่น พ่นหรือเคลือบบนผิวของเนยแข็ง หรืออาจพ่นและเคลือบไว้ที่ภาชนะบรรจุ เช่น กระดาษที่ใช้ห่อเนยแข็ง เป็นต้น และก่อนการใช้วัตถุกันเสียทุกครั้ง ควรคำนึงถึงชนิดและปริมาณที่กฎหมายอนุญาตให้ใช้ในอาหารแต่ละชนิด

ชนิดของวัตถุกันเสียที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

วัตถุกันเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ กรดเบนโซอิก (benzoic acid) เกลือเบนโซเอต (benzoates) กรดซอร์บิก (sorbic acid) เกลือซอร์เบต (sorbates) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) เกลือโพรพิโอเนต (propionates) กรดอะซิติก (acetic acid) เกลืออะซิเตต (acetates)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) กลีโอสัลไฟต์ (sulfites) กลีโอนิเตรตและไนไตรต์ (nitrate และ nitrite) เอสเทอร์ออฟพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิกแอซิด (ester of p-hydroxybenzoic acid) สารปฏิชีวนะ (antibiotics) และวัตถุกันเสียจากสารธรรมชาติ เป็นต้น

1. กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต



ภาพ 4 โครงสร้างของกรดเบนโซอิก

ที่มา: ศิวาพร (2546)

กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต (ภาพ 4) เป็นวัตถุกันเสียที่มีการนิยมนำมาใช้กัน ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปโซเดียมเบนโซเอต และนิยมใช้ในรูปของเกลือมากกว่ากรด เนื่องจากวัตถุกันเสียชนิดนี้จะละลายได้ง่ายกว่าในรูปของเกลือโซเดียมเบนโซเอต จากการละลายโซเดียมเบนโซเอตในน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถละลายได้สูงถึง 74.2 กรัม และ 66.0 กรัม ตามลำดับ ส่วนในรูปของกรดนั้นจะละลายในน้ำได้น้อยมาก แต่จะละลายได้ดีขึ้นในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม และน้ำมัน (Chichester and Tanner, 1972 อ้างโดย ศิวาพร, 2546 Sofos and Busta, 1992 อ้างโดย ศิวาพร, 2546) กรดเบนโซอิกพบมากตามธรรมชาติ เช่น ลูกพรุน แครนเบอร์รี่ พลัม อบเชย แอปเปิล และมะกอกสุก เป็นต้น กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตที่จำหน่ายในท้องตลาดจะอยู่ในรูปผงผลึกสีขาวหรือเป็นเกล็ด

1.1 ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอต

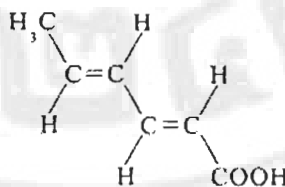
จากการศึกษาทดลองพบว่า วัตถุกันเสียชนิดนี้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ ซึ่งมีผลต่อผนังเซลล์และเอนไซม์ของจุลินทรีย์ โดยเบนโซเอตจะไปทำให้กระบวนการแทรกซึมของอาหารเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ผิดปกติไป ในขณะที่เดียวกันจะยับยั้งการสร้างเอนไซม์ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

ประสิทธิภาพของกรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตจะสูงที่สุดในช่วงความเป็นกรด-เบส 2.5-4.0 ซึ่งต่ำกว่ากรดซอร์บิกและกรดโพรพิโอนิก และจะมีประสิทธิภาพสูงในรูปของกรดที่ไม่แตกตัว จึงเหมาะที่จะใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรดสูงหรือมีความเป็นกรด-เบสต่ำ (ศิวาพร, 2546)

1.2 การใช้กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตในผลิตภัณฑ์อาหาร

การใช้กรดเบนโซอิกและเกลือเบนโซเอตเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ควรเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูง หรือมีค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ ตัวอย่างเช่น เครื่องดื่มชนิดต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ และไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหวานชนิดต่างๆ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ แยม เยลลี่ ผักดอง ผลไม้ดอง น้ำสลัด ผรุสสลัด และเนยเทียม เป็นต้น สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารได้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 นั้น ได้อนุญาตให้ใช้กรดเบนโซอิก หรือโซเดียมเบนโซเอต หรือโพแทสเซียมเบนโซเอตได้ในปริมาณสูงสุดได้ไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัม ต่อ 1 กิโลกรัมของอาหาร ทั้งนี้อาจใช้วัตถุดิบเสียชนิดนี้เพียงชนิดเดียว หรือใช้ร่วมกับ โพแทสเซียมซอร์เบต หรือเอสเทอร์ออฟพารา-ไฮดรอกซีเบนโซอิก แอซิดก็ได้ แต่เมื่อใช้รวมกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ต้องมีปริมาณรวมกันแล้วไม่เกินปริมาณของวัตถุดิบเสียที่กำหนดให้ใช้ได้น้อยที่สุด และเมื่อใช้กรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิกร่วมกัน จะช่วยยับยั้งการเจริญของ *Zygosaccharomyces bailii* ได้ดีกว่าการใช้วัตถุดิบเสียเพียงชนิดเดียว (Cole and Keenan, 2004)

2. กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบต



ภาพ 5 โครงสร้างของกรดซอร์บิก

ที่มา: ศิวาพร (2546)

กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตเป็นวัตถุดิบเสียอีกชนิดหนึ่ง (ภาพ 5) ที่นิยมนำมาใช้อย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส เมื่อนำไปใช้จึงไม่ทำให้กลิ่นรสและสีของอาหารเปลี่ยนแปลง กรดซอร์บิกเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพียงชนิดเดียวเท่านั้น ที่มีการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเสีย สำหรับเกลือของกรดชนิดนี้ที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบเสีย

ได้แก่ แคลเซียมซอร์เบต โซเดียมซอร์เบต และ โพแตสเซียมซอร์เบต โดยเฉพาะโพแตสเซียมซอร์เบตจะมีการนิยมนำใช้กันมากที่สุด กรดซอร์บิกเป็นสารประกอบผงสีขาวหรือเป็นเกล็ด มีการละลายได้ร้อยละ 0.16 ที่ 20 องศาเซลเซียส เกลือแคลเซียมซอร์เบตละลายน้ำได้ร้อยละ 1.2 และเกลือโซเดียมซอร์เบตละลายน้ำได้ร้อยละ 32 ที่ 20 องศาเซลเซียส ส่วนเกลือโพแตสเซียมซอร์เบตละลายน้ำได้ร้อยละ 58.2 ที่ 20 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงขึ้นการละลายของกรดและเกลือของวัตถุดิบเสียชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.1 ประสิทธิภาพของกรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบต

กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตสามารถยับยั้งการเจริญเติบโต หรือทำลายยีสต์ และเราได้ศึกษาแบคทีเรีย โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณของเกลือซอร์เบตที่ต้องใช้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และราจะน้อยกว่าของแบคทีเรีย การที่กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายจุลินทรีย์ได้นั้น โดยการไปมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์และผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ รวมทั้งยังไปชะงักการสังเคราะห์โปรตีนของจุลินทรีย์อีกด้วย นอกจากนี้จากการศึกษาทดลอง (Blocher *et al.*, 1982; Blocher and Busta, 1985; Smooth and Pierson, 1981 and Sofos *et al.*, 1986) ยังพบว่ากรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตจะสามารถยับยั้งการสร้างสปอร์ของเชื้อ *Clostridium botulinum* และ *Bacillus cereus* และ *Bacillus* sp. ได้ด้วย กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตจะมีประสิทธิภาพดีในรูปที่ไม่แตกตัวหรือในสภาวะที่มีความเป็นกรด-เบสต่ำ ฉะนั้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำหรือความเป็นกรด-เบสสูง ประสิทธิภาพของวัตถุดิบเสียชนิดนี้จะสูงสุดในช่วงความเป็นกรด-เบสต่ำกว่า 6.5 จนถึงความเป็นกรด-เบส 6.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าดีกว่าของเกลือเบนโซเอตและเกลือโพธิโอเนต แต่จะมีส่วนคล้ายเกลือเบนโซเอตและเกลือโพธิโอเนตคือ เมื่อความเป็นกรด-เบสของอาหารเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของวัตถุดิบเสียดังกล่าวจะลดลง การเติมเกลือและน้ำตาลลงในอาหาร จะช่วยเสริมประสิทธิภาพของวัตถุดิบเสียชนิดนี้ เช่นเดียวกับการเติมซิสทีน (cystine) และซิสเตอีน (cysteine) แต่ถ้าเป็นเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ จะทำให้ประสิทธิภาพของวัตถุดิบเสียชนิดนี้ลดลง

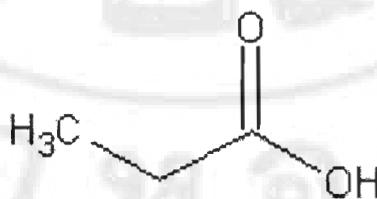
2.2 การใช้กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตในผลิตภัณฑ์อาหาร

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป ที่นิยมนำใช้กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตในการช่วยยืดอายุการเก็บรักษา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทเนยเทียม เนยแข็ง และผลิตภัณฑ์เนยแข็งชนิดต่างๆ เครื่องดื่มชนิดต่างๆ ทั้งชนิดที่อัดและไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำหวานต่างๆ น้ำผลไม้ เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบ เช่น ไวน์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ในผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ ฟรุตสลัด ฟรุตค็อกเทล น้ำสลัดต่างๆ ผลไม้แห้ง ผักแห้ง และผักดองต่างๆ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์ไก่ ผลิตภัณฑ์ปลา รวมถึงยาและเครื่องสำอางค์ชนิดต่างๆ ด้วย

ในผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทเค้ก พาย หรือ โดนัท หรือประเภทที่มีการทำให้ฟูโดยใช้ผงฟูนั้น จะนิยมใช้กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบตในการยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์และรา โดยอาจใช้โพแตสเซียมซอร์เบตร้อยละ 0.05-0.1 ใส่งไปโดยตรง หรือพ่นที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ส่วนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนั้นอาจใช้เกลือซอร์เบตเพียงชนิดเดียว หรือผสมรวมกับโซเดียมเบนโซเอตในปริมาณร้อยละ 0.05-0.1 สำหรับผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่จะใช้กรดซอร์บิกหรือเกลือซอร์เบตร้อยละ 0.1 ใส่งไปโดยตรง หรืออาจใช้ร่วมกับวัตถุกันเสียชนิดอื่นก็ได้

สำหรับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 นั้น ได้อนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบต หรือโซเดียมซอร์เบต หรือโพแตสเซียมซอร์เบตในโพรเซสซีสได้สูงสุดไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโพรเซสซีส ส่วนในเวย์ซีสอนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิกได้สูงสุดไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเวย์ซีส โดยคำนวณเป็นกรดซอร์บิก ส่วนในผลิตภัณฑ์มะกอกคองอนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิกในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมมะกอกคอง โดยอาจใช้กรดซอร์บิกเพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับโซเดียมซอร์เบตที่คำนวณเป็นกรดซอร์บิก แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณดังกล่าว ในผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ให้ใช้กรดซอร์บิกได้ปริมาณสูงสุดไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมแยมและเยลลี่ โดยอาจใช้กรดซอร์บิกอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับโซเดียมเบนโซเอต โพรฟิลพาราเบน แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณที่กำหนด และสำหรับแอปริคอตแห้งนั้นอนุญาตให้ใช้กรดซอร์บิกได้ในปริมาณสูงสุดไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัมแอปริคอตแห้ง ให้ใช้เพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับโซเดียมซอร์เบต แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณที่กล่าว ส่วนผลิตภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไว้ ถ้าหากต้องการใช้วัตถุกันเสียชนิดนี้ จะต้องขออนุญาตเป็นกรณีๆ ไป

3. กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนต



ภาพ 6 โครงสร้างของกรดโพรพิโอนิก

ที่มา: Biomedexperts (2008)

กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนตเป็นวัตถุกันเสียอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก (ภาพ 6) เป็นกรดที่รวมอยู่ในกลุ่มของกรดอะลิฟาติก โมโนคาร์บอกซิลิก (aliphatic monocarboxylic

acid) พบตามธรรมชาติในอาหารประเภทหมักดองและในสวิสชีส (swiss cheese) สำหรับการใช้อาหารนั้น นิยมใช้ในรูปของเกลือมากกว่ากรด เพราะละลายได้ง่ายกว่า และเกลือโซเดียมโพรพิโอเนตจะละลายได้ง่ายกว่าเกลือแคลเซียมโพรพิโอเนต

3.1 ประสิทธิภาพของกรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนต

กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนต จะมีประสิทธิภาพในการทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของราและแบคทีเรียได้ดีกว่ายีสต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสามารถทำลายราและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในผลิตภัณฑ์ขนมปังหรือผลิตภัณฑ์ขนมอบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เดียวกันจะไม่มีผลต่อยีสต์ที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขนมอบขึ้นฟู จากการศึกษาทดลองยังพบว่า กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนต สามารถทำลายหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุให้อาหารเกิดการเน่าเสียและอาหารเป็นพิษด้วย เช่น *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Salmonella senftenberg* เป็นต้น (Chung and Gocpfert, 1970; Eklund, 1985; Cherrington *et al.*, 1990 and Cherrington *et al.*, 1991) สำหรับประสิทธิภาพของกรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนตจะดีที่สุด ในช่วงที่ความเป็นกรด-เบสของอาหารต่ำกว่า 5 จนถึง 5 และที่ความเป็นกรด-เบสที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพของวัตถุดิบเสียชนิดนี้ยิ่งลดลง เช่นเดียวกับประสิทธิภาพของเกลือเบนโซเอตและซอร์เบต

3.2 การใช้กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนตในผลิตภัณฑ์อาหาร

สำหรับการใช้กรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนตในอาหาร ดังที่กล่าวแล้วว่ากรดและเกลือของวัตถุดิบเสียชนิดนี้ จะมีประสิทธิภาพในการทำลายราและแบคทีเรียได้ดีกว่ายีสต์ โดยเฉพาะราและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการเสื่อมเสียในขนมปัง จึงนิยมนำวัตถุดิบเสียชนิดที่กล่าวนี้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังอย่างมาก รวมถึงผลิตภัณฑ์ขนมอบที่อาศัยยีสต์ช่วยในการขึ้นฟู สำหรับในผลิตภัณฑ์ขนมปังนั้น นิยมนำวัตถุดิบเสียชนิดนี้ในรูปของเกลือแคลเซียมมากกว่า ทั้งนี้เพื่อเป็นการช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารหรือแคลเซียมให้กับผู้บริโภคด้วย ส่วนผลิตภัณฑ์ประเภทเค้กหรือผลิตภัณฑ์ขนมอบประเภทที่ใช้ผงฟู จะนิยมนำในรูปของเกลือโซเดียมหรือเกลือโพแตสเซียมโพรพิโอเนต เพราะว่าถ้าหากใช้ในรูปของเกลือแคลเซียม แคลเซียมออกไซด์จะไปทำปฏิกิริยากับผงฟู ส่วนผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ที่นิยมนำวัตถุดิบเสียชนิดนี้ ได้แก่ เนยแข็งชนิดต่างๆ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีเนยแข็งเป็นส่วนประกอบ เช่น cheese spreads เป็นต้น นอกจากนี้ก็มีการใช้ในผลิตภัณฑ์ผักแห้งและผลไม้แห้งต่างๆ หรือน้ำหวานชนิดต่างๆ เป็นต้น แต่เนื่องจากกรดโพรพิโอนิกและเกลือโพรพิโอเนตจะมีข้อจำกัดคือ จะมีกลิ่นรสคล้ายเนยแข็ง ดังนั้นการใช้วัตถุดิบเสียชนิดนี้ จึงมักจะนิยมนำใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ และเนยแข็งชนิดต่างๆ มากกว่าผลิตภัณฑ์อาหารชนิดอื่นๆ

(Chichester and Tanner, 1972 อ้างโดย ศิวาพร, 2546 Sofos and Busta, 1992 อ้างโดย ศิวาพร, 2546)

จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ กลุ่มแบคทีเรียแล็กติก (lactic acid bacteria) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างแท่งหรือกลม ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนที่ มีคุณสมบัติในการหมักคาร์โบไฮเดรตได้เป็นกรดแล็กติก ตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มนี้ เช่น *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus* และ *Tetragenococcus* เป็นต้น แบคทีเรียแล็กติกจัดเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเป็น โปรไบโอติก (probiotics) ซึ่งหมายถึงจุลินทรีย์ที่เมื่อผู้บริโภคได้รับเข้าสู่ร่างกายแล้วจะให้ผลดี หรือเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค เช่น ปรับสมดุลของสภาพแวดล้อมของระบบลำไส้ โดยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค ช่วยเพิ่มการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด เช่น แคลเซียม นอกจากนี้ยังกระตุ้นและเสริมระบบภูมิคุ้มกันให้กับร่างกาย ลดระดับของคอเลสเตอรอล ลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในลำไส้ และลดอาการท้องเสียหรือท้องร่วง เป็นต้น ปัจจุบันมีการใช้จุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น นมเปรี้ยวพร้อมดื่ม โยเกิร์ต และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ เช่น อาหารสัตว์สำหรับไก่ สัตว์น้ำ สุกร เป็นต้น ตัวอย่างของแบคทีเรียแล็กติกที่จัดเป็น โปรไบโอติก เช่น *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus acidophilus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแล็กติกที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต เป็นต้น (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546) นอกจากนี้ยังพบว่า *Lactobacillus plantarum* สามารถหมักคาร์โบไฮเดรตได้เป็นกรดแล็กติก ในกระบวนการทำก๊วยเตี๋ยวกึ่งสำเร็จรูป ทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น และในด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า สามารถเพิ่มความเหนียวนุ่มให้มากขึ้นด้วย (Sawatari *et al.*, 2005) และจากงานวิจัยของ สุพรรณิการ์ และคณะ (2547) พบว่ามีปริมาณแล็กติกแอซิดแบคทีเรียมากที่สุด ในกระบวนการหมักข้าว และการทับน้ำแป้ง เพื่อผลิตขนมจีนแป้งหมัก