

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เสาวรส (Passion fruit)

เสาวรส หรือ กะทกรกฝรั่ง เป็นพืชในตระกูล Passifloraceae ดังภาพ 2.1 มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่บริเวณตอนใต้ของประเทศบราซิล และเริ่มมีการแพร่ขยายไปปลูกในภูมิภาคต่างๆ ได้แก่ ไต้หวันและฮาวาย ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้นำพันธุ์เสาวรสเข้ามาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2498 และมีชื่อเรียกในภาษาไทยต่างๆกัน เช่น เสาวรส กะทกรกยักษ์ กะทกรกฝรั่ง กะทกรกสีดา และเสาวรสีดา เป็นต้น (ชินดวงใจ, 2554)



ภาพ 2.1 เสาวรสปันธ์สีเหลือง (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)

ปัจจุบันเสาวรสปันธ์ที่ปลูกกันมากในประเทศไทยมี 2 สายพันธุ์ (ลพ, 2545) ได้แก่

1. พันธุ์สีม่วง (*Passiflora edulis* f. *edulis*)

เมื่อผลสุกจะมีสีม่วงเข้มผิวเป็นมัน ผลมีลักษณะกลมหรือเป็นรูปไข่ เปลือกมีลักษณะบาง ผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-5 เซนติเมตร น้ำจากผลพันธุ์สีม่วงมีรสชาติดีกว่าพันธุ์สีเหลือง มีความเป็นกรดต่ำ มีสีสวยและรสหวาน จึงเหมาะสำหรับรับประทานสด เสาวรสปันธ์นี้เจริญเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่สูงระดับ 800-1,200 เมตร และมีอากาศเย็น

2. พันธุ์สีเหลือง (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)

เมื่อผลสุกจะมีสีเหลืองขมื่น ผิวเป็นมัน มีขนาดใหญ่กว่าผลสีม่วง เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-7 เซนติเมตร เปลือกหนา เชื่อว่ากลายพันธุ์มาจากผลสีม่วง สามารถเจริญเติบโตได้ดีใน

ที่ราบเขตร้อนชื้นในระดับความสูงประมาณ 400-800 เมตรไม่ต้องการอากาศเย็น น้ำคั้นของพันธุ์นี้มีกรดมากเหมาะสำหรับส่งเข้าโรงงาน เพื่อแปรรูปมากกว่ารับประทานสด

2.1.1 ผลผลิตเสาวรส

ปัจจุบันเสาวรสสำหรับรับประทานสดที่ส่งเสริมการเพาะปลูกจากโครงการหลวงมีการผลิตออกสู่ตลาด โดยมีผลผลิตส่งจำหน่ายตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541/2542 (ส.ค. 2541-ก.พ. 2542) จำนวน 3,905.5 กิโลกรัม ปี พ.ศ. 2542 / 2543 (มี.ค. 2542-ก.พ. 2543) จำนวน 7,012 กิโลกรัมและในปี พ.ศ. 2543 / 2544 (มี.ค. 2543-ก.พ. 2544) จำนวน 37,925 กิโลกรัม (งานพัฒนาและส่งเสริมการผลิตไม้ผล มูลนิธิโครงการหลวง, 2544) ประเทศไทยเป็นแหล่งนำเข้าอันดับ 1 ของจีน โดยมีส่วนแบ่งการตลาดในจีนราว 1 ใน 4 ของการนำเข้าผลไม้ของจีน โดยเสาวรสจัดอยู่ในกลุ่มผลไม้ไทยที่รัฐบาลจีนอนุญาตให้นำเข้าสู่ตลาด 23 ชนิด การนำเข้าผลไม้จีนปี 2553 มีมูลค่าตลาดรวม 2,136 ล้านดอลลาร์ โดยไทยครองตลาดร้อยละ 23.2 สูงเป็นอันดับ 1 ในจีน (แนวน้ำ, 2554) ตลาดกลางสินค้าเกษตร รายงานว่าเสาวรสมีราคาตกลงจากกิโลกรัมละ 45 บาท ลดลงเหลือกิโลกรัมละ 30 บาทในช่วงวันที่ 1 มกราคม 2554 และ 31 มกราคม 2554 (ตลาดไท, 2554)

2.1.2 ประโยชน์ของเสาวรส

เสาวรสเป็นผลไม้อุตสาหกรรม สามารถปลูกเพื่อนำผลผลิตไปแปรรูปเป็นน้ำผลไม้รวมทั้งนำไปใช้แต่งกลิ่น และรสชาติของไอศกรีม ขนมเค้ก เยลลี่ พาย ลูกกวาด และไวน์ เนื่องจากในผลเสาวรสนั้นมีรสเปรี้ยวและมีกลิ่นหอม ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ จึงมีการส่งเสริมการปลูกเพื่อส่งโรงงานแปรรูปเท่านั้น สำหรับการบริโภคเสาวรสนั้น เนื้อในหรือรกที่หุ้มเมล็ดของผลเสาวรสใช้รับประทานสดได้ โดยผ่าผลแล้วเติมน้ำตาลทรายเพียงเล็กน้อยก็สามารถรับประทานได้ทั้งเมล็ด หรือนำไปทำเป็นแยมผลไม้ก็ได้ เปลือกและเนื้อส่วนนอก สามารถนำไปหมักทำเป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยหมักได้ (ลพ, 2545) จากงานวิจัย พบว่า น้ำเสาวรสปั่นชู้ตีเหลืองมีส่วนประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย ปริมาณน้ำร้อยละ 33 ของแข็งที่ละลายได้ประมาณร้อยละ 17 ปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 4.02 นอกจากนั้นมีปริมาณแคลโรทีนอยด์ 3,885 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำเสาวรส วิตามินซีมีปริมาณค่อนข้างสูง คือ 32 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำเสาวรส (Kulkarni and Vijayanand, 2010) นอกจากนี้ยังมีสาร albumin-homologous protein จากเมล็ดของผลเสาวรส ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ และยังมีสรรพคุณช่วยแก้อาการนอนไม่หลับ ลดไขมันในเส้นเลือด และโรคกระเพาะปัสสาวะอักเสบ (ระกาจันทร์, 2553) จากงานวิจัยในการสกัดเพกทินจากเปลือกเสาวรสปั่นชู้ตีเหลืองที่ประเทศฝรั่งเศส พบว่ามีปริมาณเพกทินร้อยละ 19.1

จัดเป็นเพกทินเมทอกซีต่ำ โดยจากการวิเคราะห์คุณภาพในด้านความแข็งแรงของเจล และความหนืดสามารถเทียบคุณภาพได้กับเพกทินทางการค้า (Yapo and Koffi, 2006) แม้ว่าจะมีการศึกษาการสกัดเพกทินจากเปลือกเสาวรสมาทดสอบใช้ในการผลิตแยม (พวงทอง และคณะ, 2541) และมีการนำเปลือกเสาวรสมามาใช้ในการผลิตแยมลดพลังงานแล้วทดสอบคุณภาพได้ผลไม่แตกต่างกับการใช้เพกทินทางการค้า (วิศน์, 2552)

2.1.3 การสุกของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

การสุกของผลไม้มีการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเกี่ยวกับสรีระและเคมี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลไม้ ผลไม้สุกจะอยู่ในสภาพที่มีกลิ่น สี และรสชาติดึงดูดน่าบริโภค ซึ่งแสดงถึงการพัฒนาที่สมบูรณ์ของผลไม้ และเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถจะทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้อีก (ชิตพันธ์, 2549) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของผลไม้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น ภายหลังการเก็บเกี่ยว มักมีการเปลี่ยนสีเกิดขึ้น โดยสีเขียวจะหายไปและมักปรากฏสีเหลืองหรือแดงขึ้นแทน เมื่อผลไม้เริ่มแก่จัด ลักษณะเนื้อสัมผัสจะมีแนวโน้มอ่อนตัวลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบจำพวกเพกทินในมิดเซลลิวอลล์ และมีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในผลิตผลนั้นๆ เช่น ปริมาณน้ำตาลในผลไม้ระหว่างผลแก่ คาร์โบไฮเดรตจะสะสมในรูปของสตาร์ชมากขึ้น และเมื่อเกิดกระบวนการสุกสตาร์ชจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาล สามารถวัดปริมาณน้ำตาลเพื่อชี้บ่งระยะความแก่และสุกของผลไม้ได้ นิยมวัดปริมาณน้ำตาลในรูปของของแข็งที่ละลายน้ำได้ เพราะน้ำตาลเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และปริมาณกรดทั้งหมดที่โดดเด่น น้ำผลไม้ด้วยสารละลายต่างมาตรฐาน ในขณะที่ผลไม้มัแก่และเริ่มสุก ปริมาณกรดจะลดลงอย่างรวดเร็วสัมพันธ์กับระยะการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ปริมาณกรดที่ได้จากการไตเตรทและค่า pH ของน้ำผลไม้อาจไม่สัมพันธ์กัน เพราะค่า pH จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนอิสระ ซึ่งตามปกติปริมาณกรดไม่สามารถใช้ชี้บ่งระยะความแก่ได้โดยตัวเอง แต่จะสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด จึงนิยมใช้อัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดจะแสดงถึงความสุกของผลไม้ ซึ่งค่ายิ่งมากแสดงว่าผลไม้สามารถเปลี่ยนแป้งไปเป็นน้ำตาลได้มาก ซึ่งจะชี้บ่งระยะความสุกของผลิตผลได้ดีกว่าการพิจารณาเฉพาะปริมาณของแข็งที่ละลายได้หรือปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้เพียงอย่างเดียว (นิธิยา และคณะ, 2548; จริงแท้, 2541) โดยทั่วไปสามารถจำแนกตามอัตราการหายใจได้ 2 กลุ่ม คือ

1. ผลไม้ประเภท climacteric fruit เป็นกลุ่มของผลไม้ที่บ่มแล้วสุก จะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้น โดยจะมีอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีกระบวนการสุกเกิดขึ้นจนถึงจุดที่มีอัตราการหายใจสูงสุด ผลไม้ประเภทนี้จะถูกเก็บมาจากต้นในระยะผลแก่จัด ซึ่งมีอัตราการหายใจลดลงถึงจุดต่ำสุด และเมื่อผลไม้เริ่มสุกอัตราการหายใจจะสูงขึ้น ผลไม้กลุ่มนี้ได้แก่ แอปเปิล กล้วย ฝรั่ง มะม่วง อะโวคาโด แคนตาลูป มะละกอ เสาวรส และมะเขือเทศ เป็นต้น

2. ผลไม้ประเภท non climacteric fruit เป็นกลุ่มของผลไม้ที่บ่มแล้วไม่สุก จะมีอัตราการหายใจคงที่เมื่อผลไม้เริ่มสุก โดยกระบวนการสุกจะเกิดขึ้นช้าๆ ภายหลังการเก็บเกี่ยวจากต้น ดังนั้นจึงควรเก็บเกี่ยวผลไม้ในระยะที่มีคุณภาพเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียภายหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลไม้บางชนิดมีคุณภาพต่ำ ตัวอย่างผลไม้กลุ่มนี้ได้แก่ เชอร์รี่ องุ่น ลิ้นจี่ สับปะรด ชมพู และส้มชนิดต่างๆ เป็นต้น

ศรินภา และสาวิตรี (2555) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของเสาวรสภายหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิ 19-20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 54-59 เป็นเวลา 14 วัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ค่า pH และอัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น จากสภาวะการบ่ม แสดงให้เห็นว่าเสาวรสยังสามารถสุกเพิ่มขึ้นได้ และเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดต่อปริมาณกรดกับระยะเวลาการบ่ม พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ($p \leq 0.05$) โดยระยะเวลาในการบ่ม จะส่งผลให้อัตราส่วนนี้เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณกรดจะลดลง

2.2 เพกทิน (Pectin)

เพกทินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในชั้นของผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) และ intercellular layers หรือ middle lamella ทำหน้าที่ยึดเซลล์ให้ติดกัน โครงสร้างของเพกทินไม่ได้เรียงตัวกันเป็นเส้นใย แต่เรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ เพกทินมีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งประกอบด้วยกรดกาแลกทูโรนิก (D-galacturonic acid) เป็นส่วนใหญ่ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบอัลฟา 1,4 ซึ่งบางหน่วยอาจถูกเอสเทอร์ิฟิเคชันด้วยหมู่เมทิลหรืออะซิเตลที่ตำแหน่งของกรดคาร์บอกซิลิก เนื้อเยื่อของพืชบางชนิดจัดเป็นแหล่งของเพกทิน เช่น พืชตระกูลส้ม (citrus family) แอปเปิลและเยื่อของบีตน้ำตาล (sugar beet pulp) โดยปริมาณเพกทินที่พบคือ มีปริมาณร้อยละ 15 ในแอปเปิล และ ในพืชตระกูลส้มร้อยละ 30 เมื่อคิดต่อน้ำหนักแห้ง (ฉัชชา, 2550) และยังพบเพกทินจากเปลือกส้มโอร้อยละ 1.415 (ปทุมทริกา และคณะ, 2551) และเพกทินจากผักกาดขาวร้อยละ 3.46 (กนกพร และเจนจิรา, 2552) และนำมาใช้เป็นสารก่อให้เกิดเจลในอุตสาหกรรมอาหารอย่างกว้างขวาง และมีความสำคัญต่อเนื้อสัมผัสในแยมและผลิตภัณฑ์ที่มีรสหวาน เช่น ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด (อัจฉรา, 2549)

เพกตินคือ กรดเพกติกที่ละลายน้ำได้ มีขนาดความยาว และน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 50,000 ถึง 200,000 โดยขึ้นกับแหล่งที่เกิด วิธีการสกัด และการเตรียม ในโมเลกุลเพกตินจะมีปริมาณเอสเทอร์แตกต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับ แหล่งที่เกิด ความแก่อ่อนของผลไม้ และวิธีการสกัด (นัยทัศน์ และคณะ, 2543)

โดยปริมาณเมทอกซินั้นจะแสดงถึงน้ำหนักของหมู่เมทอกซี ($-OCH_3$) ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลของเพกติน และการแสดงปริมาณเอสเทอร์นี้ ถูกกำหนดในรูปของปริมาณเมทอกซี (methoxyl content) หรือระดับการเกิดเมทอกซีเอสเทอร์ ซึ่งนิยมเรียกว่า DM (ปราณี, 2549) โดยจะคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด ปริมาณเมทอกซีสูงสุดจะมีค่าร้อยละ 16.32 โดยคิดจากน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของหมู่เมทอกซี คือ 31 เทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของกรดเมทอกซีกาแลกทูโรนิก คือ 190 และค่าระดับการเกิดเอสเทอร์ หรือค่า DM นั้นจะแสดงถึงร้อยละของกลุ่มคาร์บอกซิลที่เกิดเอสเทอร์ คิดเทียบจากปริมาณทั้งหมด ดังนั้นค่า DM ร้อยละ 100 จะเทียบเท่ากับค่าปริมาณเมทอกซีร้อยละ 16.32 (กิตติพงษ์, 2536) เพกตินที่มีค่า DM ลดลงจะมีความสามารถในการเกิดเจลกับน้ำตาลและกรดลดลง ซึ่งค่าที่เหมาะสมของเพกตินที่จะเกิดเจลได้ดีเมื่อมีค่าปริมาณร้อยละ 50 (Buren, 1991)

2.3 เกรดของเพกติน

เพกตินจะให้เกรดต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ ความแก่อ่อนของผลไม้ วิธีการสกัด และวิธีการแยกตะกอนของเพกติน คณะกรรมการ IFT (1959) ได้กำหนดมาตรฐานของเพกตินเป็น ที่แสดงในรูปเฮลลีเกรดหรือเพกตินเกรด ซึ่งทดสอบความแน่นเนื้อของเจล จะกำหนดเพกตินทางการค้าให้มี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 65 เกรดของเพกตินจะบอกค่ากิโกรัมของน้ำตาลที่จะใช้ผสมกับเพกติน 1 กิโลกรัม เพื่อให้ได้เจลที่เหมาะสมตามต้องการ เช่น เพกตินเกรด 150 ต้องใช้เพกติน 1 กิโลกรัม ต่อน้ำตาลทราย 150 กิโลกรัมที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 65 บริกซ์ และค่า pH ที่เหมาะสม (พวงทอง และคณะ, 2541) Pruthi and Lal (1995) ได้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเปลือกเสาวรสปันธุ์สีม่วง พบว่ามีเพกตินร้อยละ 9-15 ซึ่งมีปริมาณเมทอกซีร้อยละ 9-10 และเป็นเพกตินเกรด 175-225 วิศน (2552) รายงานว่าเปลือกเสาวรสปันธุ์สีเหลืองมีค่าเฮลลีเกรด 60 และณรงค์ (2546) ได้ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของเพกตินที่สกัดได้จากกากฝรั่ง พบว่ามีค่าเฮลลีเกรดอยู่ในช่วง 150-160 และผงเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอ มีค่าเฮลลีเกรด 280 (นัทรชัย และคณะ, 2552) นอกจากนี้ยังมีการแบ่งเกรดของเพกตินจากระดับเอสเทอร์ โดยการวัดค่าปริมาณเมทอกซีซึ่งกากฝรั่งที่มีการสกัดโดยใช้โซเดียมเฮกซามेटาฟอสเฟต (SHMP) ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าเมทอกซีอยู่ที่ 3.49 ซึ่งจัดว่าเป็นเพกตินชนิดเมทอกซีต่ำ สอดคล้องกับ Tulyathan *et al.* (1992) รายงานการ

สกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวเป็น โดยใช้ความร้อนทำลายเอนไซม์เพกทินเนสก่อน ด้วยการต้มในเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 นาน 15 นาที แล้วนำกากไปสกัดเพกทิน โดยใช้สารช่วยสกัด sodium hexametaphosphate (SHMP) สกัดที่ pH 2 ถึง 5 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที พบว่าการใช้ SHMP สามารถลดผลของความเป็นกรดต่อเอสเทอร์ฟิเคชันของเพกทินได้ วิศนี (2552) ได้ทำการทดลองใช้เปลือกในเสาวรสมแทนเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า โดยการลวกผ่านน้ำร้อนเดือดเป็นเวลา 5 นาที และนำมาแช่ในน้ำเย็นทันที จากนั้นนำมาใช้ในการผลิตแยมลดพลังงาน ซึ่งพบว่ามีความสามารถในการเซตตัวของแยม รวมถึงมีการยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคที่ดีและมีคุณภาพเทียบเคียงกับ เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า

2.4 การผลิตแยมลดพลังงาน

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 182 พ.ศ. 2541 ระบุว่าผลิตภัณฑ์ที่จะกล่าวอ้างว่าอาหารลดพลังงาน คืออาหารที่ถูกลดพลังงานตั้งแต่ร้อยละ 25 ขึ้นไป ของอาหารสูตรปกติ การลดพลังงานในอาหารสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบภายในอาหารนั้น ซึ่งน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยม ทำให้การลดปริมาณน้ำตาลลง จะมีผลต่อการเกิดเจลของแยม ทำให้สมดุลองค์ประกอบในแยมเปลี่ยนไป ส่งผลให้โครงสร้างร่างแหของเจลไม่แข็งแรง ทำให้ของเหลวแยกตัวออกจากส่วนที่เป็นของแข็งหรือส่วนที่เป็นเจล และยังมีผลในด้านรสชาติของแยมอีกด้วย ดังนั้นการผลิตแยมลดพลังงาน โดยลดปริมาณน้ำตาลลงอาจทำได้โดยเลือกใช้สารขึ้นเหนียวที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลทดแทนเพกทิน หรือใช้สารที่ให้ความหวานที่มีพลังงานต่ำแทนความหวานจากน้ำตาล

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยม

การเกิดเจลในแยมปกตินั้น จะต้องเกิดภายใต้สภาวะ และ องค์ประกอบที่เหมาะสม องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจล คือ เพกทิน น้ำตาล และกรด

2.5.1 เพกทินต่อการเกิดเจล

เพกทินจะมีการแบ่งได้ 2 ประเภทตามระดับของเมทอกซี คือเพกทินชนิดเมทอกซีสูง และเพกทินชนิดเมทอกซีต่ำ โดยที่ปริมาณของเมทอกซีเอสเทอร์ใน โมเลกุลจะมีผลต่อการเกิดเจลของเพกทิน ซึ่งเพกทินทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบที่เหมาะสมในการเกิดเจลและให้ความคงตัวที่แตกต่างกัน โดยชนิดที่มีเมทอกซีสูงเหมาะสำหรับนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดต่ำ เช่น เยลลี่ แยมผลไม้ เนื่องจากสามารถเกิดเจลได้ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง

และมีความเป็นกรดต่ำ เจลที่ได้จากเพกตินชนิดนี้จะมีลักษณะอ่อนนุ่มไม่ยืดหยุ่นและเป็นโครงสร้างสายสั้น ส่วนเพกตินเมทอกซีต่ำนั้น สามารถเกิดเจลได้กับอนุมูลโลหะที่มีวาเลนซ์สอง เช่น แคลเซียมไอออน และโดยจะไม่ใช้น้ำตาลหรือใช้ในปริมาณต่ำ ซึ่งแคลเซียมไอออนจะเชื่อมโมเลกุลของเพกตินเข้าด้วยกัน โดยแคลเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดคาแลกทูโรนิกซึ่งจะเป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลเพกติน เจลที่ได้จะมีลักษณะแข็งแรงและอึดของเหลวไว้ภายในได้ทั้งหมดจึงไม่เกิดปัญหาของเหลวแยกตัว (นัยทัสน์ และคณะ, 2543) และสามารถเกิดเจลได้ในช่วงความเป็นกรดระหว่าง 3.0-4.5 (วรรณ, 2549) ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว เพกตินเมทอกซีต่ำจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่เติมน้ำตาล (กฤติกา และเทิดพงษ์, 2543)

2.5.2 น้ำตาลต่อการเกิดเจล

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยม น้ำตาลทำให้เกิดโครงสร้างของเจล และยังให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์แยมอีกด้วย น้ำตาลจะช่วยทำให้เกิดเจลโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลเพกติน หรือน้ำตาลเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเพกตินเป็นอิสระ สามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลบนโมเลกุลเพกตินอื่นๆ หรือบนส่วนอื่นของโมเลกุลเพกตินได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยทำให้เกิดพันธะระหว่างกลุ่มเมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุลเพกตินอีกด้วย (กิตติพงษ์, 2536; นัยทัสน์, 2521)

2.5.3 กรดต่อการเกิดเจล

กรดส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมเป็นกรดอินทรีย์ที่พบได้ตามธรรมชาติ ในผลไม้ที่นำมาใช้ ผลไม้ที่มีความเป็นกรดต่ำอาจจะต้องมีการเติมกรดลงไป กรดที่นิยมเติมในผลิตภัณฑ์ได้แก่ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลคติก กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไป จะลดความเป็นกรดลงได้โดยการเติมเกลือที่มีคุณสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต หรือ โซเดียมซิเตรต การใช้บัฟเฟอร์เหล่านี้ต้องไม่ใช้ในปริมาณมากเกินไป เพราะจะมีผลต่อการเกิดเจลของเพกติน และอาจจะทำลายกรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ (กิตติพงษ์, 2536)

กรดจะเป็นตัวช่วยในการเกิดเจลของเพกติน ในสภาวะที่มีความเป็นกรด - ต่างสูง จะมีผลทำให้หมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของเพกตินแตกตัว ทำให้โมเลกุลที่มีประจุเกิดการผลักกันขึ้นระหว่างโมเลกุลที่มีประจุด้วยกันจะเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ยาก ทำให้เกิดเจลไม่ได้ แต่ถ้ามีกรดจะทำให้ความเป็นกรด-ต่างลดลง ช่วยลดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลได้ และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและสามารถเกิดเจลได้ง่ายขึ้น (Baker *et al.*, 1996)

2.6 การอบแห้ง (Drying หรือ Dehydration)

การอบแห้ง หรือการทำแห้ง จัดเป็นกระบวนการที่ใช้ในการแปรรูปหรือใช้ในการถนอมอาหารมาเป็นเวลานาน โดยการให้ความร้อนแก่อาหารระดับหนึ่งเพื่อให้ไอน้ำออกจากอาหารให้เหลืออยู่ปริมาณน้อยที่สุด ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น เพราะเมื่ออาหารมีน้ำลดลงจะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ได้ นอกจากนี้การอบแห้งยังช่วยลดน้ำหนัก ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง อาหารอบแห้งบางชนิดยังสามารถเก็บรักษาได้ที่อุณหภูมิห้อง ปัจจุบันเครื่องอบแห้งได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างมาก เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์แต่ละชนิด และข้อสำคัญในการอบแห้งคือ เครื่องอบแห้งที่ใช้ควรเป็นเครื่องมือที่ใช้พลังงานความร้อนน้อยแต่ได้ผลผลิตสูงเพื่อลดต้นทุนการผลิตลง (กิตตินันท์, 2549)

2.6.1 วิธีการอบแห้ง

วิธีการอบแห้งสำหรับการแปรรูปอาหารนั้นมีหลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งได้แก่ การอบแห้งแบบลมร้อน และการอบแห้งแบบสุญญากาศ (นักสิทธิ์, 2546)

1. การอบแห้งแบบลมร้อน (air drying) คือการอบแห้งด้วยอากาศร้อน เมื่ออากาศสัมผัสกับอาหาร ความร้อนจากอากาศจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ไอน้ำนี้จะแพร่ผ่านชั้นของอากาศรอบๆ อาหารและถูกพาไปพร้อมกับการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน ทำให้ความดันไอของอากาศที่ผิวลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำของความชื้นในอาหารกับความชื้น ความแตกต่างนี้จะเป็แรงผลักดันให้น้ำจากอาหารระเหยออกมา น้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในชั้นอาหารออกมาสู่ผิวด้วยกลไกเหล่านี้คือ

- (1) น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนที่ด้วยแรงคาปิลารี (capillary force)
- (2) น้ำที่เป็นของเหลวจะเคลื่อนที่โดยการแพร่ เนื่องจากแต่ละส่วนของชั้นอาหารมีความเข้มข้นของตัวทำละลายต่างกัน
- (3) การแพร่ของของเหลวที่ถูกดูดซับที่ผิวขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งในอาหาร
- (4) การแพร่ของไอน้ำในโพรงอากาศในชั้นอาหารเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอ

ในการศึกษาการอบแห้งแบบลมร้อนของผลิตภัณฑ์มะม่วงแก้ว ที่อุณหภูมิ 45, 50 และ 55 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้น แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพอย่างซับซ้อนที่ผิวหน้าของอาหาร ทำให้ผิวหน้าของอาหารแห้งและแข็ง (case hardening) (ฉัญญา, 2545) เนื่องจากในช่วงแรกของการอบแห้งอาหาร ความชื้นจะเกิดการระเหยเร็ว และใช้ความเร็วอากาศร้อนสูง ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำมาก และอาหารมีชั้นบาง ความชื้นในอาหารเคลื่อนที่มาไม่เท่ากับความชื้นที่ระเหยออกจากผิวหน้าอาหาร เกิดการหดตัว (shrinkage) ระหว่างการอบแห้งความชื้นในเซลล์ระเหยออกไปทำให้เกิดช่องว่างภายในเซลล์ และเกิดการหดตัวจากผิวนอก การหดตัวไม่สามารถเกิดได้เท่ากันทุกส่วน ส่วนที่ไม่สามารถหดตัวได้ก็จะยืดออก การยืดตัวของแรงจะทนได้ระดับหนึ่งซึ่งหากมากกว่านั้นผนังเซลล์ตรงบริเวณนั้นจะขาด (นักสิทธิ์, 2546; พรพรด, 2550 และพิไลรัก, 2541)

นอกจากนั้นยังเกิดสีน้ำตาล (browning) ในระหว่างการอบแห้ง ความชื้นจะเคลื่อนที่สู่ผิวหน้า ในขณะที่เดียวกันก็จะนำสารที่ละลายได้ เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ออกมาสู่ผิวหน้า เมื่อเวลาผ่านไปสารเหล่านี้ก็จะเข้มข้นขึ้น เกิดปฏิกิริยา non enzymatic browning ให้สารสีน้ำตาล โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดที่อุณหภูมิสูง เช่น ในการอบแห้งหัวหอมที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า มีอิทธิพลกับน้ำตาล ปริมาณความเป็นกรด และวิตามินซี แต่ไม่ส่งผลต่อค่าเถ้า ไขมัน โปรตีน และใยอาหาร (Guine *et al.*, 2010) นอกจากนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 60-70 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้ม ผิวมีลักษณะเหี่ยวยุบ เกิดการระเหยของสารให้กลิ่นที่มีจุดเดือดต่ำ ทำให้มีกลิ่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ การอบแห้งผักชีลาวและผักชีฝรั่งที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ช่วงอัตราการอบแห้งจะลดลงเท่านั้น จากการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพด้านสีพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำคืออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Doymaz *et al.*, 2006) ในผลิตภัณฑ์ขึ้นแครอทอบในสารละลายออสโมติก Phongsomboon and Intipunya (2009) พบว่าการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์มีค่าออสโมเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.15-0.49 ขณะที่กิตติวัฒน์ (2537) ศึกษาการอบแห้งเม็ดมะม่วงหิมพานต์ พบว่าอุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง การเพิ่มจำนวนถาดไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิของลมร้อนสูงจะสั้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนต่ำ ทั้งนี้ยังมีการศึกษาประสิทธิภาพของแหล่งให้ความร้อนในการสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโอ โดยเปรียบเทียบการอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 70

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4, 5 และ 6 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟกำลัง 100 วัตต์ เป็นเวลา 20, 30 และ 40 นาที ตามลำดับ โดยมีความชื้นสุดท้ายหลังการอบร้อยละ 10 พบว่า อัตราการระเหยน้ำด้วยการอบแห้งเปลือกส้มโอเพื่อสกัดเพกทินด้วยตู้อบลมร้อน เพิ่มขึ้นตาม อุณหภูมิและเวลาเช่นเดียวกัน ($p \leq 0.05$) แต่การใช้อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 6 และ 7 ชั่วโมง ยังให้เพกทินที่มีความชื้นสูงเกินไป และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ให้ปริมาณความชื้นที่ไม่แตกต่างกันกับเพกทินทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (ปทุมทริกา และคณะ, 2551)

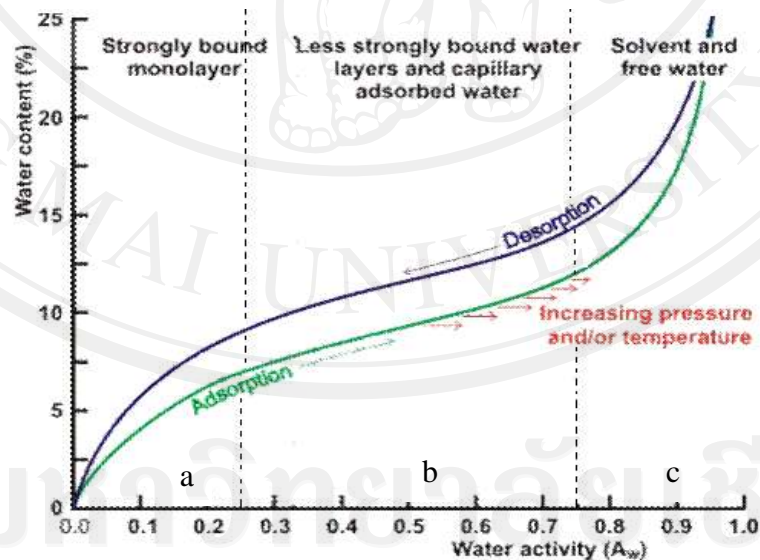
2. การอบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) เป็นการอบแห้งในระบบความดันต่ำ ระดับความดันและอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่ใช้ในระบบนี้ขึ้นอยู่กับความไวต่อความร้อน ต่อวัตถุดิบ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในระบบเป็นแบบการนำความร้อน ซึ่งการนำความร้อนจะทำให้อาหารหดตัวทำให้พื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อนลดลง การศึกษาแบบจำลองการอบแห้งของมะพร้าวด้วยการอบแห้งแบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 65, 70 และ 75 องศาเซลเซียส ความดัน 65 มิลลิเมตรปรอท กำหนดให้มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีในช่วง 0.43-0.5 พบว่า ระยะเวลาการอบแห้งที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อขึ้นตัวอย่างมีความหนาเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการอบมีค่าลดลง เมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (Jena and Das, 2007) และ Long *et al.* (2007) พบว่าการอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่มีระดับความดัน 2.5, 5 และ 10 กิโลปาสกาล และอุณหภูมิในช่วง 30-50 องศาเซลเซียส การหดตัวของมะเขือไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ แต่ขึ้นกับระดับความดันที่สูงขึ้น ส่วนใหญ่ การอบแห้งแบบสุญญากาศนี้ นิยมใช้ในการอบแห้งครั้งที่สองหลังจากที่อาหารผ่านการอบแห้งแบบ ลมร้อน และมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 20-25 เพื่อจะลดความชื้นให้เหลือเพียง ร้อยละ 1-3 อุณหภูมิที่ใช้จะอยู่ในช่วง 35-60 องศาเซลเซียสขึ้นกับวัตถุดิบที่ใช้ (รัตนา และพิไลรัก, 2541)

2.7 ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (Sorption isotherm)

ซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอาหารกับความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity, ERH) ซึ่งค่าวอเตอร์แอกทิวิตีนั้นมีค่าเท่ากับ $a_w = ERH/100$ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์อากาศจะส่งผลต่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีด้วย (นิธิยา, 2551) ความชื้นเป็นปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดความเสื่อมเสียทางด้านกายภาพเคมี และยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียได้ (Labuza and Hyman,

1998) ดังนั้นการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มนั้น จะช่วยทำให้ช่วยทำนายอายุของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังสามารถประเมินอายุการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ต่างๆได้

โดยทั่วไปซอร์ปชันไอโซเทอร์ม จะแบ่งออกได้ 3 ส่วนแตกต่างกันตามความสัมพันธ์ระหว่างน้ำและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ ดังภาพ 2.2 ส่วน a เป็นส่วนที่มีปริมาณความชื้นต่ำ (low moisture zone) จะมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0-0.25 เส้นกราฟจะมีลักษณะค่อนข้างชัน บริเวณนี้จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำและอาหาร โดยตรง และมีพลังงานจากการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด เกิดเป็นน้ำชั้นเดี่ยวบนพื้นอาหาร (monolayer) โดยที่โมเลกุลของน้ำจะไม่มีเคลื่อนที่จึงไม่มีปริมาณน้ำอิสระเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ส่วน b เป็นส่วนที่มีปริมาณน้ำปานกลาง (intermediate moisture zone) จะมีค่า 0.25-0.75 เส้นกราฟจะมีลักษณะค่อนข้างราบ ในส่วนนี้ประกอบด้วยน้ำจากส่วนที่ 1 รวมกับน้ำที่ก่อกันระหว่างน้ำเอง (water-water interaction) และน้ำที่ก่อกันระหว่างน้ำกับอาหาร (water-solid interaction) เกิดเป็นมัลติเลเยอร์ (multilayer) บนผิวของอาหาร และจะมีพลังงานระหว่างพื้นระนาบน้อยกว่าส่วนที่ 1 สำหรับส่วนที่ c เป็นส่วนที่มีความชื้นสูง (high moisture zone) มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.75 จะประกอบด้วยน้ำอิสระจำนวนมากเพราะใน ส่วนนี้ความแข็งแรงของพันธะระหว่างน้ำและอาหารน้อยที่สุด สามารถกำจัดออกได้ง่าย และจะทำให้หน้าที่เป็นตัวทำละลาย สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (ช่อผกา, 2553)



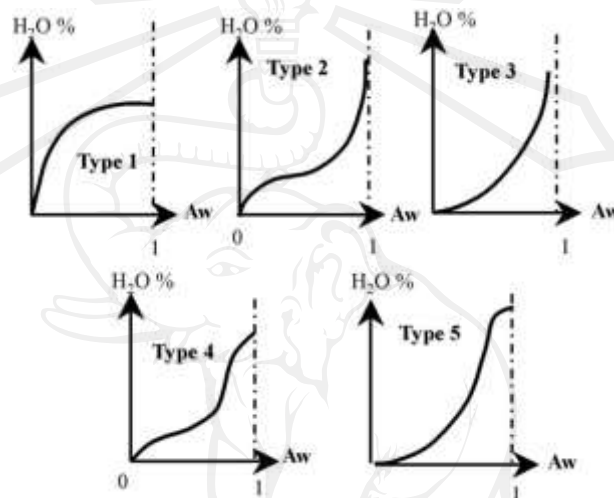
ภาพ 2.2 ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม

ที่มา : Chaplin (2011)

ซอร์ปชันไอโซเทอร์มโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นรูปซิกมอยด์ (sigmoidal shape) สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ adsorption และ desorption ซึ่งกระบวนการทั้งสองมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์อาหาร กระบวนการ adsorption คือกระบวนการเพิ่มความชื้น ซึ่งมีความสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง โดยในการศึกษาจะต้องทำตัวอย่างอาหารให้แห้งก่อน แล้วจึงนำไปปรับความชื้นในภาชนะที่ปิดสนิท ที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวที่เหมาะสม ในขณะที่ desorption เป็นกระบวนการลดความชื้นและมีความสำคัญต่ออาหารที่มีความชื้นสูง ในการศึกษาจะให้ความชื้นกับตัวอย่างที่ระดับปริมาณวอเตอร์แอกทิวิตีสูงๆ จากนั้นจึงกำจัดความชื้นในภาชนะปิดสนิทที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวที่เหมาะสม (Bell and Labuza, 2000) จากภาพ 2.2 จะสังเกตเห็นได้ว่าที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีหนึ่งๆ ปริมาณความชื้นของ desorption จะมากกว่า adsorption เสมอ ซึ่งโดยปกติแล้วจะเป็นกระบวนการที่ไม่สามารถผันกลับได้จะเกิดปรากฏการณ์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ฮีสเทอเรซิส (hysteresis) ซึ่งขนาดของฮีสเทอเรซิสจะขึ้นกับชนิดของอาหาร อุณหภูมิการเก็บรักษา ซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งขนาดของฮีสเทอเรซิสสามารถนำมาคาดคะเนความเสื่อมของอาหาร โดยอาหารที่มีฮีสเทอเรซิสขนาดใหญ่ อาจเป็นผลมาจากการที่มีเส้นกราฟ adsorption และ desorption แตกต่างกันมาก จะมีการดูดความชื้นในปริมาณมากขึ้น จึงอาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสียที่มาจากจุลินทรีย์ได้ (ช่อผกา, 2553)

อาหารแต่ละชนิดจะมีซอร์ปชันไอโซเทอร์มที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โครงสร้างกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณของน้ำที่ยึดภายในอาหาร (วิไล, 2546) รูปร่างของไอโซเทอร์มที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอาหาร ว่าเป็นผลึกที่มีรูปร่างแน่นอน หรือมีโครงสร้างอสัณฐานที่มีรูปแบบไม่แน่นอน อาหารผงส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน เช่น น้ำตาล โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกระหว่างการดูดซับโมเลกุลของน้ำ ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน Brunauer *et al.* (1938) ได้แบ่งประเภทของไอโซเทอร์มเป็น 5 ประเภท ดังภาพ 2.3 โดยประเภทที่ 1 คือ Langmuir isotherm ซึ่งได้มาโดยการดูดซับโมเลกุลเดี่ยวของแก๊สโดยของแข็งที่มีรูพรุน (porous solid) ในปริมาตรของช่องว่างที่จำกัด ประเภทที่ 2 คือ Sigmoid isotherm อธิบายซอร์ปชันไอโซเทอร์มสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ละลายได้ และมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งเข้าหาแนวเส้นวอเตอร์แอกทิวิตีที่มีค่าเท่ากับ 1 สำหรับประเภทที่ 3 คือ Flory-Huggins isotherm ใช้คำนวณสำหรับการดูดซับของตัวทำละลาย หรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นพลาสติกคล้ายคลึงเซอรอลที่อุณหภูมิเหนือค่า T_g หรือเป็นลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีองค์ประกอบเป็นของแข็งที่ละลายน้ำได้ เช่น น้ำตาลหรือเกลือ (Rahman, 1995) ส่วนไอโซเทอร์มประเภทที่ 4 อธิบายการดูดซับโดยของแข็ง

ที่ชอบน้ำ และมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ (swellable hydrophilic solid) จนกระทั่งถึงจุดสูงสุดของการ hydration และประเภทที่ 5 คือ Brunauer, Emmett and Teller (BET) multilayer adsorption isotherm (Brunauer *et al.*, 1938) ใช้สำหรับวิเคราะห์การดูดซับของไอน้ำบนถ่านหินและสัมพัทธ์กับไอโซเทอร์ม ประเภทที่ 2 และ 3 นอกจากนี้ยังพบว่าไอโซเทอร์ม 2 ประเภทที่พบบ่อยที่สุดในผลิตภัณฑ์อาหารคือ ไอโซเทอร์มประเภทที่ 2 และ 4 (Mathlouthi and Roge, 2003)



ภาพ 2.3 ประเภทของซอร์ปชัน ไอโซเทอร์ม

ที่มา : Mathlouthi and Roge (2003)

คุณภาพของอาหารส่วนใหญ่ที่ถูกเก็บรักษาโดยการทำแห้งนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของความคงตัวทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ซึ่งความคงตัวเหล่านี้เป็นผลหลักของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของอาหาร และสอดคล้องกับค่าออสโมติกแอคติวิตีที่อุณหภูมิที่ได้รับ ซึ่งค่าซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มเหล่านี้เป็นลักษณะเฉพาะของอาหารแต่ละชนิด และสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงในการแก้ไขปัญหาการออกแบบ การผลิตอาหาร การทำนายความต้องการการใช้พลังงาน และวิเคราะห์หาสภาวะการเก็บที่เหมาะสม (Peng *et al.*, 2007)

อาหารที่มีลักษณะเป็นผงมีแนวโน้มที่จะมีลักษณะเหนียว และเกาะตัวกันเป็นอนุภาคผง ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อลักษณะดังกล่าว ดังนั้น moisture sorption isotherm เป็นเครื่องมือที่ใช้ประโยชน์สำหรับการทำความเข้าใจในเรื่องของความสัมพันธ์ของผง และปัญหาเกี่ยวกับความคงตัวต่างๆ โดยมีการศึกษาซอร์ปชัน ไอโซเทอร์มของผลิตภัณฑ์อบแห้งหลายชนิด เช่น ผงโยเกิร์ต ที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยการศึกษา adsorption และ desorption ของน้ำในผงโยเกิร์ตที่อุณหภูมิในช่วง 20-40 องศาเซลเซียส และมีค่าออสโมติกแอคติวิตีอยู่ในช่วง 0.40-0.99 พบว่า

sorption capacity มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Stencl, 2004) ในการศึกษาคุณภาพของแอปเปิลที่ 20 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 30, 65 และ 95 พบว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ 95 แอปเปิลจะมีความแน่นเนื้อและให้น้ำหนักที่ดีกว่า (Tu *et al.*, 2000) และธนาสิริ (2549) ศึกษาคุณภาพน้ำพริกหนุ่มอบแห้งชนิดแผ่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และการเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง (45 องศาเซลเซียส) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มของค่าสี L ลดลง ค่า pH มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่สภาวะเร่ง ในขณะที่การใช้สภาวะเร่งด้วยอุณหภูมิและความชื้นในผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงคั่ว โดยมีอุณหภูมิ 23, 30, 35 และ 40 องศาเซลเซียส และควบคุมวอเตอร์แอกทิวิตี ที่ 0.33, 0.44, 0.54, 0.67 และ 0.75 พบว่าคะแนนความชอบโดยรวมของถั่วลิสงคั่วลดลงตาม อุณหภูมิการเก็บที่เพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของวอเตอร์แอกทิวิตีทำให้การยอมรับทางด้านกลิ่นรส และความชอบโดยรวมลดลง (Lee and Resurreccion, 2006) การศึกษาอายุการเก็บรักษาของแป้ง ขนมหั่วสำเร็จรูปที่บรรจุแป้งขนมหั่วในซองอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาดบรรจุ 100 กรัม โดยเก็บที่ อุณหภูมิห้อง ที่ 35 และที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ของแป้งขนมหั่วสำเร็จรูปมีค่าลดลง และเมื่อนำมาผลิตขนมหั่วและวัดค่าทางเนื้อสัมผัส พบว่า ค่าความแข็งและความยืดหยุ่นของขนมหั่วมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิต่างๆ สามารถสรุปได้ว่าแป้งขนมหั่วสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศา เซลเซียส ได้อย่างน้อย 12 สัปดาห์ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ได้ประมาณ 10 สัปดาห์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้อายุการเก็บรักษาลดลง (รุ่งรัตน์, 2544) ซอผกา (2553) ได้ทำการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มของข้าวเคลือบสารสกัดจากใบเตยที่ผ่านการห่อหุ้ม ด้วยสารผสมระหว่างมอลโตเดกซ์ตรินและคาเซียกัม และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิการเก็บ รักษา 10, 30 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าลักษณะของไอโซเทอร์มทั้งสองเป็นส่วนโค้ง และพบว่า อุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ปริมาณความชื้นของข้าว ณ จุดสมดุลจะมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผล ตรงข้ามกับลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของน้ำลำไยผง โดยศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศา เซลเซียส พบว่าปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิสูงขึ้น โดยในช่วงแรกปริมาณ ความชื้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากสมบัติเฉพาะตัวในการ ดูดซับความชื้นของอาหารที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง (ชญานิษา, 2552)

2.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของซอร์ปชันไอโซเทอร์ม

มีสมการทางคณิตศาสตร์หลายสมการที่ใช้ในการอธิบายซอร์ปชันไอโซเทอร์มใน อาหาร เช่นสมการของ Brunauer, Emmett and Teller (BET) model หรือ Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) models โดย Lomauro *et al.* (1985) กล่าวว่า moisture adsorption isotherm ของ

อาหารชนิดหนึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการซอร์ปชันมากกว่าหนึ่งสมการ โดยสมการที่เหมาะสมที่สุดคือสมการที่สามารถให้การทำนายข้อมูลได้แม่นยำที่สุด

สมการ BET ถูกค้นพบโดย Brunauer *et al.* (1938) ไอโซเทอร์มของ BET ส่วนใหญ่จะใช้ที่ค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.05-0.5 ดังสมการที่ 2.1

$$m = \frac{C_B a_w m_0}{(1-a_w)(1+(C_B-1)a_w)} \quad (2.1)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณความชื้นฐานแห้ง
 m_0 คือ ค่าคงที่ของน้ำของ monolayer
 a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี
 C_B คือ ค่าคงที่ของ BET

สมการ GAB หรือ Guggenheim-Anderson-de Boer (Guggenheim *et al.*, 1995) เป็นสมการที่ใช้สำหรับวัตถุดิบอาหารหลากหลายชนิดที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงกว้าง โดยมีรูปแบบดังสมการที่ 2.2

$$m = \frac{C_G K_G a_w m_0}{(1-K_G a_w)(1-K_G a_w + C_G K_G a_w)} \quad (2.2)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณความชื้นฐานแห้ง
 m_0 คือ ค่าคงที่ของน้ำของ monolayer
 a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี
 C_G และ K_G คือ ค่าคงที่ของ GAB

แบบจำลองสมการคณิตศาสตร์ดังกล่าวจะนำมาใช้ในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของตัวอย่างที่ระดับวอเตอร์แอกทิวิตีของน้ำต่างๆกัน ผลการทำนายแต่ละสมการจะนำมาคำนวณหาค่าความเหมาะสมของสมการ เปรียบเทียบโดยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (root mean square error, $RMSE$) ดังสมการที่ 2.3

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (m_e^i - m_p^i)^2}{N}} \quad (2.3)$$

โดยที่ m_e คือ ปริมาณความชื้นจากการทดลอง (moisture content : experiment)
 m_p คือ ปริมาณความชื้นจากการทำนาย (moisture content : predicted values)
 N คือ จำนวนชุดข้อมูล (Number of experimental data)

พบการทำนายในรูปของแบบจำลอง BET และ GAB ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตัวอย่างเช่น ในผลิตภัณฑ์พิตาชิโอเพรส พบว่าในช่วงที่มีค่าแอดอร์แกทวิตีในช่วง 0.07-0.43 แบบจำลอง BET มีความเหมาะสมที่สุด (Maskan and Gogus, 1997) และยังพบการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มในเพกทินจากแอปเปิลและพีชตระกูลส้ม ซึ่งจัดอยู่ในประเภทเพกทินเมทอกซีสูง และเพกทินจากเมล็ดทานตะวันจัดอยู่ในประเภทเพกทินเมทอกซีต่ำ พบว่าแบบจำลอง BET ของเพกทินเมทอกซีต่ำและเพกทินเมทอกซีสูงมีความเหมาะสมมากกว่า เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ที่มีค่า 0.99 ซึ่งมีอิทธิพลมาจากปัจจัยอื่นๆ ทางด้านเคมี กายภาพ ขนาดของโมเลกุล อุณหภูมิ และการเป็นรูปร่างอัญฐาน (Panchev *et al.*, 2010) โดยทั่วไปพบว่า แบบจำลองของ GAB เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับอาหารส่วนใหญ่ เช่น ในแป้งข้าวโพด (Oyelade *et al.*, 2008) ผลไม้อบแห้งจำพวก องุ่น แอปเปิล แอปพริกอด และมันฝรั่งอบแห้ง (Kaymark-Ertekin and Gedik, 2004) ขนมขบเคี้ยวจากข้าว (Sirpatrawan and Jantawan, 2009) ซึ่งแบบจำลอง GAB มีความเหมาะสมในการทำนายค่าแอดอร์แกทวิตีในช่วง 0.10-0.95 (Labuza and Altunakar, 2007)

2.9 การทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)

การวางแผนการทดลองแบบ CCD เป็นการวางแผนการทดลองทางสถิติแบบรีเกรสชันเชิงเส้นหลายตัวแปร (multiple linear regression) สามารถใช้ประโยชน์ในการหาแบบหูนและสำรวจความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยนำแบบหูนนี้ไปใช้ในการคาดคะเน (prediction) ปรับกระบวนการให้เหมาะสม (process optimization) หรือใช้ในการควบคุมการผลิต (process control) เช่น Pinheiro *et al.* (2008) ใช้ CCD เพื่อศึกษาสภาวะในการสกัดเพกทินจากเปลือกเสาวรส Ahmed and Ramaswamy (2004) ใช้ CCD เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของซอสเข้มข้นจากมะละกอ วิตนีย์ (2552) ใช้ CCD เพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์แยมเสาวรสดพลังงาน เป็นต้น

ในการจัดสิ่งทดลองแบบ 3^n จะพบว่า มีสิ่งทดลองในการทดลองเป็นจำนวนมาก ซึ่งใช้เวลา และต้นทุนสูง แผนการทดลอง CCD จะจัดวางสิ่งทดลองลักษณะเป็น 2^n Factorial เป็นพื้นฐาน และมีจุดอื่นๆ ประกอบด้วย อาจแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ตามแบบหุ่น (อิศรพงษ์, 2550) ดังนี้

2.8.1 แบบหุ่นกำลังหนึ่ง (first-order models)

มีการจัดวางสิ่งทดลองแบบ 2^n Factorial และมีสิ่งทดลองที่เป็นจุดกึ่งกลางของระดับในแต่ละปัจจัย แสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แผนการทดลองแบบ 2^n Factorial และทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง

สิ่งการทดลอง	ปัจจัย A	ปัจจัย B
1	-1	-1
2	-1	1
3	1	-1
4	1	1
5	0	0

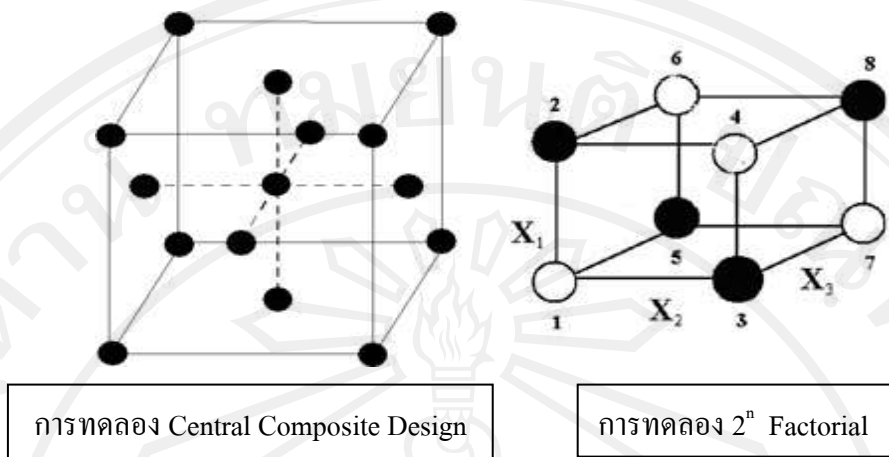
ที่มา: อิศรพงษ์ (2550)

* เฉพาะสิ่งทดลองที่ 5 จะทำซ้ำอีก r ครั้ง

ดังนั้นจำนวนสิ่งทดลองของแผนการทดลองนี้เป็น $2^n + 1r$ โดยที่ n คือ จำนวนปัจจัยที่ศึกษา ส่วน r คือ จำนวนที่ทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยทั่วไป r จะมีค่าน้อยเท่ากับ n ดังนั้นกรณีของการศึกษา 2 ตัวแปร จะมีจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมดเท่ากับ $2^2 + 2 \times 1 = 6$ สิ่งทดลองเป็นอย่างน้อย ขณะที่การศึกษา 3 ปัจจัย ควรมีจำนวนสิ่งทดลองทั้งหมดเท่ากับ $2^3 + 3 \times 1 = 11$ สิ่งทดลอง

2.8.2 แบบหุ่นกำลังสอง (second - order models)

มีการจัดวางสิ่งทดลองแบบ 2^n Factorial และมีสิ่งทดลองที่เป็นจุดกึ่งกลางของระดับในแต่ละปัจจัย และมีจุดแกน แสดงดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 การจัดวางสิ่งทดลองของการทดลองแบบ Central Composite Design และการทดลองแบบ 2ⁿ Factorial

ที่มา: Hu (1999)

ตาราง 2.2 สิ่งทดลองสำหรับ 2 ตัวแปรชนิดกำลังสองแบบหมุน

สิ่งทดลอง	ปัจจัย A	ปัจจัย B
Octagon Design 1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	1.4142	0
6	-1.4142	0
7	0	1.4142
8	0	-1.4142
9	0	0

ที่มา : Gacula and Singh (1984)

2.10 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response surface methodology, RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (response surface methodology) เป็นตัวแทนทางเรขาคณิตที่ได้รับเมื่อผลตอบสนองของตัวแปร (response) ถูกสร้างเป็นฟังก์ชันของตัวแปรเหล่านั้น เทคนิคทางสถิตินี้ใช้แผนภาพ contour plot ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่สนใจ ผลที่ได้

คือสามารถที่จะหาสูตร หรือสภาวะที่เหมาะสม (optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้นได้เมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจเหล่านั้นพร้อมๆ กัน (Gacula and Singh, 1984) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธีการ RSM สามารถแสดงได้ดังสมการ 2.4

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + E \quad (2.4)$$

โดยที่ Y คือ ค่าตอบสนองซึ่งเป็นตัวแปรตาม และ X_1, X_2, \dots, X_k คือตัวแปรที่สนใจ ซึ่งเป็นตัวแปรต้น E คือ error term ของความสัมพันธ์ ฟังก์ชันของตัวแปรเหล่านี้มักใช้สมการลำดับที่ 1 (first order model) หรือ สมการลำดับที่ 2 (second order model) หรือ สมการพหุนาม (polynomial model) เป็นตัวอธิบาย

ขั้นตอนการทำ RSM มีดังนี้ (อนุวัตร, 2550)

- 1) เลือกแผนการทดลองที่เหมาะสมที่จะให้ข้อมูลเพียงพอในการสร้าง contour plot
- 2) สร้างแบบจำลองหรือสมการเชิงเส้นที่ดีที่สุด
- 3) สร้าง contour plot หรือ surface plot จากสมการที่ได้
- 4) ตรวจสอบหาค่าจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (optimization)
- 5) พิสูจน์แบบจำลอง (validation) โดยการทำการทดลองใหม่จากจุดที่เหมาะสมภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัวแล้วเปรียบเทียบกับค่าจากการทดลอง และค่าที่ทำนายได้จากสมการ

วิธีการ RSM ได้ถูกนำมาประยุกต์ในงานด้านอุตสาหกรรมเกษตรมากมาย เช่น ใช้ในการหาสภาวะการสกัดเพกทินจากแอปเปิล (Wang *et al.*, 2007) การสกัดเพกทินจากเปลือกในเสาวรส โดยใช้กรดซิตริกที่มี pH เท่ากับ 1 อุณหภูมิในการสกัด 80 องศาเซลเซียส และใช้เวลาสกัดนาน 10 นาที ทำให้ได้ปริมาณเพกทินสูงสุดร้อยละ 70 (Kliemann *et al.*, 2009) และใช้ในการพัฒนาสูตร และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น น้ก่ดไ้ที่มีส่วนผสมของถั่วพุ่ม และถั่วลิสง (Prinyawiwatkul *et al.*, 1997) ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม (จาริณญา, 2554) ผลิตภัณฑ์จากธัญญาพืชชนิดฟรีไบโอติก (Dutcosky *et al.*, 2006) ขนมขบเคี้ยวจากข้าวผสมมัลเบอร์รี่ (Charunuch *et al.*, 2008) รวมไปถึงขนมขบเคี้ยวจากข้าวเสริมโปรตีนและใยอาหาร (Sriwattana *et al.*, 2008)

2.11 การประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

การประเมินทางประสาทสัมผัส (sensory evaluation) คือวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้เพื่อวัด วิเคราะห์ และแปลความขณะรับรู้ความรู้สึกโดยการเห็น การได้ยิน การได้กลิ่น การชิมรส และการสัมผัส คำจำกัดความนี้ได้เป็นที่ยอมรับ และรับรองโดยคณะกรรมการประเมินทางประสาทสัมผัสในองค์กรวิชาชีพต่างๆ เช่น The Institute of Food Technologists (IFT) และ The American Society for Testing and Materials (ASTM) (สุจินดา, 2547) ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นระบบจะมีการทดสอบผลิตภัณฑ์กับผู้บริโภคเป็นระยะๆ ผู้บริโภคจะมีบทบาทในการเลือกแนวความคิดผลิตภัณฑ์ (product concept) การเลือกผลิตภัณฑ์จากสูตรตามความชอบของผู้ทดสอบ การประเมินผลผลิตภัณฑ์ขั้นทดลอง (pilot plant) และทดลองผลิตขั้นโรงงาน (process line) การพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคจัดว่ามีความสำคัญ เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาขึ้นได้รับความสนใจในเชิงพาณิชย์ (ไพโรจน์, 2545) ซึ่งมีวิธีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. การทดสอบความแตกต่าง
2. การทดสอบเชิงพรรณนา
3. การทดสอบความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์

2.11.1 วิธีการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์

เป็นวิธีการที่ใช้เพื่อประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจจะเป็นความแตกต่างโดยรวมหรือความแตกต่างเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ วิธีนี้เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการประเมิน อย่างไรก็ตามผู้ทดสอบควรผ่านการคัดเลือกและฝึกฝน และมีความเข้าใจในวิธีการประเมินและลักษณะเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างดี การประเมินความแตกต่างโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยวิธีการประเมินที่นิยมทั้ง 5 วิธี (เพ็ญขวัญ, 2550) ได้แก่

1. การเลือกตัวอย่างที่จากสามตัวอย่าง (Triangle test) ใช้หาความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้จากลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพทางสถิติ เนื่องจากผู้ประเมินมีโอกาสในการเดาเพียง 1 ใน 3 ผู้ประเมินอาจจะเกิดความล่าช้าและสับสนในเรื่ององค์ประกอบของความแตกต่าง รวมถึงผลการประเมินมักไม่บอกทิศทางและขนาดของความแตกต่างที่แท้จริง จึงควรใช้วิธีการนี้ในกรณีผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างไม่เด่นชัดทุกๆลักษณะ

2. การเปรียบเทียบตัวอย่างคู่กับตัวอย่างอ้างอิง (Duo-Trio test) ใช้หาความแตกต่างโดยรวมระหว่างสองตัวอย่างโดยกำหนดให้ 1 ตัวอย่างเป็นตัวอย่างอ้างอิง วิธีนี้เป็นวิธีที่

เข้าใจและทำได้ง่าย เพราะการใช้ตัวอย่างอ้างอิงจะช่วยหลีกเลี่ยงความสับสนของผู้ประเมิน วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพการทดสอบทางสถิติต่ำ เนื่องจากผู้ประเมินสามารถเดาได้ถูกร้อยละ 50 และผลการประเมินมักไม่บอกทิศทางและขนาดของความแตกต่างที่แท้จริง จึงควรใช้วิธีการนี้ในกรณีผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างไม่เด่นชัดทุกๆลักษณะ

3. การเลือกสองจากห้าตัวอย่าง (Two-out-of-Five test) ใช้หาความแตกต่างโดยรวมระหว่างสองตัวอย่าง เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพการทดสอบทางสถิติสูงมาก เนื่องจากผู้ประเมินสามารถเดาได้ถูกเพียงร้อยละ 10 วิธีนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้กับการประเมินการมองเห็น การฟัง และการสัมผัสได้ดีกว่าการประเมินการรับรสและดมกลิ่น เนื่องจากผู้ประเมินอาจจะเกิดความล่าในการประเมิน นอกจากนั้นยังไม่เหมาะที่จะใช้ในการประเมินผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสแรง หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความมันสูงและ ผลการประเมินไม่บอกทิศทางและขนาดของความแตกต่างที่แท้จริง

4. การเปรียบเทียบตัวอย่างคู่อย่างง่าย (Simple paired comparison test) เพื่อหาความแตกต่างโดยรวมระหว่าง 2 ตัวอย่าง เป็นวิธีที่ง่ายและเหมาะสำหรับการประเมินความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสจัดและกลิ่นรสตกค้างนาน แต่วิธีนี้ใช้เวลาค่อนข้างมาก และผลการประเมินไม่สามารถบอกทิศทางและขนาดที่แท้จริงของความแตกต่างได้ นอกจากนี้ควรใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัดในทุกๆลักษณะของผลิตภัณฑ์

5. การประเมินแบบ “A” ไม่ใช่ “A” (“A” Not “A” test) วิธีนี้เป็นใช้หาความแตกต่างโดยรวมระหว่างสองตัวอย่าง และเป็นที่ยอมรับมากกว่าการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่กับตัวอย่างอ้างอิง วิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่อย่างง่าย และวิธีการเลือกตัวอย่างก็จากสามตัวอย่าง เพราะเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสจัดและความมันสูง ซึ่ง 1 ใน 2 ผลิตภัณฑ์ และเป็นที่คุ้นเคยของผู้ประเมิน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตอยู่แล้ว วิธีนี้ทำให้ผู้ประเมินเกิดความสับสนได้น้อย แต่มีประสิทธิภาพการทดสอบทางสถิติต่ำ ไม่มีทิศทางและขนาดที่แท้จริงของความแตกต่าง

2.11.2 การประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์

การประเมินความชอบ และการยอมรับผลิตภัณฑ์เป็นวิธีการที่วัดความชอบหรือการยอมรับจากความรู้สึกส่วนตัวของผู้ประเมินที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่กำลังทดสอบโดยผู้ประเมินจะเป็นผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าสรุปและผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่น่าพอใจจึงต้องใช้ผู้ทดสอบที่มีจำนวนประชากรมาก โดยวัตถุประสงค์ของการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์มี (เพ็ญขวัญ, 2550) ดังนี้

1. เพื่อประเมินความชอบโดยรวมของผู้ประเมินที่มีต่อผลิตภัณฑ์
2. เพื่อประเมินความชอบของผู้ประเมินที่มีต่อลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์
3. เพื่ออนุมานการตอบสนองของผู้ประเมินโดยสร้างความสัมพันธ์กับฐานข้อมูลค่าของแผนภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัส และข้อมูลทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์

ในงานวิจัยใช้วิธีการประเมินความชอบและการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ hedonic scale method เริ่มคิดค้นในช่วงปี ค.ศ.1940 โดย Peryam และ Pilgrim โดยระดับคะแนนที่ใช้วัดจะเป็น 5, 7 และ 9 คะแนน (Peryam and Pilgrim, 1957) ในงานวิจัยนี้ใช้ระดับคะแนนที่ 9 คะแนน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการใช้ครั้งแรกเมื่อเกือบ 200 ปีก่อน การใช้ได้ขยายวงกว้างขึ้นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เมื่อความจำเป็นในการวัดความต้องการอาหารและลักษณะของอาหารที่ต้องการของกองทัพ ในปี ค.ศ. 1947 สเกลแบบ 7-point hedonic scaling ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกโดยสถาบัน Quartermaster Food and Container Institute เพื่อตรวจสอบความชอบของทหารในรายการอาหาร ซึ่งประโยชน์ดังกล่าวได้รับความสนใจและในปี ค.ศ. 1952 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงปริมาณในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์แฮมเสาวรสดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสดเปลือกในเสาวรสดแห้ง และเพกทินทางการค้า โดยใช้วิธี hedonic scale method ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการทดสอบการยอมรับ เช่นในการพัฒนาหาสูตรที่เหมาะสมของนักเก็ตไก่ โดยใช้ระดับคะแนนที่ 5.4 เป็นเกณฑ์ (Prinyawiwatkul *et al.*, 1997) ในขณะที่ Sriwattana *et al.* (2008) ได้ใช้ระดับคะแนน 6.5 เป็นเกณฑ์ในการหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดของขนมขบเคี้ยวจากปลายข้าว นอกจากนี้ Deshpande *et al.* (2008) ได้ใช้ระดับคะแนนที่ 5.0 ในการหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องดื่มจากถั่วลิสงและถั่วเหลือง เป็นต้น