บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผล

จากผลการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

การตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของปลากะตักสด พบว่ามีลำตัวตรง ยาวเรียว ด้านข้างแบน ท้องเป็นสัน ท้องไม่แตก หัวโต ตาโต ตาเป็นสีดำมัน ตาดำไม่ขุ่น ผิวหนัง มีความเป็นมันเงา เกล็ดบริเวณหน้าครีบท้องแข็งเป็นหนาม แถบข้างลำตัวสีเงินชัดเจน และมีเนื้อสัมผัสไม่นุ่มตามแรงกด ส่วนคุณภาพทางเคมี พบว่า ปลากะตักสดมีความชื้นอยู่ประมาณ 427 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง (80 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก) และมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.98 และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และปริมาณเกลือเท่ากับ 21.64, 2.5 ,7.3 และ 0.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับการรายงานของ Plahar, Nerquaye-Tetteh, and Annan. (1999) พบว่า คุณภาพปลากะตักสดมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 71.2 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โปรตีน ไขมันและเถ้า 20.7, 1.4 และ 7.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการรายงานของวรรณวิภา สุวรรณรักษ์ (2546) พบว่าปริมาณความชื้นของปลากะตักสดขณะเก็บรักษาในน้ำผสมน้ำแข็งและเก็บที่อุณหภูมิห้อง มีปริมาณความชื้นค่อนข้างคงที่ตลอดการเก็บรักษา 5 ชั่วโมง โดยปลาที่เก็บรักษาในน้ำผสมน้ำแข็ง มีปริมาณความชื้นสูงกว่าปลาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง คือมีปริมาณความชื้นเฉลี่ยตลอดการเก็บรักษา 79.90 - 82.16 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เมื่อตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่า ปลากะตักสดมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 6.7 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นอีกดัชนีที่ใช้วัดการเสื่อมเสียของสัตว์น้ำได้ โดยปลาที่ยังมีชีวิตมีค่าความเป็นกรด ด่างใกล้ 7 ในขณะที่ปลาที่เริ่มเสื่อมเสียจะมีค่าความเป็นกรด ด่างในช่วง 6.0 – 6.5 และลดลงเมื่อเกิดการเสื่อมเสียมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดสัตว์น้ำ ฤดูกาล และปัจจัยอื่น ๆ จากผลการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ แสดงให้เห็นว่าปลากะตักสด ที่นำใช้ในการมาทดลองมีคุณภาพด้านความสดดี

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ความเร็วลม 1.46 เมตรต่อวินาที พบว่า

ปลากะตักสดความชื้นเริ่มต้นประมาณ 427 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 80, 45 และ 35 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 4 – 2) สังเกตได้ว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูง (อุณหภูมิ 140 °C) สามารถลดความชื้นของปลากะตักในการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิ 120 และ130 °C) ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับปลากะตักมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปยังเนื้อปลากะตักได้มากกว่า ส่งผลให้น้ำภายในเนื้อปลากะตักระเหยออกมาได้ดีกว่า ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงคือที่อุณหภูมิ 140 °C ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 และ 120 °C

ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 380 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้งใช้เวลาในการอบแห้ง 95, 50 และ 35 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 4 -- 3) การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูง (อุณหภูมิ 140 °C) สามารถลดความชื้นของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ในการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิ 120 และ130 °C) ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงคือที่อุณหภูมิ 140 °C ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 และ 120 °C ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับในปลากะตักสด ซึ่งสาเหตุที่ความชื้นเริ่มต้นของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือนั้นมีค่าน้อยกว่าปลากะตักสด เนื่องจากเมื่อทำการแช่ปลากะตักในน้ำเกลือ อนุภาคของเกลือจะสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อปลาและทำให้เกิดการดึงน้ำออกมาบริเวณที่ผิวของเนื้อปลาได้ตามหลักการของแรงดันออสโมซิส (Osmosis Pressure) แต่อย่างไรก็ตามเกลือยังมีสมบัติในการละลายโปรตีนเส้นใยย่อย (Myofibrilar Protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำเกลือ (Salt-Soluble Meat Proteins) และเมื่อโปรตีนถูกทำละลายโดยน้ำเกลือโปรตีนก็จะแปลงสภาพ (Denature) กลายเป็นเจลและไปเคลือบอยู่รอบ ๆ เส้นใยกล้ามเนื้อ ซึ่งจะทำให้น้ำในเนื้อปลากะตักระเหยได้ยากขึ้น จึงใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าปลากะตักสด (Verbeken et al., 2005)

การอบแห้งปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 323 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ

140 °C จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 70, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ (ภาพที่ 4 – 4) การต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ เป็นการให้ความร้อนแก่ปลากะตักจนสุกและยังเป็นการลดความชื้นของปลากะตักก่อนการอบแห้ง จึงทำให้ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3เปอร์เซ็นต์ มีความชื้นต่ำกว่าปลากะตักสด และปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูง (อุณหภูมิ 140 °C) สามารถอบแห้งปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ (อุณหภูมิ 120 และ130 °C) ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงคือที่อุณหภูมิ 140 °C ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 และ 120 °C ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับในปลากะตักสดและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม การอบแห้งปลากะตักที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง จะให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าปลากะตักที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ เนื่องจากปลากะตักที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะมีความแตกต่างของความเข้มข้นของน้ำระหว่างตัวกลางและปลากะตักมาก ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลระหว่างตัวกลางและปลากะตักได้ดี นั่นคือน้ำสามารถเคลื่อนที่ออกจากปลากะตักที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงได้ดีกว่าปลากะตักที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาการทำแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้งระหว่าง 120 – 160 °C และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งระหว่าง 30 – 100 นาที พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของเนื้อสัตว์ทุกชนิดได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ได้แก่ เนื้อไก่ (Nathakaranakule et al., 2006) กุ้ง (สำราญ ธิช่างทอง, 2544; คลฤดี ใจสุทธิ์, 2543; Namsanguan et al., 2004; Prachayawarakorn et al., 2002) ปลากะตัก (สำราญ ธิช่างทอง, 2544) เนื้อไก่ปรุงรส (สุดาทิพย์ คงขำ, อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2549) เนื้อหมู (ธนิต สวัสดิ์เสวี, 2549; ฉรงค์ อึ้งกิมบ้วน, 2544; พลสันต์ วงษ์ศรี, 2548) เนื้อหมูปรุงรส (วันชลี เพ็งพงศา, อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2549) เนื้อวัว (ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ และคณะ, 2549; ศิริวัฒ สินประเสริฐ, 2548) ปลาร้า (ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ และคณะ, 2549; ฉรงค์ อึ้งกิมบ้วน, 2544)

การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ในการอบแห้งปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบแห้งปลากะตัก ได้ดังภาพ4 – 5 (ก) ถึง 4 – 7 (ก) และ 4 – 5 (ข) ถึง 4 – 7 (ข) ซึ่งจากภาพแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สามารถแบ่งช่วงเวลาการอบแห้งได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ หรือช่วงอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (ฉัตรชัย นิมมล, 2548) ในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง อุณหภูมิของปลากะตักมี

อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เมื่อไอน้ำร้อนยวดยิ่งสัมผัสกับปลากะตัก ที่มีอุณหภูมิต่ำ จะส่งผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ ที่บริเวณผิวของปลากะตัก ทำให้เกิดช่วงอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.0 ในการอบแห้งปลากะตัก การเปลี่ยนแปลงสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวนี้ จะคายพลังงานออกมาเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ ส่งผลให้ปลากะตักมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้นมาก คือเกิดขึ้นภายใน 30 วินาทีแรกของการอบแห้ง แล้วจึงตามมาด้วยการลดลงของความชื้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 4 – 5 (ก) ถึง 4 – 7 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงหลักที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้ง คือช่วงของอัตราส่วนความชื้นที่ลดลง ดังนั้นในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นในระหว่างการอบแห้งด้วยแบบจำลองของ Newton และ Page จึงเริ่มต้นการทำนายจากจุดที่มีอัตราส่วนความชื้นลดลงก็คือ จุดที่เวลาเท่ากับ 30 วินาที ในปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4 – 9 ถึงภาพที่ 4 – 17) ในช่วงอัตราการส่วนความชื้นลดลงช่วงแรก จะเป็นช่วงที่ปลากะตักยังมีความชื้นสูงอยู่ โดยเฉพาะที่บริเวณผิวของปลากะตักอันเนื่องมาจากการควบแน่นของไอน้ำ ดังนั้นในช่วงนี้การถ่ายเทมวลและความร้อนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณผิวของปลากะตัก ซึ่งการถ่ายเทมวลและความร้อนที่บริเวณผิวของปลากะตักนั้นจะง่ายกว่าการถ่ายเทมวลและความร้อนภายในเนื้อปลากะตัก ดังนั้นอัตราการระเหยน้ำในช่วงนี้จะสูง ความชื้นของปลากะตักจะลดลงอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิของปลากะตักก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน และเมื่อความชื้นที่ผิวของปลากะตักลดลงมากแล้วก็จะเริ่มเข้าสู่ช่วงอัตราการส่วนความชื้นลดลงช่วงที่สอง ซึ่งในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่การถ่ายเทมวล และความร้อนเกิดขึ้นในเนื้อปลากะตักเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในปลากะตักมายังผิวจะช้า และยากกว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังตัวกลาง อัตราการระเหยของน้ำในช่วงนี้จะถูกควบคุมโดยความต้านทานของเนื้อวัสดุ ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำในช่วงนี้ จะน้อยกว่าช่วงอัตราการส่วนความชื้นลดลงช่วงแรก สำหรับช่วงอัตราการส่วนความชื้นลดลง มีสมมติฐานคือ อุณหภูมิภายในปลากะตักสม่ำเสมอ แล้วจึงตามมาด้วยการลดลงอย่างต่อเนื่องของอัตราส่วนความชื้น ในการศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ของปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4 – 8 ถึงภาพที่ 4 – 16) และจากการแทนค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาลงในแบบจำลอง Newton และ Page สามารถหาค่าคงที่ ค่า SEE และค่า R^2 ในแบบจำลองทั้งสองสำหรับปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 4 -- 4 จากผลการทดลอง พบว่าอัตราส่วนความชื้นของปลากะตักที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองทุกการทดลอง จะเห็นว่าอุณหภูมิในการทำแห้งมีผลต่อ

อัตราส่วนการลดความชื้น นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งมีค่าสูงขึ้น อัตราส่วนความชื้นจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการถ่ายโอนความร้อนระหว่างไอน้ำร้อนกับปลากะตัก ดังนั้นจึงเป็นการสนับสนุนให้เกิดการระเหยของน้ำจากปลากะตักได้ดีขึ้น ซึ่งจะพบว่าพฤติกรรมการอบแห้งปลากะตักที่ได้จากการทดลองนี้ อยู่ในช่วงอัตราการส่วนความชื้นลดลงเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรชนิดอื่น

จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แก่แบบจำลอง Newton และ Page เพื่อใช้ในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น กะเพรา (กฤษณ์ จันทร์โชติกุล, 2545) เนื้อวัว (ธนิต สวัสดิ์เสวี, 2549) ใบชาดำ (Panchariya, Popovic, & Sharma, 2002) ใบหม่อน (ธนากร บูรณเพชร, 2547) ข้าวเหนียว(มนตรี มนตรีพิลา, 2548) ต้นหอมสับ (มานิต สุขจินดาเสถียร, 2536) กุ้ง (วรรชาติ ชวนัสพร, 2546) มะขามป้อม (สิพร เมธาคุปต์, 2546) ตะไคร้ (อาภัสสร ศิริจริยวัตร, 2547) ใบมินต์ (Park, Vohnikova, & Brod, 2002) และ เมล็ดพืช (Zhongwei, Stefan, & Marta, 2005) พบว่าแบบจำลอง Newton และ Page มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมาก โดยมีค่า SEE ต่ำกว่า 1.00 และค่า R^2 สูงกว่า 0.90 ในทุกการทดลอง ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลอง Newton และ Page มาใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ได้

การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

1. คุณภาพทางกายภาพของปลากะตักสดหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.1 ค่าสี

จากผลการทดลองคุณภาพด้านสีของปลาปลากะตักสด อบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C พบว่าปลากะตักอบแห้งมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้ปลากะตักมีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด ส่วนค่าความเป็นสีแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การเปลี่ยนแปลงของค่าสีตามอุณหภูมิการอบแห้งโดยค่าสีแดงไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ปลากะตักที่ได้รับความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงจะทำให้ค่าความสว่างมีค่าน้อยลง เนื่องจากปลากะตักมีแถบข้างลำตัวเป็นสีเงินข้างลำตัวขนาดค่อนข้างใหญ่ ทำให้ปลามีสีแยกกันชัดเจนคือสีเหลืองเกือบน้ำตาลของเนื้อปลาและสีเงินวาวของแถบข้างลำตัว ซึ่งมีผลต่อการวัดค่าสีจากเครื่องมือมาก ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของวรรณวิภา สุวรรณรักษ์ (2546) พบว่าปลากะตักต้มตากแห้งที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือไม่สอดคล้องกับ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สายตาของผู้ทดสอบ ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นก็จะทำให้ค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Browning) การเปลี่ยนแปลงค่าสีของปลากะตักภายหลังการอบแห้ง เนื่องมาจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกจากตัวปลาและโปรตีนในปลาแข็งตัว รวมทั้งเซลล์กล้ามเนื้อของปลามีขนาดสั้นกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่น รอบ ๆ มัดกล้ามเนื้อมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันหุ้มอยู่ ดังนั้นเมื่อมีการใช้ความร้อนสูงเกินไปหรือการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานเกินไป ทำให้ปลาหดตัวมากจึงส่งผลกระทบต่อสีของปลากะตักด้วย

1.2 การหดตัว

การหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้งนั้นเนื่องมาจากความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยที่ความร้อนส่งผลให้เส้นใยกล้ามเนื้อหดสั้นลงและเกิดการจับตัวกันแน่น คุณภาพด้านการหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้ง พบว่า ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดและค่าการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าค่าการหดตัวของปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140°C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับการรายงานของตลฤดี ใจสุทธิ์ (2543) ซึ่งได้ศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 120 และ 140°C และไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 – 180 °C พบว่าที่อุณหภูมิเดียวกัน กุ้งที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะหดตัวน้อยกว่ากุ้งที่อบแห้งด้วยลมร้อน ดังนั้นลักษณะเนื้อเยื่อของกุ้งที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจึงนุ่มกว่าและเหนียวน้อยกว่าที่อบแห้งด้วยลมร้อน สำหรับกุ้งที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าการหดตัวอยู่ระหว่าง 13.22 – 17.22 เปอร์เซ็นต์ และกุ้งที่อบแห้งด้วยลมร้อนการหดตัว อยู่ระหว่าง 16.02 – 22.81 เปอร์เซ็นต์ ศิริวัฒ สินประเสริฐ (2548) ได้ศึกษาคุณภาพของเนื้อวัวหลังจากการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 130, 140 และ 150 °C และการอบแห้งแบบสองขั้นตอน พบว่าผลของอุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้งจะไม่มีผลต่อการหดตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีลักษณะการหดตัวที่เรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ ดูสวยงามกว่าการอบแห้งเนื้อวัวด้วยอากาศร้อน และวรวิทย์ กรัยวณิชย์กุล (2547) ได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียวและการอบแห้งแบบสองขั้นตอน โดยแบ่งเป็น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160 °C แล้วตามด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 140 และ 160 °C แล้วตามด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C พบว่าที่อุณหภูมิสูง จะมีการหดตัวมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวกับการ

อบแห้งแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าการอบแห้งแบบสองขั้นตอนจะมีการหดตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียว

1.3 การคืนตัว

จากผลการทดสอบคุณภาพด้านการคืนตัวของปลากะตักหลังการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าค่าการคืนตัวของปลากะตักสดที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C จะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ที่เวลาประมาณ 8 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นระยะเวลา 14 นาที จากนั้นจะเริ่มคงที่ (ภาพที่ 4 – 18) ค่าการคืนตัวของปลากะตักสดหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ140 °C เมื่อผ่านการทดสอบการคืนตัวเป็นระยะเวลา 15 นาที คือ 76.48 เปอร์เซ็นต์, 82.38 เปอร์เซ็นต์ และ 76.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิ 130 °C จะให้ค่าการคืนตัวสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบที่ได้มีแนวโน้มคือหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถคืนตัวได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนจับตัวกันแน่นกว่าและหดตัวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อน้อย จึงทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในตัวปลากะตักได้ยาก จึงเป็นเหตุให้ค่าการคืนตัวของการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงมีค่าน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งขัดแย้งกับการรายงานของวรวิทย์ กรัยวณิชย์กุล(2547) ได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียวและการอบแห้งแบบสองขั้นตอน โดยแบ่งเป็นการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160 °C แล้วตามด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160°C แล้วตามด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 55°C พบว่าไก่ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิสูง จะมีคุณภาพด้านการคืนตัวดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวกับการอบแห้งแบบสองขั้นตอน ที่อุณหภูมิเดียวกัน พบว่าการอบแห้งแบบสองขั้นตอนจะมีการคืนตัวมากกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียว ส่วนศิริวัฒ สินประเสริฐ (2548) ได้ศึกษาคุณภาพของเนื้อวัวหลังจากการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 130 140 และ 150 °C และการอบแห้งแบบสองขั้นตอน พบว่าผลของอุณหภูมิตัวกลางในการอบแห้งจะไม่มีผลต่อการคืนตัวของเนื้อวัวหลังการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถคืนตัวได้รวดเร็วกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งทั้งสองวิธีสามารถคืนตัวได้ใกล้เคียงกัน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.4 ค่าความแข็ง

การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของปลากะตักสดอบแห้งนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน เกิดการจับกันของไมโอซินในเนื้อปลาและไมโอซินจับกันมากขึ้นเมื่อเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น (Kumazawa et al., 1993 อ้างอิงใน ปัทมกร พรหมจรรย์, 2546) จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความแข็งของปลากะตักสดที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C มีค่า 34.58, 36.57 และ 36.67 นิวตัน ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่าผลของอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ ที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ปลากะตักหลังการอบแห้งจะมีความแข็งมากกว่าปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติของการอบแห้งปลากะตักสดปรากฏว่าค่าความแข็งของปลากะตักสดหลังการอบแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) สอดคล้องกับการรายงานของศิริวัฒ สินประเสริฐ (2548) ทำการทดลองอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 130, 140 และ 150 °C พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งและตัวกลาง ไม่มีผลต่อค่าความแข็งของเนื้อวัวอบแห้ง แต่ขัดแย้งกับผลการทดลองของพลสันต์ วงษ์ศรี (2548) ทำการอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130, 140 และ 150 °C พบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงมีผลต่อค่าความแข็งของเนื้อหมูอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 150 °C จะมีค่าความแข็งมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ ($P<0.05$)

2. คุณภาพทางกายภาพของปลากะตักปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2.1 ค่าสี

จากการทดลองพบว่า ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 48.55 – 50.18 ค่าความเป็นสีแดง 1.07 – 1.18 และค่าความเป็นสีเหลือง 11.59 – 12.98 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด สำหรับปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองต่ำสุด ส่วนค่าความสว่างและค่าความเป็นสีแดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \geq 0.05$) สอดคล้องกับการรายงานของพลสันต์ วงษ์ศรี (2548) ได้ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อหมูหลังจากการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130, 140 และ 150 °C พบว่า เมื่ออบแห้งเนื้อหมูที่อุณหภูมิต่ำในเนื้อหมูที่หมักเกลือ จะมีค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง แต่

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าความเป็นสีแดงจะมีค่ามาก เมื่ออบแห้งเนื้อหมูที่อุณหภูมิสูง ส่วนค่าความเป็นสีเหลือง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะมีค่าแตกต่างกับการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำน้อยมาก ศิริวัฒ สินประเสริฐ (2548) ได้ศึกษาคุณภาพของเนื้อวัวหลังจากการอบแห้ง โดยทำการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 130, 140 และ 150 °C และการอบแห้งแบบสองขั้นตอน พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวอุณหภูมิสูง จะทำให้เนื้อวัวหลังการอบแห้งมีค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่าง(ΔL) มากกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิต่ำ และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิเดียวกันแล้ว พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบสองขั้นดอนมีสีของเนื้อวัวหลังจากการอบแห้ง มีค่าการเปลี่ยนแปลงความสว่างต่ำกว่า แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงสีแดง (Δa) และค่าการเปลี่ยนแปลงสีเหลือง (Δb) สูงกว่าเนื้อวัวที่ได้จากการการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียว เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการอบแห้งเนื้อวัวด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับอากาศร้อน พบว่าค่า ΔL และค่า Δa ไม่มีความแตกต่างกันอย่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ส่วนค่า Δb โดยการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะมีค่า Δb สูงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่เล็กน้อย และเมื่อทำการอบแห้งเนื้อวัวแบบ 2 ขั้นตอน พบว่าการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนจะสามารถช่วยให้สามารถช่วยให้คุณภาพทางด้านสีของเนื้อวัวหลังการอบแห้งดีขึ้น

2.2 การหดตัว

จากการทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของปลากะตักหลังการอบแห้ง พบว่า ค่าการหดตัวของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C คือ 71.41, 74.76 และ 76.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดและค่าการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นคล้ายกับในปลากะตักสดอบแห้ง และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าค่าการหดตัวของปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับการรายงานของพลสันต์ วงษ์ศรี(2548) ได้ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อหมูหลังจากการอบแห้ง พบว่า เมื่ออบแห้งเนื้อหมูที่อุณหภูมิต่ำในเนื้อหมูที่หมักเกลือ ผลอุณหภูมิของตัวกลางในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้เนื้อหมูหลังการอบแห้งจะเกิดการหดตัวมากกว่าเนื้อหมูหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 130 และ 150 °C ที่อุณหภูมิ 150 °C จะหดตัวมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญที่ ($P<0.05$) ส่วนผลการหมักเกลือต่อการหดตัวนั้นพบว่าเนื้อหมูที่หมักเกลือจะเกิดการหดตัวมากกว่าเนื้อหมูที่ไม่หมักเกลือในทุกอุณหภูมิอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญที่ ($P<0.05$)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.3 การคืนตัว

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการคืนตัวปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C (ภาพที่ 4 – 19) มีแนวโน้มคล้ายกับในปลากะตักสดคือการคืนตัวได้ใกล้เคียงกันในทุกอุณหภูมิการอบแห้ง โดยจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่เวลาประมาณ 8 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นระยะเวลา 14 นาที ค่าการคืนตัวของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C เมื่อผ่านการทดสอบการคืนตัวเป็นระยะเวลา 15 นาที คือ 60.43, 61.25 และ 59.55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งทั้งอุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C ให้ค่าการคืนตัวใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติพบว่าการคืนตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากผลการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันอาจเป็นเพราะว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่างกันน้อยเกินไปที่จะเห็นความแตกต่างกันอย่างชัดเจน พลสันต์ วงษ์ศรี (2548) ได้ทำการทดสอบคุณภาพของเนื้อหมูหลังจากการอบแห้งโดยทำการอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130, 140 และ 150°C พบว่าผลการทดสอบคุณภาพด้านการคืนตัวของเนื้อหมูหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในกรณีหมักเกลือซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะมีแนวโน้มเหมือนกันคือ เนื้อหมูหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ จะสามารถคืนตัวได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยกล้ามเนื้อน้อย จึงทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อหมูได้ยากกว่าการอบแห้งเนื้อหมูที่อุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิ 150 °C จะเกิดการคืนตัวน้อยกว่า 130 และ 140 °C แต่เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 กับ 140 °C พบว่าการคืนตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่า ผลิตภัณฑ์อาหารอบแห้งจะไม่สามารถคืนตัวเหมือนกับอาหารสดได้ ทั้งนี้เพราะว่าอาหารอบแห้งไม่สามารถดูดซึมน้ำได้มากเท่ากับปริมาณน้ำเริ่มต้นของอาหารสด ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นอย่างชัดเจนกับอาหารประเภทโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์และปลา ซึ่งเมื่ออบแห้งจะทำให้สูญเสียคุณสมบัติการอุ้มน้ำลดลง ผลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณน้ำน้อย ในอาหารหรือผลิตภัณฑ์จะมีความสมดุลระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ปริมาณน้ำระดับหนึ่ง โดยไม่เกี่ยวพันกับรูปแบบของน้ำที่จับกับสารต่าง ๆ สภาวะดังกล่าวจะเปลี่ยนไปทันทีที่น้ำถูกดึงออกไปจากอาหารหรือผลิตภัณฑ์และโดยเฉพาะจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงกับอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเหลืออยู่น้อย ระหว่างที่น้ำถูกดึงออกไปนั้น ความเข้มข้นของสสารที่ละลายอยู่ในน้ำนั้นจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบของน้ำภายในผลิตภัณฑ์ขึ้น สารละลายอิเล็คโตรไลต์นี้จะมีอันตรายต่อเส้นใยกล้ามเนื้อ เพราะสารนี้จะทำให้โปรตีนเสียโครงสร้างไป และเมื่อน้ำถูกเอาออกไปมากพอ คุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์จะหมดไป และค่าพีเอชจะเปลี่ยนไป โดยปกติค่าพีเอชจะลดลง และเมื่อค่าพีเอชลดลงถึงจุดไอโซอิเล็กตริก การตกตะกอนของคอลลอยด์จะเกิดขึ้น เช่น โปรตีน การ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จับกันของโปรตีนที่มีสาเหตุมาจากความเข้มข้นของเกลือ หรือกรดสูงในส่วนของของเหลวจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเสียโครงสร้างและจะเกิดขึ้นต่อ ๆ ไปในระหว่างการเก็บรักษา

2.4 ค่าความแข็ง

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความแข็งของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C คือ 32.52, 32.31 และ 33.80 นิวตัน ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ปลากะตักหลังการอบแห้งจะมีความแข็งมากกว่าปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติของการอบแห้งปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าค่าความแข็งของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่า อุณหภูมิในการอบแห้งแตกต่างกันเพียง 10 °C ซึ่งน้อยเกินกว่าที่จะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจน

3. คุณภาพทางกายภาพของปลากะตักปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

3.1 ค่าสี

จากการทดลองพบว่า สำหรับปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 45.10 – 47.28 ค่าความเป็นสีแดง 0.75 – 1.13 และค่าความเป็นสีเหลือง 9.65 – 11.58 ตามลำดับ โดยค่าความเป็นสีเหลือง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 130 °C ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุด ความสว่างและค่าความเป็นสีแดง การอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p > 0.05$) อบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิต่ำจะให้ค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอยู่เล็กน้อย ทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ค่าความสว่างมากกว่าเนื่องจากที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง อาจทำให้โปรตีนในตัวปลากะตัก เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ต (Maillard browning) ขึ้น เป็นสาเหตุให้สีของปลากะตักเมื่ออบแห้งเป็นเวลานานจะมีสีเข้มขึ้น และจากการรายงานของ วรวิทย์ กรัยวณิชย์กุล (2547) ได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียวและการอบแห้งแบบสองขั้นตอน โดยแบ่งเป็น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160 °C แล้วตามด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160 °C แล้วตามด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวอุณหภูมิสูง จะทำให้เนื้อไก่หลังการอบแห้งมีค่า

สีแดงกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิต่ำ และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแบบขั้นตอนเดียว จะมีค่าความเป็นสีแดงมากกว่า และมีค่าความสว่างและความเป็นสีเหลืองน้อยกว่าการอบแห้งแบบสองขั้นตอน

3.2 การหดตัว

จากผลการหดตัวของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ140 °C มีค่าการหดตัวคือ 62.17, 66.90 และ 68.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าการหดตัวที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าการหดตัวน้อยที่สุดและค่าการหดตัวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ที่อุณหภูมิ 130 และ140 °C ให้ค่าหดตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะมีแนวโน้มคล้ายกับในปลากะตักสดและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์อบแห้ง คือผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ปลากะตักหลังการอบแห้งจะเกิดการหดตัวมากกว่าปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย เนื่องจากการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

3.3 การคืนตัว

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าการคืนตัวปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C (ภาพที่ 4 – 20) มีแนวโน้มคล้ายกับในปลากะตักสดและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ คือการคืนตัวได้ใกล้เคียงกันในทุกอุณหภูมิการอบแห้ง โดยจะเริ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ที่เวลาประมาณ 8 นาที และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นระยะเวลา 14 นาที ค่าการคืนตัวของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C เมื่อผ่านการทดสอบการคืนตัวเป็นระยะเวลา 15 นาที คือ 61.43, 60.25 และ 60.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิ 130 และ140 °C ให้ค่าการคืนตัวใกล้เคียงกัน แต่ที่อุณหภูมิ 120 °C จะให้ค่าการคืนตัวสูงที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าการคืนตัวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิสูงมีค่าการคืนตัวต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากในกระบวนการต้มปลานั้น ทำให้โปรตีนในปลาเสียสภาพไปมากแล้วจึงทำให้การดูดน้ำกลับคืนมีค่าน้อย ๆ แต่เมื่อนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอีก จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนในเนื้อปลามากขึ้น ทำให้การคืนตัวได้ต่ำกว่าที่อุณหภูมิสูง

3.4 ค่าความแข็ง

การทดสอบค่าความแข็งของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังการอบแห้ง พบว่า ค่าความแข็งของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ140 °C คือ 31.94, 30.20 และ 28.99 นิวตัน ตามลำดับ ผลของการต้มและอุณหภูมิใน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การอบแห้งทำให้ปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีความแข็งมากกว่าปลากะตักหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติของการอบแห้งปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ปรากฏว่าค่าความแข็งของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์หลังการอบแห้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำเกลือมีสมบัติเป็นสารละลายโปรตีนเส้นใยย่อย (Myofibrilar protein) ซึ่งทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโปรตีนลดน้อยลง ผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลของปลากะตักสดและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม ปัจจัยคุณภาพของอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสและความสามารถในการคืนตัว ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียว ลักษณะเป็นเส้นใย การคืนตัวอย่างช้า ๆ หรือไม่สมบูรณ์เหล่านี้ถือเป็นตำหนิทางคุณภาพของอาหารอบแห้ง เช่นกรณีการสูญเสียความนุ่มของเนื้ออบแห้งเนื่องมาจากการจับตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อ ได้มีการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ถ้าเก็บเนื้อเยื่อพืชหรือสัตว์ไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงแบบไม่คืนตัวจะเกิดขึ้นเสมอ แม้ว่าอุณหภูมินั้นจะไม่สูงพอที่จะทำให้อาหารเกิดสีน้ำตาลหรือไหม้ก็ตาม ความยืดหยุ่นของผนังเซลล์และความสามารถในการพองตัวของแป้ง เป็นปัจจัยสำคัญต่อการคืนตัว แต่ปัจจัยทั้งสองลดลงเมื่ออาหารถูกกับความร้อน เช่น เนื้ออบแห้งสามารถดูดซับน้ำได้เพียงส่วนหนึ่งของน้ำเริ่มต้นเท่านั้น และถึงแม้ว่าจะสามารถดูดซับน้ำได้จนมีน้ำหนักเท่าเดิม ก็ไม่ใช่ความหมายว่าเนื้อนั้นจะมีโครงสร้างเหมือนเดิม ผลิตภัณฑ์หลังคืนตัวจะไม่มีลักษณะฉ่ำ และมีลักษณะเนื้อร่วนกว่าเนื้อสด (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์

1. คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากะตักปลากะตักสดหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

1.1 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักสดอบแห้ง พบว่า ปลากะตักสดหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณเกลือเท่ากับ 0.79, 0.80 และ 0.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดเท่ากับ 0.91, 1.03 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ตามร่างมาตรฐานปลากะตัก

ต้มตากแห้งของ Codex (วรรณวิภา สุวรรณรักษ์, 2546) กำหนดปริมาณเกลือไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดไม่เกิน 1.5 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปลากะตักสดหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง สอดคล้องกับการรายงานของ วรรณวิภา สุวรรณรักษ์ (2546) พบว่าปลากะตักต้มตากแห้งมีปริมาณเกลือ 10.42-13.31 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

1.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากผลการทดลอง พบว่า ปลากะตักสดหลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ $6.30x10^2$ โคโลนีต่อกรัม, $5.20x10^2$ โคโลนีต่อกรัม และ $5.0x10^2$ โคโลนีต่อกรัมตามลำดับ เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลากะตักสดอบแห้งมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง (บริษัท ทีทีไอเอส จำกัด, 2540) ที่กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^5 โคโลนีต่อกรัม เชื้อราและยีสต์ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัมและเชื้อ *Staphylococcus aureus* ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม สอดคล้องกับการรายงานของ วรรณวิภา สุวรรณรักษ์ (2546) ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.6×10^6 โคโลนีต่อกรัม เชื้อราและยีสต์เท่ากับ $3.9X10^2$ โคโลนีต่อกรัม และไม่พบเชื้อ *Staphylococcus aureus*

2. คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2.1 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณเกลือเท่ากับ 3.48, 3.49 และ 3.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดเท่ากับ 1.05, 1.01 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

2.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งคือ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อราและยีสต์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* จากผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

(ตารางที่ 4 – 9) พบว่า ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ $2.8x10^2$, $2.3x10^2$ และ $2.3x10^2$ โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ เชื้อราและยีสต์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

3. คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

3.1 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งคือ ปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด ผลการทดลอง (ตารางที่ 4-10) พบว่า ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ120 130 และ 140 °C มีปริมาณเกลือเท่ากับ 5.76, 5.77 และ 6.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเกลือไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p> 0.05$) และปริมาณเถ้าที่ละลายในกรดเท่ากับ 1.03, 1.07 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางสถิติ พบว่าปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p> 0.05$) คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากผลการทดลอง พบว่า ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ หลังอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ120, 130 และ 140 °C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ $2.22x10^2$, $2.10x10^2$ และ $2.06x10^2$ โคโลนีต่อกรัม ตามลำดับ เชื้อราและยีสต์ และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ผลิตภัณฑ์ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

5. การศึกษาโครงสร้างเนื้อปลากะตักด้วยกล้องจุลทรรศน์

ผลการศึกษาโครงสร้างของชิ้นตัวอย่างปลากะตักสดที่ผ่านการอบแห้ง เมื่อนำมาคืนตัวในน้ำร้อน พบว่าโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อปลากะตัก ที่ถูกปกคลุมไปด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจำนวนมากคล้ายกันกับโครงสร้างของเส้นใยกล้ามเนื้อของสัตว์อื่น ๆ เช่น เนื้อไก่ เนื้อหมู เนื้อวัว และเนื้อปลา แต่ของปลากะตักจะมีขนาดเล็กกว่า จากภาพ จะเห็นลักษณะของเซลล์มีรูปร่างกลม ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ติดกันอาจเป็นไปได้ว่านั่นคือโพรงช่องว่างระหว่างมัดกล้ามเนื้อในแต่ละมัด ซึ่งประกอบเป็นเซลล์ที่มีขนาดเท่า ๆ กัน เมื่อนำมาคืนตัว เซลล์จะดูดน้ำเข้าไป ผนังเซลล์จะมีขนาดโตขึ้น ซึ่งปลากะตักสดอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C มีปริมาณของรูพรุนมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นสม่ำเสมอ สอดคล้องกับผลของค่าการคืนตัวของปลากะตักสดอบแห้ง

ผลการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นตัวอย่างปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณของรูพรุนมีขนาดเล็กและเกิดขึ้นสม่ำเสมอ จึงทำให้การดูดน้ำของเนื้อเยื่อปลากะตักเกิดได้มาก สอดคล้องกับผลของการคืนตัวของปลากะตักสดอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C เพราะมีค่าการคืนตัวสูงที่สุด

ผลการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นตัวอย่างปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าให้ผลทำนองเดียวกันกับปลากะตักสดและปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยรูปร่างของโครงสร้างมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก อาจเนื่องจากมีกระบวนการให้ความร้อน (การต้ม) แก่ปลากะตักในขั้นตอนแรก ก่อนการนำไปอบแห้ง จึงส่งผลต่อโครงสร้าง และรูปร่างของเซลล์เนื้อเยื่อปลา

6. การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลากะตักอบแห้ง ในคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดย 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คะแนน หมายถึง ชอบมากที่สุด พบว่า

ทางด้านสี ตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 7.10 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำสุด โดยได้คะแนน 4.50 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$) เนื่องจากปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำ ค่าสีโดยรวมที่ผู้ทดสอบมองเห็นให้คะแนนความชอบสูงที่สุด ส่วนตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง สีของปลากะตักที่ปรากฏ เมื่อดูด้วยสายตาจึงอาจจะมีสีเข้มมาก ทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบต่ำสุด เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบชิมพบว่า ตัวอย่างปลากะตักที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ทั้งปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ผู้ทดสอบให้คะแนนระหว่าง 4.5 - 4.8 คะแนน ซึ่งตรงกับระดับคะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทางด้านกลิ่น ตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 6.50 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำสุด โดยได้คะแนน 5.40 ซึ่งหมายถึงคะแนนเฉย ๆ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบชิมพบว่า ปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบกลิ่นของปลากะตักอบแห้งสูงสุด ส่วนตัวอย่างปลากะตักที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ทั้งปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบระหว่าง 5.4 – 5.6 คะแนน ซึ่งตรงกับระดับคะแนนความชอบระดับเฉย ๆ ถึงความชอบเล็กน้อย ซึ่งผู้ทดสอบชิมได้ให้คำแนะนำว่าอาจมาจากได้กลิ่นไหม้ของอาหาร เนื่องจากจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งและมีกลิ่นรสของน้ำเกลือจากการแช่ตัวอย่างและต้มตัวอย่างในน้ำเกลือ

ทางด้านรสชาติ ตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 7.10 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำสุด โดยได้คะแนน 4.70 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบชิมพบว่า ปลากะตักสดอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติของปลากะตักสดอบแห้ง ส่วนตัวอย่างปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ผู้ทดสอบให้ระดับคะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉย ๆ อาจมีสาเหตุจากการเตรียมตัวอย่างโดยการแช่ในน้ำเกลือและต้มในน้ำเกลือ ผู้ทดสอบได้ให้คำแนะนำว่าตัวอย่างปลากะตักที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีแช่ในน้ำเกลือและต้มในน้ำเกลือ มีรสเค็มกว่าปลากะตักสดอบแห้ง

ทางด้านเนื้อสัมผัส ตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 6.50 ซึ่งหมายถึงคะแนนความชอบเล็กน้อยถึงความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 °C ได้รับคะแนนต่ำสุด โดยได้คะแนน 4.30 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$) อาจมีสาเหตุจากการใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้ง การใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น รวมทั้งการต้มในน้ำเกลือ จึงทำมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรตีนในเนื้อปลา ทำให้เนื้อสัมผัสของปลากะตักมีความแข็งมากกว่าตัวอย่างปลากะตักอบแห้งอื่น ๆ

ความชอบโดยรวม ตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด โดยได้คะแนน 6.90 ซึ่งหมายถึง คะแนนความชอบเล็กน้อยถึง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำสุด โดยได้คะแนน 4.40 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบชิมพบว่า ปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมของปลากะตักอบแห้งมากกว่าตัวอย่างปลากะตักที่อบแห้งอื่น ๆ ส่วนปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ทั้งปลากะตักสด แช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์และต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ผู้ทดสอบให้คะแนนระหว่าง 4.4 – 5.5 คะแนน ซึ่งตรงกับระดับคะแนนความชอบไม่ชอบเล็กน้อยถึงความชอบระดับเฉย ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการให้คะแนนความชอบด้านรสชาติ

การศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก

เนื่องจากอาหารแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกัน เมื่อนำอาหารมาทำแห้งจึงทำให้ซอร์พชั่นไอโซเทอร์มแตกต่างกันไป ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เป็นเรื่องซับซ้อน ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้มักจะเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นแต่เป็นการเพิ่มแบบไม่เป็นเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคติวิตี้กับความชื้นที่อุณหภูมิที่กำหนดเรียกว่า มอยเจอร์ซอร์พชันไอโซเทอร์ม (Moisture Sorption Isotherms) กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สร้างได้จากการทำการทดลองเท่านั้น จากการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตักโดยการหาค่าปริมาณความชื้นสมดุลของปลากะตัก ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C และควบคุมค่าความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารละลายเกลือมาตรฐาน ในช่วงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 - 0.8 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของปลากะตักกับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ พบว่ากราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก ความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูปร่างแบบซิกมอยด์ (Sigmoid Shape) หรือกราฟรูปตัวเอส ซึ่งดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มสำหรับอาหารแทบทุกชนิดจะมีรูปร่างแบบซิกมอยด์ เช่นเดียวกัน แต่อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลมากหรือมีโมเลกุลที่ละลายได้น้อย จะได้กราฟความสัมพันธ์มีลักษณะเป็นรูปร่างแบบตัวเจ (J shape) (รัตนันท์ พรรณนารุโณทัย, 2543)

จากการศึกษารูปร่างของกราฟดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก ที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 - 0.8 (ภาพที่ 4-2) พบว่าที่อุณหภูมิคงที่ ค่าความชื้นสมดุลของปลากะตักมีค่าลดลง เมื่อค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ จะทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าความดันไอของอากาศรอบ ๆ ปลากะตักลดลง ส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลากะตักลดลงตามไปด้วย ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในสารละลายทั่วไป นั่นคือ ความดันไอของสารละลายจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นของบรรยากาศรอบ ๆ สารละลายนั้น เมื่อพิจารณาที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้คงที่ ผลการทดลอง พบว่าค่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความชื้นสมดุลของปลากะตักมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจาก 40 เป็น 50 และ 60 °C ตามลำดับ เช่นที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้เท่ากับ 0.61 ค่าความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิ 40 °C ลดลงจาก 7.88 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เป็น 6.27 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 °C เนื่องจากการเกิดสภาวะกระตุ้นของโมเลกุล โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มพลังงานกระตุ้นให้กับโมเลกุล ทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้นและแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลง ส่งผลให้ที่ระดับค่าวอเดอร์แอคติวิตี้เดียวกัน ปริมาณการดูดซับความชื้นของอาหารจึงลดลง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Kaya, Aydin, & Demirtas, 2007; Kaya, Aydin, & Demirtas, 2009; MC Laughlin & Magee, 1998; Basunia & Abe, 2001; Belghit, Kouhila, & Boutaleb, 2000; Ertekin & Sultanoglu, 2001; Kouhila, Belghit, Daguenet, & Boutaleb, 2001; Lahsasni, Kouhila, Mahrouz, & Fliyou, 2003; Lahsasni, Kouhila, Mahrouz, & Kechaou, 2002; Menkov & Dinkov, 1999; Menkov, 2000; Paskalev, Mohameda, Kouhilaa, Lahsasnia, Jamalia, Idlimama, Rhazia, Aghfira, & Mahrouz, 2005; Stencl, Otten, Gotthardova, & Homola, 1999).

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุล และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ที่ได้จากการทดลอง สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สร้างแบบจำลองดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถทำนาย และอธิบายข้อมูลได้ดี สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดในช่วงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 – 0.9 (Pedro, Enrique, & Gustavo, 1997; Yrjo Roos, 1995; Trujillo et al., 2003; Delgado & Sun, 2002a; Clemente et al., 2002) โดยใช้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient of Square, R^2) เป็นพารามิเตอร์ทางสถิติที่บ่งชี้ให้ทราบถึงความสอดคล้องระหว่างสมการและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งค่า R^2 มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยหากค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้มีความสอดคล้องกับข้อมูลผลการทดลองมาก ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับได้คือค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.95 นอกจากนี้ยังใช้พารามิเตอร์ทางสถิติในการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลจากการทดลองกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการทำนาย (Standard Error of Estimate, SEE) ซึ่งหากสมการที่ได้ให้ค่า SEE ต่ำ แสดงว่าสมการนั้นสามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดี

จากผลการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลองของ GAB ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C มีค่า R^2 เท่ากับ 0.975, 0.964 และ 0.956 ตามลำดับและค่า SEE เท่ากับ 0.838, 0.751 และ 0.661 ตามลำดับ แสดงว่าแบบจำลองของ GAB ที่นำมาใช้ในการทำนาย สามารถใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุล กับค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของปลากะตักได้ ซึ่งสอดคล้องกับการรายงาน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ของ คลฤดี ใจสุทธิ์ (2543) ได้ศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยการทดลองหาความชื้นสมดุลของกุ้งที่อุณหภูมิ 50 – 80 °C กุ้งมีความชื้นเริ่มต้น 80 – 82 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เมื่อใช้แบบจำลองของ GAB ในการทำนายค่าความชื้นสมดุลของกุ้ง พบว่าแบบจำลองของ GAB ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.99 และยังสามารถทำนายได้ดีตลอดช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิต่าง ๆ Hadrich, Boudhriour, & Kechao (2008) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลาซาร์ดีนที่อุณหภูมิ 25 - 50 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 – 0.75 ปลาซาร์ดีนมีความชื้นเริ่มต้น 70 – 73 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก พบว่าแบบจำลองของ GAB ให้ค่า R^2 เท่ากับ 1.0 และค่า SEE เท่ากับ 0.001 – 0.005 ดังนั้นแบบจำลองของ GAB สามารถอธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลาซาร์ดีนได้ นอกจากนี้ยังอาจใช้ค่า Mean Relative Percentage Deviation Modulus (*P*) สำหรับแสดงความสอดคล้องระหว่างสมการและข้อมูลจากการทดลอง หากค่า *P* มีค่าน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าแบบจำลองมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการทดลอง (McLaughlin & Magee, 1998.; Trujillo et al., 2003; Delgado & Sun, 2002a; Clemente et al., 2002) Clemente et al. (2002) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของเนื้อหมู (*Bicep femoris*) ที่อุณหภูมิ 25 – 40 °C ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ 0.1 – 0.9 พบว่าแบบจำลองของ GAB มีค่า R^2 สูงกว่า 0.99 และค่า *P* ระหว่าง 5 – 8 เปอร์เซ็นต์ และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีตลอดช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษา Trujillo et al. (2003). ได้ศึกษาซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของเนื้อวัวที่อุณหภูมิ 5 – 40 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 – 0.9 พบว่าแบบจำลอง GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดี ทุกอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า *P* ระหว่าง 4.12 – 8.32 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีนักวิจัย นำแบบจำลองของ GAB ใช้ในการทำนายวัตถุดิบทางการเกษตรอื่น ๆ อีก จากการรายงานของ McLaughlin and Magee. (1998) ได้ศึกษาซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของมันฝรั่งที่อุณหภูมิ 30 45 และ 50 °C ในช่วงค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.10 – 0.95 พบว่าแบบจำลอง GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีในทุกอุณหภูมิ โดยค่า *P* อยู่ระหว่าง 3.7 – 4.43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองของ Jamali, Kouhila, Mohamed, Idlimam, and Lamharrar. (2007) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบชาแม็กซิกัน (*Chenopodium ambrosioides*) ที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.5 – 0.9 พบว่าแบบจำลองของ GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีทุกอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า *P* เท่ากับ 4.59 เปอร์เซ็นต์ และ SEE 0.791 และ Park et al. (2002) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบมิ้นต์ (*Mentha crispa* L.) ที่อุณหภูมิ 30 40 และ50 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.5 – 0.9 พบว่าแบบจำลองของ GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีทุกอุณหภูมิ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 และค่า *P* เท่ากับ 5.54 – 9.41 เปอร์เซ็นต์ Jamali, Kouhila, Mohamed, Idlimam and Lamharrar. (2006) ได้ศึกษาซอร์พชันไอโซเทอร์มของใบส้มขม (Citrus Aurantium) ที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ความชื้นสัมพัทธ์ของตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.05 – 0.9 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่า *P* เท่ากับ 5.52 เปอร์เซ็นต์ และค่า SEE สูงกว่า 1.54 จากรายงานการวิจัยที่กล่าวมา พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของอาหารได้หลายชนิด

แต่อย่างไรก็ตาม มีการทดลองพบว่า GAB ไม่เหมาะสมต่อการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ในอาหารบางชนิด โดยเฉพาะอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ Delgado and Sun (2002a) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของเนื้อหมู และเนื้อวัวหมักเกลือเพื่อนำไปอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 10 – 50 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 – 0.9 พบว่าดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของเนื้อหมู เมื่อใช้แบบจำลองของ GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่อุณหภูมิ 10 และ 20 °C สำหรับดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของเนื้อวัว สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่อุณหภูมิ 10 และ 25 °C เท่านั้น ซึ่งมีค่า *P* น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของเนื้อไก่ ที่อุณหภูมิ 4 – 30 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 – 0.8 พบว่าแบบจำลอง GAB สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่อุณหภูมิ 20 °C เท่านั้น ซึ่งมีค่า *P* เท่ากับ 7.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งที่อุณหภูมิอื่น ๆ พบว่ามีค่า *P* สูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ (Delgado and Sun, 2002b) จากการรายงานของ Ghodake et al. (2005) ได้ศึกษาซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบชาแห้ง ชาดำ และชาเขียว ที่อุณหภูมิ 20, 30 และ 40 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของตัวอย่างอยู่ในช่วง 10 – 90 เปอร์เซ็นต์พบว่ามีค่า *P* สูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์และค่า SEE สูงกว่า 0.006 พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ไม่เหมาะสมเมื่อนำมาอธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของใบชาแห้ง ชาดำ และชาเขียว เนื่องจากทั้งใบชาแห้ง ชาดำ และชาเขียว เป็นพืชที่มีปริมาณความชื้นต่ำ และเป็นพืชที่เป็นยาและมีกลิ่นเฉพาะตัว เป็นต้น และ Vullioud, Marquez, and Michelis. (2004) ได้ศึกษาซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของผลเชอร์รี่เปรี้ยวและหวานที่อุณหภูมิ 20 40 และ 60 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของตัวอย่างอยู่ในช่วง 10 – 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.936 และค่า SEE เท่ากับ 15.6 พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB ไม่เหมาะสมเมื่อนำมาอธิบายดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของผลเชอร์รี่เปรี้ยวและหวานได้ เนื่องจากผักและผลไม้บางชนิด มีปริมาณความชื้นสูง และยังมีองค์ประกอบทางเคมีบางอย่าง เช่น ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรด ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารมีปริมาณต่ำ จึงทำให้ความดันไอของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นของบรรยากาศรอบ ๆ สารละลายนั้น ได้น้อยกว่าอาหารชนิดอื่น

ดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของอาหาร สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการกำหนดอัตราและปริมาณการทำแห้ง โดยดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มและการทำแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้น มีการควบคุมโดยกลไกการแพร่ของน้ำหรือไอน้ำ ค่าความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้าง

สมการจลศาสตร์การอบแห้ง ซึ่งมีผลมาจากความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือ เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น แสดงว่าปริมาณไอน้ำในอากาศมีมาก ส่งผลให้การระเหยน้ำในกระบวนการอบแห้งเป็นไปได้ยาก เนื่องจากอากาศสามารถรับปริมาณไอน้ำจากกระบวนการอบแห้งได้เพียงเล็กน้อยก็ถึงจุดอิ่มตัว จากการรายงานของ Hadrich, Boudhriour, and Kechao. (2008) ได้ศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลาซาร์ดีน โดยการศึกษาหาค่าความชื้นสมดุลจาก 2 วิธีการทดลอง คือการทดลองเชิงสถิตหรือแบบต่อเนื่อง โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวที่อุณหภูมิ 25 – 50 °C และใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวที่ค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 – 0.75 และแบบเชิงจลน์หรือแบบไม่ต่อเนื่องโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 31 เปอร์เซ็นต์ และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB พบว่าค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลองเชิงสถิตหรือแบบต่อเนื่อง และแบบเชิงจลน์หรือแบบไม่ต่อเนื่อง มีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ไปในทำนองเดียวกัน และให้ผลใกล้เคียงกัน แม้จะใช้วิธีการทดลองต่างกัน ดังนั้น ดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของอาหารจากการทดลองแบบเชิงสถิต สามารถใช้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้น หรือความชื้นสมดุลของการอบแห้งแบบเชิงจลน์ หรือแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิเดียวกัน และใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นสำหรับกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นได้

นอกจากนี้ข้อมูลจากการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์ม ยังใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบสภาวะการเก็บปลากะตักอบแห้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี เช่น ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชั่นในอาหาร (Auto – oxidation) การทำงานของเอนไซม์ (Enzyme Activity) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Browning Reaction) รวมทั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Microbial growth) จากการหาค่าคงที่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB พบว่า ปลากะตักมีค่าความชื้นในชั้นโมโนเลเยอร์ (Monolayer) เป็น 2.70 – 3.39 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยความชื้นในชั้นโมโนเลเยอร์ เป็นการวัดปริมาณน้ำเกาะติด (Bound Water) ซึ่งเป็นน้ำที่จับเกาะหรือยึดอยู่กับโครงสร้างของสารอาหารอื่น แยกออกจากอาหารได้ยาก น้ำในชั้นโมโนเลเยอร์เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของเนื้อเยื่ออาหาร โดยเกาะติดกับอาหารเป็นส่วนแรกด้วยพันธะที่แข็งแรงมาก จนไม่สามารถกำจัดออกด้วยความร้อนปกติ น้ำส่วนนี้ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และจุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งมีความจำเพาะกับโพลาร์ไซด์ (Polar Site) ในระบบของอาหารอบแห้ง จากข้อมูลดังกล่าว หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์ปลากะตักมีความคงตัวและอายุการเก็บนาน จะต้องอบผลิตภัณฑ์ให้ถึงค่าความชื้นในชั้นโมโนเลเยอร์ หรือความชื้นวิกฤต

นอกจากนี้ ยังสามารถนำค่าความชื้นวิกฤตที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่งด้วย (ไพศาล วุฒิจำนงค์, 2546)

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตักโดยมีวิธีการเตรียมวัตถุดิบคือปลากะตักสด ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 130 และ 140 °C และการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลากะตักอบแห้ง และการศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก ที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 - 0.8 โดยใช้สารละลายเกลือมาตรฐานเป็นสารควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และใช้ตู้อบเป็นส่วนควบคุมอุณหภูมิ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดลองอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C พบว่า การอบแห้งปลากะตักที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งในปลากะตัก ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ และปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์

2. การศึกษาจลศาสตร์การอบแห้งปลากะตัก พบว่าการอบแห้งของปลากะตักเกิดขึ้นในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง แบบจำลองของ Newton และ Page สามารถอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งปลากะตักโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ได้จากการทดลองได้ดี

3. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของปลากะตักสดอบแห้ง

ทางกายภาพ พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของปลากะตักสด ด้านค่าสี มีผลต่อค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีเหลือง ค่าการหดตัว การคืนตัว ($p<0.05$)

ทางเคมีและจุลินทรีย์ มีปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ละลายในกรด ตามร่างมาตรฐานปลากะตักต้มตากแห้งของ Codex มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ $5.0x10^2$ - $6.30x10^2$ โคโลนีต่อกรัม เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลากะตักสดแห้งมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

4. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์อบแห้ง

ทางกายภาพ พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ด้านค่าสี และค่าการหดตัว ($p<0.05$)

ทางเคมีและจุลินทรีย์ มีปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ละลายในกรด ตามร่างมาตรฐานปลากะตักต้มตากแห้งของ Codex มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ $2.3x10^2$ - $2.8x10^2$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

โคโลนีต่อกรัม เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลากะตักแช่ในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

5. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้ง

ทางกายภาพ พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพของปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ ด้านค่าสี มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองและค่าการหดตัว ($p<0.05$)

ทางเคมีและจุลินทรีย์ มีปริมาณเกลือและปริมาณเถ้าที่ละลายในกรด ตามร่างมาตรฐานปลากะตักต้มตากแห้งของ Codex มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เท่ากับ $2.06x10^{2}$ - $2.22x10^{2}$ โคโลนีต่อกรัม เชื้อราและยีสต์และเชื้อ *Staphylococcus aureus* น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งผลิตภัณฑ์ปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของการส่งออกปลากะตักต้มตากแห้ง

6. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ปลากะตักอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 130 และ 140 °C ทอดที่อุณหภูมิ 170 °C เวลา 3 นาที โดยทดสอบความชอบทางด้านสี กลิ่นรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบตัวอย่างปลากะตักอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 130 °C สูงสุด โดยได้คะแนน 6.90 ซึ่งหมายถึง คะแนนความชอบเล็กน้อยถึงความชอบปานกลาง ในขณะที่ตัวอย่างปลากะตักต้มในน้ำเกลือ 3 เปอร์เซ็นต์ อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 °C ได้รับคะแนนต่ำสุด โดยได้คะแนน 4.40 ซึ่งหมายถึงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อย ($p<0.05$)

7. การศึกษาดีซอร์พชั่นไอโซเทอร์มของปลากะตัก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ GAB สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ค่อนข้างดี โดยค่า R^2 มีค่าสูงและค่า SEE ต่ำ สามารถนำมาอธิบายผลการทดลองได้ดีที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60 °C และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ 0.1 - 0.8

ข้อเสนอแนะ

1. การอบแห้งปลากะตักโดยเครื่องอบแห้งแบบใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งควรจะมีการคัดเลือกขนาดของตัวปลาให้มีความสม่ำเสมอตลอดการทดลอง และควรศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งที่ระดับต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้กำหนดอุณหภูมิต่ำสุดไว้ที่ 120 °C และสูงสุดที่อุณหภูมิ 140 °C เพื่อนำเปรียบเทียบคุณภาพในด้านต่าง ๆ ได้มากขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ควรศึกษาการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเป็นไปได้ของเทคนิคการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เพื่อพัฒนาใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

3. การทดลองหาความชื้นสมดุล ควรทำให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อเพิ่มพื้นผิวในการสัมผัสกับอากาศแวดล้อม และให้เข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น สิ่งที่ต้องระวังคือการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างควรจะทำอย่างรวดเร็ว ควรควบคุมอุณหภูมิในตู้อบให้คงที่ และควรศึกษาอุณหภูมิที่ระดับต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้กำหนดอุณหภูมิต่ำสุดไว้ที่ 40 °C จึงอาจจะยังไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิระดับต่ำ

4. ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาปลากะตักอบแห้ง บรรจุภัณฑ์ หรือการพัฒนาสูตร เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากปลากะตักอบแห้งต่อไป

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University