บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการลวกแครอท

การลวกมีความสำคัญในการเตรียมวัตถุดิบประเภทผัก การลวกแครอทก่อนการอบแห้งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี กลิ่น รสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกใช้เอนไซม์เปอร์ออกซิเดสเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของการลวก เนื่องจากเอนไซม์ตัวนี้สามารถทนความร้อนสูงกว่าเอนไซม์ตัวอื่นๆ และการตรวจสอบทำได้ง่าย หลังจากการลวกหากตรวจสอบไม่พบแอคติวิตี้ของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์ตัวอื่นถูกยับยั้งด้วยเช่นกัน (Woolen, 1967 ; Robinson และ Eskin, 1991) สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการลวกโดยใช้ไอน้ำ เนื่องจากวิธีนี้จะช่วยลดการสูญเสียของสารอาหารภายในเซลล์ของแครอททำให้ผลผลิตมีคุณภาพดี และในการทดสอบเลือกใช้สาร guaiacol เป็น substrate ซึ่งจะให้สีในการทดสอบที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการลวกนานขึ้นเอนไซม์ที่อยู่ในแครอทจะถูกทำลายได้มากขึ้น โดยสีน้ำตาลในแครอทจะลดลงตามเวลาที่มากขึ้น ซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นนี้เกิดจาก guaiacol ทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 ได้เป็น tetraguaiacol (Robinson และ Eskin, 1991) และที่เวลาในการลวกตั้งแต่ 4 นาที ขึ้นไปให้ผลการทดสอบเป็น negative แสดงว่าสภาวะดังกล่าวจะทำให้การลวกมีประสิทธิภาพที่เพียงพอในการยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เมื่อพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.2 และ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์ yield และปริมาณบีตา-แคโรทีนในแต่ละเวลาการลวกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการลวกแครอท คือ การลวกแครอทด้วยไอน้ำเป็นเวลา 4 นาที เพราะถึงแม้ว่าปริมาณบีตา-แคโรทีนจะไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่จะมีปริมาณลดลงตามเวลาการลวกที่มากขึ้น จึงพิจารณาเลือกจากเวลาการลวกที่น้อยที่สุดที่สามารถยับยั้งเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสได้

5.2 ศึกษาผลของการชะล้าง soluble solid การแช่สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ และการชุบเคลือบด้วย corn starch ที่มีต่อปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอท

5.2.1 ผลการหาความเข้มข้นของสารละลาย corn starch ที่เหมาะสมต่อการชุบเคลือบแครอท

การที่บีตาแคโรทีนสัมผัสกับอากาศจะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยจะทำให้คอนจูเกชัน (conjugation) ของพันธะคู่จับตัวกับออกซิเจนได้เป็นส่วนผสมสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิล และสารระเหยได้อื่นๆ ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของสีและการเป็นโปรวิตามิน เอ (Gross, 1991) การชุบเคลือบแครอทด้วยสารละลาย corn starch เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดการสัมผัสระหว่างบีตา-แคโรทีนกับออกซิเจนได้

จากตารางที่ 4.6 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย corn starch เพิ่มขึ้น จะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอทอบแห้งได้มากขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นสูงแครอทอบแห้งจะมี corn starch เคลือบติดที่ผิวหนาเกินไป ทำให้ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่ยอมรับ และจากการศึกษาของ Zhao และ Chang (1995) ยังพบว่า corn starch ที่เคลือบผิวของแครอทเป็นสาเหตุทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแครอทในระหว่างการคืนรูปลดลง ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลาย corn starch ที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวแครอท คือ 2.5 % (w /v) เนื่องจากสามารถรักษาบีตา-แคโรทีนไว้ได้ในปริมาณสูง และมีลักษณะปรากฏทั้งก่อนและหลังการคืนรูปเป็นที่ยอมรับได้ ซึ่งความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองนี้เป็นความเข้มข้นเดียวกับในการทดลองของ Zhao และ Chang (1995) และ Luh และ Woodroof (1977) ก็ได้บันทึกไว้ว่าความเข้มข้นของ corn starch ที่เหมาะสมต่อการชุบเคลือบควรอยู่ในช่วง 2 - 2.5% (w/v)

5.2.2 ผลของการชะล้าง soluble solid การแช่สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ และการชุบเคลือบด้วยสารละลาย corn starch

จากตารางที่ 4.8 - 4.10 แสดงปริมาณบีตา-แคโรทีนของแครอทอบแห้ง การวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปอร์เซ็นต์ water insoluble solid และเปอร์เซ็นต์ leaching loss ของแครอทที่ผ่านการชะล้าง soluble solid พบว่า การชะล้าง soluble solid โดยการแช่แครอทที่ผ่านการลวกปริมาณ 200 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 6 นาที จะทำให้แครอทมีเปอร์เซ็นต์ water insoluble solid ลดลง ส่งผลให้น้ำหนักต่อชิ้นแครอทมีค่าลดลง Baloch, Buckle และ Edwards (1977) มีรายงานเอาไว้ว่า เมื่อน้ำหนักต่อชิ้นแครอทลดลงจะทำให้แครอทอบแห้งมีปริมาณบีตา-แคโรทีนต่อหน่วยน้ำหนักต่อชิ้นเพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองพบว่า การชะล้าง

soluble solid กลับยิ่งทำให้ปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอทอบแห้งลดลง เนื่องจากในระหว่างการชะล้าง soluble solid บีตา-แคโรทีนจะถูกชะล้างออกไปพร้อมกันด้วย สังเกตได้จากน้ำที่ใช้ล้างจะเปลี่ยนเป็นสีส้มของบีตา-แคโรทีน และจากการตรวจสอบค่า pH ของน้ำกลั่นที่ใช้ในการชะล้าง soluble solid พบว่า มีค่าเป็นกรด คือ มี pH ประมาณ 6.0 ซึ่งในสภาวะที่เป็นกรดบีตา-แคโรทีนอาจเกิด epoxide isomerism ซึ่งเกิดจากการจับตัวของออกซิเจนตรงพันธะคู่ของส่วนที่เป็นวงแหวนในโครงสร้างเกิดเป็นสารประกอบพวก furanoid oxides ส่งผลให้ปริมาณบีตา-แคโรทีนลดลง (Goodwin, 1984)

ส่วนการแช่สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ความเข้มข้น 1 % จะช่วยรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนไว้ได้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับการชุบเคลือบด้วยสารละลาย corn starch จะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนไว้ได้สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากซัลไฟต์มีสมบัติในการเป็นแอนติออกซิแดนท์ ส่วน corn starch จะช่วยลดการสัมผัสของบีตา-แคโรทีนกับออกซิเจน จึงช่วยป้องกันการออกซิเดชันของบีตา-แคโรทีน ทำให้บีตา-แคโรทีนคงตัว (Zhao และ Chang, 1995)

ดังนั้น การเตรียมแครอทก่อนการอบแห้งที่เหมาะสมคือ การแช่แครอทที่ผ่านการลวกด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ความเข้มข้น 1 % เป็นเวลา 5 นาที แล้วชุบเคลือบด้วยสารละลาย corn starch ความเข้มข้น 2.5 % ที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 1 นาที โดยใช้แครอทครั้งละ 200 กรัม ต่อสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ และสารละลาย corn starch ปริมาตร 1 ลิตร

5.3 ศึกษาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอท

5.3.1 ผลการหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง

การศึกษาเวลาที่ใช้อบแห้งแครอทที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำนาน 4 นาที แช่สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ความเข้มข้น 1 % นาน 5 นาที และชุบเคลือบด้วยสารละลาย corn starch ความเข้มข้น 2.5 % แล้วทำการอบแห้งโดยแบ่งการอบแห้งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกใช้อุณหภูมิสูงกว่าช่วงหลัง ระยะเวลาการอบแห้งในช่วงแรกจะนับจากเมื่อเริ่มต้นการอบจนกระทั่งสิ้นสุดช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ เมื่อถึงช่วงอัตราเร็วลด (Falling rate period) จะลดอุณหภูมิในการอบแห้งลง 5 °C เพราะการเปลี่ยนแปลงหรือเสียหายของอาหารจากความร้อนมักจะเกิดในช่วงนี้ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงหรือการทำแห้งที่เร็วเกินไปจะทำให้การหดตัวของอาหารจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การถ่ายเทมวลสาร รวมถึงการแพร่ผ่านของความชื้นในส่วนต่างๆ ของชิ้นอาหารเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเกินไปจึงส่งผลให้โครงสร้างเซลล์เกิดความเสียหายได้ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2535)

จากรูปที่ 4.1 - 4.9 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C จะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C และ 80°C จากผลการทดลองสามารถหาเวลาที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละช่วงได้ดังนี้

1. ทำการอบแห้งที่ 60 °C เป็นเวลา 110 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 55 °C อบแห้งต่อเป็นเวลา 70 นาที รวมเวลาในการอบแห้ง 180 นาที

2. อบแห้งที่ 70 °C เป็นเวลา 100 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 65 °C อบแห้งต่อเป็นเวลา 50 นาที รวมเวลาในการอบแห้ง 150 นาที

3. อบแห้งที่ 80 °C เป็นเวลา 90 นาที ลดอุณหภูมิเป็น 75 °C อบแห้งต่อเป็นเวลา 20 นาที รวมเวลาในการอบแห้ง 110 นาที

เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการอบแห้งที่ Luh และ Woodroof (1977) ได้บันทึกไว้ว่าการอบแห้งแครอทปริมาณ 40 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 70°C ใน tunnel dryer เป็นเวลา 7 ชั่วโมง และ 65°C ใน bin dryer เป็นเวลา 7 ชั่วโมง รวมเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 14 ชั่วโมง พบว่าการอบแห้งโดยใช้ tray dryer ในการทดลองนี้จะใช้เวลาสั้นกว่า คือใช้เวลาเพียง 150 นาที แต่ทั้งนี้เนื่องมาจากการทดลองนี้ใช้แครอทในปริมาณน้อยกว่า คือเพียงแค่ 200 กรัม และเครื่องมือในการอบแห้งแตกต่างกันเวลาที่ได้จากการทดลองจึงแตกต่างกันด้วย

5.3.2 <u>ผลของอัตราการคืนรูปของแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ กัน</u>

ภายหลังการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C, 70°C และ 80°C แล้วนำแครอทมาหาค่า rehydration ratio และ rehydration rate เพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่ออัตราการคืนรูป

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่า แครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C และ 70°C จะมีอัตราการคืนรูปสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C เนื่องจากการใช้อุณหภูมิเริ่มต้นสูงจะทำให้ผิวนอกแห้งอย่างรวดเร็ว เพราะน้ำที่ผิวหน้าเกิดการระเหยเร็วเกินไป ทำให้ความสามารถในการจับตัวของสารในอาหารกับน้ำลดลง (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532)

5.3.3 <u>ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แครอท</u>

เมื่อนำแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ มาคืนรูปและทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า แครอทที่ผ่านการอบแห้งที่

อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C มีคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ สูงกว่าแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสีในตารางที่ 4.16 - 4.17 พบว่าผลการทดลองมีความสอดคล้องกัน คือ แครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C จะให้ค่าสีแดงซึ่งเป็นสีของบีตา-แคโรทีนสูงกว่าแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C ซึ่งมีค่าสีแดงต่ำแต่มีค่าสีเหลืองสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนในระหว่างการอบแห้งจะมีผลทำให้บีตา-แคโรทีนซึ่งอยู่ในรูป all-trans-form เกิดการบิดตัว 180 ° เป็น cis-form ทำให้สีอ่อนลง โดยจะเปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีเหลือง โดยอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่สูงกว่าจะมีผลมากกว่าอุณหภูมิต่ำ (Gross, 1991) เช่นเดียวกับการทดลองของ Chandler และ Schwartz (1988) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการแปรรูปต่อ isomerization ของ trans-beta-carotene ในมันเทศที่ผ่านการทำแห้งโดยใช้ drum dryer ที่อุณหภูมิ 160°C พบว่า เมื่อมันเทศผ่านการให้ความร้อนจะทำให้เกิด cis-form มากขึ้น ส่วนแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C พบว่า แครอทมีค่าสีต่ำกว่าแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C ถึงแม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งจะต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C ใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าถึง 30 นาที ผิวหน้าของแครอทจึงสัมผัสกับอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ส่งผลให้เม็ดสีบริเวณผิวหน้าของแครอทถูกออกซิไดส์ได้มากขึ้น

เมื่อพิจารณาปริมาณบีตา-แคโรทีนในตารางที่ 4.20 - 4.21 พบว่า แครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 70°C และ 60°C มีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการสูญเสียบีตา-แคโรทีนมากกว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mohamed และ Hussein (1994) ที่ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งแครอทต่อปริมาณบีตา-แคโรทีน โดยทำการอบแห้งแครอทที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°C จนน้ำหนักคงที่ พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งที่ 40°C จะมีปริมาณบีตา-แคโรทีนสูงกว่าตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงถึงแม้ว่าจะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่า

สำหรับความแน่นเนื้อในตารางที่ 4.18 - 4.19 พบว่า ค่าความแน่นเนื้อของแครอทอบแห้งที่ผ่านการลวกจะมีค่าต่ำกว่าแครอทสดและแครอทลวก ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการลวกสารพวกเพคตินที่อยู่ใน middle lamella ที่ทำหน้าที่ยึดเซลล์ไว้ด้วยกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดย protopectin ซึ่งเป็นสารเพคตินที่ไม่ละลายน้ำจะสลายตัวให้เพคตินที่ละลายน้ำและเกลือเพคเตตเพิ่มขึ้นทำให้แครอทนุ่มขึ้น (Rahman, Henning และ Westcott, 1971) เมื่อนำแครอทมาทำการอบแห้งผนังเซลล์จะเกิดการแยกตัวและหดตัวในระหว่างการอบแห้ง และเมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างเซลล์แครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน (รูปที่ 4.12) พบว่า แครอทที่อบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C , 70°C และ 80°C โครงสร้างเซลล์เกิดความเสียหาย เซลล์เกิดการเหี่ยวย่นเสียรูปร่างอย่างชัดเจน โดยเฉพาะแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C เซลล์ของแครอทจะเกิดการ

แยกตัวเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ในขณะที่ส่วนของตัวเซลล์จะเกิดการหดตัวและเหี่ยวย่น คืนรูปได้น้อยมาก เนื่องจากในการอบแห้งหากใช้อุณหภูมิในการเริ่มต้นสูงการระเหยน้ำจากผิวหน้าจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ความชื้นที่ผิวหน้าและภายในชิ้นแครอทมีความแตกต่างกันมาก ทำให้แครอทเกิดการเหี่ยวย่น และภายในชิ้นแครอทจะมีลักษณะเป็นโพรง (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) ส่งผลให้แครอท อบแห้งที่อุณหภูมิสูง คือ อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C มีค่าความแน่นเนื้อต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาคะแนนการประเมินคุณภาพในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสจะพบว่าคะแนนของแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากคะแนนของแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 60°C ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่าแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80°C จะเกิดลักษณะ case hardenning คือ บริเวณผิวนอกแข็งแต่ภายในนิ่มและมีโพรงอากาศ เมื่อทำการทดสอบในทางประสาทสัมผัสผู้ทดสอบจะสามารถแยกแยะได้เพียงลักษณะของความแข็งและเหนียวบริเวณผิวด้านนอกของผลิตภัณฑ์ แต่การตรวจสอบโดยใช้เครื่อง texture analyser จะตรวจสอบโดยใช้หัวเจาะลงไปภายในชิ้นของแครอท หัวเจาะจึงสัมผัสกับส่วนของโพรงอากาศภายใน ดังนั้น ค่าความแน่นเนื้อที่วัดได้จึงมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแครอท คือ การอบแห้งแครอทที่ 70 °C เป็นเวลา 100 นาที แล้วลดอุณหภูมิเป็น 65 °C อบแห้งต่อเป็นเวลา 50 นาที รวมเวลาในการอบแห้งทั้งหมด 150 นาที เนื่องจากมีคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและค่าสีสูงที่สุด และมีค่าความแน่นเนื้อและปริมาณบีตา-แคโรทีนสูง

5.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแครอทอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 และ 65 °C

นำแครอทที่ผ่านการอบแห้งที่ 70 และ 65 °C มาหาองค์ประกอบทางเคมี ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.22 พบว่า มีปริมาณความชื้น 4.13 % โปรตีน 9.03 % ไขมัน 2.03 % คาร์โบไฮเดรต 66.12 % เถ้า 7.47 % เส้นใย 11.21 % มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์คงเหลือ 1464.95 ppm. ซึ่งยังไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดให้ผักและผลไม้แห้งมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างได้ไม่เกิน 2,500 ppm. (กระทรวงสาธารณสุข, 2522) และมีปริมาณบีตา-แคโรทีนคงเหลือ 232.65 µg./ g. ซึ่งคิดเป็น 50.37 % ของปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอทสดซึ่งมีปริมาณ 461.86 µg./ g.

5.5 ผลของ water activity (a_w) ที่มีต่อปริมาณบีตา-แคโรทีนในแครอท

นำแครอทอบแห้งมาปรับความชื้นด้วย K_2CO_3 , $Mg(NO_3)_2 . 6H_2O$, NaBr และ $NaNO_2$ ให้มีค่า a_w เท่ากับ 0.42, 0.52, 0.58, และ 0.65 ตัวอย่างที่ได้จะมีความชื้นเท่ากับ 8.85, 12.05, 14.44 และ 18.47% ตามลำดับ เก็บตัวอย่างในขวดแก้วหุ้มอลูมิเนียมฟอยด์ที่ 10 °C เป็นเวลา 3 เดือน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.23 - 4.26 และรูปที่ 4.13 พบว่า ค่า a_w และเวลาในการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณบีตา-แคโรทีนและค่าสีในแครอท โดยบีตา-แคโรทีนจะเกิดการสูญเสียมากขึ้นตามเวลาที่เก็บรักษา ซึ่งส่งผลให้ค่าสีแดงมีค่าลดลงด้วย แต่การสูญเสียนี้จะลดลงได้หากแครอทอบแห้งมีค่า a_w สูง เนื่องจากน้ำในอาหารจะมีลักษณะเป็นฟิล์มล้อมรอบผลิตภัณฑ์จึงสามารถป้องกันบีตา-แคโรทีนสัมผัสกับออกซิเจนได้ จึงมีผลในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Gross, 1991) แต่ค่า a_w ที่สูงเกินไปก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดปัญหาในด้านอื่นๆ ตามมาได้ เช่น การเกิด nonenzymatic browning (Lee, Chung และ Yam, 1992) ซึ่งอัตราการเกิด browning จะมีอัตราเร็วสูงเมื่อค่า a_w อยู่ในช่วงประมาณ 0.6 - 0.8 และนอกจากนั้นยังอาจเกิดปัญหาในด้านจุลินทรีย์ซึ่งจะส่งผลให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ลดลง

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Goldman, Horev และ Saguy (1983) ที่ได้ศึกษาผลของค่า a_w ต่อการเปลี่ยนแปลงของบีตา-แคโรทีน พบว่า ตัวอย่างอาหารผงแห้งที่มีค่า a_w 0.84 จะสามารถรักษาปริมาณบีตา-แคโรทีนไว้ได้มากกว่าตัวอย่างที่มีค่า a_w 0.33 เนื่องจากปริมาณ free radical ที่เกิดขึ้นระหว่างการเกิด pigment oxidation จะลดลงโดยการทำปฏิกิริยากับน้ำ

ดังนั้น หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งมีปริมาณบีตา-แคโรทีนในปริมาณสูงอาจจะใช้ข้อมูลจากการทดลองนี้ในการพิจารณาความชื้นที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ แต่ค่า a_w สูงจะมีปัญหาเกี่ยวกับ nonenzymatic browning และจุลินทรีย์ เนื่องจากเมื่อค่า a_w สูงขึ้นความชื้นของผลิตภัณฑ์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากกราฟ moisture sorption isotherm ในรูปที่ 4.14 ซึ่งจะส่งผลให้อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ลดลง จึงไม่ควรเลือกใช้ค่า a_w ที่สูงเกินไป

5.6 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

บรรจุแครอทอบแห้งที่ความชื้น 4% ในถุงชนิด OPP/PE/Alu/PE ถุงละ 15 กรัม ที่สภาวะสุญญากาศ (0.8 บาร์) แล้วเก็บรักษาในสภาวะอากาศปกติ เนื่องจากสภาวะในการเก็บรักษานี้เป็นสภาวะที่มักใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งที่มีขายในท้องตลาดในปัจจุบันและการเลือกใช้ความชื้นต่ำยังช่วยลดปัญหาในด้านจุลินทรีย์ลงได้ โดยทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 5

เดือน ตรวจสอบคุณภาพตัวอย่างเริ่มต้นและหลังจากนั้นทุก 1 เดือน ให้ผลการตรวจสอบในด้านต่างๆ ดังนี้

- ผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีและปริมาณบีตา-แคโรทีน

จากตารางที่ 4.27 และ 4.28 พบว่า เมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้นค่าสีแดงซึ่งเป็นลักษณะสีของบีตา-แคโรทีนจะมีค่าลดลงเช่นเดียวกับปริมาณบีตา-แคโรทีนที่ลดลงในตารางที่ 4.29 และพบว่าในช่วง 2 เดือนแรกบีตา-แคโรทีนจะลดลงในปริมาณน้อยกว่าในช่วงเดือนที่ 3-5 เนื่องจากผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งใช้โซเดียมซัลไฟต์เป็นแอนติออกซิแดนท์ที่จะช่วยให้บีตา-แคโรทีนคงตัว แต่ซัลไฟต์จะค่อยๆหมดไปเนื่องจากการเข้ารวมตัวกับเปอร์ออกซี่แรดิคัลในระหว่างการเก็บรักษา เมื่อปริมาณซัลไฟต์ลดลงบีตา-แคโรทีนจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เพิ่มขึ้น (Zhao และ Chang, 1995) โดยพันธะคู่ในโมเลกุลของบีตา-แคโรทีนเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อของผลิตภัณฑ์รวมถึงออกซิเจนที่อาจซึมผ่านเข้ามาจากภายนอกเนื่องจากผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็งตัวและไม่เรียบทำให้เกิดช่องว่างสุญญากาศระหว่างผิวของผลิตภัณฑ์กับผิวของภาชนะบรรจุ ช่องว่างสุญญากาศที่เกิดขึ้นนี้อาจเป็นปัจจัยที่เพิ่มอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนจากภายนอก เนื่องจากความหนาแน่นของบรรยากาศที่แตกต่างกันระหว่างผิวทั้ง 2 ด้านของภาชนะบรรจุ ส่งผลให้เกิดแรงดันเข้าของออกซิเจน ทำให้ค่าสีแดงและบีตา-แคโรทีนมีปริมาณลดลง

- ผลต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

จากตารางที่ 4.31 พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และรามีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานของอาหารแห้งโดยทั่วไปซึ่งกำหนดให้มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 10,000 โคโลนี/ กรัมและปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำเพียงแค่ 4% และมีค่า a_w ประมาณ 0.38 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเกินกว่าเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถเจริญเติบโตได้ รวมทั้งสภาวะในภาชนะบรรจุที่เป็นแบบสุญญากาศก็เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้น ปัจจัยทางด้านจุลินทรีย์จึงมีผลน้อยมากต่อการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้ง