บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 วิจารณ์อิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ในการทำให้แห้ง

5.1.1 อิทธิพลของความดันไอน้ำและความเร็วลูกกลิ้ง

5.1.1.1 อิทธิพลของความดันไอน้ำที่มีต่อความชื้น

พิจารณารูปที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ความชื้นจะลดลงการลดลงของความชื้นในระยะต้นจะมีอัตราการลดลงสูง และเมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นมาก ๆ ความชื้นจะใกล้เคียงกันไม่ว่าความเร็วลูกกลิ้งจะเป็นเท่าใด ดังนั้นเมื่อถือความชื้นร้อยละ 5 เป็นเกณฑ์ พบว่า

ความดันไอน้ำ 20 ปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้ไม่ได้เลยไม่ว่าความเร็วจะเป็นเท่าใด
ความดันไอน้ำ 25 และ 30 ปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้ได้ที่ความเร็ว 2 รอบ/นาที
ความดันไอน้ำ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้ได้ที่ความเร็ว 2 และ 3 รอบ/นาที
ความดันไอน้ำตั้งแต่ 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว ใช้ได้กับทุกความเร็ว

จากการสังเกตพบว่า เมื่อใช้ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไปที่ความเร็ว 2 รอบ/นาที ผลิตภัณฑ์บางส่วนจะเริ่มไหม้

5.1.1.2 อิทธิพลของความดันไอน้ำที่มีต่อไวตามินซี

พิจารณารูปที่ 4.2 ในระยะต้น เมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ไวตามินซีจะถูกทำลายมากขึ้น และเมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้นมาก ๆ การถูกทำลายของไวตามินซีจะมีการผันแปรค่าขึ้นลงไม่คงที่ เนื่องจากเมื่อผลิตภัณฑ์แห้ง จะมีบางส่วน

ร่อนหลุดจากผิวลูกกลิ้ง ความร้อนส่วนที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ค่อยมีผลทำให้ไวตามินซีถูกทำลายเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ทั้งสองอย่างแล้ว จึงควรใช้ความดันไอน้ำไม่ต่ำกว่า 25 ปอนด์/ตารางนิ้ว แต่ไม่ควรเกิน 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว เพราะว่าความชื้นจะต่ำกว่าร้อยละ 5 ตั้งแต่ความดัน 25 ปอนด์/ตารางนิ้ว และการใช้ความดันไอน้ำเกินกว่า 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะทำให้เกิดการสูญเปล่าของพลังงาน เพราะมีผลต่อความชื้นและไวตามินซีน้อย

5.1.1.3 อิทธิพลของความเร็วลูกกลิ้งที่มีต่อความชื้น

พิจารณารูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นความชื้นจะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของความชื้นจะมีอัตราการเพิ่มช้าเมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อถือเอาความชื้นร้อยละ 5 เป็นเกณฑ์ พบว่า

ความเร็ว 2 รอบ/นาที ใช้ได้ตั้งแต่ความดันไอน้ำ 25 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไป
ความเร็ว 3 รอบ/นาที ใช้ได้ตั้งแต่ความดันไอน้ำ 35 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไป
ความเร็ว 4 รอบ/นาที ใช้ได้ตั้งแต่ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์/ตารางนิ้วขึ้นไป

5.1.1.4 อิทธิพลของความเร็วลูกกลิ้งที่มีต่อไวตามินซี

พิจารณารูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจาก 2รอบ/นาที เป็น 3 รอบ/นาที ไวตามินซีจะถูกทำลายน้อยลง แต่เมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นเป็น 4 รอบ/นาที ไวตามินซีกลับถูกทำลายมากขึ้น ทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูง ความชื้นสูงจะทำให้ตัวอย่างติดแน่นอยู่กับผิวลูกกลิ้งเป็นเวลานานกว่าเมื่อมีความชื้นต่ำ ไวตามินซีจึงถูกทำลายมากขึ้น (ความชื้นต่ำ ทำให้มีบางส่วนของผลิตภัณฑ์ร่อนหลุดจากผิวลูกกลิ้ง ความร้อนที่ได้รับจะน้อยกว่า) ดังนั้นควรใช้ความเร็วไม่เกิน 3 รอบ/นาที

สรุปช่วงของความดันไอน้ำและความเร็วลูกกลิ้งที่ใช้ได้คือ ความดันไอน้ำ

25-40 ปอนด์/ตารางนิ้ว และความเร็วลูกกลิ้ง 2-3 รอบ/นาที เมื่อพิจารณาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป พบว่าควรทำที่ความเร็ว 3 รอบ/นาทีและควรใช้ความดันไอน้ำ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว เพราะไวตามินซีถูกทำลายน้อยกว่าเมื่อใช้ความดันไอน้ำ 40 ปอนด์/ตารางนิ้ว

การศึกษาขั้นต่อไป สภาวะการทำให้แห้งจะใช้ความดันไอน้ำ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว และความเร็วลูกกลิ้ง 3 รอบ/นาที

5.1.2 อิทธิพลของอุณหภูมิของตัวอย่างที่ป้อนเข้าเครื่อง

5.1.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิของตัวอย่างที่มีต่อความชื้น

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 30°ซ เป็น 50°ซ ความชื้นจะลดลงเล็กน้อย แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากกว่า 50°ซ ความชื้นกลับมีแนวโน้มว่าสูงขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผลต่างระหว่างอุณหภูมิของตัวอย่างและอุณหภูมิผิวลูกกลิ้งมีค่าน้อยลง อัตราเร็วของการทำให้แห้งจึงช้าลง

5.1.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิของตัวอย่างที่มีต่อไวตามินซี

พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไวตามินซีถูกทำลายมากขึ้น

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิของตัวอย่างที่มีต่อความชื้นและไวตามินซีแล้ว จึงควรให้อุณหภูมิของตัวอย่างมีค่าต่ำ เช่นที่ 30°ซ แต่พบว่าความหนืดที่อุณหภูมิ 30°ซ นั้นสูงจนเป็นปัญหาในทางปฏิบัติ ยากต่อการทำ จึงควรให้อุณหภูมิสูงกว่า 30°ซ ขึ้นไป ที่ 50°ซ พบว่ามีความหนืดที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติ และไวตามินซีถูกทำลายน้อยกว่าที่ 70°ซ และ 90°ซ อุณหภูมิระหว่าง 30°ซ และ 50°ซ เช่นที่ 40°ซ อาจให้ความหนืดที่ไม่เป็นปัญหาในทางปฏิบัติ และไวตามินซีถูกทำลายน้อยกว่าที่ 50°ซ แต่จะไม่สนใจศึกษาเพราะการลด

อุณหภูมิจากอุณหภูมิเดิมหลังการโม่เสร็จ (ประมาณ 55°ซ) ลงมาเป็น 40°ซ ไม่สะดวกและใช้เวลานาน

ดังนั้นอุณหภูมิของตัวอย่างที่ป้อนเข้าเครื่องควรเป็น 50°ซ

5.1.3 <u>อิทธิพลของปริมาณของแข็งในตัวอย่างก่อนทำให้แห้งที่มีต่อความชื้น, ไวตามินซี และความหนืด</u>

พิจารณาตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณของแข็งในช่วง 14-18% ทำให้ปริมาณความชื้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และทุกตัวอย่างให้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น ไวตามินซีจะถูกทำลายน้อยลงและในช่วงการต้มก็ให้ผลทำนองเดียวกัน เพราะฉะนั้นเพื่อให้ไวตามินซีถูกทำลายปริมาณน้อย จึงควรให้ปริมาณของแข็งในตัวอย่างมีค่าสูง ๆ แต่เนื่องจากความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6 การให้ปริมาณของแข็งในตัวอย่างมีค่าสูง ๆ จึงต้องคำนึงถึงว่าไม่เป็นปัญหาในทางปฏิบัติด้วย พบว่าปริมาณของแข็งประมาณ 18% เป็นปริมาณสูงสุดซึ่งให้ความหนืดที่เหมาะแก่การปฏิบัติ

ดังนั้นบริมาณของแข็งในตัวอย่างที่เหมาะสมคือ 18% เพราะให้ปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 และไวตามินซีถูกทำลายน้อยสุด นอกจากนี้แล้วยังให้อัตราการผลิตจะสูง ซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้

5.2 วิจารณ์ผลการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพอาหาร

5.2.1 การเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจากปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาล

5.2.1.1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีการเร่งปฏิกริยา

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นการเกิดสีน้ำตาลจะมากขึ้น อุณหภูมิยิ่งสูงอัตราการเพิ่มขึ้นก็จะยิ่งสูง จากการหาอัตราเร็วของปฏิกริยาโดยเขียนกราฟระหว่าง $\ln OD/OD_i$ กับเวลา t , พบว่าอัตราเร็วของปฏิกริยามีค่าเท่ากับ 6.7×10^{-5}, 3.5×10^{-3} และ 12.3×10^{-3} (วัน)$^{-1}$ ที่อุณหภูมิ 40°ซ, 50°ซ และ 60°ซ ตามลำดับ และจากการเขียนกราฟระหว่าง lnk กับ 1/T พบว่า Ea ของปฏิกริยามีค่าเท่ากับ 53 กิโลแคลอรี่/โมล (ดูภาคผนวก จ.) จะเห็นว่ามีค่าสูงเมื่อเทียบกับค่าที่พบจากเอกสารต่าง ๆ (11,30,45) ซึ่งเท่ากับ 25-50 กิโลเคอรี่/โมล

ความสัมพันธ์ระหว่างสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นกับคะแนนของสีที่ได้ดังในตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นการเกิดสีน้ำตาลจะมากขึ้นทำให้คะแนนลดลง ผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิต่ำจะได้คะแนนมากกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง สีของผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่ 40°ซ เป็นที่ยอมรับตลอดระยะเวลา 7 สัปดาห์ที่ใช้ในการทดลอง ส่วนสีของผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่ 50°ซ และ 60°ซ เริ่มไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 7 และสัปดาห์ที่ 3 ตามลำดับ ดังนั้นการแสดงระดับสีที่ยังยอมรับจะใช้ค่า $O.D/O.D_i = 1.15$

5.2.1.2 เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ และบรรจุภาชนะในสภาพต่างกัน

พิจารณาตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสภาพการดูดกลืนแสงจะลดลงตลอด 6 เดือน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมี 2 ปฏิกริยาเกิดขึ้นพร้อมกัน คือ ปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาล และปฏิกริยาการซีดจางของเม็ดสี (Bleaching reaction) ดังนั้นลักษณะสีที่ปรากฏจะขึ้นกับอัตราเร็วของปฏิกริยา

พิจารณาค่า Ea ของทั้ง 2 ปฏิกริยาจากเอกสารต่าง ๆ (11,30,45) พบว่าปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาลมีค่า Ea เท่ากับ 25-50 กิโลแคลอรี่/โมล ส่วนปฏิกริยาการซีดจางของเม็ดสีมีค่าเท่ากับ 10-25 กิโลแคลอรี่/โมล ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับปฏิกริยาออกซิเดชั่นของไขมันเนื่องจากปฏิกริยามักเกิดควบคู่กัน จากค่า Ea ของทั้ง 2 ปฏิกริยาจะเห็นว่าปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาลมีค่า Ea สูงกว่า ดังนั้นการศึกษาในสภาวะที่มีการเร่งปฏิกริยาจึงพบว่าผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิสูง 50°ซ และ 60°ซ จึงปรากฏสีน้ำตาลให้เห็น ส่วนที่ 40°ซ การเปลี่ยนแปลงสีเกิดน้อยซึ่งอาจเป็นเพราะอัตราเร็วของทั้ง 2 ปฏิกริยาใกล้เคียงกัน และเมื่อเก็บที่ 30°ซ สีของผลิตภัณฑ์จะซีดจางลง แสดงว่าปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาลเกิดช้ากว่าปฏิกริยาการซีดจางของเม็ดสี

เนื่องจากคาดว่าจะมี 2 ปฏิกริยาเกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นการหาค่าEa ที่ 30°ซ จะไม่นำค่า Ea ที่ได้จากการทดลองซึ่งมีค่าสูงถึง 53 กิโลแคลอรี่/โมล มาใช้ในการคำนวณ แต่จะใช้ค่า Ea เท่ากับ 25 กิโลแคลอรี่/โมลตามที่ Brockman (11) ประมาณไว้สำหรับใช้ในปฏิกริยาการเสื่อมสลายต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์แห้ง เมื่อคำนวณโดยอาศัยค่า K และอุณหภูมิที่ 50°ซ (หรือ 60°ซ) ได้ว่าที่ 30°ซ มีค่าเท่ากับ 2.83×10^{-4} (วัน)$^{-1}$ (ดูภาคผนวก จ.)

เมื่อคำนวณหาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์โดยใช้ค่า $O.D._f/(O.D.)_i$ เท่ากับ 1.15 ซึ่งเป็นค่าแสดงระดับของสีที่ยังยอมรับ พบว่าผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บที่ 30°ซ และบรรจุในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติจะเก็บได้นาน 493 วัน หรือประมาณ 1 ปี 4 เดือน (ดูภาคผนวก จ.)

ผลของภาชนะบรรจุ พิจารณาตารางที่ 4.9 พบว่าสภาพการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะทั้ง 4 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกริยาการเกิดสารสีน้ำตาล คือ อุณหภูมิและปริมาณความชื้น แต่เนื่องจากเก็บทุกผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิเดียวกัน และจากผลการตรวจสอบปริมาณความชื้น (ตารางที่ 4.19) พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์

ที่บรรจุในภาชนะทั้ง 4 แบบ มีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้อัตราเร็วของปฏิกริยาไม่แตกต่างกันมาก แสดงว่าภาชนะบรรจุและสภาพการบรรจุทุกแบบที่ใช้ในการศึกษานี้ ไม่ทำให้มีปัญหาการเกิดสารสีน้ำตาลและสีของผลิตภัณฑ์ยังเป็นที่ยอมรับตลอดเวลา 6 เดือน

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงกลิ่นเนื่องจากปฏิกริยาการเกิดกลิ่นหืน

5.2.2.1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีการเร่งปฏิกริยา

พิจารณาจากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า จะเพิ่มขึ้น และเมื่อเวลามากขึ้นค่า TBA จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง จากนั้นจะลดต่ำในเวลาต่อมา จนถึงค่าต่ำสุดค่าหนึ่งแล้วจะกลับเพิ่มขึ้นอีก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอธิบายได้ดังนี้คือ (19,83)

ช่วงที่ 1. ในระยะ 2-3 อาทิตย์แรก เมื่อเวลามากขึ้นค่า TBA จะเพิ่มขึ้นและอัตราการเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่ 50°ซ และ 60°ซ จะสูงกว่าที่ 40°ซ ในช่วงแรกนี้จะเป็นระยะของการเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกริยา ดังนั้นปฏิกริยาจึงเกิดขึ้นรวดเร็ว

ช่วงที่ 2. หลังจาก 3 อาทิตย์ไปแล้วค่า TBA มีแนวโน้มลดลง การลดลงอาจเนื่องมาจาก 2 สาเหตุคือ 1) มาโลนัลดีไฮด์ (Malonaldehyde) ซึ่งเป็นผลิตผลของปฏิกริยานั้นเมื่อมีค่าสูงถึงค่าหนึ่งจะสลายตัวเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่ทำปฏิกริยากับกรดไทโอบาร์บิทิวริค (Thiobarbituric acid) หรือ 2) มาโลนัลดีไฮด์ เกิดปฏิกริยาคอนเดนเซชั่น (Condensation) กับกรดอะมิโนบางตัว ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปฏิกริยา non-enzymatic browning อัตราการลดลงของมาโลนัลดีไฮด์ในช่วงนี้จะมากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่า TBA ลดลง

ช่วงที่ 3. หลังจากอาทิตย์ที่ 5 ค่า TBA จะกลับเพิ่มขึ้นในลักษณะเดิมอีกเนื่องจากอัตราการลดลงของมาโลนัลดีไฮด์มีน้อยลง

จากคะแนนของกลิ่นที่ผู้ทดสอบให้แก่ผลิตภัณฑ์ดังในตารางที่ 4.11 พบว่าในระยะแรกเมื่อค่า TBA เพิ่มขึ้น คะแนนจะลดลง เมื่อเวลานานขึ้นค่า TBA และคะแนนจะไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการลดลงของค่า TBA และเนื่องจากผลิตภัณฑ์ใช้วัตถุดิบหลายชนิด กลิ่นของวัตถุดิบบางอย่าง ซ่น ผัก,ปลา จะมีอิทธิพลต่อการรู้สึกว่ามีกลิ่นหืน ถึงแม้ว่าผู้ทดสอบจะได้รับการฝึกฝนให้คุ้นเคยกับกลิ่นหืนแล้วก็ตาม แต่ยังต้องการความชำนาญมากกว่านี้อีก

ผู้ทดสอบจะสังเกตได้ว่าผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่ 40°ซ เริ่มมีกลิ่นหืนเมื่อถึงอาทิตย์ที่ 3 ส่วนผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่ 50°ซ และ 60°ซ จะสังเกตได้เมื่อถึงอาทิตย์ที่ 2 จากผลการทดลองถึงแม้จะสังเกตกลิ่นหืนได้แต่ก็ไม่สามารถบอกได้ว่าค่า TBA ที่ผู้ทดสอบไม่ยอมรับกลิ่นอยู่ที่ค่าใดแน่นอนเนื่องจากกลิ่นของวัตถุดิบหลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

5.2.2.2 <u>เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ และบรรจุภาชนะในสภาพต่างกัน</u>

จากการตรวจสอบค่า TBA (ตารางที่ 4.13, 4.14) พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่า TBA จะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกหลังจากนั้นจึงลดลงเล็กน้อย แล้วกลับเพิ่มขึ้นไปตลอดจนครบ 6 เดือน ทั้งนี้เป็นเพราะมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเกิดขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงดังได้กล่าวแล้ว ส่วนการให้คะแนนของกลิ่นนั้นพบว่าคะแนนลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การสังเกตกลิ่นหืนจะง่ายกว่าเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากกลิ่นวัตถุดิบอื่นเข้าปะปนน้อย พบว่ากลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุกระป๋องและบรรจุซองในสภาพบรรยากาศปกติ (NC,NB) เริ่มจะไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อถึงเดือนที่ 6 โดยค่า TBA จะเท่ากับ 2.71 และ 3.17 ตามลำดับ ส่วนกลิ่นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ (VC) และในบรรยากาศไนโตรเจน (NiB) ยังเป็นที่ยอมรับตลอดระยะเวลาการทดลอง

ดังนั้นถ้าใช้ค่า TBA เท่ากับ 2.55 แสดงระดับที่ไม่ยอมรับจะทำให้หาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ได้โดยใช้วิธีต่อเส้นกราฟของรูปที่ 4.9 (ดูภาคผนวก ฉ.)ออกไปจนถึงค่า TBA ที่แสดงระดับนั้น พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรยากาศไนโตรเจนเก็บได้นานประมาณ 2 ปี และผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติจะเก็บได้นาน 1 ปี 2 เดือน

ผลของภาชนะบรรจุจากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพต่าง ๆ กัน พบว่าค่า TBA ของผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุกระป๋องในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ (VC) และบรรจุซองในบรรยากาศของไนโตรเจน (NiB) มีค่าต่ำกว่าเมื่อบรรจุในสภาพบรรยากาศปกติทั้งชนิดบรรจุกระป๋อง (NC) และบรรจุซอง (NB) การบรรจุในบรรยากาศไนโตรเจนมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า TBA น้อยที่สุดทั้งนี้เพราะสภาพการบรรจุทำให้มีออกซิเจนเข้าไปเกี่ยวข้องกับปฏิกริยาน้อยกว่าแบบอื่น ส่วนการบรรจุในสภาพบรรยากาศปกตินั้น จะมีออกซิเจนแทรกอยู่ในระหว่างเนื้อผลิตภัณฑ์ และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุมากทำให้เกิดปฏิกริยาเหม็นหืนเร็ว

จะเห็นว่าภาชนะบรรจุจะมีผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของผลิตภัณฑ์ กลิ่นหืนจะเกิดขึ้นช้าเมื่อมีออกซิเจนมาเกี่ยวข้องน้อยที่สุด เช่นการบรรจุในสภาพสูญญากาศ หรือในบรรยากาศของไนโตรเจน และภาชนะบรรจุต้องสามารถป้องกันการซึมเข้าของออกซิเจนได้เป็นอย่างดี

5.2.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัส

5.2.3.1 เมื่อเก็บในสภาวะที่มีการเร่งปฏิกริยา

ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงโดยคำนวณหาความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ผลดังตารางที่ 4.15 จะเห็นว่าดัชนีการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกันทำให้ไม่สามารถนำมาสรุปผลได้ อย่างไรก็ตามจากการสังเกต และการให้คะแนนของผู้ทดสอบดังในตารางที่ 4.16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิ และเวลามากขึ้น ลักษณะเนื้อสัมผัส

ของผลิตภัณฑ์จะผิดไปจากเดิม ทำให้คะแนนมีการเปลี่ยนแปลง ในระยะแรกความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสจะเห็นไม่ชัดเจน ผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิสูงคือ 50°ซ และ 60°ซ จะเห็นความแตกต่างได้ชัดในอาทิตย์ที่ 3 ส่วนผลิตภัณฑ์ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ จะเริ่มเห็นความแตกต่างในอาทิตย์ที่ 6

ดังนั้นถึงแม้ว่าดัชนีการดูดซึมน้ำจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จากการตรวจสอบโดยการให้คะแนนก็พบว่าอุณหภูมิ และเวลามีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นหลังการดูดซึมน้ำมีลักษณะผิดไปจากเดิม คือเริ่มจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ก็ยังเป็นที่ยอมรับตลอดเวลาที่ใช้ในการทดลอง

5.2.3.2 <u>เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ และบรรจุภาชนะในสภาพต่างกัน</u>

เนื่องจากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสโดยการคำนวณหาความสามารถในการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บในสภาวะที่มีการเร่งปฏิกริยานั้น ไม่สามารถสรุปผลบอกความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสได้ ดังนั้นในการเก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ จึงเปลี่ยนมาตรวจสอบค่าความหนืดแทน โดยตรวจเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่บรรจุกระป๋อง ในสภาพบรรยากาศปกติ (NC) พบว่าเมื่อเวลามากขึ้นค่าความหนืดลดลง ดังในตารางที่ 4.17 นอกจากนั้นมีการให้คะแนนลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในภาชนะทั้ง 4 แบบ ดังในตารางที่ 4.18 พบว่าได้คะแนนไม่ต่างกันเนื่องจากความหนืดใกล้เคียงกัน และคะแนนจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่ผู้ทดสอบสังเกตได้คือถึงแม้ความหนืดจะลดลงแต่ผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่รู้สึกสากลิ้นเมื่อชิม ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภาชนะทั้ง 4 แบบ ยังเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบตลอดระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน

5.2.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น

จากตารางที่ 4.19 พบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุภาชนะทั้ง 4 แบบ มีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วงร้อยละ 3.78-4.05 แสดงว่าภาชนะบรรจุที่ใช้สามารถป้องกันการซึมเข้าออกของไอน้ำได้เป็นอย่างดี และความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศเหมาะสมที่จะใช้เก็บผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 5 ตลอดระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน

5.2.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไวตามินซีของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ ในภาชนะบรรจุต่าง ๆ กัน

พบว่าเมื่อเวลามากขึ้น ปริมาณไวตามินซีจะถูกทำลายมากขึ้นทำให้สัดส่วนของปริมาณไวตามินซีที่เหลืออยู่ลดลงเรื่อย ๆ การลดลงจะมีมากและเห็นชัดในช่วง 4 เดือนแรก หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงจะมีน้อยค่าจึงค่อนข้างคงที่ สัดส่วนของปริมาณไวตามินซีที่เหลืออยู่ของผลิตภัณฑ์ซึ่งบรรจุในบรรยากาศของไนโตรเจน (NiB) จะลดลงในอัตราช้าที่สุด รองลงมาคือผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ (VC) และผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพความดันบรรยากาศปกติ (NC,NB) ตามลำดับ

ค่า k ของปฏิกริยาการถูกทำลายของไวตามินซีหาได้จากการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก โดยเขียนกราฟระหว่างค่า $\ln c/c_o$ กับเวลา (ดูภาคผนวก ช.) พบว่าค่า k ของปฏิกริยา ที่อุณหภูมิ 30°ซ และความชื้นโดยเฉลี่ย 3.90% มีค่าอยู่ในช่วง $2.6 \times 10^{-3} - 6.2 \times 10^{-3}$ (วัน)$^{-1}$ ซึ่งเป็นช่วงที่พบโดยทั่วไปสำหรับผลิตภัณฑ์แห้ง (45) จากค่า นั้นนำมาคำนวณหาอายุการเก็บในภาชนะต่าง ๆ ได้ การหาอายุการเก็บเมื่อพิจารณาจากปริมาณสารอาหารที่ยังคงอยู่ นิยมบอกเป็นระยะเวลาที่สารอาหารสลายไปครึ่งหนึ่ง (Half life) ดังนั้นถ้าทำให้ปริมาณไวตามินซีเริ่มต้นก่อนเก็บมีเป็น 2 เท่าของปริมาณที่กำหนดแล้ว จะบอกได้ว่าจะเก็บผลิตภัณฑ์ได้นานเท่าใดโดยที่ปริมาณยังอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด จากอัตราเร็วของปฏิกริยาการถูกทำลายของไวตามินซีข้างต้น นำมาคำนวณหาระยะเวลาที่ไวตามินซีจะสลายไปครึ่งหนึ่ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรยากาศปกติ

จะเก็บได้นานประมาณ 4 เดือน ถ้าบรรจุในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศเก็บได้นาน 5 เดือน และในสภาพบรรยากาศของไนโตรเจนเก็บได้นาน 9 เดือน (แสดงการหาค่า k ของปฏิกริยาและระยะเวลาที่ไวตามินซีสลายไปครึ่งหนึ่ง ในภาคผนวกที่ ช.) ดังนั้น สภาพการบรรจุจึงมีผลต่อการถูกทำลายของไวตามินซี

เมื่อพิจารณาผลของภาชนะบรรจุที่มีต่อไวตามินซี (ตารางที่ 4.20) พบว่าไวตามินซีของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุของในบรรยากาศของไนโตรเจน (NiB) ถูกทำลายน้อยที่สุดทำให้สัดส่วนของปริมาณไวตามินซีที่เหลืออยู่มีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในสภาพอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุกระป๋องและซองในสภาพความดันบรรยากาศปกติ (NC,NB) มีสัดส่วนของปริมาณไวตามินซีที่เหลืออยู่ใกล้เคียงกัน

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการถูกทำลายของไวตามินซีของผลิตภัณฑ์แห้งคือ อุณหภูมิปริมาณความชื้น และปริมาณออกซิเจน(25) แต่เนื่องจากการทดลองนี้ทุกผลิตภัณฑ์เก็บที่อุณหภูมิเดียวกันตลอด และจากการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุภาชนะทั้ง 4 แบบ (ตารางที่ 4.19) พบว่าปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน ดังนั้นปัจจัยที่มีผลมากต่อการถูกทำลายของไวตามินซีจะเป็นปริมาณออกซิเจน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าการบรรจุในบรรยากาศของไนโตรเจนทำให้ไวตามินซีถูกทำลายน้อยที่สุด รองลงมาคือ การบรรจุในสภาพความดันต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ทั้งนี้เพราะสภาพการบรรจุสามารถลดปริมาณออกซิเจนที่จะเกี่ยวข้องกับปฏิกริยาได้ นอกจากนี้พบว่าการบรรจุซองและกระป๋องในสภาพความดันบรรยากาศปกติทำให้มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไวตามินซีใกล้เคียงกันแสดงว่าภายในระยะเวลา 6 เดือนที่ใช้ทดลอง วัสดุที่ใช้ทำซองสามารถป้องกันการซึมเข้าของออกซิเจนได้เป็นอย่างดี

5.2.6 ปริมาณแบคทีเรีย

จากการหาปริมาณแบคทีเรียโดยทำ Total plate count พบว่าปริมาณแบคทีเรียทั้งเมื่อเริ่มเก็บและหลังเก็บจะมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่าที่กำหนดโดย พ.ร.บ. อาหารเด็กอ่อน ซึ่งกำหนดว่าต้องไม่เกิน 50,000/กรัม เมื่อเริ่มต้นเก็บ

จะมีค่า 20/กรัม แสดงว่ามีจุลินทรีย์จำนวนน้อยมากที่ทนอยู่ได้ขณะผ่านขบวนการ หลังจากเก็บไว้ 6 เดือนจะมีค่า 60/กรัม จะเห็นว่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยทั้งนี้เพราะผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำซึ่งจะป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต.