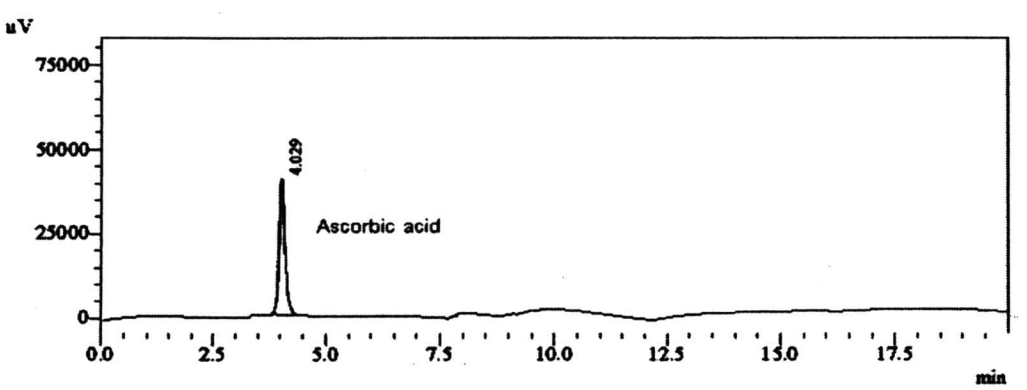
บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

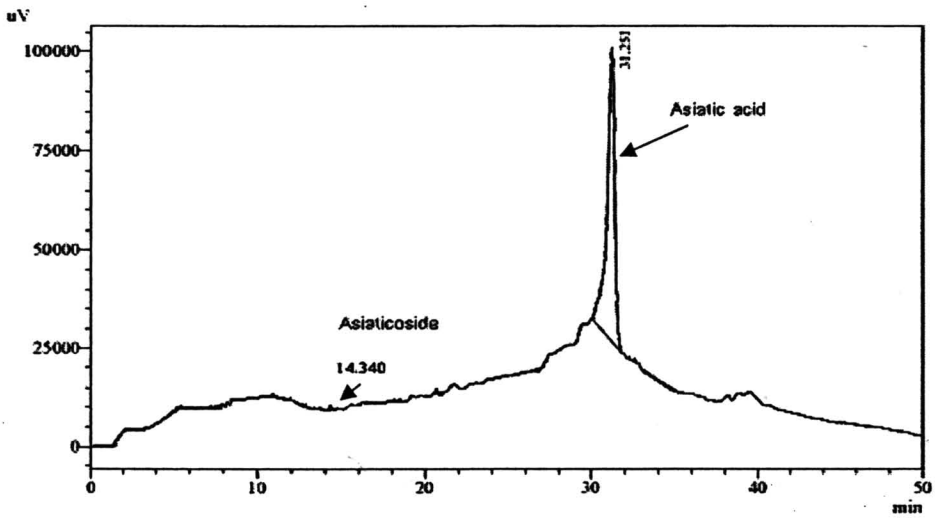
4.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำใบบัวบกสด

ปริมาณผลผลิต (yield) ของบัวบกที่ใช้สำหรับสกัดน้ำใบบัวบกได้เท่ากับ ร้อยละ 25.9 ± 4.61 ของปริมาณบัวบกทั้งต้นและราก โดยได้คัดเลือกเฉพาะใบที่มีสีเขียว และตัดก้านบัวบกให้มีความยาวจากฐานใบ ประมาณ 2-3 เซนติเมตร และเมื่อทำการสกัดน้ำใบบัวบกโดยใช้อัตราส่วนของใบบัวบกต่อน้ำดื่มเท่ากับ 3 ต่อ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก พบว่าได้ร้อยละของปริมาณน้ำสกัดใบบัวบก (yield) เท่ากับ ร้อยละ 54.8 ± 2.75

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของน้ำใบบัวบกสด โดยวัดค่าสีในระบบ CIE (L a^* และ b^*) โดยวัดค่าสีแบบส่องผ่าน (Transmission) พบว่า ค่าสี L (Lightness) a^* (Redness/Greenness) b^* (Yellowness/Blueness) มีค่าเท่ากับ 30.4 ± 0.42 -7.11 ± 0.02 และ -0.38 ± 0.01 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำใบบัวบกสดมีสีเขียวอมน้ำเงิน จากการรายงานของ Then *et al.* (1998) พบว่าบัวบกมีคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียวในผักและผลไม้ ในธรรมชาติคลอโรฟิลล์เอจะให้สีเขียวอมน้ำเงินส่วนคลอโรฟิลล์บีจะให้สีเขียวอมเหลือง



รูป 4.1 โครมาโตแกรมของกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)



รูป 4.2 โครมาโตแกรมของอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) และกรดอะเซียติก (asiatic acid)

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมี และจุลชีววิทยาของน้ำใบบัวบกสด โดยใช้อัตราส่วนของใบบัวบกต่อน้ำดื่มเท่ากับ 3 ต่อ 1 ส่วนโดยน้ำหนัก พบว่าได้ผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 คุณภาพทางเคมี และจุลชีววิทยาของน้ำใบบัวบกสด

คุณภาพ	ปริมาณ
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ร้อยละ)	3.60 ± 0.01
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	6.0 ± 0.02
ปริมาณอะเซียติโคไซด์ (mg/100 ml)	0.34 ± 0.01
ปริมาณกรดอะเซียติก (mg/100 ml)	7.40 ± 0.04
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/100 ml)	578 ± 3.21
ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100 ml)	4.11 ± 0.01
ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg BCE/100 ml)	6.25 ± 0.11
ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (mg/100 ml)	0.50 ± 0.01
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/ml)	4.27 ± 0.01
ยีสต์และรา (log CFU/ml)	1.08 ± 0.02
Escherichia coli (MPN/ml)	3

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- GAE หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

- BCE หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

น้ำใบบัวบกสด มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดร้อยละ 3.6 มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6 แสดงให้เห็นว่าน้ำใบบัวบกสดจัดอยู่ในกลุ่มอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ จุลินทรีย์ก่อโรคสามารถเจริญได้

โครมาโตแกรมของอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) และกรดอะเซียติก(asiatic acid) แสดงดังรูป 4.2 โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณอะเซียติโคไซด์ และกรดอะเซียติกในน้ำใบบัวบกสด พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.34 และ 7.40 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีค่าน้อยกว่าน้ำใบบัวบกสดที่ไม่ได้เติมน้ำในขั้นตอนการสกัด (19.7 และ 12.3 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม) แต่มีค่ามากกว่าน้ำใบบัวบกที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนของบัวบกต่อน้ำเท่ากับ 1 : 4 โดยน้ำหนัก (1.91 และ 2.54 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม) (Kormin, 2005) นอกจากนี้ Ali (2008) ได้วิเคราะห์ปริมาณแมดดิแคสโซไซด์ (madecassoside), อะเซียติโคโซด์, กรดแมดดิแคสสิค (madecassic acid) และกรดอะเซียติกในน้ำใบบัวบก พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 7.7-9.1, 1.1-1.3, 5.4-7.1 และ 4.2-4.6 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร ตามลำดับ และ Sribusarakum (1997) ยังรายงานว่าปริมาณกรดอะเซียติก, ส่วนผสมของกรดแมดดิแคสสิค กับกรดเทอร์มิโนลิค (terminolic acid), อะเซียติโคไซด์ และส่วนผสมของอะเซียติโคไซด์เอและบี ในน้ำสกัดบัวบกมีค่าเท่ากับ 6.0, 7.0, 21.0 และ 30.0 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ โดยคิดเป็นร้อยละ 9.28, 10.94 32.81 และ 46.88 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษาของ Mungnoi (2007) พบว่าปริมาณของอะเซียติโคไซด์ และ แมดดิแคสโซไซด์ในบัวบกสดที่ถนอมด้วยไนโตรเจนเหลวมีปริมาณมากกว่าบัวบกที่ผ่านการปั่นผสม แต่มีปริมาณของกรดแมดดิแคสสิค และกรดอะเซียติกน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการสกัดน้ำใบบัวบก ส่งผลให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเกิดการเปลี่ยนรูปในระหว่างการปั่นผสม และสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสในระหว่างการสกัดแยกน้ำ ทำให้อะเซียติโคไซด์เปลี่ยนเป็นกรดอะเซียติก และน้ำตาลถูกแยกออก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณกรดอะเซียติก และกรดแมดดิแคสสิคในกากบัวบกที่ถูกสกัดแยกน้ำออกมีปริมาณมากกว่าน้ำบัวบกสด (Grimaldi *et al.*, 1990; Rush *et al.*, 1993)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในน้ำใบบัวบกสด พบว่า มีค่าเท่ากับ 578 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร ซึ่งพบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลในน้ำใบบัวบกสดซึ่งมีแหล่งเพาะปลูกที่ประเทศมาเลเซีย และสกัดด้วยน้ำ 4 ส่วน และบัวบก 1 ส่วนโดยน้ำหนัก พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเท่ากับ 1470.14 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร (Kormin, 2005) โดยทั่วไปในระหว่างการตัด สับ ซอย หั่น และการสกัดน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ได้อย่างรวดเร็วมาก มีผลทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบฟีนอล และสาร

ต้านอนุมูลอิสระต่างๆ รวมทั้งในขั้นตอนการแยกกาก ซึ่งสารประกอบฟีนอลจะยังคงเหลืออยู่ในกากบัวบก ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ในน้ำใบบัวบกมีปริมาณที่ลดลง (McCarthy and Mattehus, 1994) ซึ่งสารประกอบฟีนอลในพืชนั้นจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ วิธีการสกัด รวมถึงลักษณะและฤดูกาลการเก็บเกี่ยวพืช ระยะเวลาในการสัมผัสกับแสงแดด และการเก็บรักษา (Harborne and Williams, 2000; Robards, 2003) แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในน้ำใบบัวบก พบว่า มีปริมาณมากกว่าสารประกอบฟีนอลที่พบในน้ำส้ม น้ำสับปะรด และน้ำผัก มีค่าเท่ากับ 35.8 75.5 และ 29.3 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร (Gardner *et al.*, 2000)

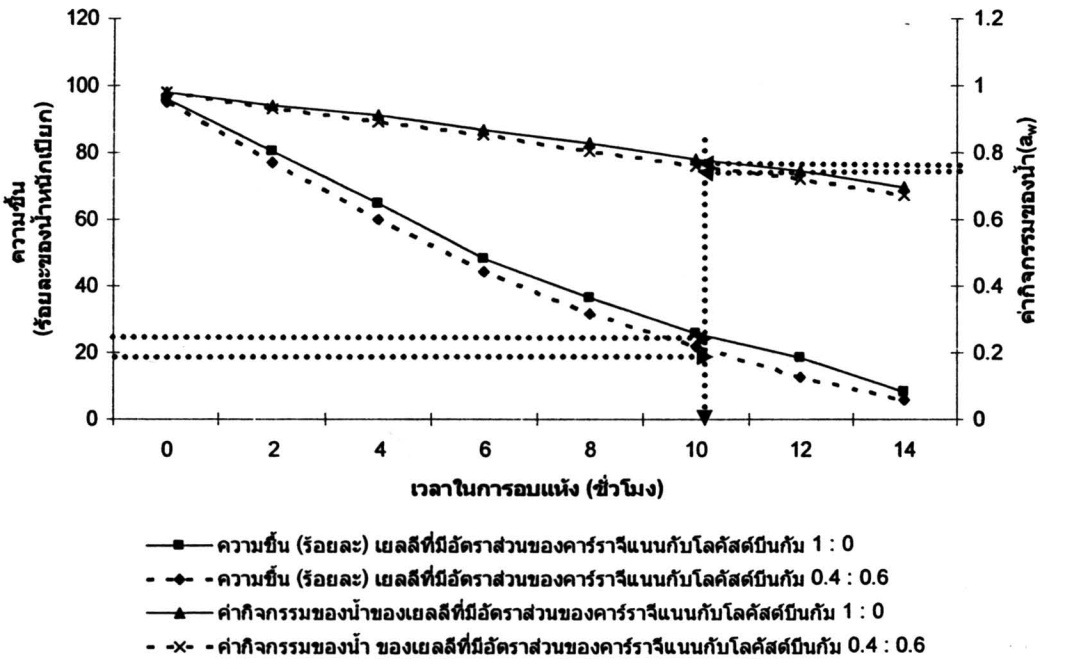
โครมาโตแกรมของกรดแอสคอร์บิก แสดงในรูป 4.1 โดยจากการวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ และกรดแอสคอร์บิกในน้ำใบบัวบกสด พบว่าปริมาณแคโรทีนอยด์ มีค่าเท่ากับ 6.25 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม และกรดแอสคอร์บิกมี ค่าเท่ากับ 0.50 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม จากการศึกษาของ Choi *et al.* (2002) ซึ่งได้ศึกษาปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำส้ม พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.286 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร จะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยกว่าน้ำใบบัวบกสด ส่วนปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำใบบัวบกนั้น Kormin (2005) ได้ศึกษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำสกัดบัวบกซึ่งมีแหล่งเพาะปลูกที่ประเทศมาเลเซีย และสกัดด้วยน้ำ 4 ส่วน และบัวบก 1 ส่วน โดยน้ำหนัก พบว่า มีค่าเท่ากับ 4.23 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร ทั้งนี้มีปริมาณน้อยกว่ากรดแอสคอร์บิกและวิตามินซีทั้งหมดในน้ำมะเขือเทศ (18.6 และ 21.0 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร ตามลำดับ) (Hsu *et al.*, 2008) และมีปริมาณน้อยกว่ากรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งอยู่ในช่วง 25-59 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร(Niu *et al.*, 2008) นอกจากนี้ยังพบว่า มีปริมาณน้อยกว่าน้ำฝรั่ง และน้ำมะนาว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 80.1 และ 10.5 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยมิลลิลิตร (Suntornsuk *et al.*, 2002)

จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลชีววิทยาในน้ำใบบัวบกสด พบว่าน้ำใบบัวบกมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 4.27 log CFU/g ปริมาณยีสต์และราเท่ากับ 1.08 log CFU/ml และ *E. coli* มีค่าน้อยกว่า 3 MPN/ml เนื่องจากน้ำสกัดบัวบกจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ จึงทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคสามารถเจริญได้ โดยเชื้อ Coliform และ *E. coli* นั้น สามารถพบได้ในดินและแหล่งน้ำ (Bam, 2000) ดังนั้นการที่พบเชื้อ *E. coli* ในน้ำสกัดบัวบก อาจเป็นไปได้ว่ามีการปนเปื้อนจากน้ำที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดบัวบก แต่ปริมาณ *E. coli* ที่พบในการทดลองนี้ถือว่ามีค่าที่ต่ำมาก

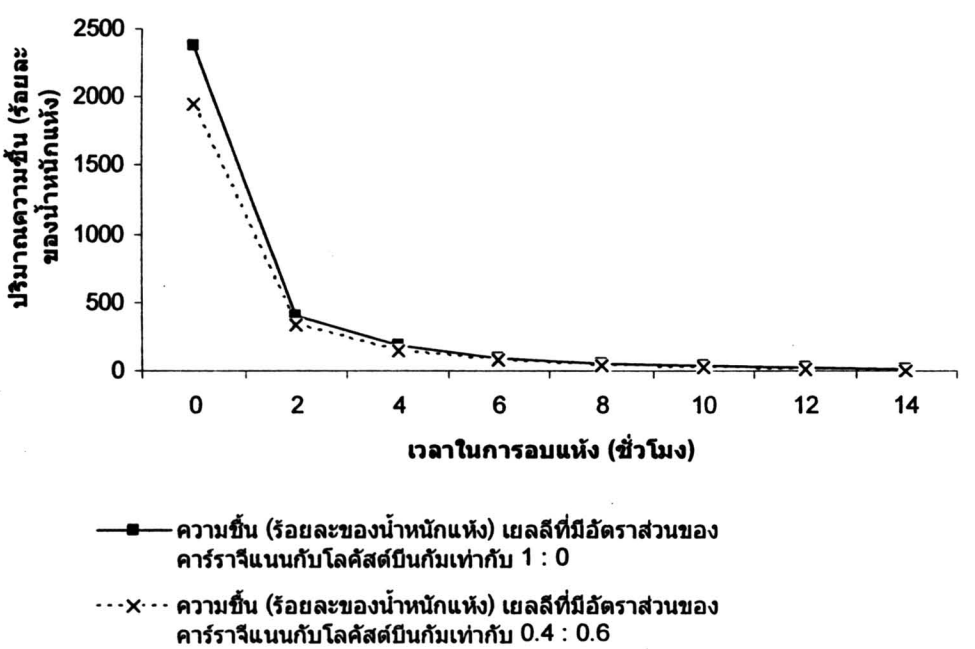
4.2 พัฒนาสูตรที่เหมาะสมของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

4.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างคาร์ราจีแนนกับโลคัสต์บีนกัมในการผลิตเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

ทำการผลิตเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนระหว่างคาร์ราจีแนนกับโลคัสต์บีนกัม คือ 1 : 0 0.8 : 0.2 0.6 : 0.4 และ 0.4 : 0.6 ซึ่งหากอัตราส่วนของโลคัสต์บีนกัมกับคาร์ราจีแนนมากกว่าร้อยละ 0.4 ต่อ 0.6 พบว่าจะไม่เกิดลักษณะเจล จะเกิดลักษณะของเหลวข้นหนืด ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนของคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัมในปริมาณดังกล่าว เพื่อให้ได้ลักษณะเจลเยลลีที่ดีไม่เหลวจนเกินไป เมื่อได้เยลลีจากน้ำใบบัวบกที่แข็งตัวแล้ว นำไปอบด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่ช่วงอุณหภูมิ 40-50°ซ เพื่อให้ได้เยลลีที่มีความชื้นสุดท้าย (ร้อยละของตัวอย่างเปียก) อยู่ในช่วง 20-30 และมีค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) อยู่ในช่วง 0.75-0.8 ซึ่งแสดงลักษณะอาหารกึ่งแห้ง (intermediate moisture food) (สุวรรณา, 2543) โดยขั้นตอนในการหาระยะเวลาในการอบ ใช้เยลลีน้ำใบบัวบกที่ประกอบด้วยน้ำใบบัวบกร้อยละ 99 และคาร์ราจีแนนร้อยละ 1 และใช้เยลลีน้ำใบบัวบกที่ประกอบไปด้วยน้ำใบบัวบกร้อยละ 99 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.4 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.6 เป็นตัวแทนของเยลลีทั้งหมด ซึ่งได้ทดสอบในเบื้องต้นว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่แข็งและอ่อนที่สุด จากการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำ เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง) (รูป 4.3) จะเห็นว่าหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 20-30 และมีค่ากิจกรรมของน้ำ อยู่ในช่วง 0.75-0.8 จะต้องใช้เวลาอบประมาณ 10 ชั่วโมง ในทุกๆ สิ่งทดลอง เพราะถ้าความชื้นลดลงมากกว่านี้ จะทำให้เยลลีมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้างไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค



รูป 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำ(a_w) เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง)



รูป 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) กับเวลาที่ใช้อบ (ชั่วโมง)

รูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) กับเวลาที่ใช้อบ (ชั่วโมง) เยลลีน้ำบัวบกที่มีอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนกับโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 1 : 0 และ 0.4 : 0.6 โดยอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ บันทึกน้ำหนักที่ลดลงของเยลลีได้จากการนำเยลลีออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทุก 60 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งทุก 30 นาที วิเคราะห์ปริมาณความชื้นขณะอบแห้ง พบว่าเยลลีน้ำบัวบกที่มีอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนกับโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 1 : 0 มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 2,375 ส่วนเยลลีน้ำบัวบกที่มีอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนกับโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.4 : 0.6 มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 1,944 โดยค่าความชื้นในเยลลีจะลดลงแบบ exponential ตามระยะเวลาของการอบแห้ง ในระหว่างการอบแห้งช่วง 60 นาทีแรก ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วคล้ายๆ กัน หลังจากนั้นปริมาณความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนมีปริมาณความชื้นสุดท้าย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) อยู่ในช่วง 25-42.85 หลังจากอบประมาณ 10 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าใช้เวลาในการอบแห้งไม่นานมากนัก เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนทั่วไป ซึ่งศศิธร (2550) ได้ทำการอบแห้งเยลลีลำไยที่อุณหภูมิ 45°ซ โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน พบว่า ต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 20 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้นจนมีปริมาณความชื้นสุดท้าย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) อยู่ในช่วง 25-42.85 และ Chua *et al.* (2001) พบว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถลดเวลาในการอบแห้ง และช่วยปรับปรุงสีของกล้วยแผ่นได้ นอกจากนั้น Hawlader *et al.* (2006) ยังพบว่า การใช้ปั๊มความร้อนในการอบแห้งหัวหอม สามารถลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 30 และผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบธรรมดา

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเยลลีแห้งที่ผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัม

ผลของการผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัม ต่อค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียวของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงดังตาราง 4.2

จากการวิเคราะห์ค่าความชื้นของเยลลีน้ำใบบัวบก และค่ากิจกรรมของน้ำ พบว่า การผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัม มีผลต่อค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อลดปริมาณของคาร์ราจีแนนลงและเพิ่มปริมาณของโลคัสต์บีนกัม ส่งผลให้เยลลีน้ำใบบัวบกมีค่าความชื้น และค่ากิจกรรมของน้ำลดลง โดยการใช้อัตราส่วนของคาร์ราจีแนนร้อยละ 1.0 และโลคัสต์บีนกัม ร้อยละ 0.0 มีผลให้เยลลีมีค่าความชื้น และค่ากิจกรรมของน้ำสูงสุด คือ ร้อยละ 29.8 และ 0.79 ตามลำดับ แต่การใช้อัตราส่วนของคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.4 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.6 มีผลให้เยลลีมีค่าความชื้น และค่า

กิจกรรมของน้ำต่ำสุด คือ ร้อยละ 23.7 และ 0.76 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเยลลีน้ำใบบัวบกทุกสิ่งทดลองมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงความชื้นของอาหารกึ่งแห้ง ซึ่งมีความชื้นอยู่ร้อยละ 15-30 และค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.65-0.80 โดยอาหารกึ่งแห้งเป็นอาหารที่มีปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ในระดับปานกลาง ซึ่งแบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่จะมีปัญหาเรื่องเชื้อราและยีสต์ที่อาจจะเจริญเติบโตได้ นอกจากนี้ค่ากิจกรรมของน้ำช่วงดังกล่าว ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) ในระหว่างการเก็บรักษาได้ (สุวรรณา, 2543)

เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก พบว่า มีค่าแปรผกผันกับค่าความชื้น โดยเยลลีที่มีอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนร้อยละ 1.0 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.0 มีค่าความชื้นมากที่สุด จึงส่งผลให้เยลลีมีค่าความเหนียวน้อยที่สุด เช่นเดียวกับเยลลีที่มีอัตราส่วนของคาร์ราจีแนน ร้อยละ 0.4 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.6 มีค่าความชื้นน้อยที่สุด คือ 113 นิวตัน จึงทำให้เยลลีมีค่าความเหนียวมากที่สุด คือ 305 นิวตัน

ตาราง 4.2 ค่าปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว ของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนต่อโลคัสต์บีนกัม ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

อัตราส่วนของคาร์ราจีแนนต่อโลคัสต์บีนกัม (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักปียก)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w)	ค่าความเหนียว (นิวตัน)
1.0 : 0.0	$29.8^{a} \pm 0.24$	$0.79^{a} \pm 0.00$	$113^{c} \pm 3.28$
0.8 : 0.2	$28.8^{b} \pm 0.63$	$0.78^{b} \pm 0.00$	$135^{c} \pm 1.63$
0.6 : 0.4	$25.9^{c} \pm 0.68$	$0.77^{c} \pm 0.00$	$227^{b} \pm 4.53$
0.4 : 0.6	$23.7^{d} \pm 0.64$	$0.76^{d} \pm 0.01$	$305^{a} \pm 3.71$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของการผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัมต่อค่าสีของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แสดงดังตาราง 4.3

เมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนลดลงไม่ทำให้ค่าสี L (Lightness) เปลี่ยนแปลง ขณะที่ค่าสี a^* (Redness/Greenness) และค่าสี b^* (Yellowness/Blueness) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p<0.05$) โดยค่าสี L แสดงถึงความสว่างของวัตถุ ยิ่งค่าสี L สูง แสดงว่าวัตถุมีสีสว่างมาก ซึ่งค่าสี L จะอยู่ในช่วง 0-100 จากการทดลองพบว่า ค่าสี L อยู่ในช่วง 20.4- 20.8 ส่วนค่าสี a^* อยู่ในช่วง 0.96-1.25 และค่าสี b^* อยู่ในช่วง 2.46-4.56 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนลดลง ทำให้เยลลีมีสีแดงเหลืองที่เข้มขึ้น อาจกล่าวได้ว่าเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น

ตาราง 4.3 ค่าสี ของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนระหว่างคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัม ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

คาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัม (ร้อยละ)	L^{ns}	a^*	b^*
1.0 : 0.0	20.8 ± 0.46	0.96^{d} ± 0.16	2.46^{c} ±0.76
0.8 : 0.2	20.4 ± 0.92	1.05^{c} ± 0.04	2.92^{c} ±0.09
0.6 : 0.4	20.7 ± 1.24	1.11^{b} ± 0.12	3.11^{b} ±0.25
0.4 : 0.6	20.5 ± 0.46	1.25^{a} ± 0.02	4.56^{a} ±0.05

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนต่อโลคัสต์บีนกัม และผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปเป็นผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นบัวบก ความยืดหยุ่น ความเหนียวขณะเคี้ยว และความชอบรวม แสดงดังตาราง 4.4

ในด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นบัวบก พบว่าการผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัมไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นบัวบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.16-5.42 4.42-4.52 และ 5.20-5.32 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าคะแนนความชอบค่อนข้างต่ำ อยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ นอกจากนี้ พบว่า เยลลีที่มีส่วนผสมของคาร์ราจีแนนมาก มีแนวโน้มได้รับคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นบัวบกมาก

ในด้านความยืดหยุ่น พบว่าการผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัมมีผลต่อความชอบด้านความยืดหยุ่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนลดลง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.32-6.88 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่มีปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.2 มีคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นมากที่สุดคือ 6.88 แต่เยลลีที่มีส่วนผสมของคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.4 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.6 มีคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นน้อยที่สุด คือ 6.32 ซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณคาร์ราจีแนนที่น้อยเกินไปจะทำให้ไม่เพียงพอที่จะเกิดโครงสร้างตาข่ายของเจลที่มีความยืดหยุ่นตรงตามความชอบของผู้บริโภค

ในด้านความเหนียวขณะเคี้ยว พบว่า การผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัมมีผลต่อความชอบด้านความเหนียวขณะเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.06-5.02 ซึ่งคะแนนความเหนียวขณะเคี้ยวมีค่าลดลงเมื่อปริมาณคาร์ราจีแนนลดลง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับคุณภาพด้านความเหนียว (นิวตัน) พบว่า คะแนนด้านความเหนียวขณะเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเหนียวของเยลลีลดลง แสดงว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มชอบเยลลีแห้งที่มีความเหนียวน้อย มากกว่าเยลลีแห้งที่มีความเหนียวมาก

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก พบว่า การผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัมมีผลต่อความชอบรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งเยลลีที่มีส่วนผสมของคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 และโลคัสต์บีนกัม ร้อยละ 0.2 มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.96 แต่เยลลีที่มีส่วนผสมของคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.4 และโลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.6 นั้นมีค่าคะแนนความชอบรวมน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 5.18 ทั้งนี้เนื่องจากเยลลีที่มีส่วนผสมของคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 และโลคัสต์บีนกัม ร้อยละ 0.2 นั้นได้รับคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่น และด้านความเหนียวขณะเคี้ยวมากที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกปริมาณคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 และโลคัสต์บีนกัม ร้อยละ 0.2 ในการผลิตเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกเพื่อศึกษาปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีแห้งที่ผันแปรปริมาณคาร์ราจีแนนและโลคัสต์บีนกัม

ตาราง 4.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนต่อโลคัสต์บีนกัมที่ผ่านการอบด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

อัตราส่วนของคาร์ราจีแนนต่อโลคัสต์บีนกัม (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นบัวบก^{ns}	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวขณะเคี้ยว	ความชอบรวม
1.0 : 0.0	5.42 ± 1.18	4.52 ± 1.23	5.32 ± 1.20	6.78^{ab} ±0.89	5.04^{a} ±0.98	6.42^{b} ±0.95
0.8 : 0.2	5.40 ± 1.28	4.46 ± 1.03	5.30 ± 1.18	6.88^{a} ±0.86	5.02^{a} ±0.89	6.96^{a} ±0.88
0.6 : 0.4	5.16 ± 1.03	4.42 ± 0.88	5.26 ± 1.18	6.42^{bc} ±0.95	4.96^{a} ±1.05	6.78^{ab} ±0.86
0.4 : 0.6	5.37 ± 1.16	4.46 ± 0.97	5.20 ± 1.10	6.32^{c} ±1.01	4.06^{b} ±0.71	5.18^{c} ±1.11

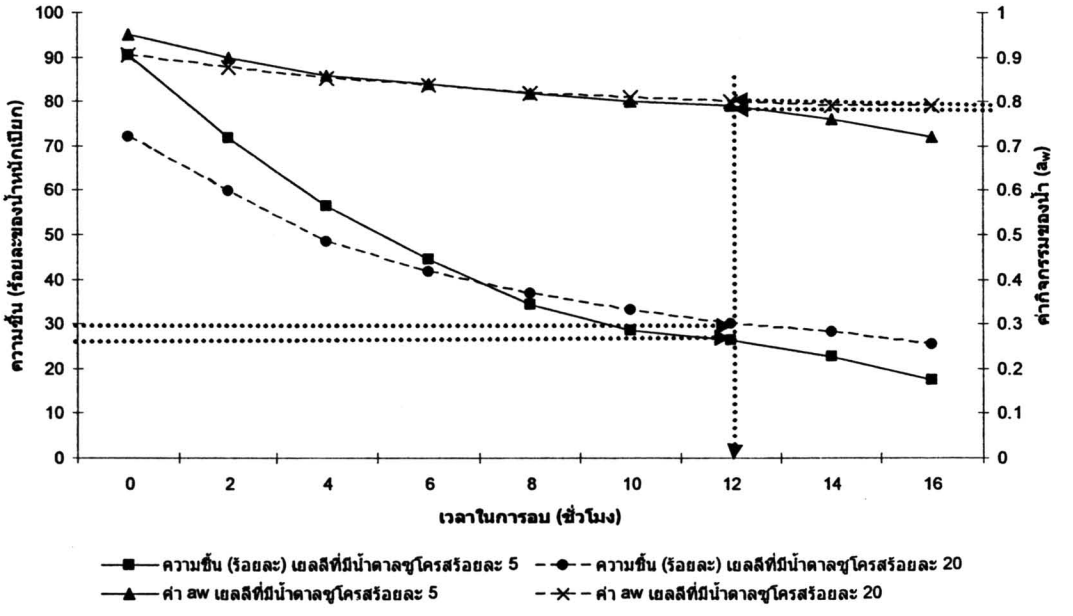
หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

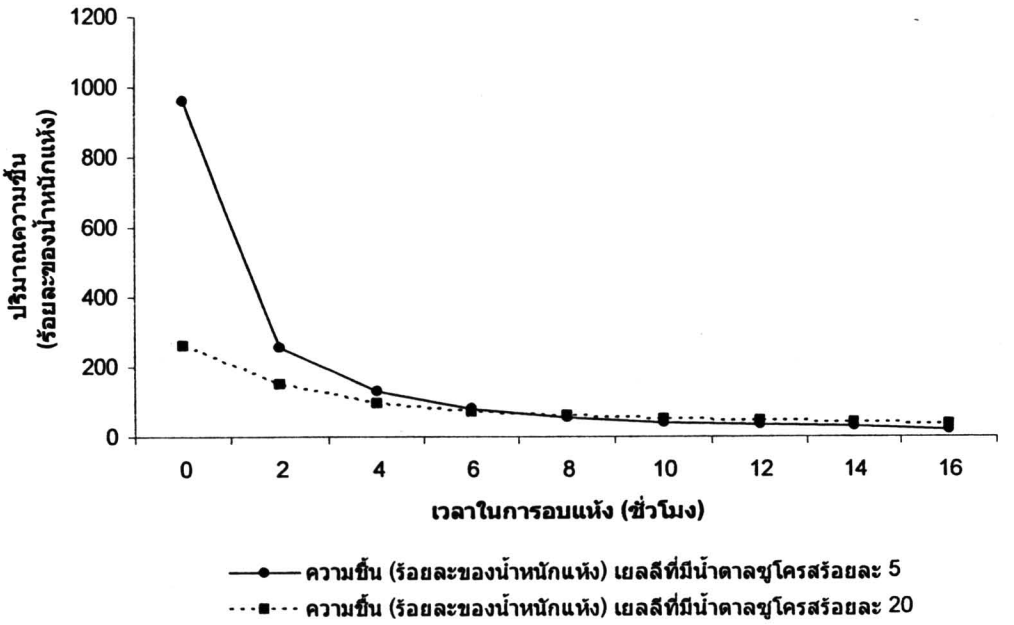
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ศึกษาปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมในการผลิตเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

หลังจากได้อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างคาร์ราจีแนนกับโลคัสต์บีนกัม คืออัตราส่วนของคาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 ต่อ โลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.2 ใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการศึกษาปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมในการผลิตเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก โดยขั้นตอนในการหาระยะเวลาในการอบใช้เยลลีน้ำใบบัวบกที่ประกอบด้วยน้ำใบบัวบกร้อยละ 94 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 โลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.2 และเยลลีน้ำใบบัวบกที่ประกอบด้วยน้ำใบบัวบกร้อยละ 79 น้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.8 โลคัสต์บีนกัมร้อยละ 0.2 เป็นตัวแทนของเยลลีทั้งหมด จากการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำ เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง) (รูป 4.5) จะเห็นว่าหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) อยู่ในช่วง 20-30 และมีค่ากิจกรรมของน้ำ อยู่ในช่วง 0.75-0.8 ซึ่งแสดงลักษณะอาหารกึ่งแห้ง (สุวรรณา, 2543) จะต้องใช้เวลาอบประมาณ 12 ชั่วโมง ในทุกๆ สิ่งทดลอง จากตัวอย่างเยลลีน้ำใบบัวบกทั้ง 4 สิ่งทดลอง ที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ และเคมีได้ผลดังต่อไปนี้



รูป 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง)



รูป 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)

รูป 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) กับเวลาที่ใช้อบ (ชั่วโมง) เยลลีน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 และ 10 โดยอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ บันทึกน้ำหนักที่ลดลงของเยลลีได้จากการนำเยลลีออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทุก 60 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นชั่งทุก 30 นาที วิเคราะห์ปริมาณความชื้นขณะอบแห้ง พบว่าเยลลีน้ำบัวบกที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 960 ส่วนเยลลีน้ำบัวบกที่มีน้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 259 โดยความชื้นจะลดลงแบบ exponential ตามระยะเวลาของการอบแห้ง ในระหว่างการอบแห้งช่วง 2 ชั่วโมงแรก ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วคล้ายๆ กัน หลังจากนั้นปริมาณความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ จนมีปริมาณความชื้นสุดท้าย (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) อยู่ในช่วง 25-42.85 หลังจากอบประมาณ 12 ชั่วโมง โดยความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งเยลลีมากขึ้น ทำให้เยลลีเกิดการหดตัว ช่องว่างระหว่างเซลล์แคบลงทำให้ไอน้ำจากภายในเยลลีแพร่ผ่านออกมาได้ยาก ประกอบกับน้ำอิสระในเยลลีน้อยลง ทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเยลลีมายังผิวหน้าจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศ จึงทำให้การระเหยของไอน้ำต่ำลง (วิไล, 2543) อีกทั้งการที่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เยลลีมีสารที่ละลายได้ (soluble solid) มากขึ้น สามารถจับน้ำได้มากขึ้น ทำให้

เยลลีมีจุดเดือดสูงขึ้น และกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้น้ำระเหยได้ช้าลง จึงมีอัตราการอบแห้งช้าลง

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส

ผลของการผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียวของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังตาราง 4.5

จากการวิเคราะห์ค่าความชื้นของเยลลีน้ำใบบัวบก พบว่า การผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส มีผลต่อค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยพบว่าเมื่ออบแห้งในระยะเวลาที่เท่ากันนั้น ปริมาณความชื้น และค่ากิจกรรมของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เพราะการที่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เยลลีมีสารที่ละลายได้ (soluble solid) มากขึ้น สามารถจับน้ำได้มากขึ้น ทำให้เยลลีมีจุดเดือดสูงขึ้น และกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ ทำให้น้ำระเหยได้ช้าลง จึงมีอัตราการอบแห้งช้าลง และทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำ เมื่อสิ้นสุดการอบแห้งเพิ่มขึ้นด้วย (Mujumdar, 2000) สอดคล้องกับการศึกษาของกิตติคุณ (2550) ซึ่งได้ศึกษาการอบแห้งละมุดแผ่นที่มีการผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่แตกต่างกัน และอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำในละมุดแผ่นที่ผ่านการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวของเยลลี พบว่า ค่าความเหนียว แปรผกผันกับปริมาณความชื้นในเยลลี โดยเมื่อเยลลีมีความชื้นที่มากขึ้น ทำให้ค่าความเหนียวของเยลลีมีแนวโน้มลดลง โดยเยลลีแห้งที่มีน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 จะมีค่าความชื้นต่ำที่สุด ทำให้มีค่าความเหนียวสูงที่สุด คือ 122 นิวตัน ส่วนเยลลีแห้งที่มีน้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 จะมีค่าความชื้นสูงสุด ทำให้มีค่าความเหนียวต่ำที่สุดคือ 83.1 นิวตัน สอดคล้องกับการรายงานของ mujumdar (1987) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งแอปเปิลและกล้วยด้วยวิธีออสโมติก วิธีแช่เยือกแข็ง เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน และเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ พบว่า เมื่อความชื้นของแอปเปิล และกล้วย มีค่าลดลงส่งผลให้ค่าความเค้นสูงสุด (maximum stress) มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกๆ วิธีการอบแห้ง

ตาราง 4.5 ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว ของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผ่านการอบด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w)	ค่าความเหนียว (นิวตัน)
5	$26.4^{d} \pm 0.29$	$0.77^{c} \pm 0.00$	$122^{a} \pm 3.22$
10	$27.8^{c} \pm 0.15$	$0.77^{c} \pm 0.01$	$113^{b} \pm 4.70$
15	$29.0^{b} \pm 0.26$	$0.79^{b} \pm 0.00$	$91.3^{c} \pm 1.61$
20	$29.8^{a} \pm 0.06$	$0.80^{a} \pm 0.00$	$83.1^{d} \pm 2.44$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของการผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสต่อค่าสีของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แสดงดังตาราง 4.6

ค่าสี L มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่าสี a^* และ b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลมากขึ้น โดยค่าสี L มีค่าอยู่ในช่วง 24.2-24.9 แสดงให้เห็นว่าเยลลีแห้งมีสีเข้มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครส ซึ่งแตกต่างจากค่าสี a^* โดยพบว่า เยลลีแห้งที่มีน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 จะมีค่าสี a^* ต่ำที่สุด คือ 1.98 ส่วนเยลลีแห้งที่มีน้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 มีค่าสี a^* สูงที่สุด คือ 4.35 ซึ่งค่า a^* ที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเยลลีมีสีน้ำตาลแดงเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าสี b^* ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์มากขึ้น (Mujumdar, 1987) ดังนั้นอาจกล่าวได้การเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครสมีผลทำให้เยลลีแห้งมีความเป็นสีน้ำตาลแดงเพิ่มขึ้น

ตาราง 4.6 ค่าสีของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผ่านการอบด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	L	*a**	*b**
5	24.9[a] ±0.99	1.98[d] ±0.10	2.77[b] ±0.33
10	24.8[a] ±0.40	2.95[c] ±0.16	2.79[b] ±0.31
15	24.6[a] ±0.39	3.31[b] ±0.22	3.23[a] ±0.30
20	24.2[b] ±0.56	4.35[a] ±0.11	3.55[a] ±0.15

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส

การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสและผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปเป็นผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นบัวบก ความหวาน ความยืดหยุ่น ความเหนียวขณะเคี้ยว และความชอบรวม แสดงดังตาราง 4.7

ในด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นบัวบก พบว่าการผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นบัวบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.12-5.54 4.54-4.70 และ 5.10-5.22 ตามลำดับ ซึ่งคะแนนด้านสีมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าสี L ลดลง และค่าสี *a** เพิ่มขึ้น (ตาราง 4.6) แสดงว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มชอบเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่มีเฉดสีแดงอ่อนมากกว่าเยลลีแห้งที่เฉดสีแดงเข้ม

ในด้านความหวาน ผู้บริโภคให้การยอมรับเยลลีแห้งที่มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 10 มากที่สุด โดยมีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.72 และผู้บริโภคให้คะนนความชอบด้านความหวานลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำตาลซูโครส แสดงว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มชอบเยลลีแห้งที่มีความหวานปานกลางมากกว่าเยลลีแห้งที่มีความหวานมาก

ในด้านความยืดหยุ่น พบว่าเยลลีได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 6.42-6.98 ซึ่งเมื่อเยลลีมีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าเยลลีแห้งที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 มีคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นสูงที่สุดคือ 6.98 ส่วนเยลลีที่มีส่วนผสมน้ำตาลซูโครสร้อยละ 5 มีคะแนนความชอบด้าน

ความยืดหยุ่นต่ำที่สุด คือ 6.42 เมื่อพิจารณาความชอบด้านความเหนียวขณะเคี้ยว พบว่า ผู้บริโภคชอบเยลลีสูตรที่มีน้ำตาลสูงมากกว่าสูตรที่มีน้ำตาลต่ำ โดยเยลลีน้ำใบบัวบกที่มีน้ำตาลซูโครสมากขึ้น ทำให้เยลลีมีค่าความเหนียว (นิวตัน) ลดลง ขณะเดียวกันทำให้คะแนนด้านความยืดหยุ่น และความเหนียวขณะเคี้ยวเพิ่มขึ้น แสดงว่าผู้บริโภคมีแนวโน้มชอบเยลลีแห้งที่มีความเหนียวน้อยมากกว่าเยลลีแห้งที่มีค่าความเหนียวมาก

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก พบว่า ซึ่งเยลลีที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 10 มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.86 แต่เยลลีที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 นั้นมีค่าคะแนนความชอบรวมน้อยที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 5.60 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเยลลีที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 10 นั้นได้รับคะแนนความชอบด้านความหวาน และความเหนียวขณะเคี้ยวมาก จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบรวมมากที่สุด ในขณะที่เยลลีที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 20 มีคะแนนความชอบด้านความหวานน้อย จึงทำให้ได้รับคะแนนความชอบรวมน้อยที่สุดเช่นกัน แสดงว่าผู้บริโภคให้ความสำคัญกับคุณลักษณะด้านความหวาน และความเหนียวขณะเคี้ยวมากกว่าคุณลักษณะด้านอื่นๆ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ปริมาณน้ำตาลซูโครสร้อยละ 10 เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกเพื่อใช้ศึกษาต่อไป

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครส

ตาราง 4.7 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ปริมาณน้ำตาลซูโครส (ร้อยละ)	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่นบัวบก^{ns}	ความหวาน	ความยืดหยุ่น	ความแข็งขณะเคี้ยว	ความชอบรวม
5	5.54 ± 1.07	4.70 ± 1.04	5.22 ± 0.84	6.30^{b} ± 1.18	6.42^{c} ± 0.95	4.44^{b} ± 0.64	6.28^{b} ± 1.00
10	5.26 ± 1.24	4.60 ± 0.83	5.16 ± 0.67	6.72^{a} ± 0.90	6.72^{b} ± 0.63	5.16^{a} ± 0.84	6.86^{a} ± 0.88
15	5.58 ± 1.00	4.60 ± 0.94	5.20 ± 0.87	5.74^{c} ± 1.33	6.88^{a} ± 0.89	5.18^{a} ± 0.72	6.44^{b} ± 0.93
20	5.12 ± 1.04	4.54 ± 7.88	5.10 ± 0.77	4.36^{d} ± 1.14	6.94^{a} ± 0.76	5.30^{a} ± 0.61	5.60^{c} ± 1.10

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3 ศึกษาคุณภาพของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

การอบแห้งเป็นการทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ออกจากวัตถุ โดยใช้ความร้อนและพลังงาน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดต้นทุนในด้านบรรจุภัณฑ์ ลดน้ำหนักในการขนส่ง เป็นต้น (Sokhannsanj and Jayas, 1987) ผลิตภัณฑ์จะมีการสูญเสียความชื้นระหว่างการทำแห้ง เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของสารอาหารเช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในหน่วยของน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น มากกว่าในหน่วยของวัตถุดิบสด อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบแห้งขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ สภาวะในการอบแห้ง เช่น เครื่องมือที่ใช้ อุณหภูมิ ความเร็วลม และเวลาในการอบแห้ง รวมถึงชนิดของผลิตภัณฑ์อาหารที่นำมาอบแห้ง เนื่องจากอาหารแต่ละชนิดจะเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้มากน้อยแตกต่างกัน จากการศึกษาของ Chou and Chua (2001) พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านการอบแห้งโดยส่วนใหญ่แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ด้านหลักๆ คือ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และทางโภชนาการ

4.3.1 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตต่อคุณภาพของเยลลีน้ำใบบัวบก

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

ผลอุณหภูมิในการอบแห้งเครื่องปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตต่อค่าความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียวของเยลลีน้ำใบบัวบก แสดงดังตาราง 4.8

ค่าความชื้นของเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ในช่วง 28.44-29.05 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงความชื้นของอาหารกึ่งแห้ง ซึ่งมีความชื้นอยู่ร้อยละ 20-30 (สุวรรณา, 2543) ส่วนค่า a_w ของเยลลีน้ำใบบัวบกมีค่าเท่ากับ 0.80 ในทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวของเยลลี พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีผลต่อค่าความเหนียวของเยลลีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเยลลีที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30-50°ซ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง มีค่าความเหนียวเท่ากับ 120 นิวตัน ส่วนเยลลีที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-60°ซ เป็นเวลา 8.30 ชั่วโมง จะมีค่าความเหนียวสูงที่สุด คือ 150 นิวตัน ซึ่งกล่าวได้ว่าเยลลีที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีแนวโน้มของค่าความเหนียวมากกว่าเยลลีที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำระเหยได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีน้อยกว่าทำให้ผิวหน้าของเยลลีแห้งแข็ง (case hardening) กว่าเยลลีที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ

ตาราง 4.8 ค่าความเหนียว ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

อุณหภูมิ/เวลาอบ (°ซ/ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w)	ค่าความเหนียว (นิวตัน)
40/5.30	$29.6^{b} \pm 0.10$	$0.80^{a} \pm 0.00$	$151^{c} \pm 9.1$
50/2.30	$29.8^{a} \pm 0.09$	$0.80^{a} \pm 0.00$	$172^{b} \pm 9.86$
60/1.30	$28.6^{c} \pm 0.16$	$0.79^{b} \pm 0.00$	$183^{a} \pm 3.85$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต ต่อค่าสีของเยลลีน้ำใบบัวบก แสดงดังตาราง 4.9

การแปรรูปด้วยความร้อนจะทำให้สีธรรมชาติของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาหารจากผักและผลไม้ (Sokhansanj, 1995) จากการทดลองนี้ พบว่า การอบแห้งทำให้เยลลีมีค่าสี L ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเยลลีน้ำใบบัวบกที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งเยลลีน้ำใบบัวบกที่ไม่ผ่านการอบแห้งมีค่าสี L เท่ากับ 54.5 ± 0.04 ค่าสี a^* เท่ากับ -1.92 ± 0.02 และค่าสี b^* เท่ากับ 4.36 ± 0.02 แสดงให้เห็นว่าการอบสามารถเพิ่มความเข้มของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการอบแห้ง เยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิ 40-60°ซ มีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด โดยเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงขึ้นและใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นลง จะมีแนวโน้ม ของค่าสี L และ b^* เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี a^* จะมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเยลลีน้ำใบบัวบกมีความสว่างมากขึ้น และเกิดสีน้ำตาลน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hawlader *et al.* (2006) ที่ได้ศึกษาการอบแห้งแอปเปิล ฝรั่ง และมันฝรั่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่มีการดัดแปลงบรรยากาศ พบว่า ตัวอย่างที่ใช้เวลาการอบแห้งนานที่สุดจะมีค่า L ลดลง และมีค่า a^* เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาการอบแห้งสั้น นอกจากนี้การใช้เวลาในการอบแห้งที่นาน จะทำให้สารสีเขียวกลุ่มคลอโรฟิลล์เปลี่ยนไปเป็นฟีโอฟอร์ไบด์ ซึ่งให้สีน้ำตาล (Rocha, 1993)

ตาราง 4.9 ค่าสีของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

อุณหภูมิ/เวลาอบ (^{o}ซ/ชั่วโมง)	L	*a**	*b**
(30-50) / 14	20.1^{c} ± 0.46	3.97^{a} ± 0.09	0.79^{b} ± 0.15
(30-60)/ 11.30	24.6^{b} ± 0.89	3.54^{b} ± 0.04	0.92^{b} ± 0.09
(40-50)/ 10	25.4^{a} ± 0.50	2.98^{c} ± 0.32	1.10^{a} ± 0.25
(40-60)/ 8.30	25.4^{a} ± 0.16	2.96^{c} ± 0.12	1.84^{a} ± 0.78

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตต่อปริมาณกรดอะเซียติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แสดงดังตาราง 4.10

อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกมีผลต่อปริมาณกรดอะเซียติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้อบแห้งมีผลต่อการสูญเสียปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าว เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอะเซียติกที่คงเหลืออยู่ พบว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 30-50^{o}ซ เป็นระยะเวลา 14 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 40-50^{o}ซ เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง มีปริมาณกรดอะเซียติกคงเหลืออยู่มากที่สุด คือ 3.66 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม และเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-60^{o}ซ เป็นระยะเวลา 8.30 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารกรดอะเซียติกคงเหลืออยู่น้อยที่สุด คือ 2.52 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม กล่าวได้ว่ากรดอะเซียติกไม่คงตัวต่อความร้อน ซึ่งจะเห็นได้จากมีปริมาณลดลงเมื่อผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 30-60 และ 40-60^{o}ซ งานวิจัยนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Kormin (2005) ที่พบว่าน้ำใบบัวบกที่ผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100^{o}ซ เป็นเวลา 10 นาที มีการสูญเสียปริมาณกรดอะเซียติกมากกว่าการให้ความร้อนที่ 65^{o}ซ เป็นเวลา 15 นาที และ 80^{o}ซ เป็นเวลา 5 นาที

ตาราง 4.10 ปริมาณกรดอะเซียติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

อุณหภูมิ/ เวลาอบ (°ซ/ชั่วโมง)	ปริมาณ กรดอะเซียติก (mg/100 g)	ปริมาณ สารประกอบ ฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/100 g)	ปริมาณ แคโรทีนอยด์ (mg BCE/100 g)	ปริมาณ คลอโรฟิลล์ ทั้งหมด (mg/100 g)
(30-50) / 14	$3.66^{a} \pm 0.02$	$172^{b} \pm 0.86$	$3.87^{b} \pm 0.59$	$1.02^{b} \pm 0.01$
(30-60)/ 11.30	$2.57^{c} \pm 0.02$	$141^{c} \pm 1.42$	$3.54^{c} \pm 0.57$	$0.85^{c} \pm 0.07$
(40-50)/ 10	$3.50^{ab} \pm 0.02$	$195^{a} \pm 0.38$	$4.16^{a} \pm 1.22$	$1.16^{a} \pm 0.04$
(40-60)/ 8.30	$2.52^{a} \pm 0.02$	$124^{d} \pm 1.96$	$2.89^{d} \pm 0.99$	$0.46^{c} \pm 0.01$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- GAE หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมของเยลลีคำนวณ จากน้ำหนักเปียก
- BCE หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมของเยลลีคำนวณจากน้ำหนักเปียก

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดที่คงเหลืออยู่ พบว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลืออยู่มากที่สุด คือ 195 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม รองลงมาคือ เยลลีที่อบแห้งอุณหภูมิ 30-50°ซ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ส่วนเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-60°ซ เป็นระยะเวลา 8.30 ชั่วโมง จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลืออยู่น้อยที่สุด คือ 124 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม โดยทั่วไปแล้วปริมาณสารประกอบฟีนอลที่อยู่ในผักผลไม้ จะมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดขึ้นอยู่กับสภาวะในการให้ความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Julkunen-Garcia (1997) ที่พบว่า การทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50°ซ สามารถลดการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลทั้งหมดได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Erbay and Icier (2009) ซึ่งได้ศึกษาการอบแห้งใบมะกอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40 ถึง 55°ซ พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้ง 50.5-53°ซ ช่วยให้สารประกอบฟีนอลสูญเสียน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ที่คงเหลืออยู่ พบว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง มีปริมาณแคโรทีนอยด์คงเหลืออยู่มากที่สุด รองลงมาคือ เยลลีที่อบแห้งอุณหภูมิ 30-50°ซ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์เหลืออยู่เท่ากับ 4.16 และ 3.87 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ ส่วนเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-60°ซ เป็นระยะเวลา 8.5 ชั่วโมง จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์คงเหลืออยู่น้อยที่สุด คือ 2.89 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม ซึ่งแคโรทีนเกิดการสลายตัวได้จากกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุมูลอิสระ โดยระดับของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจน ซึ่ง Mohamed and Hussein (1994) รายงานว่าแคโรทีนอยด์มีความไวต่ออุณหภูมิที่ใช้อบแห้งมากกว่าระยะเวลาในการอบแห้ง สอดคล้องกับงานวิจัยข้างต้น ที่พบว่าการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิสูง และใช้เวลาในการอบแห้งสั้น สูญเสียสารแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาในการอบนาน

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.46-1.16 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม โดยเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-50°ซ เป็นระยะเวลา 10 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 30-50°ซ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด คงเหลืออยู่มากที่สุด ส่วนเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-60°ซ เป็นระยะเวลา 8.30 ชั่วโมง จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดคงเหลืออยู่น้อยที่สุด อาจกล่าวได้ว่ารงควัตถุคลอโรฟิลล์มีความไวต่อความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pal *et al.* (2009) พบว่าการอบแห้งพริกหวานเขียวในตู้อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45°ซ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของพริกหวานลดลงจากค่าเริ่มต้น คือ 103 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ไปเป็น 96 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัมโดยน้ำหนักแห้ง ส่วนพริกหวานเขียว ที่อบแห้งในตู้อบแห้งแบบปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิ 30°ซ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศในการอบแห้ง สอดคล้องกับการศึกษาของ Nindo (2003) พบว่า อนุภาคของยอดหน่อไม้ฝรั่งที่อบแห้งในถาดที่ 60°ซ มีสีเขียวเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับหน่อไม้ฝรั่งที่ไม่ผ่านการอบแห้ง ซึ่งสีของผักสีเขียวจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้ง เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟติน (Rocha, 1993)

คุณภาพทางจุลชีววิทยาของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

จากการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ 30-50 30-60 40-50 และ 40-60°ซ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 3.06 2.90 2.89 และ 2.79 log CFU/g ตามลำดับ มีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 2 log CFU/g ในทุกสิ่งทดลอง และปริมาณ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/g ในทุกสิ่งทดลอง จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 30-50°ซ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิต่ำและเวลาในการอบแห้งที่นาน ทำให้เหมาะสมในการเจริญของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม ปริมาณจุลินทรีย์ในทุกสิ่งทดลอง ถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเยลลีแห้ง (มผช. 520/2547) ซึ่งกำหนดว่าผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 4 log CFU/g มีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 2 log CFU/g และมีปริมาณ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/g สอดคล้องกับงานวิจัยของ Britnell *et al.* (1994) ได้ทำการวิเคราะห์ทางด้าน จุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิต่ำกว่า 55°ซ สามารถควบคุมปริมาณเชื้อที่ก่อโรคได้

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 30-50 30-60 40-50 และ 40-60°ซ เป็นเวลา 14 11.30 10 และ 8.30 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปเป็นผู้ทดสอบชิม จำนวน 50 คน ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก ได้แก่ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นบัวบก ความยืดหยุ่น ความเหนียวขณะเคี้ยว และความชอบรวม แสดงดังตาราง 4.11

ในด้านลักษณะปรากฏ พบว่า การยอมรับด้านลักษณะปรากฏเฉลี่ยอยู่ในช่วง 5.86-6.50 นอกจากนั้นพบว่า การอบแห้งเยลลีที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงนั้น ส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยได้เร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวและมีความแข็งที่ผิวหน้ามากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ

ด้านสี และกลิ่นบัวบก พบว่าการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่มีผลต่อความชอบด้านสี และกลิ่นบัวบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะด้านสี

ของเยลลีแห้ง พบว่ามีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง 4.56-4.64 ซึ่งคะแนนความชอบด้านสีมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งเยลลีด้วยอุณหภูมิต่ำและเวลานาน และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับค่าสี L พบว่าเมื่อค่าสี L มีโน้มเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านสีจะเพิ่มขึ้นด้วย แสดงว่าผู้บริโภคชอบเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่มีสีจางมากกว่าสีเข้ม ส่วนการยอมรับด้านกลิ่นของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกนั้นอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย (6.40-6.52) และผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกันเมื่อผันแปรอุณหภูมิในการอบแห้ง

ในด้านความยืดหยุ่น พบว่าการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิสูงทำให้ได้รับความชอบด้านความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.21-6.98 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย เยลลีที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ (30-50^{o}ซ) มีคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นมากที่สุด ขณะที่เยลลีที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง (40-60^{o}ซ) มีคะแนนความชอบด้านความยืดหยุ่นน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาในด้านความเหนียวขณะเคี้ยว พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 5.21-5.46 โดยเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเหนียว (นิวตัน) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่คะแนนความชอบด้านความเหนียวขณะเคี้ยวลดลง แสดงว่าผู้บริโภคชอบเยลลีแห้งที่มีความอ่อนนุ่มกัดขาดได้ง่ายมากกว่าเยลลีแห้งที่เหนียวมาก

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างกัน พบว่า คะแนนความชอบรวมของเยลลีแห้งแต่ละสิ่งทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนความชอบเล็กน้อย (6.18-6.96) ซึ่งคะแนนความชอบรวมจะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบแห้งสูงขึ้น โดยเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 30-50 ^{o}ซ มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.96 ขณะเดียวกันก็มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ ด้านความยืดหยุ่น และความเหนียวขณะเคี้ยวสูงด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจากการพิจารณาคุณภาพโดยรวมซึ่งประกอบด้วยคุณภาพทาง กายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตที่อุณหภูมิ 40-50^{o}ซ และอบแห้งเป็นเวลานาน 10 ชั่วโมง เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม เนื่องจากช่วยป้องกันการสลายของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเยลลีบัวบกได้มากที่สุด อีกทั้งคุณภาพทางกายภาพ จุลินทรีย์และประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ดีพอใช้ ดังนั้นการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต จึงใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 40-50^{o}ซ เวลา 10 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

ตาราง 4.11 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

อุณหภูมิ/เวลาอบ (°ซ/ชั่วโมง)	ลักษณะปรากฏ	สี ns	กลิ่นบัวบก ns	ความยืดหยุ่น	ความแข็งขณะเคี้ยว	ความชอบรวม
(30-50) / 14	$6.50^{a} \pm 1.15$	4.56 ± 1.18	6.50 ± 1.08	$6.98^{a} \pm 0.90$	$5.46^{a} \pm 1.11$	$6.96^{a} \pm 0.88$
(30-60)/ 11.5	$6.40^{b} \pm 1.30$	4.58 ± 0.91	6.52 ± 1.12	$6.42^{b} \pm 0.95$	$5.42^{a} \pm 1.30$	$6.78^{ab} \pm 0.86$
(40-50)/ 10	$6.42^{b} \pm 1.18$	4.64 ± 1.03	6.46 ± 1.14	$6.76^{ab} \pm 0.86$	$5.40^{a} \pm 1.16$	$6.42^{bc} \pm 0.95$
(40-60)/ 8.5	$5.86^{c} \pm 1.04$	4.60 ± 0.14	6.40 ± 1.01	$6.21^{b} \pm 1.01$	$5.21^{b} \pm 1.10$	$6.18^{c} \pm 1.11$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศต่อคุณภาพของเยลลีน้ำใบบัวบก

คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ต่อค่าสีของเยลลีน้ำใบบัวบก แสดงดังตาราง 4.12 พบว่า เยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L a^* และ b^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิ 40 เป็นเวลา 5.30 และ 50°ซ เป็นเวลา 2.30 ชั่วโมง เกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60°ซ เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง เยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการอบแห้งสั้นจะมีแนวโน้ม ของค่าสี L เพิ่มขึ้น ส่วนค่าสี a^* และ b^* จะมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mujumdar (1987) ซึ่งรายงานว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศ มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะเกิดสีน้ำตาลได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ สอดคล้องกับค่า a^* ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งได้แก่ การสลายตัวของสารสี และการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์และปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เกิดจากเอนไซม์ (Martinez and Whitaker, 1995)

ตาราง 4.12 ค่าสีของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

อุณหภูมิ/เวลาอบ(°ซ/ชั่วโมง)	L	a^*	b^*
40/5.30	$28.4^{c} \pm 0.26$	$1.46^{a} \pm 0.04$	$2.25^{a} \pm 0.03$
50/2.30	$28.7^{ab} \pm 0.13$	$1.11^{b} \pm 0.05$	$2.23^{a} \pm 0.02$
60/1.30	$28.8^{a} \pm 0.14$	$1.90^{c} \pm 0.07$	$2.18^{b} \pm 0.02$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลอุณหภูมิในการอบแห้งเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศต่อค่าร้อยละของความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) และค่าความแข็งของเยลลีน้ำใบบัวบก แสดงดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 ค่าความเหนียว ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

อุณหภูมิ/เวลาอบ (°ซ/ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)	ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, a_w)	ค่าความเหนียว (นิวตัน)
40/5.30	$29.6^{b} \pm 0.10$	$0.80^{a} \pm 0.00$	$151^{c} \pm 9.1$
50/2.30	$29.8^{a} \pm 0.09$	$0.80^{a} \pm 0.00$	$172^{b} \pm 9.86$
60/1.30	$28.6^{c} \pm 0.16$	$0.79^{b} \pm 0.00$	$183^{a} \pm 3.85$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าความชื้นและ a_w ของเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง อยู่ในช่วงความชื้นของอาหารกึ่งแห้ง ซึ่งกำหนดให้มีความชื้นอยู่ร้อยละ 15-30 และค่า a_w อยู่ในช่วง 0.75-0.80 (สุวรรณา, 2543) เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวของเยลลี พบว่า เยลลีที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงมีค่าความเหนียวมากกว่าเยลลีที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำระเหยได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ผิวหน้าของอาหารแห้งแข็ง (Achanta and Okos, 2000) โดยจากการศึกษาของ Mujumdar (1987) พบว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นรูพรุนมากกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งการยุบตัวของโครงสร้างและการเปลี่ยนแปลงรูพรุน รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสระหว่างการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญในการยอมรับของผู้บริโภค

ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ต่อปริมาณกรดอะเซียติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด แสดงดังตาราง 4.14

ตาราง 4.14 ปริมาณกรดอะเซียติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

อุณหภูมิ/เวลาอบ (°ซ/ชั่วโมง)	ปริมาณกรดอะเซียติก (mg/100 g)	ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg GAE/100 g)	ปริมาณแคโรทีนอยด์ (mg BCE/100 g)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (mg/100 g)
40/5.30	$3.91^{b} \pm 0.06$	$217^{c} \pm 0.85$	$4.16^{c} \pm 0.24$	$1.42^{c} \pm 0.00$
50/2.30	$4.55^{a} \pm 0.25$	$265^{a} \pm 1.04$	$4.66^{a} \pm 0.43$	$1.76^{a} \pm 0.01$
60/1.30	$4.14^{b} \pm 0.21$	$235^{b} \pm 0.84$	$4.42^{b} \pm 0.30$	$1.66^{a} \pm 0.04$

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- GAE หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเทียบจากค่าของกรดแกลลิกต่อกรัมของเยลลีคำนวณ จากน้ำหนักเปียก
- BCE หมายถึง คำนวณเป็นปริมาณแคโรทีนอยด์เทียบจากค่าของเบต้าแคโรทีนต่อกรัมของเยลลีคำนวณจากน้ำหนักเปียก

เยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50°ซ เป็นเวลา 2.30 ชั่วโมง มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพคงเหลืออยู่สูงกว่าหน่วยทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (กรดอะเซียติก เท่ากับ 4.55 mg/100 g สารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 265 mg GAE/100 g และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 4.66 mg BCE/100 g) ส่วนเยลลีน้ำใบบัวบก ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 40°ซ เป็นระยะเวลา 5.30 ชั่วโมง มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพคงเหลืออยู่ต่ำที่สุด (กรดอะเซียติก เท่ากับ 3.91 mg/100 g สารประกอบฟีนอลทั้งหมด เท่ากับ 217 mg GAE/100 g และ แคโรทีนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 4.16 mg BCE/100 g) อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับเยลลีที่ไม่ผ่านการอบแห้ง พบว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งในทุกสภาวะมีกรดอะเซียติก สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด คงเหลืออยู่ร้อยละ 51-60 53-65 และ 59-66 ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา เกี่ยวกับการแปรรูป เยลลีแห้งจากน้ำบัวบกด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต พบว่ามีปริมาณกรดอะเซียติก สารประกอบฟีนอลทั้งหมด และแคโรทีนอยด์ทั้งหมด คงเหลืออยู่ร้อยละ 33-49 30-48 และ 41-59 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าเยลลีที่อบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าวคงเหลืออยู่มากกว่า เนื่องจากวัตถุดิบดูดซับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนจากลมร้อน นอกจากนั้นการอบแห้งในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ ทำให้น้ำระเหยได้ที่อุณหภูมิต่ำ ช่วยลดการสูญเสียของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ (Ratti and Mujumdar, 1995) ซึ่งการสูญเสียสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพนั้นเกิดจาก

ผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้ง สอดคล้องกับการรายงานของ Kormin (2005) ที่ได้ศึกษาการแปรรูปน้ำบัวบกผงชงดื่ม ด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า การแปรรูปด้วยความร้อนส่งผลต่อการสูญเสียสารประกอบไตรเทอร์พีนไกลโคไซด์ทั้งหมด เนื่องจากเกิดการ เสื่อมสลายจากปฏิกิริยาเคมี และการเปลี่ยนแปลงของอะเซียติโคไซด์และแมดดิแคสโซไซด์ไปเป็นสารประกอบอื่นๆ ระหว่างการแปรรูป

นอกจากนั้น Lin *et al.*(1998) ได้เปรียบเทียบปริมาณเบต้าแคโรทีนในแครอทหั่นบาง ที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้สุญญากาศ และการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าการอบแห้งแบบลมร้อนส่งผลให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารเบต้าแคโรทีนมากกว่า เนื่องวิธีการอบแห้งแบบไมโครเวฟภายใต้สุญญากาศ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงใช้เวลาในการอบแห้งสั้นรวมไปถึงปริมาณออกซิเจนที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ ซึ่งระดับของปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นอยู่กับเวลาในการอบแห้ง อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจน (Suvarnakuta *et al.*, 2005)

คลอโรฟิลล์มีความไวต่อความร้อนมาก ซึ่งเป็นผลให้สลายตัวได้ง่ายในระหว่างการแปรรูปและการเก็บรักษา (De Ancos and Cano, 1999) การเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟตินและอนุพันธ์อื่นๆ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีเขียวสว่างไปเป็นสีเขียวมะกอก และสีน้ำตาล (Gupte *et al.*, 1964)โดยจากการศึกษาของ Mongpraneet (2002) ซึ่งได้ศึกษาการอบแห้งหอมหัวใหญ่โดยใช้รังสีอินฟราเรด พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มความเข้มของรังสีอินฟราเรด และการใช้รังสีอินฟราเรดที่ความเข้ม 40-80 วัตต์ จะให้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นาน ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเกิดการสูญเสียได้มาก อีกทั้งการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้งหอมหัวใหญ่ด้วยรังสีอินฟราเรด พบว่า เกิดการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดได้มากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Holm (1945) ซึ่งพบว่า การสัมผัสกับแสงที่มีความเข้มมากทำให้เกิดการลดลงของคลอโรฟิลล์อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้น Cupina (1969) รายงานว่าอบแห้งพืชที่โดยใช้อุณหภูมิสูง พบว่าเกิดการสูญเสียของคลอโรฟิลล์ในปริมาณมาก

การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

จากการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°ซ พบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 2.95 2.85 และ 2.76 log CFU/g ตามลำดับ มีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 2 log CFU/g ในทุกสิ่งทดลอง และปริมาณ *E.coli* น้อยกว่า 3 MPN/g ในทุกสิ่งทดลอง จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 60°ซ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่าทำให้สามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม ปริมาณจุลินทรีย์ในทุกสิ่งทดลองถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของเยลลีแห้ง (มผช. 520/2547) ซึ่งกำหนดว่าผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 4 log CFU/g มีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 2 log CFU/g และมีปริมาณ *E.coli* น้อยกว่า 3 MPN/g

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอบแห้งอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 50 และ 60°ซ เป็นเวลา 5.30 2.30 และ 1.30 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปเป็นผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน ประเมินความชอบที่มีต่อคุณลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นบัวบก ความยืดหยุ่น ความเหนียวขณะเคี้ยว และความชอบรวม แสดงดังตาราง 4.15

ในด้านลักษณะปรากฏ และกลิ่นบัวบก พบว่าการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่มีผลต่อความชอบด้านลักษณะปรากฏของเยลลีแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยที่การยอมรับด้านลักษณะปรากฏเฉลี่ยอยู่ในช่วง 3.50-3.62 นอกจากนั้นพบว่า การอบแห้งเยลลีที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่าการใช้อุณหภูมิอบแห้งที่สูงนั้น ส่งผลให้น้ำในผลิตภัณฑ์เกิดการระเหยได้เร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวและมีความแข็งที่ผิวหน้า มากกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ

ด้าน สี พบว่าการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อความชอบด้านสีและกลิ่นบัวบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาลักษณะด้านสีของเยลลีแห้ง พบว่ามีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ซึ่งคะแนนความชอบด้านสีมีแนวโน้มลดลงเมื่ออบแห้งเยลลีด้วยอุณหภูมิต่ำและเวลานาน และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับค่าสี a^* พบว่าเมื่อค่าสี a^*

มีโน้มลดลง คะแนนความชอบด้านสีจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าผู้บริโภคชอบเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่มีสีเขียว มากกว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่มีสีออกน้ำตาลแดง

ในด้านความยืดหยุ่น พบว่าการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่มีผลต่อความชอบด้านความยืดหยุ่นของเยลลีแห้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ เมื่อพิจารณาในด้านความเหนียวขณะเคี้ยว พบว่า การอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีผลต่อความชอบด้านความเหนียวขณะเคี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.96-5.40 โดยเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียว (นิวตัน) คะแนนความชอบด้านความเหนียวขณะเคี้ยว และอุณหภูมิในการอบแห้ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความเหนียว (นิวตัน) ของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่คะแนนความชอบด้านความเหนียวขณะเคี้ยวลดลง แสดงว่าผู้บริโภคชอบเยลลีแห้งที่มีความอ่อนนุ่มไม่เคี้ยวง่ายมากกว่าเยลลีแห้งที่เหนียวมาก

เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่างกัน พบว่า คะแนนความชอบรวมของเยลลีแห้งแต่ละสิ่งทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วงคะแนนไม่ชอบเล็กน้อยถึงไม่ชอบปานกลาง ซึ่งคะแนนความชอบรวมจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้อบแห้งลดลง โดยเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°ซ มีค่าคะแนนความชอบรวมมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.02 ขณะเดียวกันก็มีคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ และด้านสีสูงด้วยเช่นกัน

ดังนั้นจากการพิจารณาคุณภาพโดยรวมประกอบด้วยคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า การอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 50°ซ และอบแห้งเป็นเวลานาน 2.30 ชั่วโมง เป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม เนื่องจากช่วยป้องกันการสลายของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเยลลีบัวบกได้มากที่สุด อีกทั้งคุณภาพทางกายภาพ จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ จึงใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 50°ซ เวลา 2.30 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

ตาราง 4.15 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเยลลีจากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

อุณหภูมิ/เวลาอบ (°ซ/ชั่วโมง)	ลักษณะปรากฏ ns	สี	กลิ่นบัวบก ns	ความยืดหยุ่น	ความเหนียวขณะเคี้ยว ns	ความชอบรวม
40/5.5	3.50 ± 1.11	6.26 ^{b} ±1.05	6.36 ± 1.10	5.42 ± 0.54	5.02 ± 0.89	3.64 ^{b} ± 0.78
50/2.5	3.62 ± 1.10	6.74 ^{a} ±1.07	6.40 ± 1.10	5.48 ± 0.58	4.96 ± 1.05	3.84 $^{a b}$ ± 0.87
60/1.5	3.54 ± 1.20	6.34 ^{ab} ±1.04	6.36 ± 1.10	5.44 ± 0.58	5.40 ± 0.99	4.02 ^{a} ± 0.69

หมายเหตุ - เปรียบเทียบตามแนวตั้ง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.3 เปรียบเทียบคุณภาพของเยลลีที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

การเปรียบเทียบคุณภาพของเยลลีที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ แสดงดังตาราง 4.16 และ 4.17

เยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศจะมีสีเขียวกว่า และมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ซึ่งได้แก่ ปริมาณกรดอะเซียติก สารประกอบฟีนอลทั้งหมด แคโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดคงเหลืออยู่มากกว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต ทั้งนี้เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้น จึงมีการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพน้อย นอกจากนี้ยังส่งผลให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่น้อยกว่าอีกด้วย แต่เยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศจะมีความเหนียวกว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อย่างไรก็ตามต้นทุนกระบวนการผลิตโดยรวมในการอบแห้งเยลลีจากน้ำใบบัวบกด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศมีค่าน้อยกว่าวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

ตาราง 4.16 คุณภาพของเยลลีที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

คุณภาพ	เยลลีที่อบแห้งด้วย HP อุณหภูมิ 40-50°ซ 10 ชั่วโมง	เยลลีที่อบแห้งด้วย IR อุณหภูมิ 50°ซ 2.5 ชั่วโมง
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	28.6 ± 0.29	29.8 ± 0.09
ค่ากิจกรรมของน้ำ	0.80 ± 0.00	0.80 ± 0.00
ค่าความเหนียว (นิวตัน)	129 ± 3.40	172 ± 9.86
ปริมาณกรดอะเซียติกคงเหลือ (ร้อยละ)	63.2	82.1
ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดคงเหลือ (ร้อยละ)	49.8	67.7
ปริมาณแคโรทีนอยด์คงเหลือ (ร้อยละ)	81.1	90.8
ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดคงเหลือ (ร้อยละ)	52.0	78.9
ค่าสี L	25.7 ± 0.13	28.4 ± 0.50
ค่าสี a^*	2.98 ± 0.32	1.11 ± 0.05

หมายเหตุ - HP หมายถึง ปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต

- IR หมายถึง อินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ
- ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- คำนวณเป็นร้อยละของสารที่พบเทียบกับสารที่มีอยู่เดิมร้อยละ 100 ในน้ำบัวบกสด

ตาราง 4.17 ข้อดีและข้อเสียของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ

วิธีการอบแห้ง	ข้อดี	ข้อเสีย
วิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต	1. เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีความยืดหยุ่นดีกว่า และมีความแข็งของผลิตภัณฑ์น้อยกว่า	1.เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ได้ มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพคงเหลืออยู่น้อย
	2. เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีการคงรูปดีกว่า	2. เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีสีที่คล้ำเกิดสีน้ำตาลมากกว่า
	3. ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์มากกว่า	3. ผลิตภัณฑ์มีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์มากกว่า
	4. ปริมาณการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบก ต่อครั้งมากกว่า	4. ใช้เวลาในการอบแห้งนาน
	5. ต้นทุนกระบวนการผลิตโดยรวมมากกว่าวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	5. การดูแลรักษาเครื่องมือสามารถทำได้ยากกว่า
วิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	1.เยลลีแห้งน้ำใบบัวบกมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คงเหลืออยู่มาก	1. เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีความแข็งมากกว่า
	2. เยลลีแห้งน้ำใบบัวบกมีสีที่ดีกว่า เกิดสีน้ำตาลน้อย	2. ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับ
	3. เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์น้อย	3.ปริมาณการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบก ต่อครั้งน้อยกว่า
	4 .ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้น	4. ต้นทุนกระบวนการผลิตโดยรวมน้อยกว่า
	5. การดูแลรักษาเครื่องมือสามารถทำได้ง่าย	

4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

คัดเลือกเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกวิธีที่ดีที่สุดจากผลการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และทางประสาทสัมผัส ที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศจากตอนที่ 3 โดยผันแปรอุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ คือ 4 และ 30°ซ

จากตอนที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเยลลีน้ำใบบัวบกด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต คือ 40-50°ซ และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ คือ 50°ซ ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาโดยบรรจุถุงไนลอนลามิเนตในสภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จุลินทรีย์เจริญได้ช้า รวมทั้งปฏิกิริยาเคมีต่างๆ เกิดขึ้นช้า และที่อุณหภูมิ 30°ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยในประเทศแถบร้อน สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางจุลชีววิทยา โดยตัวอย่างเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่เก็บที่อุณหภูมิ 4°ซ จะเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 90 วัน โดยสุ่มตรวจทุกๆ 15 วัน ส่วนตัวอย่างเยลลีน้ำใบบัวบกที่เก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ จะเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 30 วัน โดยสุ่มตรวจในวันที่ 7 14 21 และ 30

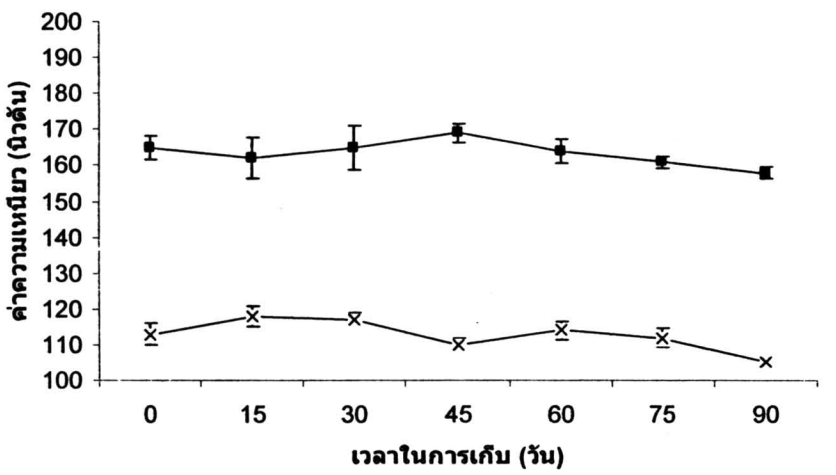
เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณความชื้นและค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วงที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ และเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ (maillard reaction) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ดังนี้

4.4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

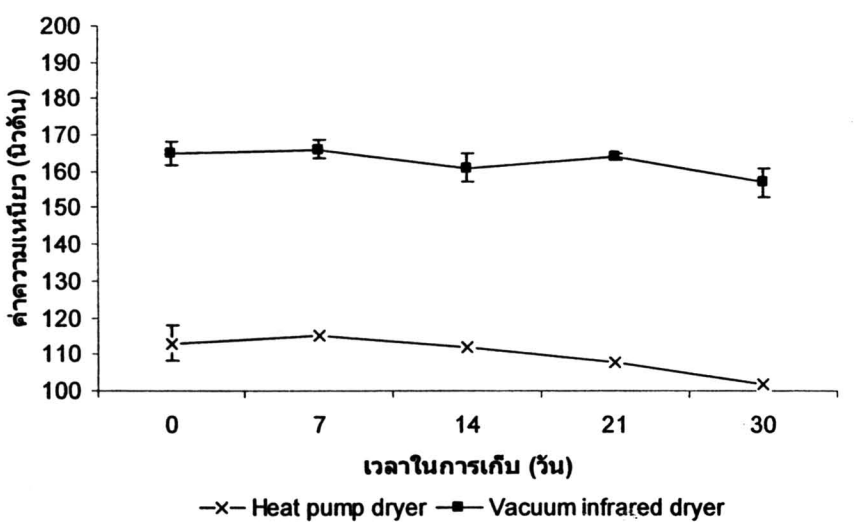
ค่าความเหนียวในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.7 พบว่า ค่าความเหนียวเริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศมีค่ามากกว่าเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต การเก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 และ 30°ซ ค่าความเหนียวมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าความเหนียวลดลงจาก 113 ไปเป็น 105 และ 102 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนค่าความเหนียวในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเล็กน้อยเช่นกัน โดยลดลงจาก 165 ไปเป็น 158 และ 154 ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงทำให้ค่าความเหนียวของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงเล็กน้อยเท่านั้น

(a)



(b)

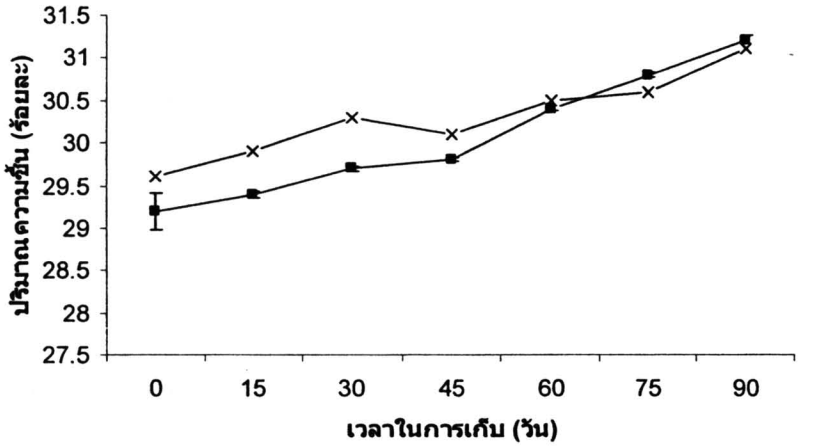


รูป 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวและเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

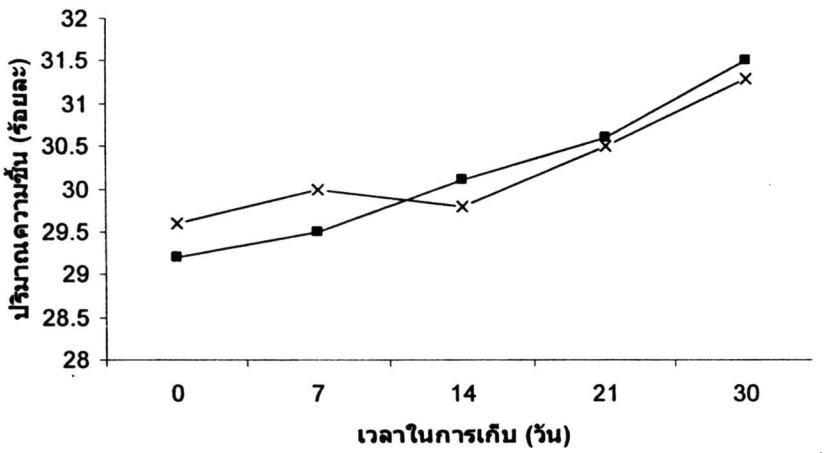
4.4.2. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่า a_w ที่เหลือในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.8 พบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่ามากกว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศเพียงเล็กน้อย การเก็บในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 และ 30°ซ พบว่า ปริมาณความชื้นมีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.6 ไปเป็น 31.1 และ 31.3 ตามลำดับ ส่วนปริมาณความชื้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นจาก 29.2 ไปเป็น 31.2 และ 31.5 ตามลำดับ เนื่องจากการเก็บรักษาในถุงไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศ บรรจุภัณฑ์มีความหนา คงทนและป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน ซึ่งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการดูดอากาศออกไม่หมด คงเหลือความชื้นภายในบรรจุภัณฑ์จึงทำให้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาที่นานขึ้น

(a)



(b)

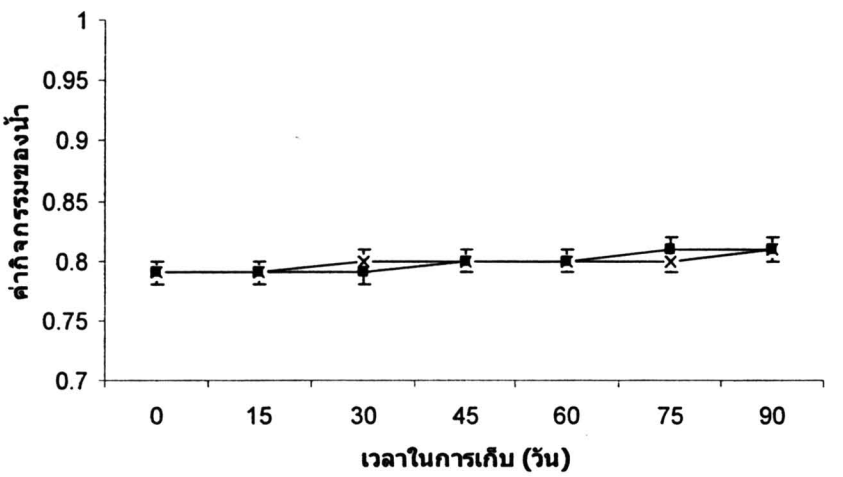


รูป 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

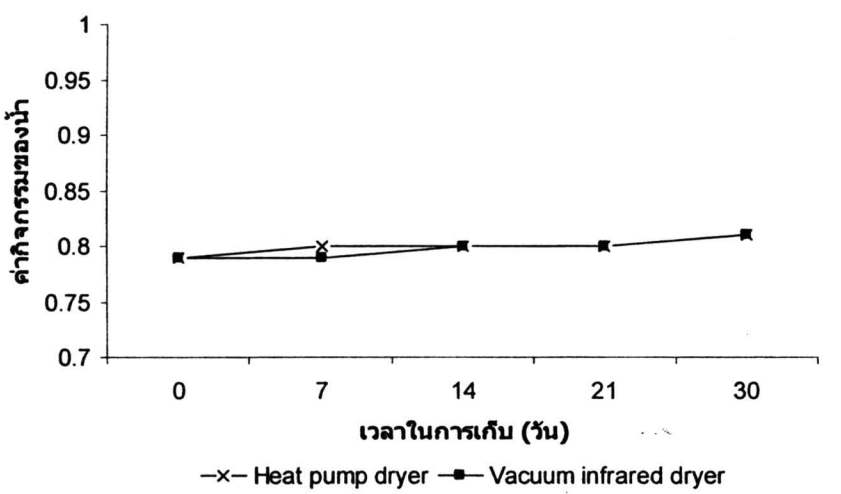
ค่ากิจกรรมของน้ำที่เหลือในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.9 พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำเริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมีค่ามากกว่าเยลลีที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ การเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4 และ 30°ซ พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อยตามเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยการเก็บรักษาเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต เพิ่มขึ้นจาก 0.79 ไปเป็น 0.81 ส่วนค่ากิจกรรมของน้ำในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.79 ไปเป็น 0.81 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sapkoet (2007)

พบว่า การเก็บรักษาน้ำใบบัวบกผงพร้อมดื่มที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิ 35°ซ ทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.18 ไปเป็น 0.19 ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45°ซ ทำให้ค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นจาก 0.18 ไปเป็น 0.21

(a)



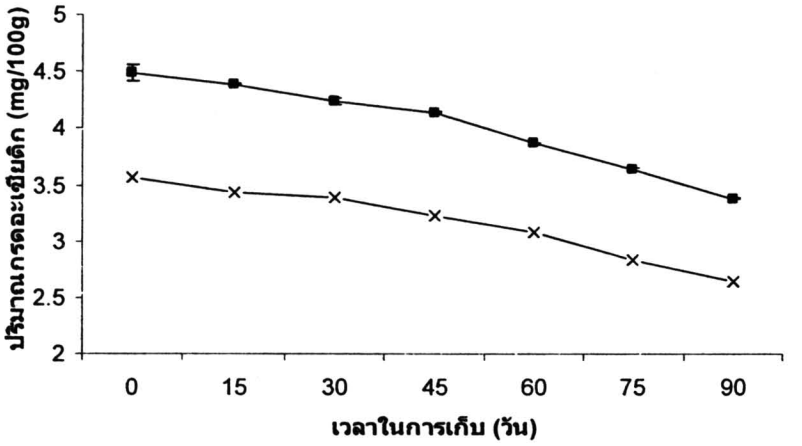
(b)



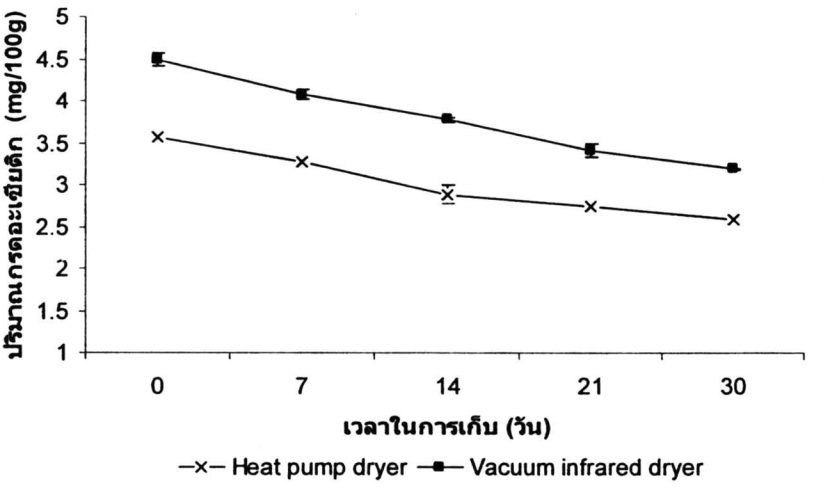
รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

ปริมาณกรดอะเซียติก ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษาแสดงดังรูป 4.10 พบว่า ปริมาณกรดอะเซียติกเริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าต่ำกว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 90 วัน และ 30°ซ เป็นเวลา 30 วันพบว่า ปริมาณกรดอะเซียติก มีค่าลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณกรดอะเซียติกในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าลดลงจาก 3.56 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ไปเป็น 2.65 และ 2.59 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 74.4 และ 69.3 ตามลำดับ ส่วนปริมาณกรดอะเซียติก ในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 4.49 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม เหลือ 3.38 และ 3.19 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 75.3 และ 71.1 ตามลำดับ จากการทดลองที่ได้ตรงข้ามกับการศึกษาของ Sapkoet (2007) ที่ศึกษาการเก็บรักษาน้ำใบบัวบกผงพร้อมดื่มที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าปริมาณกรดอะเซียติก และกรดแมดดิแคสสิก มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลาที่นานขึ้น ที่อุณหภูมิ 35 และ 40°ซ ซึ่ง Shakya *et al.* (1986) รายงานว่าในระหว่างการเก็บรักษา จะเกิดการสูญเสียสารอาหารได้มากกว่าในกระบวนการอบแห้ง ซึ่งการป้องกันหรือลดการสูญเสียสารอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร และสภาวะในการเก็บรักษา เช่น การสัมผัสกับออกซิเจน และแสง

(a)



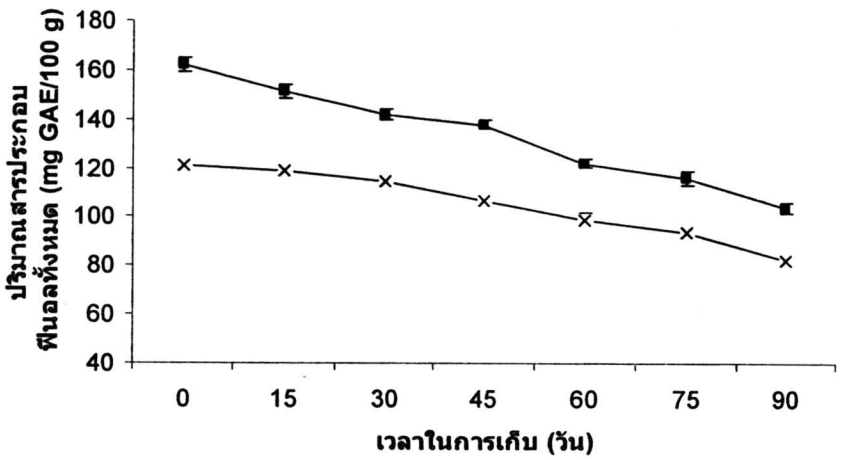
(b)



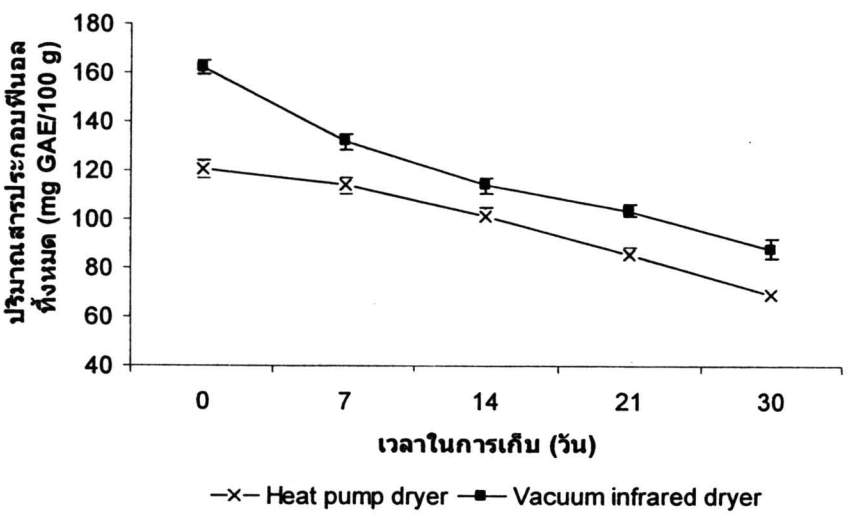
รูป 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดอะเซียติก และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.11 พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดเริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าต่ำกว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 90 วัน และ 30°ซ เป็นเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีค่าลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าลดลงจาก 121 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม ไปเป็น 82.4 และ 69.1 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือมีค่าเท่ากับร้อยละ 68.09 และ 64.3 ตามลำดับ ส่วนปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 162 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม เหลือ 104 และ 88.2 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 54. 4 และ 57.1 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าในระหว่างการเก็บรักษาเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ จะสูญเสียสารประกอบฟีนอลทั้งหมด มากกว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°ซ จะสูญเสียสารประกอบฟีนอลมากกว่าเยลลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ สอดคล้องกับการศึกษาของ Fezah *et al.* (2000) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ของสารประกอบฟีนอลในระหว่างการเก็บรักษา (Shi *et al.* 2002)

(a)



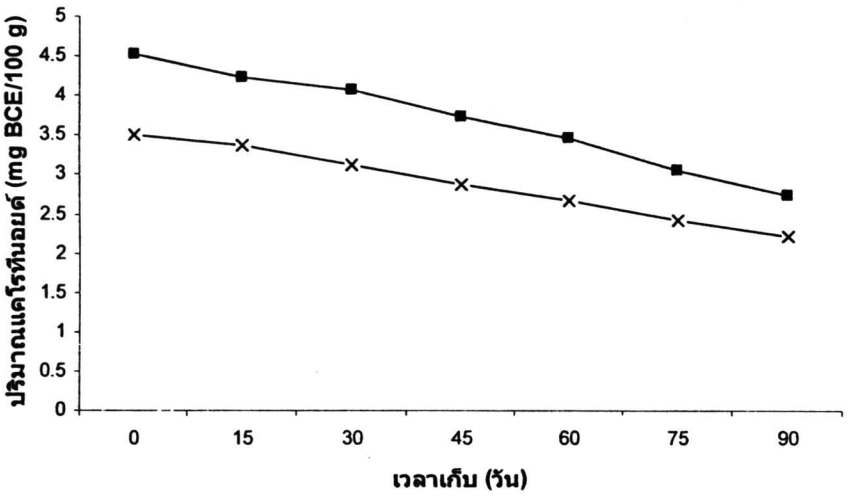
(b)



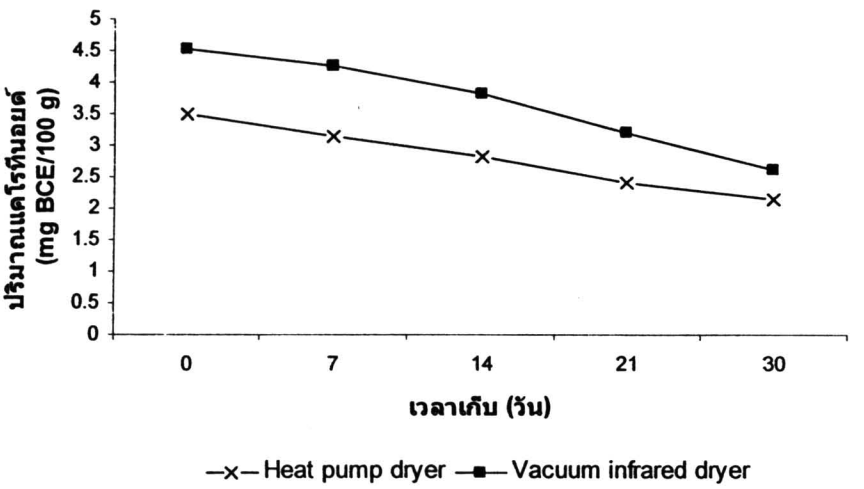
รูป 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.12 พบว่า ปริมาณแคโรทีนอยด์เริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตมีค่าต่ำกว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 90 วัน และ 30°ซ เป็นเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณแคโรทีนอดย์มีค่าลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณแคโรทีนอยด์ในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าลดลงจาก 3.50 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม ไปเป็น 2.21 และ 2.15 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 63.1 และ 61.4 ตามลำดับ ส่วนปริมาณแคโรทีนอยด์ในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 4.52 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม เหลือ 2.73 และ 2.63 มิลลิกรัมสมมูลของเบต้าแคโรทีนต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 61.4 และ 58.2 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าในระหว่างการเก็บรักษาเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ จะสูญเสียแคโรทีนอยด์มากกว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°ซ จะสูญเสียแคโรทีนอดย์มากกว่าเยลลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cinar (2004) ซึ่งรายงานว่าการเก็บรักษาแครอทและมันฝรั่งที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4°ซ มีการสูญเสียสารแคโรทีนอยด์น้อยกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 40°ซ นอกจากการสูญเสียปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระหว่างการเก็บรักษาอาหาร จะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณออกซิเจน แสง และปริมาณกรดอินทรีย์ในอาหารแล้ว วิธีการอบแห้งก็มีผลต่อการสูญเสียสารอาหารในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ดังเช่นการศึกษาของ Kaminski *et al.* (1986) พบว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง แครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ จะมีการสูญเสียปริมาณสารแคโรทีนอยด์อย่างรวดเร็ว ส่วนแครอทที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะมีความคงตัวของแคโรทีนอยด์มากกว่า เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งแบบสุญญากาศจะมีความเป็นรูพรุนมากกว่า ออกซิเจนสามารถผ่านเข้าไปได้ง่าย ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์

(a)



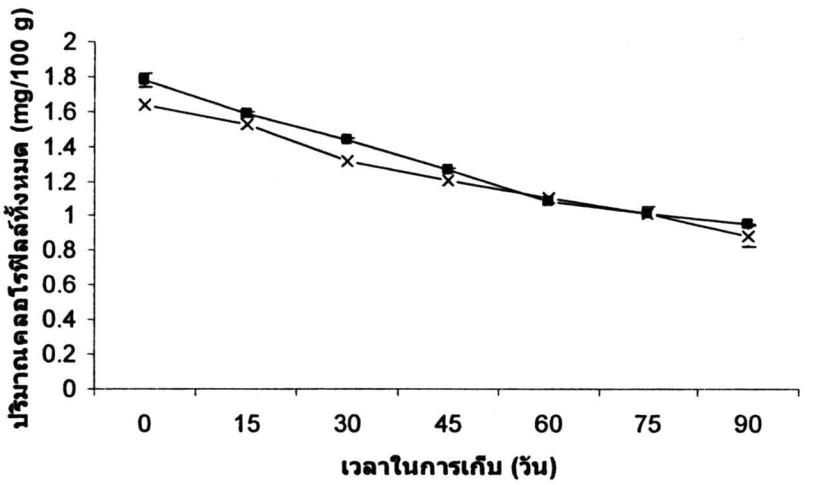
(b)



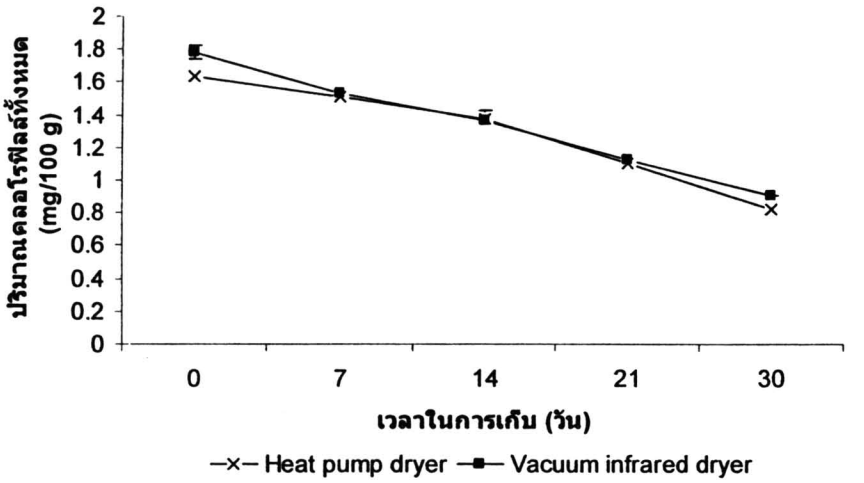
รูป 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์ และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ที่เหลือในอยู่ในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา แสดงดังรูป 4.13 พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าต่ำกว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เมื่อเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนต ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 90 วัน และ 30°ซ เป็นเวลา 30 วัน พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด มีค่าลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าลดลงจาก 1.64 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ไปเป็น 0.88 และ 0.82 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือ มีค่าเท่ากับร้อยละ 57.5 และ 50 ตามลำดับ ส่วนปริมาณคลอโรฟิลล์ในเยลลีน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ ก็มีค่าลดลงเช่นกัน โดยลดลงจาก 1.78 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ไปเป็น 0.95 และ 0.91 มิลลิกรัมต่อหนึ่งร้อยกรัม ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นร้อยละของการคงเหลือมีค่าเท่ากับร้อยละ 59.7 และ 48.2 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าในระหว่างการเก็บรักษาเยลลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°ซ จะสูญเสียคลอโรฟิลล์มากกว่าเยลลีที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ สอดคล้องกับการศึกษาของ Gross (1987) ที่พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในน้ำผลไม้กระป๋องลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน และน้ำผลไม้กระป๋องที่เก็บที่อุณหภูมิ 27°ซ เกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์เร็วกว่าน้ำผลไม้ที่เก็บที่อุณหภูมิ 10°ซ นอกจากนั้น King *et al.* (2000) ยังพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ในระหว่างการเก็บรักษาหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ มีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน แสดงให้เห็นว่าคลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วไปเป็นฟีโอไฟติน และเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในน้ำผลไม้ การสลายตัวของคลอโรฟิลล์มีสาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจน แสง และเอนไซม์ภายในน้ำผลไม้ ซึ่งการเปลี่ยนสีจากสีเขียวสว่างไปเป็นสีเขียวมะกอก หรือสีเหลืองมะกอก ส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (Gupte *et al.*, 1964) ดังนั้น จึงควรมีการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ pH เวลา เอนไซม์ ออกซิเจน และแสง เพื่อป้องกันและลดการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ (Heaton and Maranggoni, 1996)

(a)



(b)



รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

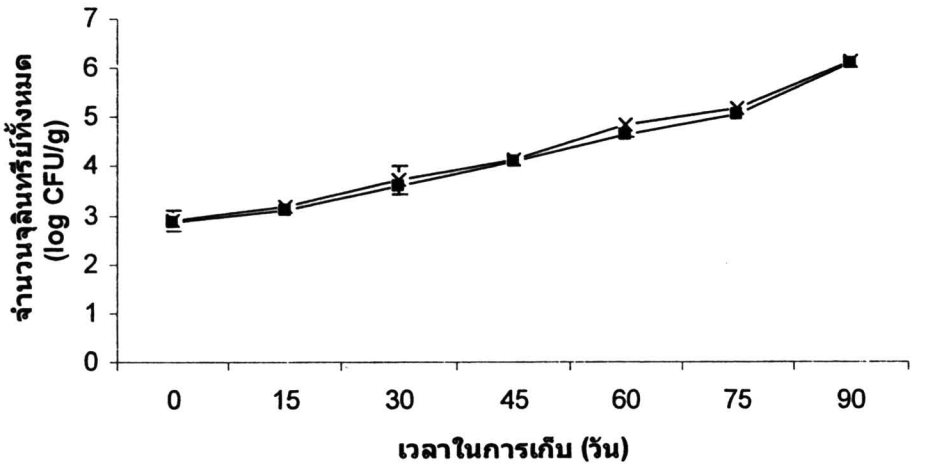
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

4.4.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบก

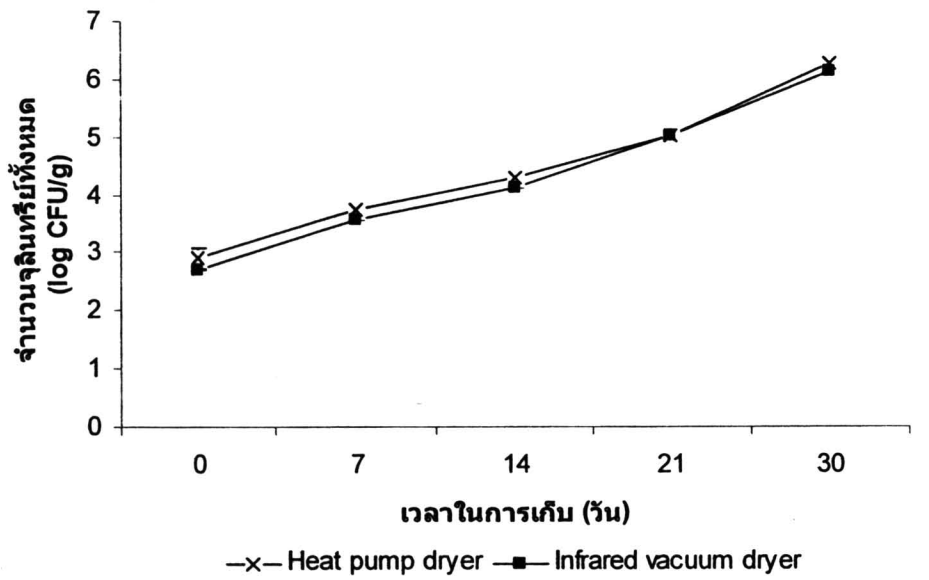
ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ขณะเก็บรักษา ในบรรจุภัณฑ์ชนิดไนลอนลามิเนตสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นเวลา 90 วัน และ 30°ซ เป็นเวลา 30 วัน แสดงดังรูป 4.14 และ 4.15 พบว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ คือ 2.9 log CFU/g และ 2.87 log CFU/g ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับการเก็บเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกไว้ที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นระยะเวลา 30 วัน โดยพบว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต มีค่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าเยลลีที่ผ่านการอบแห้งด้วยอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศเช่นกัน คือ 6.15 log CFU/g และ 6.07 log ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ มีปริมาณน้อยกว่าในเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้ในระหว่างการเก็บรักษาพบเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า และจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กำหนดว่าผลิตภัณฑ์เยลลีแห้งจะต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 4 log CFU/g (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ซึ่งจากการทดลองพบว่าเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องลดความชื้นแบบปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 30 และ 45 วัน ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นระยะเวลา 7 วัน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 4 log CFU/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดไว้ ส่วนปริมาณยีสต์และรา พบว่า เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ เป็นระยะเวลา 45 และ 60 วัน ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 30°ซ เป็นระยะเวลา 7 วัน มีปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 100 CFU/g ซึ่งอยู่เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนดไว้ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547)

ดังนั้นสรุปได้ว่าเยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ มีอายุการเก็บรักษา 30 และ 45 วัน ตามลำดับ ขณะที่เยลลีแห้งจากน้ำใบบัวบกที่เก็บที่อุณหภูมิ 30°ซ มีอายุการเก็บรักษาเพียง 7 วัน

(a)

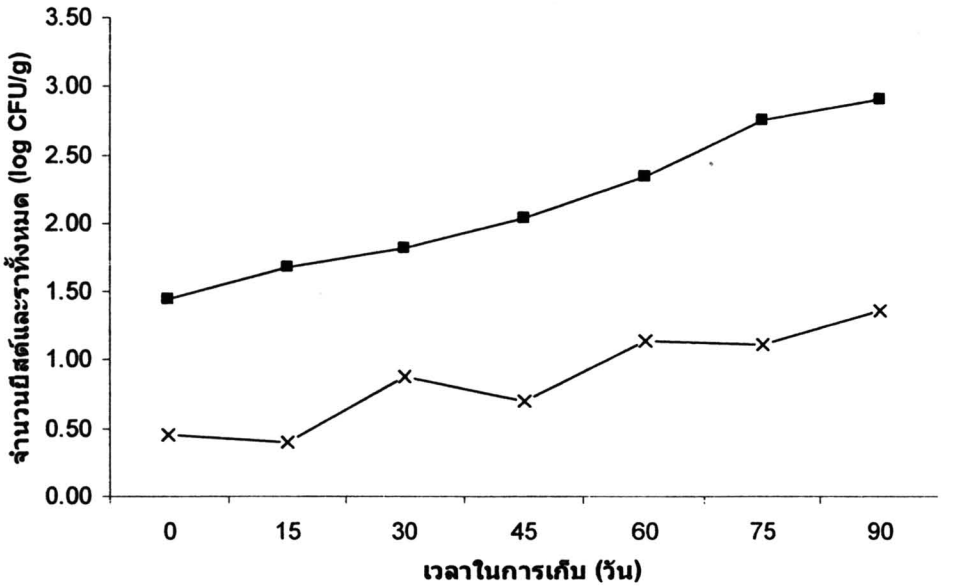


(b)

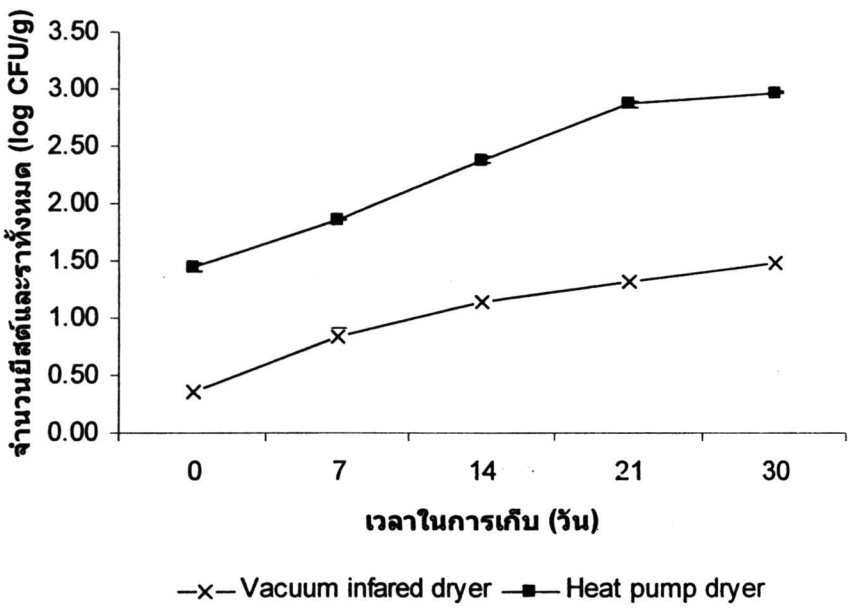


รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)

(a)



(b)



รูป 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนยีสต์และรา และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°ซ (a) และ 30°ซ (b)