

บทที่ 5

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษา

5.1 ระเบียบวิธีวิจัย

5.1.1 วัสดุดิบ

5.1.1.1 น้ำตาลมะพร้าวสด (coconut sap) จากตำบลคลองเขิน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม นำหนักประมาณ 200 กิโลกรัม นำมาต้มจนมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ แล้วทำให้เย็นลงทันที บรรจุถุงพลาสติกเย็น 2 ชั้น แล้วนำมาเก็บไว้ในตู้เย็นแช่แข็ง ที่อุณหภูมิประมาณ -10 องศาเซลเซียส ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร

5.1.1.2 น้ำที่ผ่านการกำจัดอิออน (deionized water)

5.1.2 อุปกรณ์

5.1.2.1 กระทะไฟฟ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36.5 เซนติเมตร (Emma, EMP-1400S, Thailand)

5.1.2.2 เครื่องแก้ว

5.1.2.3 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

5.1.2.4 โถดูดความชื้น (desiccator)

5.1.2.5 แแฮนด์ รีเฟคโตมิเตอร์ (hand refractometer)

5.1.2.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Sartorius, BP3100, Germany)

5.1.2.7 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius, BP3100, Germany)

5.1.2.8 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) (WTB binder, Germany)

5.1.2.9 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) (Navasina, Thermoconstanter, Switzerland)

5.1.2.10 เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Miniscan XE Plus, USA)

5.1.2.11 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) (Spectronic Unicam, Model Genesys 10UV, USA)

5.1.2.12 เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) (TA-Xt2i, England) และหัววัดชนิด P6

5.1.2.13 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส

5.1.2.14 ตู้เย็นแช่แข็ง (Sanyo, SF-C 1492 W)

5.1.2.15 ตู้บ่มเชื้อ

5.1.2.16 เครื่องปั่นผสม (Kitchen Aid, Kitchen Aid Inc., USA) พร้อมหัวตีรูปใบไม้

5.1.2.17 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

5.1.3 สารเคมี

5.1.3.1 กรดซิตริก (citric acid)

5.1.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)

5.1.3.3 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (potassium hydrogen phthalate)

5.1.3.4 ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein)

5.1.3.5 แมกนีเซียมไนเตรท (magnesium nitrate)

5.1.3.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide)

5.1.3.7 แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate)

5.1.4 อาหารเลี้ยงเชื้อและสารที่ใช้วิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์

5.1.4.1 Standard Plate Count Agar (PCA)

5.1.4.2 Potato Dextrose Agar (PDA)

5.1.4.3 สารละลายเปปโตน (peptone)

5.1.4.4 กรดทาร์ทาริก (tartaric acid)

5.1.5 วิธีการทดลอง

5.1.5.1 นำน้ำตาลสดจากมะพร้าวที่แช่แข็งเก็บไว้ (น้ำตาลสดที่ได้มีพีเอช 5.7 และความเข้มข้นประมาณ 17°Brix) มาเก็บไว้ละลาย ณ อุณหภูมิห้องจนเป็นของเหลวหมด ตวงปริมาตร 2,500 มิลลิลิตร

5.1.5.2 ปรับพีเอช 7 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N

5.1.5.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 2,560 มิลลิลิตร

5.1.5.4 เคี่ยวน้ำตาลในกระทะไฟฟ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 36.5 เซนติเมตร โดยปรับความร้อนที่ระดับทอด จนกระทั่งได้ค่า total soluble solid ประมาณ 85°Brix เทใส่อย่างผสม Kitchen Aid

5.1.5.5 ตีปั่นด้วยหัวตีรูปใบไม้ที่ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นตีปั่นที่ความเร็วระดับ 2 เป็นเวลาประมาณ 3 นาทีหรือจนกระทั่งน้ำตาลเริ่มตกผลึกแข็งตัว

5.1.5.6 ตักน้ำตาลเทใส่พิมพ์จิบกลมเล็กเบอร์ 2616 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ฐานพิมพ์คือ 3.81 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบนคือ 5.76 เซนติเมตร ความสูงของพิมพ์คือ 2.48 เซนติเมตร และบรรจุน้ำตาลพิมพ์ละ 22 กรัม

5.1.5.7 ปล่อยให้ น้ำตาลเย็นตัวลง นำไปเก็บในกล่อง sorption container ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50, 65 และ 80% โดยวางน้ำตาลบนตะแกรงที่อยู่เหนือสารละลายเกลืออิ่มตัว $Mg(NO_3)_2$, KI และ $(NH_4)_2SO_4$ ภายในกล่องและนำกล่องไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ)

5.1.5.8 แบ่งตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวไปตรวจทดสอบคุณภาพทุกๆ 1 เดือน ดังนี้

(1) ปริมาณความชื้น (moisture content) และปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) (AOAC, 1984)

(2) ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) โดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Navasina, Thermoconstanter, Switzerland)

(3) ความแข็ง (hardness) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) (TA-Xt2i, England)

(4) ปริมาณกรดทั้งหมด (total acidity) (AOAC, 1984)

(5) ความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอช โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

- (6) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยการใช้นิยาม refractrometer
- (7) สี โดยใช้เครื่องวัดสี (Hunter Lab, Miniscan XE Plus, USA)
- (8) การดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) (spectronic Unicam, Model Genesys 10UV, USA)
- (9) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Plate Count Agar (PCA)
- (10) ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด โดยวิธี pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA)
- (11) คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสสัมผัส โดยการวิเคราะห์เชิงบรรยายปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis, QDA)

5.1.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

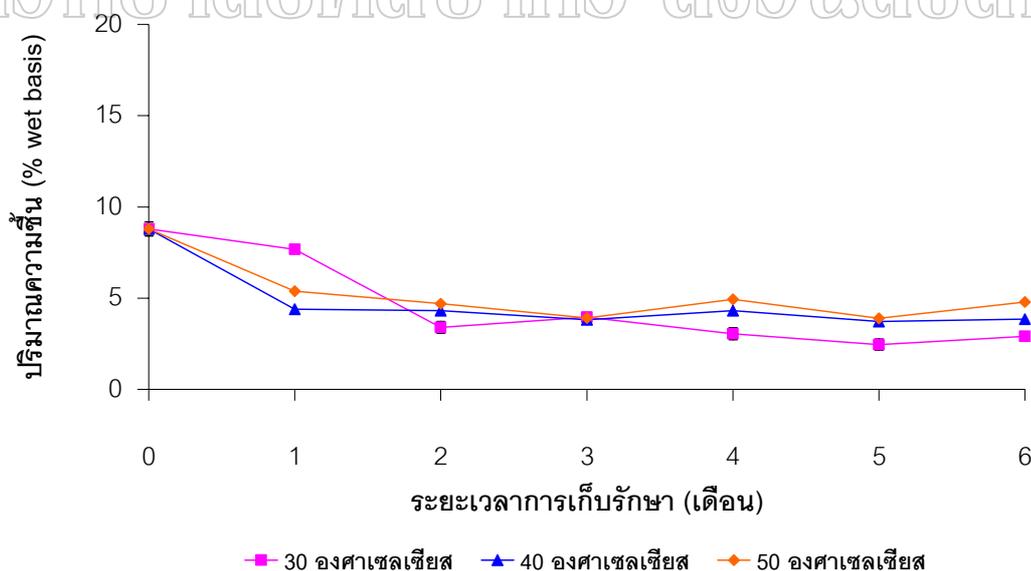
ใช้แผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) ในการศึกษามี 9 สิ่งทดลอง (treatment) คือ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50%, อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65%, อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80%, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50%, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65%, อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80%, อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50%, อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65%, และ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80% โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS Version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว ใช้แผนการทดลองแบบ Randomized Completely Block Design (RCBD) แล้วทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบด้วยวิธี Least Significance Difference (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยใช้โปรแกรมพื้นฐาน SAS Version 8.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

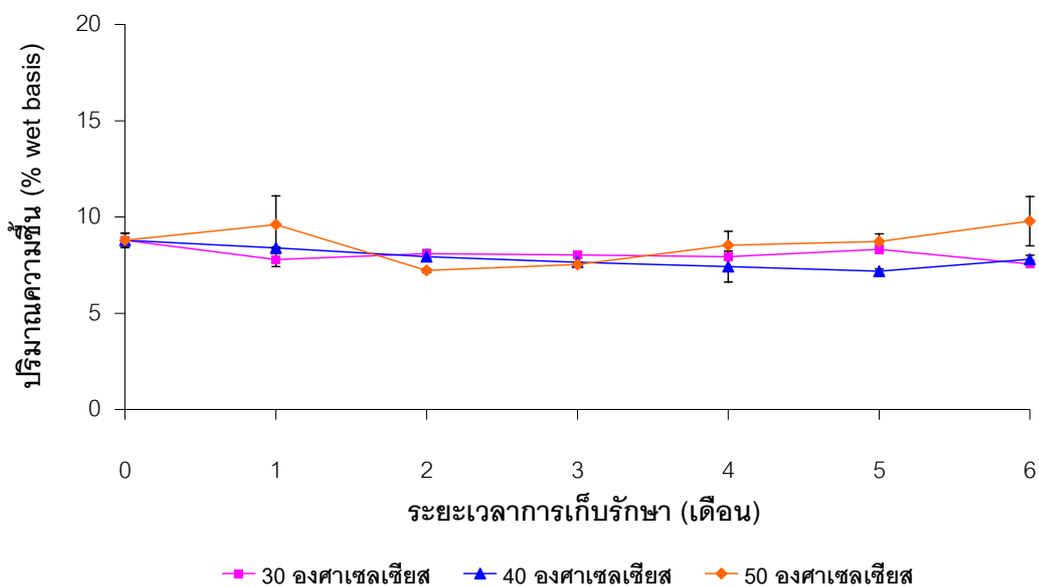
5.2 ผลการทดลอง

5.2.1 ปริมาณความชื้น

ผลการวัดปริมาณความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 5.2 และ 5.3 โดยในเดือนที่ 0 มีความชื้น 8.79% (wet basis) เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่ปรับความชื้นสัมพัทธ์ด้วยสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท (magnesium nitrate) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงและค่อนข้างคงที่ในเดือนที่ 2-6 สำหรับน้ำตาลมะพร้าวที่เก็บรักษาในสภาวะที่ปรับความชื้นสัมพัทธ์ด้วยสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65% ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มคงที่ น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่ปรับความชื้นสัมพัทธ์ด้วยสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulfate) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80% ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการปรับสมดุลระหว่างความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์

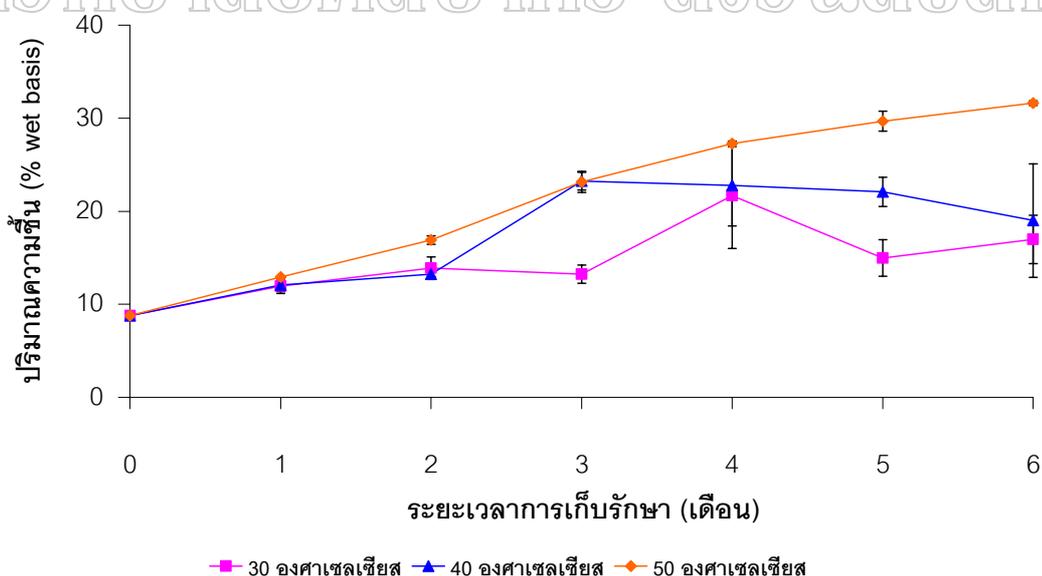


รูปที่ 5.1 ปริมาณความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



รูปที่ 5.2 ปริมาณความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลือ

อิมัลชันโปแตสเซียมไอโอไดด์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%

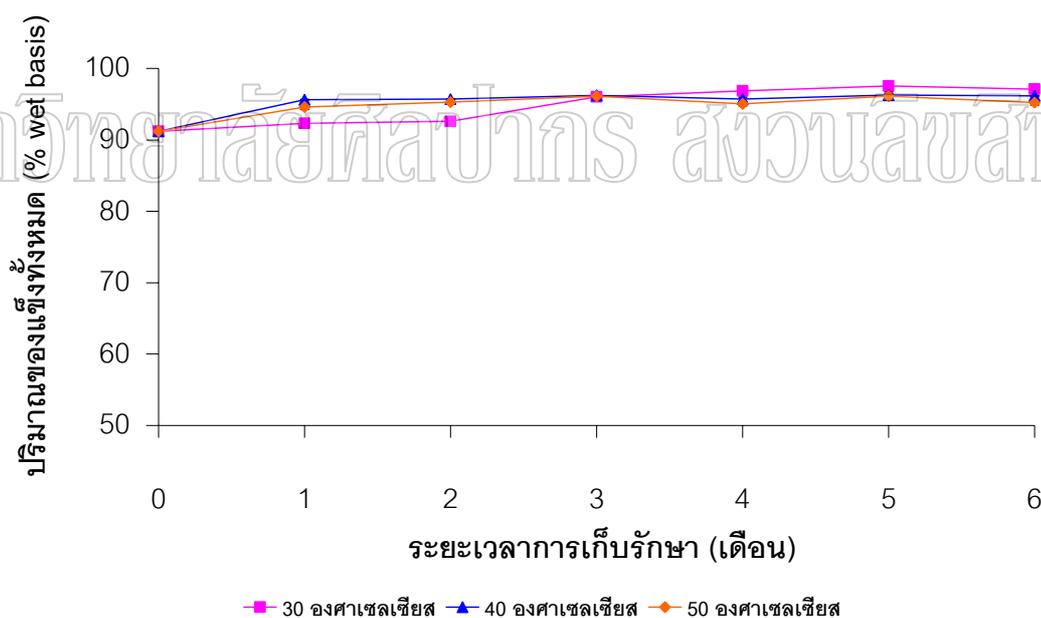


รูปที่ 5.3 ปริมาณความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลือ

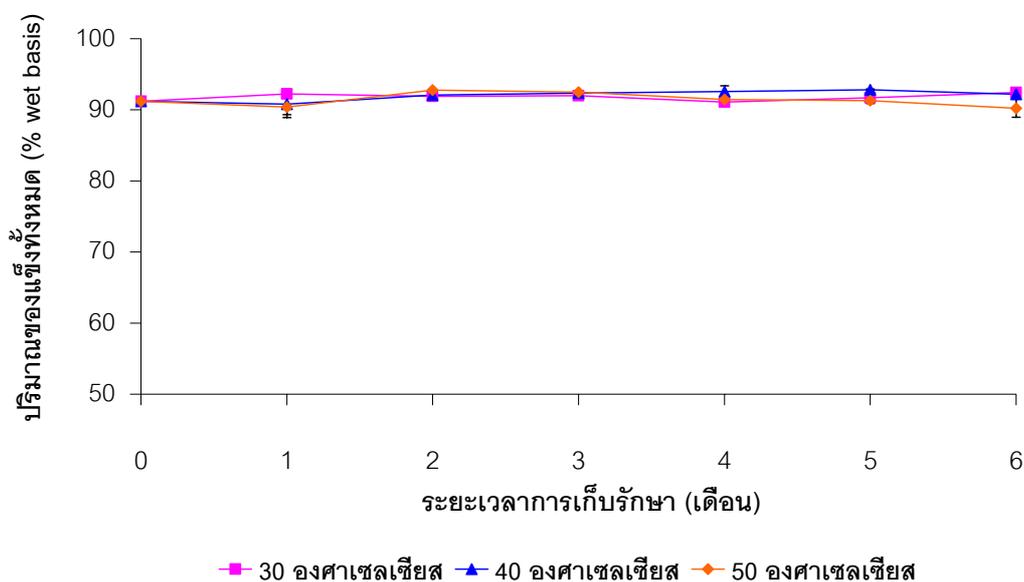
อิมัลชันแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

5.2.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมด

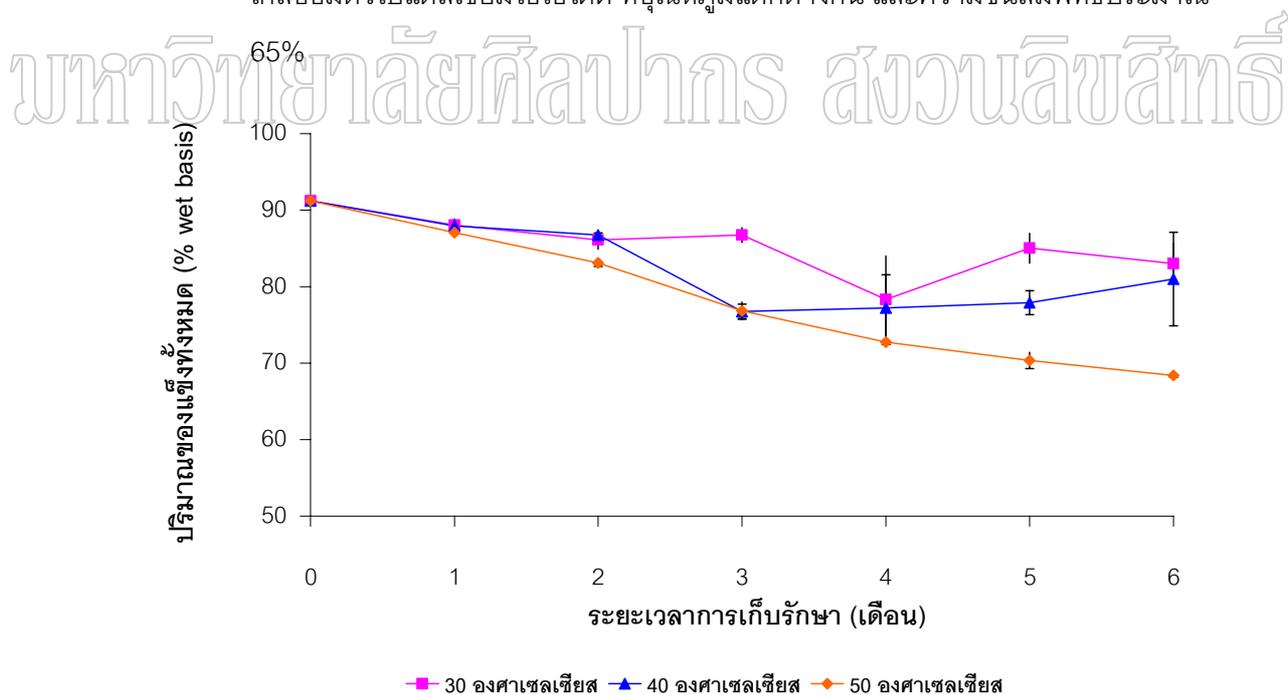
จากผลการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.4 5.5 และ 5.6 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท และโปแตสเซียมไอโอไดด์มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บในสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่า ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับปริมาณความชื้น เพราะปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นส่วนของแข็งที่เหลืออยู่หลังจากการระเหยน้ำออกไปหมด โดยในตัวอย่างที่มีความชื้นน้อยจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดมาก



รูปที่ 5.4 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



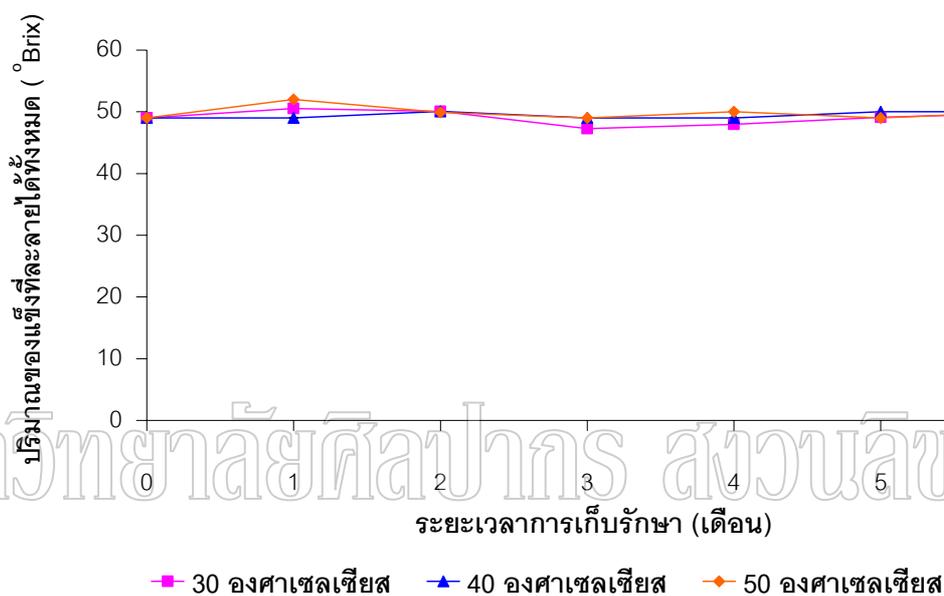
รูปที่ 5.5 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตอลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมตัวโปแตสเซียมไฮโอไดต์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ



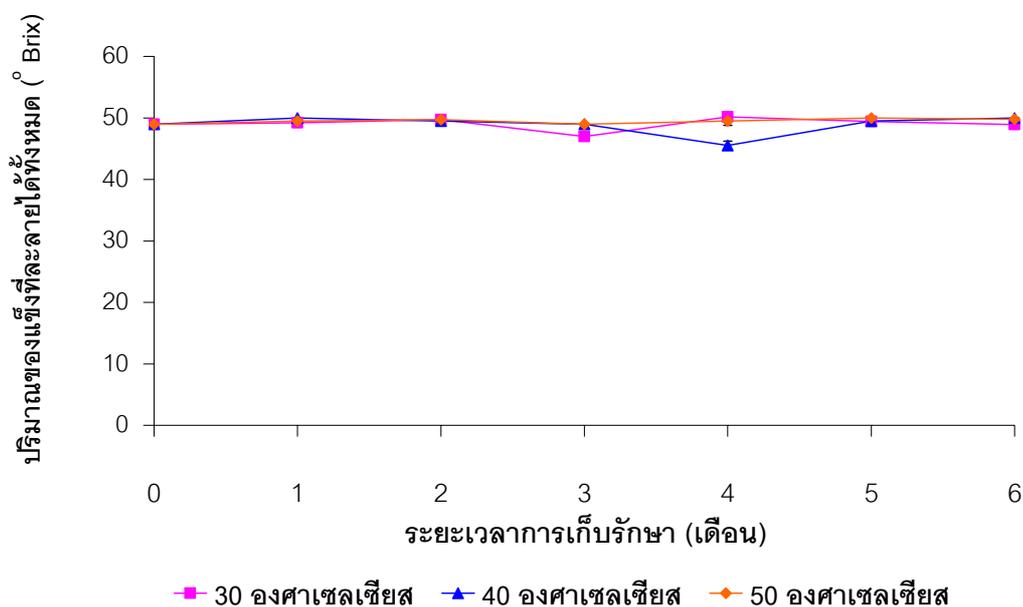
รูปที่ 5.6 ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำตอลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

5.2.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

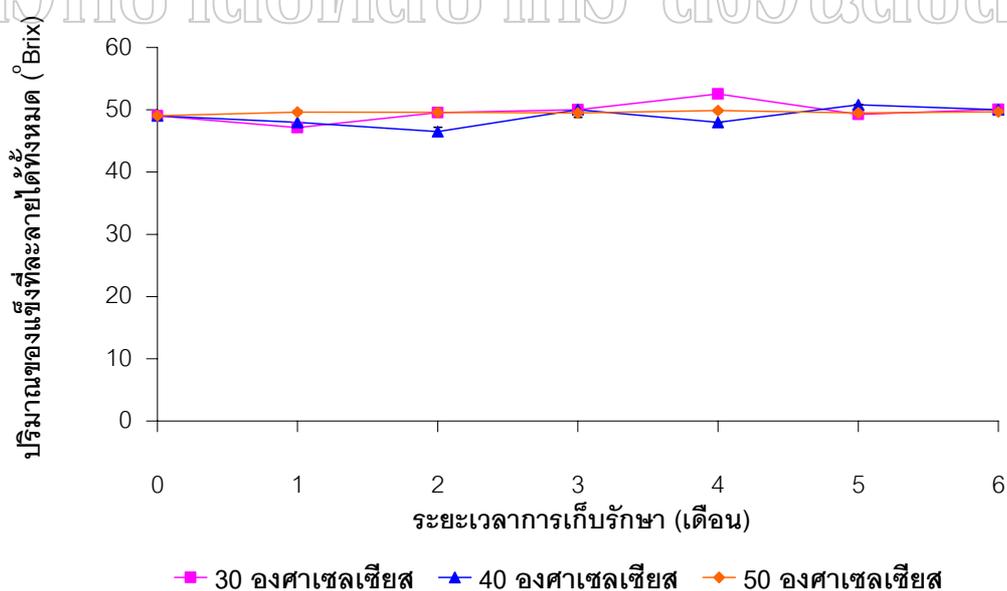
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวแสดงในรูปที่ 5.7 5.8 และ 5.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสารละลายเกลืออิมิตัว และอุณหภูมิแตกต่างกันมีความใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าของแข็งส่วนใหญ่ในน้ำตาลมะพร้าวยังคงละลายน้ำได้ แม้ว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 5.7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



รูปที่ 5.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไฮโอไดด์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%

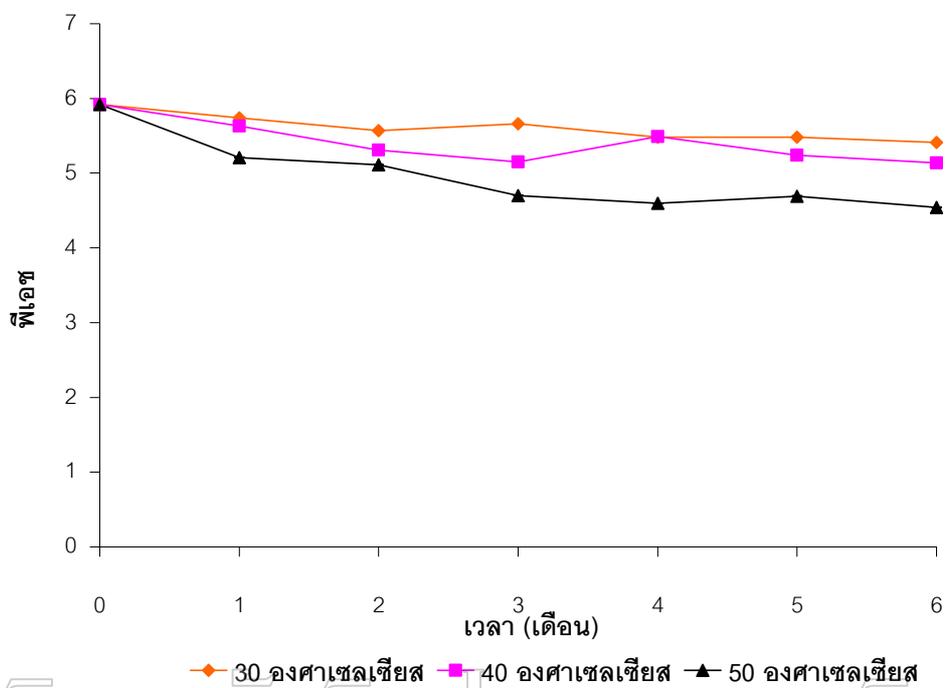


รูปที่ 5.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

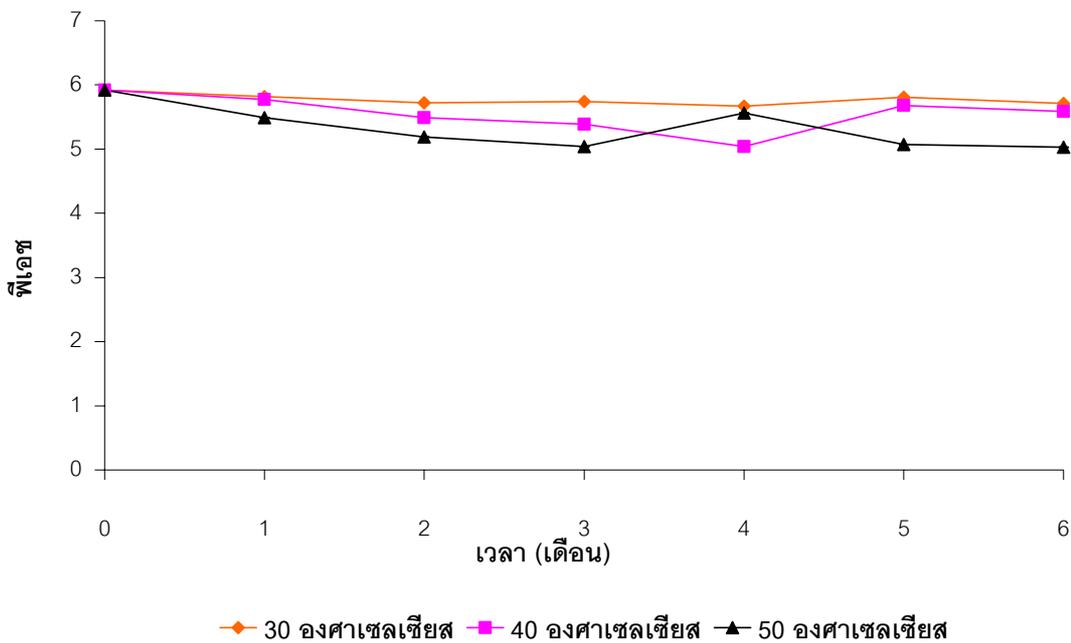
5.2.4 ค่าพีเอชและปริมาณกรดทั้งหมด

จากการวัดค่าพีเอชของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวแสดงในรูปที่ 5.10 5.11 และ 5.12 พบว่าค่าพีเอชของ น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามตัวอย่าง โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นค่าพีเอชมีค่าลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับ ปริมาณกรดทั้งหมดที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.13 5.14 และ 5.15 น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในสภาวะ สารละลายเกลืออิมมัลชัน ไปแตสเซียมไอโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่าพีเอชใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงในเดือนที่ 4 โดย ในกรณีไปแตสเซียมไอโอไดด์มีค่าพีเอช 5.04 ซึ่งต่ำกว่าค่าพีเอชในกรณีของแอมโมเนียมซัลเฟต คือ 5.49 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด จากผลการทดลอง พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ค่าพีเอชลดลง ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดผลิตภัณฑ์กรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก กรดแลคติก เป็นต้น (Martins และคณะ, 2003) เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาสื่อน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาและระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ น้ำตาลรีดิคซ์ที่มีอยู่ในน้ำตาลมะพร้าวสามารถสลายตัว (degrade) เป็นกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) (Andrews และคณะ, 2002)

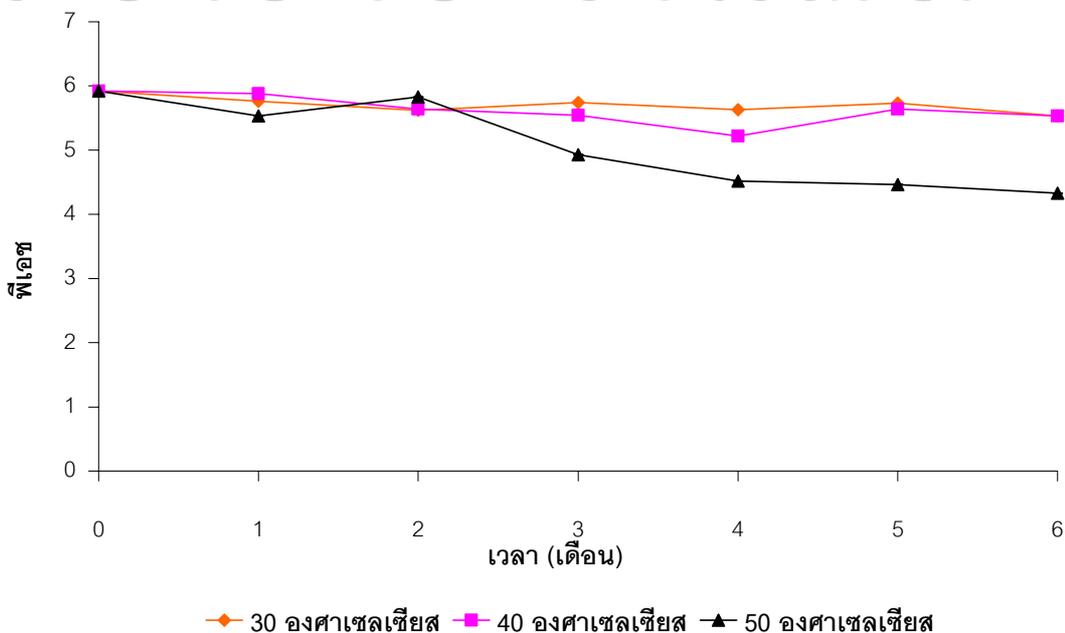
บททฤษฎีและตัวอย่างการคำนวณเลขคณิต



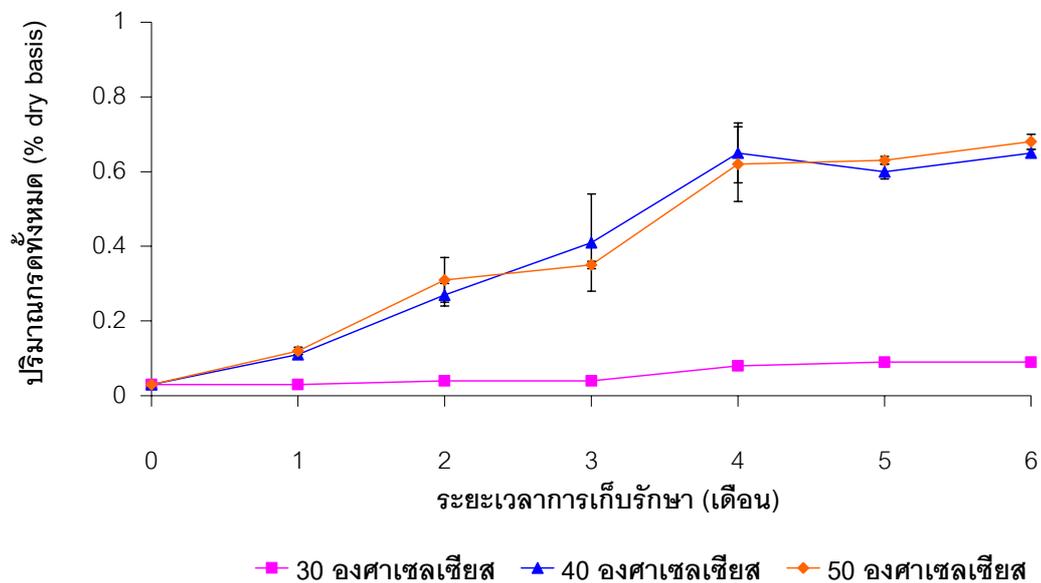
รูปที่ 5.10 ค่าพีเอชของน้ำตาลมะพร้าวเดี่ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



รูปที่ 5.11 ค่าพีเอชของน้ำตาดมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวไปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%

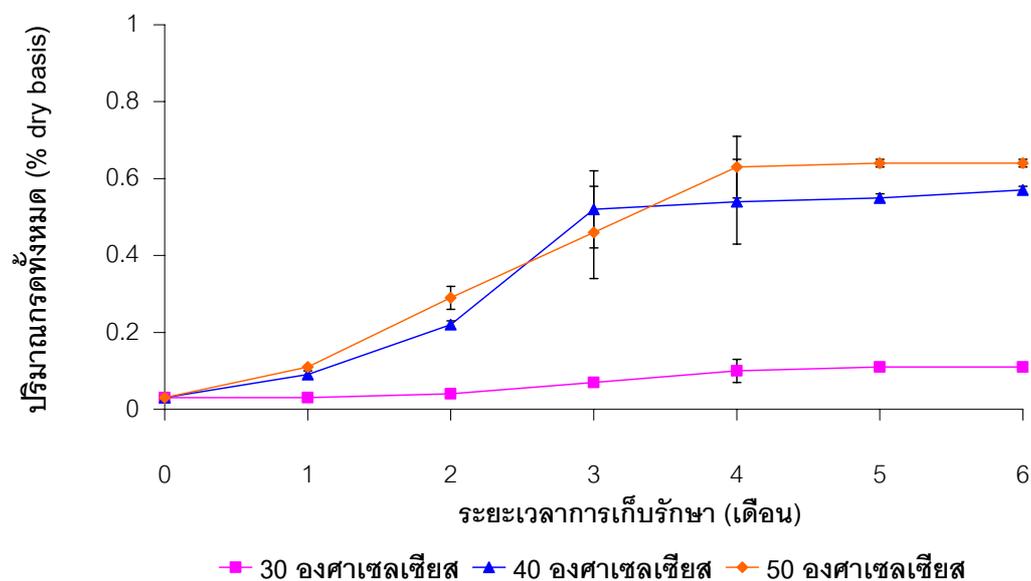


รูปที่ 5.12 ค่าพีเอชของน้ำตาดมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

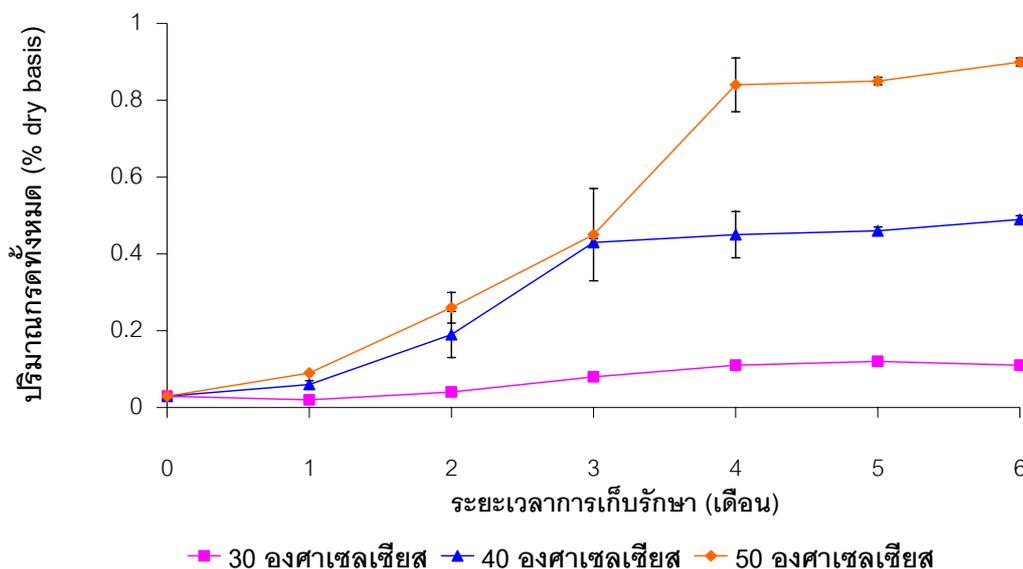


รูปที่ 5.13 ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรทที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 5.14 ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีไนสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไฮโดรไดด์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



รูปที่ 5.15 ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลือ

อิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

5.2.5 ลักษณะปรากฏและค่าสี

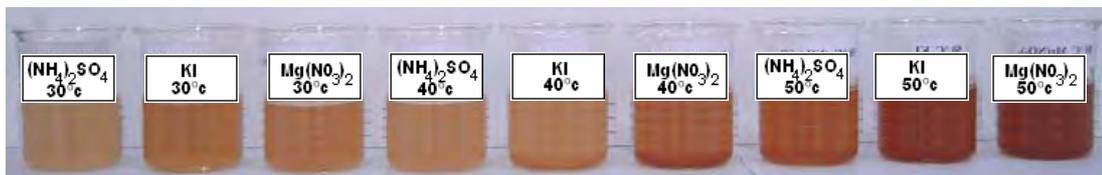
ลักษณะปรากฏ และค่าสีที่แตกต่างกันของสารละลายน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บในสภาวะต่างกัน แสดงไว้ในรูปที่ 5.16 5.17 5.18 5.19 5.20 5.21 5.22 5.23 5.24 5.25 และ 5.26 จากรูปที่ 5.27 และ 5.28 พบว่าลักษณะปรากฏด้านสีของ น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีความเข้มแปรผันตามระยะเวลาในการเก็บรักษา อุณหภูมิ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ โดยน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บไว้นานขึ้นจะมีสีเข้มขึ้น น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บที่อุณหภูมิสูงกว่าจะมีสีเข้มกว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า และน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าจะมีสีเข้มกว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด และคาราเมลไลเซชัน ซึ่งมีปัจจัยเร่งที่สำคัญคือ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

จากการศึกษาของ White และ Bell (1999) พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีอัตราเพิ่มขึ้นสูง เมื่อเพิ่มค่าปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างที่มีสถานะแข็งคล้ายแก้ว (glassy state) และเมื่อตัวอย่างเข้าสู่สถานะเหลว (rubbery state) การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีอัตราเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

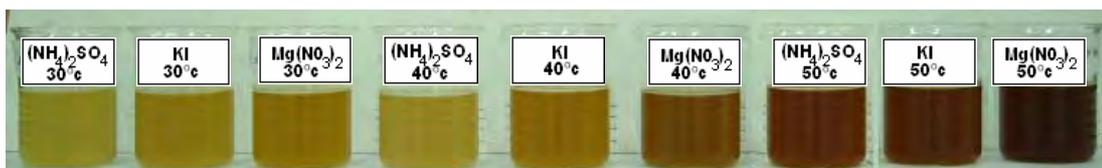
จากการวัดค่า L^* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความสว่าง น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงของค่า L^* โดยน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทมีค่า L^* ลดลงมากที่สุดในเดือนที่ 2 คือ 2.02 ในเดือนที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่อนข้างคงที่จนถึงเดือนที่ 6 ตัวอย่างน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟตมีแนวโน้มลดลงของค่า L^* ในเดือนที่ 1 แล้วค่อนข้างคงที่ แต่น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์มีค่า L^* เท่ากับ 2.46 ซึ่งต่ำกว่าในสภาวะที่มีสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตโดยมีค่า L^* เท่ากับ 2.54 แสดงว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตมีความสว่างมากกว่าในสภาวะที่มีสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์

สำหรับน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสทั้งสามตัวอย่าง ค่า L^* มีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งถึงเดือนที่ 2 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในเดือนที่ 3 ในเดือนที่ 4 มีค่าลดลงเล็กน้อย ตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทมีค่าความสว่างต่ำที่สุด ส่วนตัวอย่างที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน

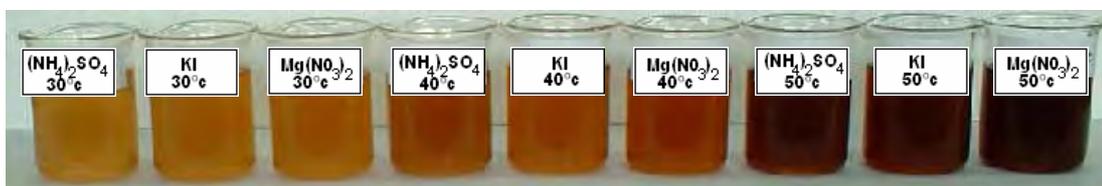
น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสทุกตัวอย่างมีค่า L^* ไปในทิศทางเดียวกัน โดยน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตมีความสว่างมากที่สุดเนื่องจากมีค่า L^* มากที่สุด ส่วนน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายแมกนีเซียมไนเตรทและโปแตสเซียมไอโอไดด์มีความสว่างใกล้เคียงกัน จากการทดลองพบว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสมีความสว่างมากกว่าที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้มากขึ้นจึงทำให้น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีสีเข้มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ White และ Bell (1999) ปฏิกิริยาเมลลาร์ดสามารถเกิดขึ้นได้อย่างอิสระในอาหารเหลว (rubbery state) โดยไม่ได้รับผลกระทบจากการยุบตัว (collapse) และค่าปริมาณน้ำอิสระ ซึ่งมีอัตราการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอาหารแข็งที่มีการยุบตัวของโครงสร้าง glassy state โมเลกุลเคลื่อนที่ได้น้อยกว่าอาหารเหลว โดยน้ำตาลที่อุณหภูมิสูงมีลักษณะเหลวเย็นไม่แข็งตัว ซึ่งแตกต่างจากน้ำตาลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า



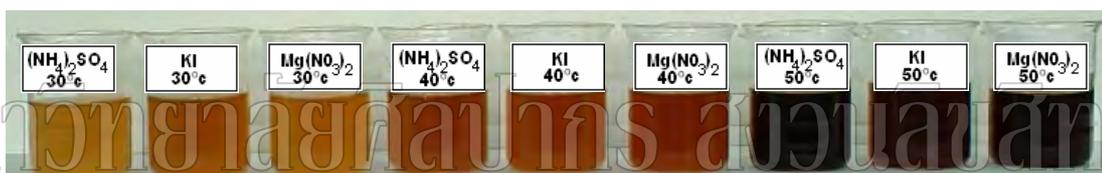
ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน



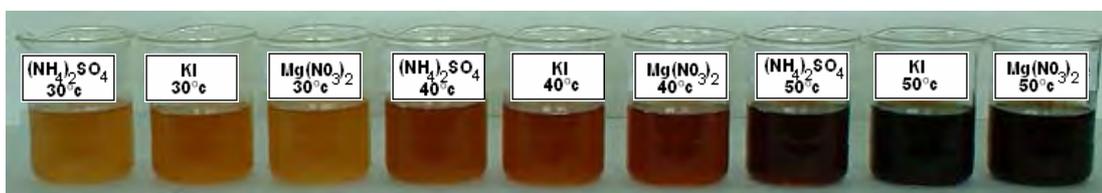
ระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน



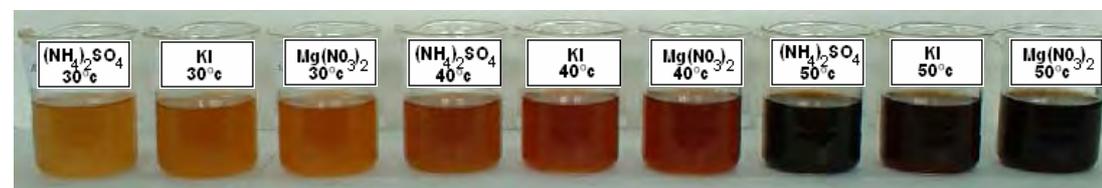
ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน



ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน



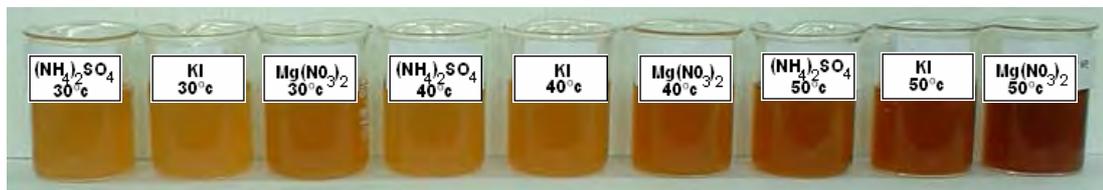
ระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน



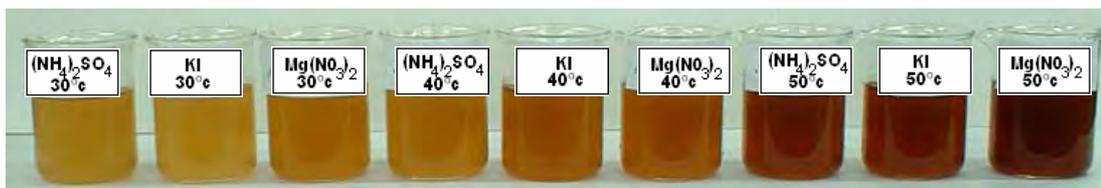
ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน

รูปที่ 5.16 ลักษณะปรากฏของสารละลาย 5% ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาใน

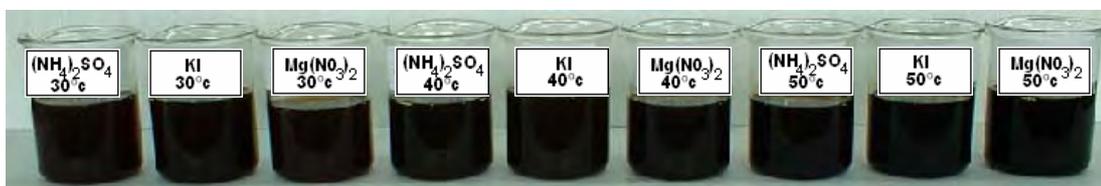
สภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 1-6 เดือน



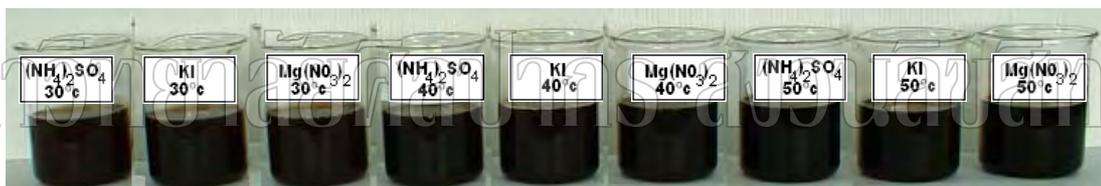
ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 เดือน



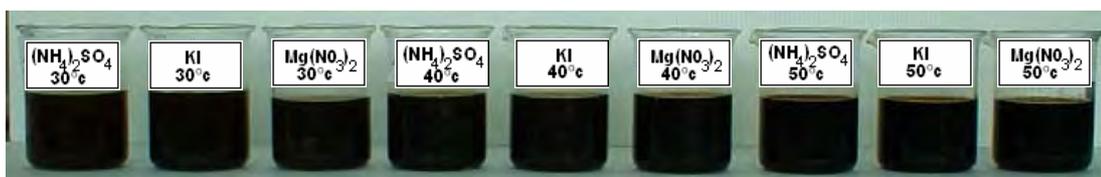
ระยะเวลาการเก็บรักษา 2 เดือน



ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 เดือน



ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน

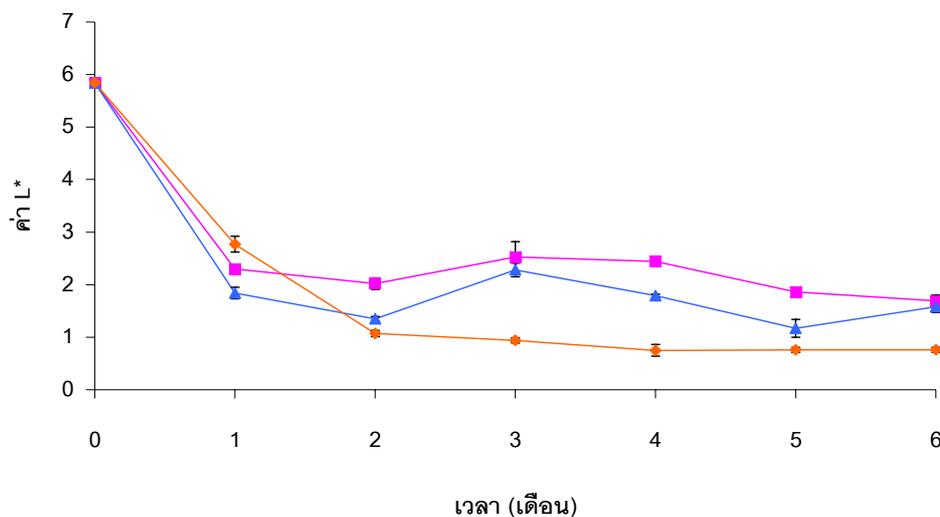


ระยะเวลาการเก็บรักษา 5 เดือน



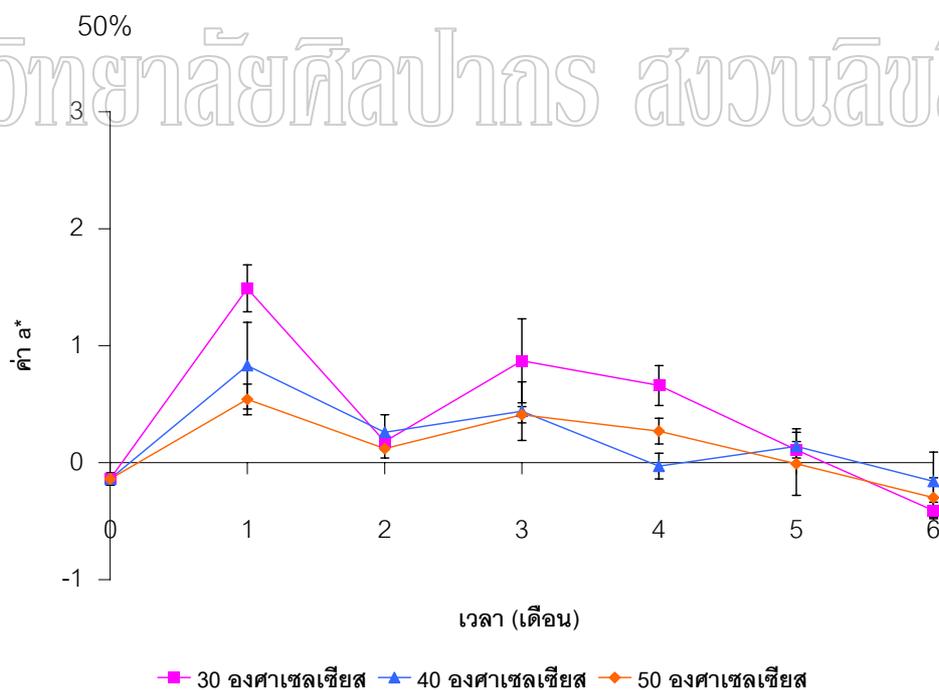
ระยะเวลาการเก็บรักษา 6 เดือน

รูปที่ 5.17 ลักษณะปรากฏของสารละลาย 50% ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาใน
 สภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันเป็นระยะเวลา 1-6 เดือน

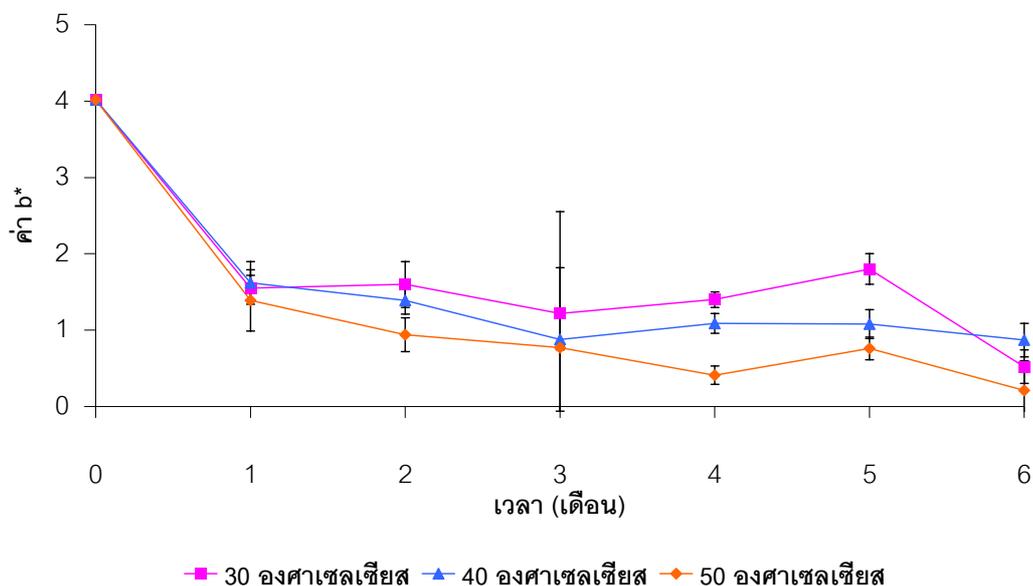


รูปที่ 5.18 ค่า L^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมงนี่เชื่อมในเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

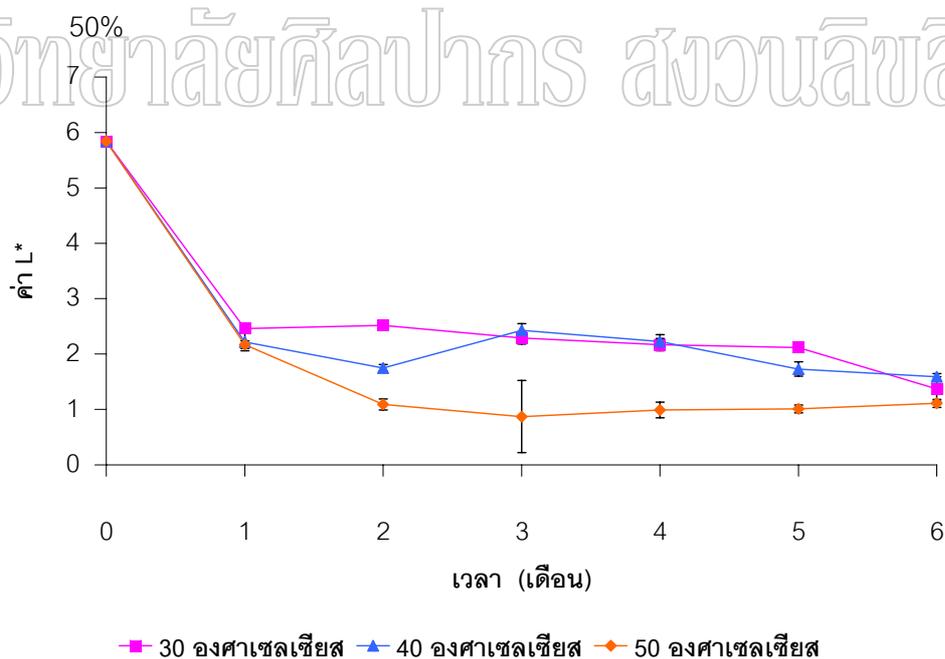


รูปที่ 5.19 ค่า a^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมงนี่เชื่อมในเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์

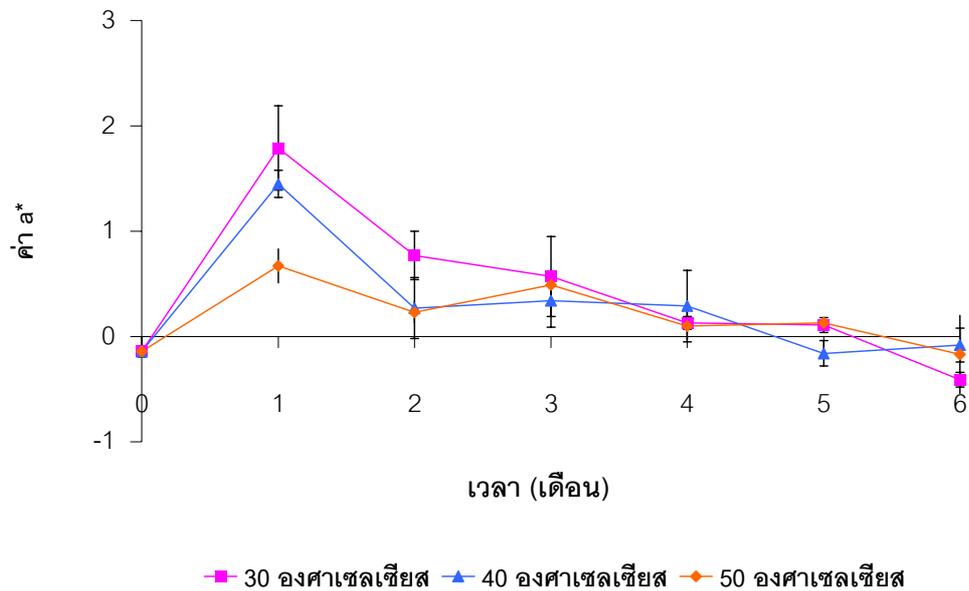


รูปที่ 5.20 ค่า b^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมงนี่เซียมนิเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์

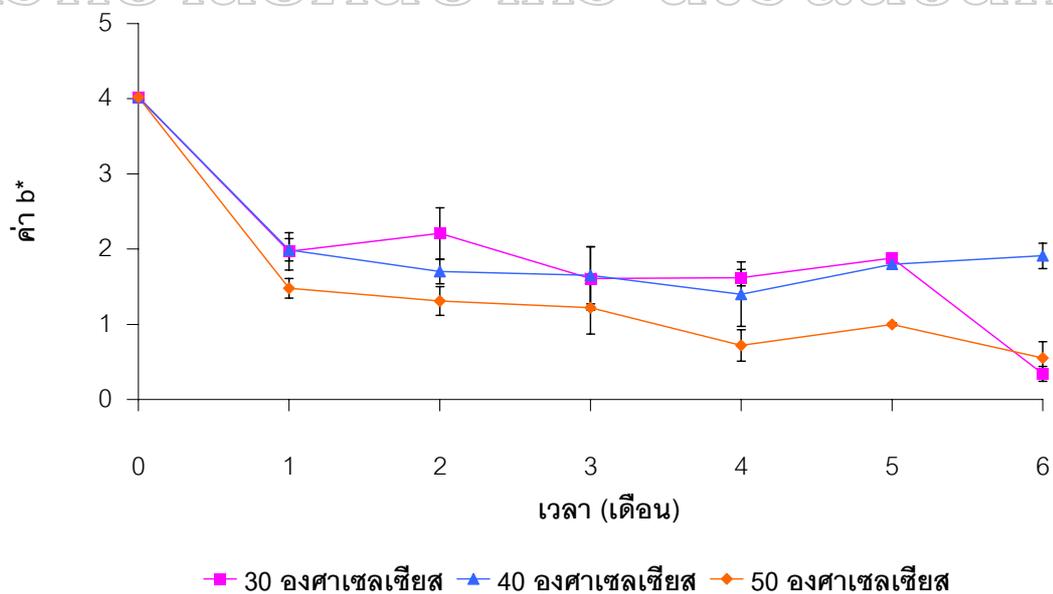
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



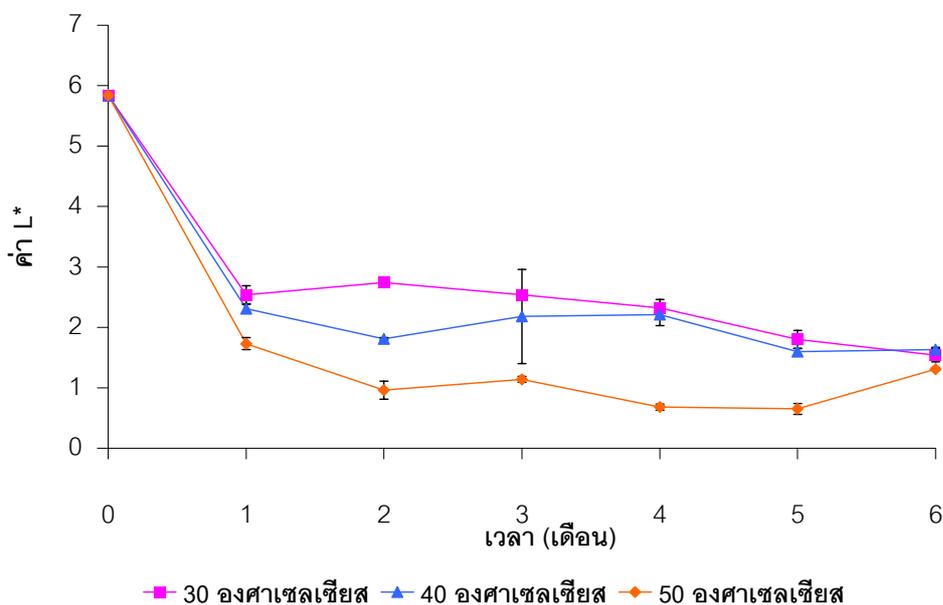
รูปที่ 5.21 ค่า L^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



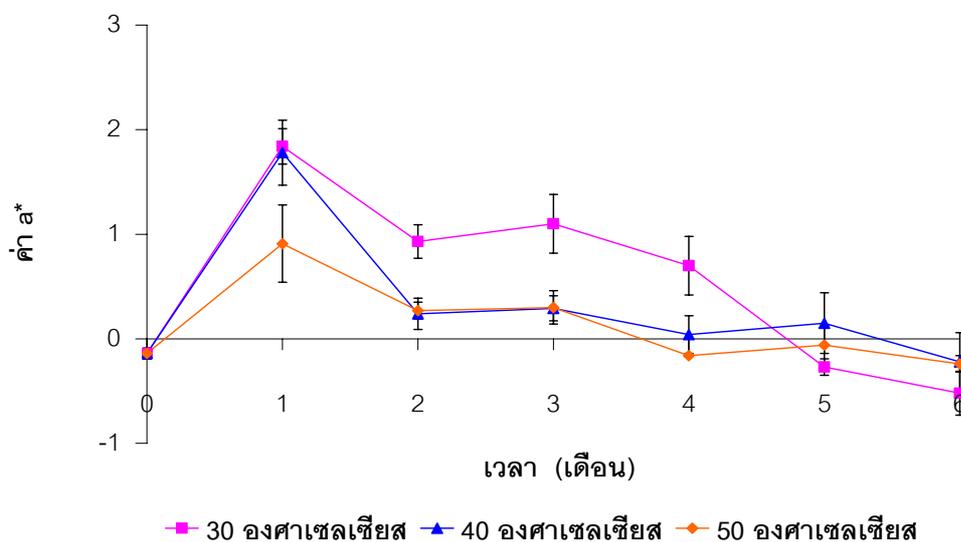
รูปที่ 5.22 ค่า a^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสถานะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



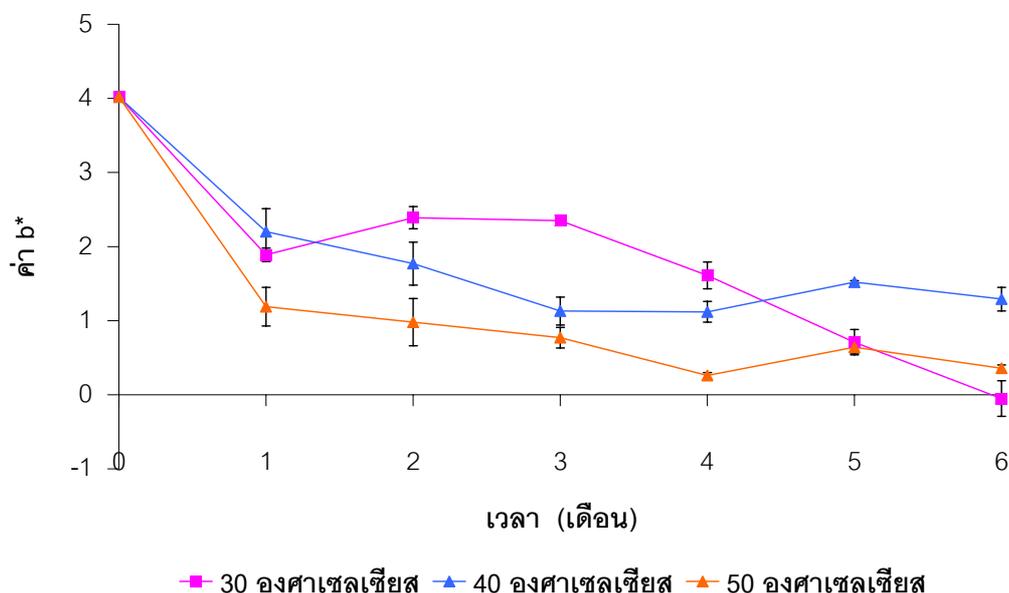
รูปที่ 5.23 ค่า b^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสถานะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



รูปที่ 5.24 ค่า L^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มี สารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 80%



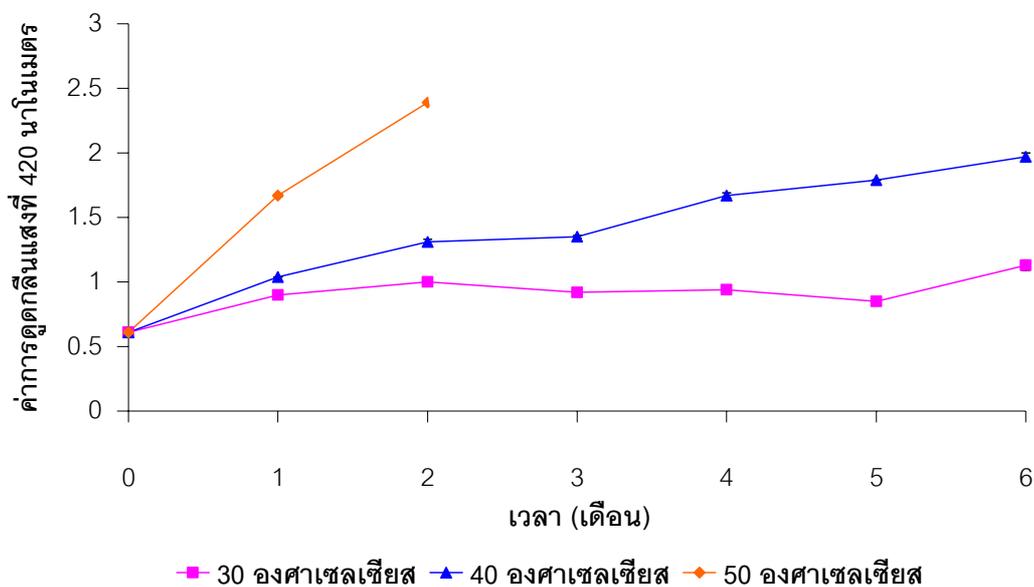
รูปที่ 5.25 ค่า a^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มี สารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 80%



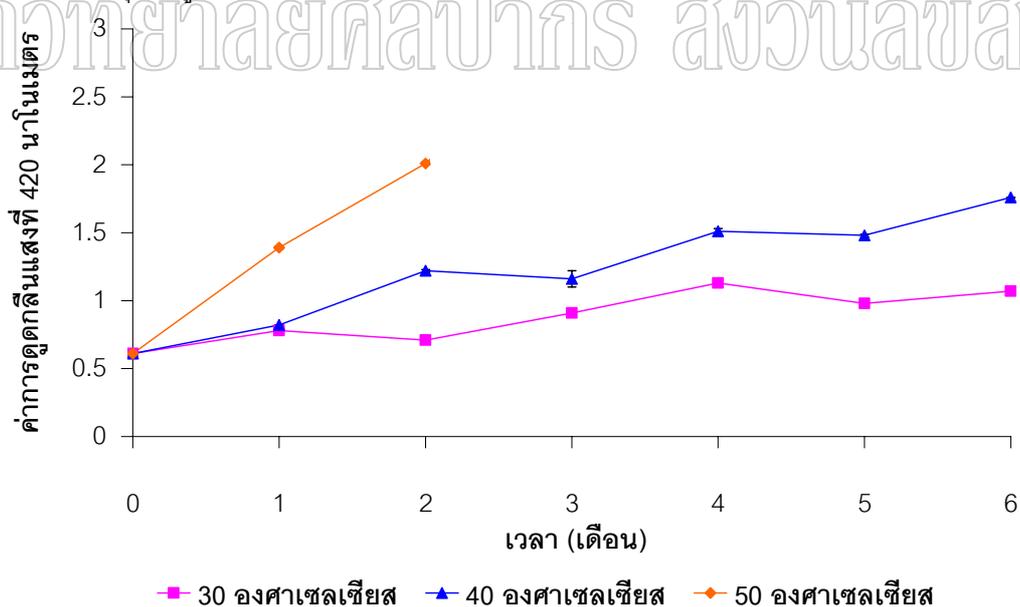
รูปที่ 5.26 ค่า b^* ของสารละลาย 50% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

5.2.6 ค่าการดูดกลืนแสง

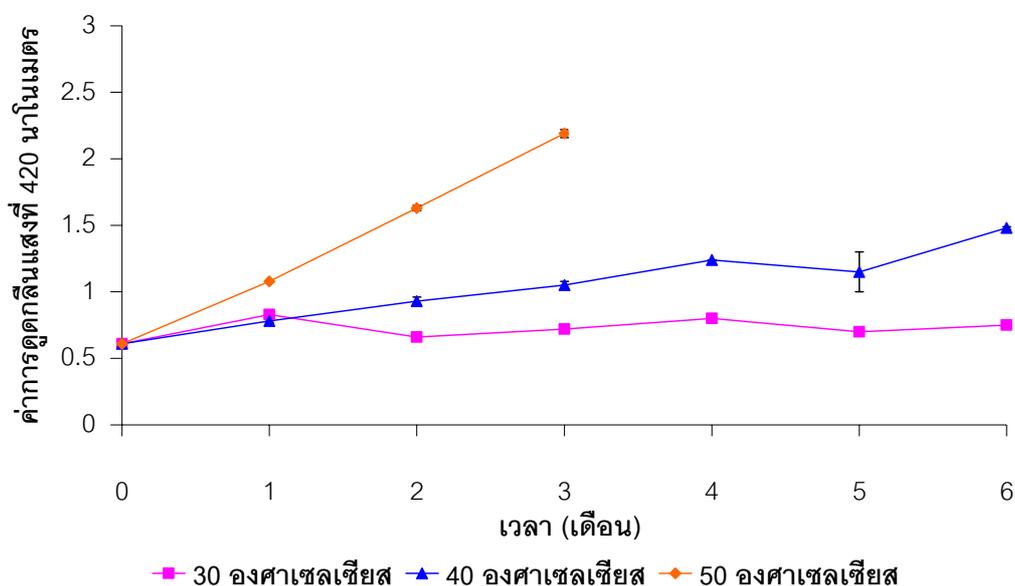
ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย 5% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว ตามวิธี ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis) ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (Apriyantono และคณะ, 2002) แสดงในรูปที่ 5.27 5.28 และ 5.29 น้ำตาลที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตในเตรทที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่าน้ำตาลที่เก็บรักษาในสารละลายเกลือมาตรฐานอิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟตตามลำดับ แสดงว่าน้ำตาลที่เก็บรักษาในสารละลายเกลือมาตรฐานอิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีความเข้มข้นของสีมากกว่า และเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็มีค่ามากขึ้น เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น น้ำตาลมะพร้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เดือนที่ 3 ในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตในเตรทที่มีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 3 ซึ่งเกินช่วงที่สามารถวัดได้



รูปที่ 5.27 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรของสารละลาย 5% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมงนี่เซียมไนเตรทที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



รูปที่ 5.28 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรของสารละลาย 5% (w/w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



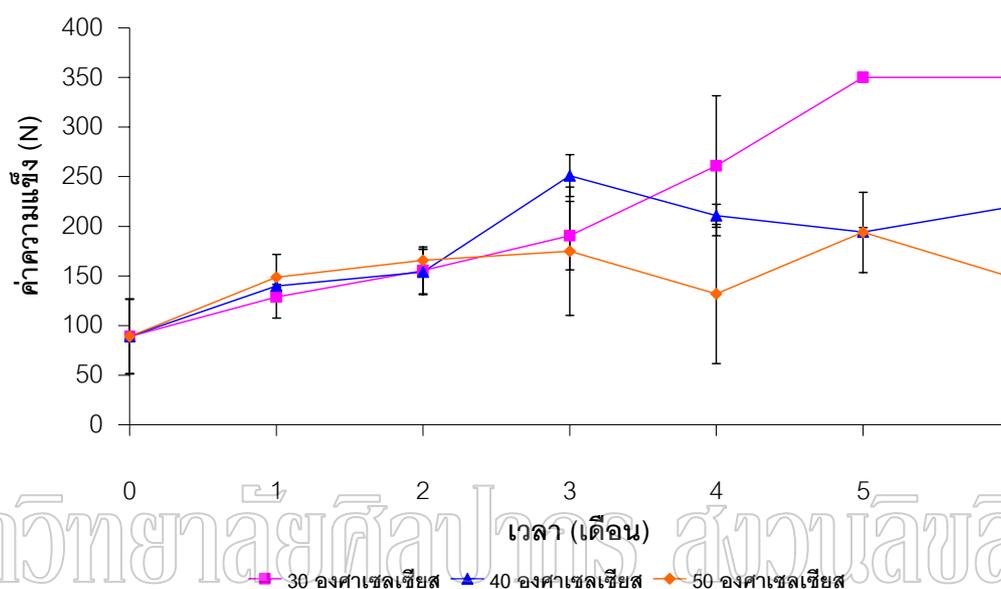
รูปที่ 5.29 ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตรของสารละลาย 5% (w/w) ของน้ำตาล

มะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่
อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

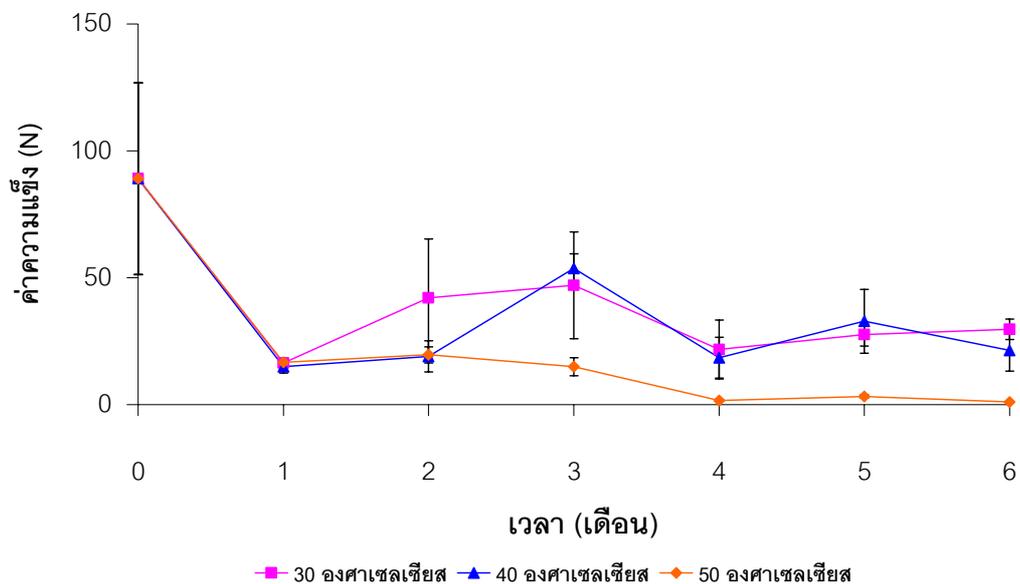
5.2.7 ค่าความแข็ง

จากผลการวัดค่าความแข็งของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวซึ่งแสดงในรูปที่ 5.30 5.31 และ 5.32 พบว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีความแข็งมากกว่าน้ำตาลที่เก็บรักษาในสารละลายเกลือโปแตสเซียมไอโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟตตามลำดับ จากการทดลองพบว่า น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีลักษณะเหลวตัวเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดการเคลื่อนย้ายโมเลกุลน้ำจากบรรยากาศเหนือสารละลายเกลืออิมิตัวที่มีปริมาณความชื้นสูงกว่าไปสู่น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่า สารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตให้ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50% สารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟตให้ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65 และ 80% ตามลำดับ

White และ Bell (1999) ที่ทำการศึกษามลกระทบของ porosity และการยุบตัว ต่อการสลายตัวของกลูโคสและปฏิกิริยาเมลลาร์ดในของแข็ง พบว่าการเพิ่มค่าวอเตอร์แอกติวิตี้หรือปริมาณน้ำอิสระ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง (glassy state) (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.33) เป็นของเหลว (rubbery state) (ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ 0.44) โมเลกุลในอาหารสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น

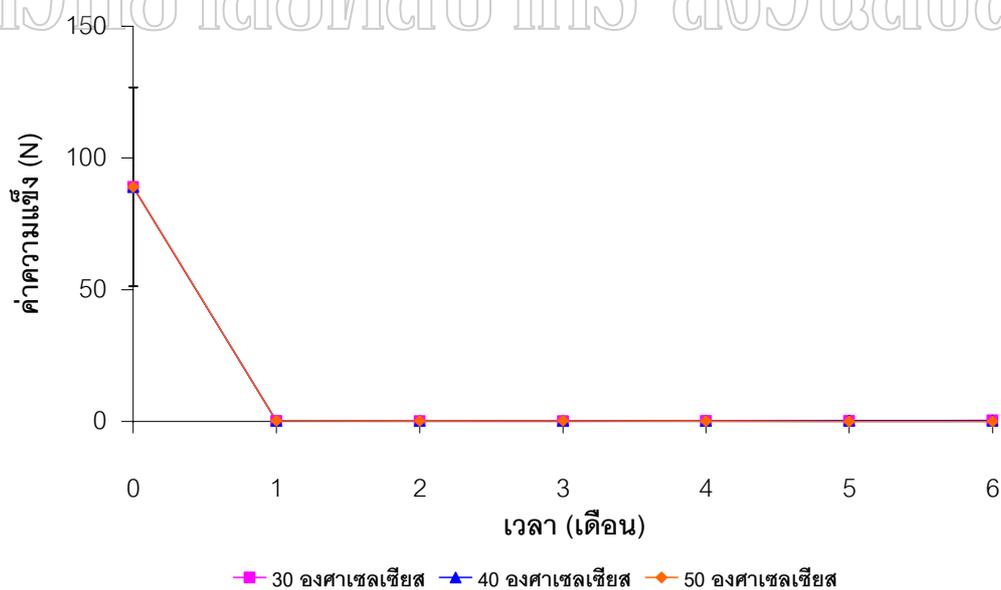


รูปที่ 5.30 ค่าความแข็งของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรทที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



รูปที่ 5.31 ค่าความแข็งของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมัลชัน

โบแตสเซียมไอโอไดด์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



รูปที่ 5.32 ค่าความแข็งของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมัลชัน

แอมโมเนียมซัลเฟตที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

5.2.8 ปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w)

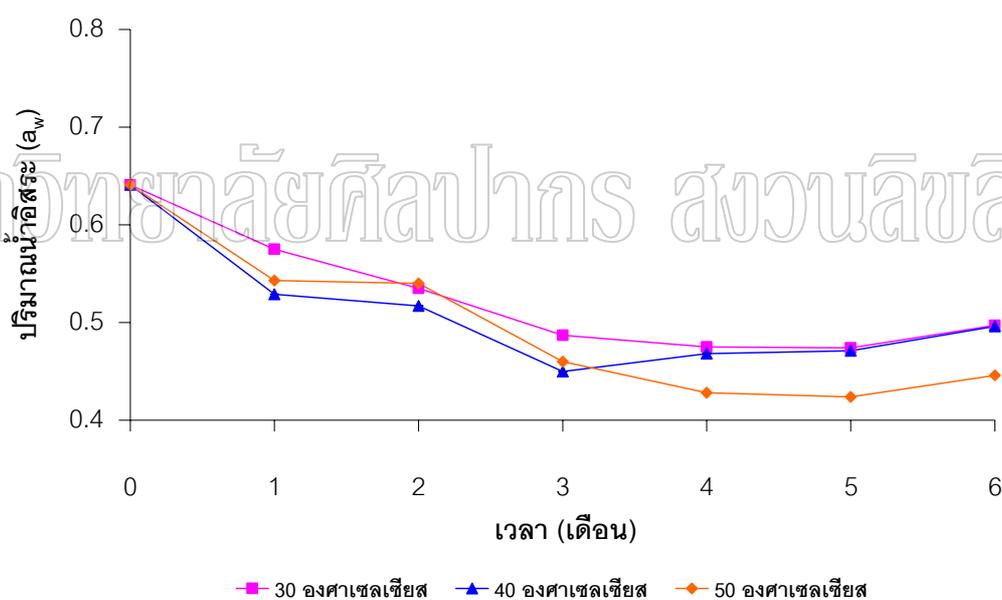
น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวชนิดต่างๆ มีค่าปริมาณน้ำอิสระเรียงลำดับจากต่ำสุดไปสูงสุด คือ เกลือแมกนีเซียมซัลเฟต โปแตสเซียมไอโอไดด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรทและแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่า ปริมาณน้ำอิสระเท่ากัน ส่วนน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสารละลายเกลือมาตรฐานอิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำสุด ดังแสดงในรูปที่ 5.33 5.34 และ 5.35 ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ความชื้นสัมพัทธ์ของสารละลายเกลืออิมิตัวมีค่าแตกต่างกัน

น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระสูง แสดงว่ามีปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้มากกว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระต่ำ จากการทดลองพบว่า น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมซัลเฟตมีค่า a_w เริ่มต้น 0.6 และลดลงจนถึง 0.4 ส่วนน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์มีค่า a_w เริ่มต้น 0.6 และค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่า a_w เริ่มต้น 0.6 ค่า a_w เพิ่มขึ้นโดยมีค่า a_w ประมาณ 0.7 ในเดือนที่ 6 น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีโอกาสเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดคือ แอมโมเนียมซัลเฟต รองลงมาคือ โปแตสเซียมไอโอไดด์ และแมกนีเซียมซัลเฟตตามลำดับ เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ที่ a_w 0.6 - 0.9 โดยค่า a_w ขั้นต่ำ (minimal a_w) ที่พวกยีสต์บางชนิดที่สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง คือ 0.6 (สุมาลี, 2541) น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6 - 0.7 จึงเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ปฏิกิริยาเมลลาร์ดจะเกิดได้ในช่วง a_w ประมาณ 0.5 - 0.8 (Belitz และ Grosch, 1999) และจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและถึงจุดสูงสุดเมื่อ a_w เป็น 0.8 เพราะความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นช่วยให้สับสเตรทเคลื่อนที่ได้ง่าย (นิธิยา, 2545) ดังนั้นน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นสูงจึงเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากกว่าน้ำตาลที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ

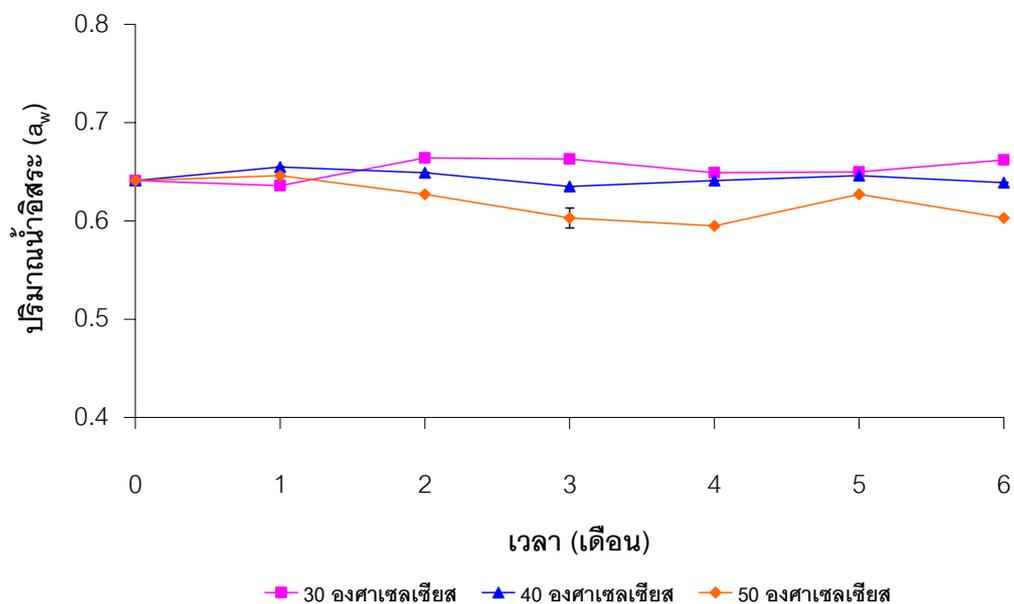
ในระหว่างการเก็บรักษา น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรทมีค่า a_w ลดลง เนื่องจากความชื้นของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวสูงกว่าสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวจึงสูญเสียความชื้นไปให้กับสภาวะแวดล้อมจึงทำให้

น้ำตาลมีความชื้นและค่า a_w ลดลง น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งมากขึ้น น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์มีค่า a_w ใกล้เคียงในทุกอุณหภูมิ และน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีค่า a_w เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวดูดความชื้นจากสภาวะแวดล้อมที่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า จึงทำให้น้ำตาลมีลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป โดยน้ำตาลมีลักษณะเหลวตัวเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น

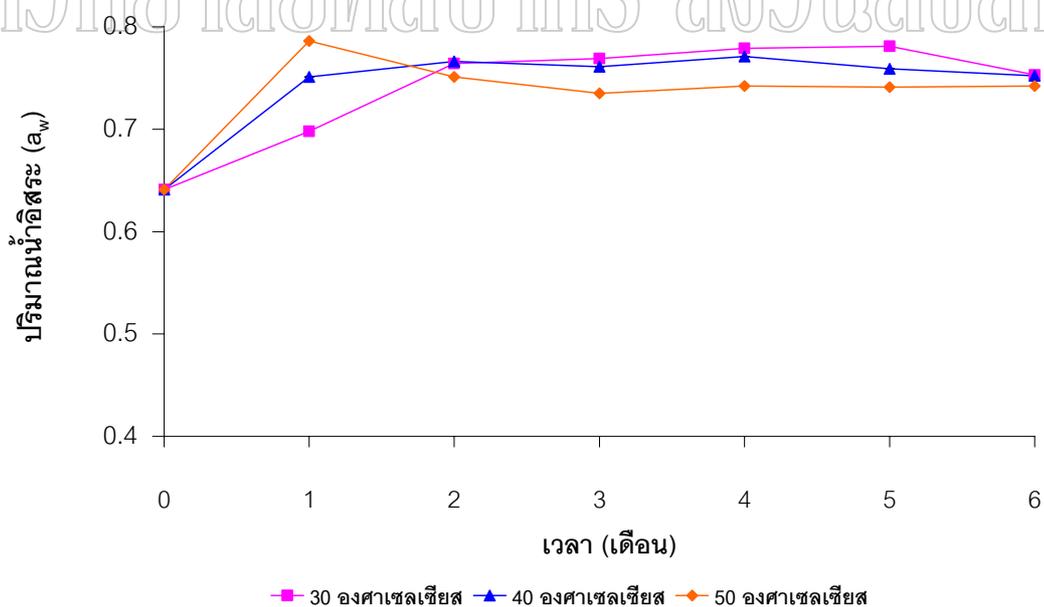
จากผลการทดลองของ Acedo และคณะ (2005) พบว่าค่า glass transition temperature (T_g) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของแข็งต่อปริมาณน้ำในอาหาร เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ค่า glass transition temperature ลดลง ส่งผลทำให้อาหารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวได้ง่ายมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด



รูปที่ 5.33 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตในเตรท ที่อุณหภูมิแตกต่างกันและความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50%



รูปที่ 5.34 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลือ อิมิตัวโปแตสเซียมไอโอไดด์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 65%



รูปที่ 5.35 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลือ อิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟต ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 80%

5.2.9 ปริมาณจุลินทรีย์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณความชื้นหรือค่าปริมาณน้ำอิสระ อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา และ พีเอช เป็นต้น จากการทดลองพบว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวเริ่มตรวจพบยีสต์และราเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน ในสภาวะการเก็บรักษาที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท โปแตสเซียมไฮโอไดด์ และแอมโมเนียมซัลเฟต และควบคุมอุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีค่าปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของยีสต์และรา โดยที่ออกซิโมฟิลิเคียสต์และราบางชนิดจะสามารถเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีค่าปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.60 (นิธิยา, 2545) และจะเริ่มตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน ในสภาวะการเก็บรักษาที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวโปแตสเซียมไฮโอไดด์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และในสภาวะการเก็บรักษาที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ของผลิตภัณฑ์น้ำตาลมะพร้าว กำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^4 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และต้องไม่มีปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 6 เดือน

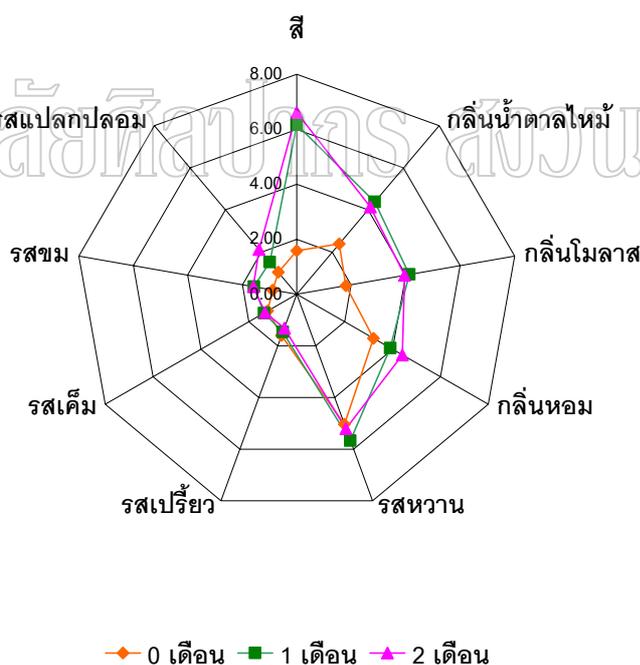
ระยะ เวลาเก็บ รักษา (เดือน)	30 องศาเซลเซียส						40 องศาเซลเซียส						50 องศาเซลเซียส						
	Mg(NO ₃) ₂		KI		(NH ₄) ₂ SO ₄		Mg(NO ₃) ₂		KI		(NH ₄) ₂ SO ₄		Mg(NO ₃) ₂		KI		(NH ₄) ₂ SO ₄		
	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	Y	T	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2	-	4	-	7	-	2	-	9	-	4	-	5	-	3	-	1	-	-
4	1	4.4	3	-	5	-	1	-	2	-	3	-	1	4.4	1	-	1	-	-
5	2.4	3	5	2.5	6	4	1.6	2	5	2.2	4	5	2.1	5	3	2	2	3	3
6	2	5	4.7	3	6	5	3	3	4.1	3	5.3	5.5	3	4	2.5	3	2.3	3	3

หมายเหตุ: Y หมายถึง ปริมาณยีสต์และรา (CFU/g)

T หมายถึง ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)

5.2.10 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

จากผลการวิเคราะห์เชิงบรรยายปริมาณของสารละลายน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว 12 °Brix ของตัวอย่างที่เก็บรักษาที่ 0 1 และ 2 เดือน ในสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงในรูปภาพที่ 5.36 และตารางที่ 5.2 พบว่าน้ำตาลที่ 0 เดือน มีคุณสมบัติทางด้านสี กลิ่นน้ำตาลไหม้ และกลิ่นโมลาสแตกต่าง จากน้ำตาลเดือนที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยน้ำตาลเดือนที่ 0 มีค่าสี กลิ่นน้ำตาลไหม้และกลิ่นโมลาสอ่อนกว่าเดือน 1 และ 2 เนื่องจากเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าสี และกลิ่นรสของน้ำตาลมะพร้าว ส่วนคุณลักษณะทางด้านกลิ่นหอม รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม รสขมและกลิ่นรสแปลกปลอม ของน้ำตาลมะพร้าวในทุกตัวอย่างที่ทดสอบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



รูปที่ 5.36 กราฟใยแมงมุมแสดงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสจากการวิเคราะห์เชิงบรรยายปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis) น้ำตาลมะพร้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 0 1 และ 2 เดือนในสภาวะสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการวิเคราะห์เชิงบรรยายปริมาณ (Quantitative Descriptive Analysis) ของน้ำตาลมะพร้าวเดี่ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 0 1 และ 2 เดือนในสภาวะสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท

คุณลักษณะที่ทดสอบ	เดือน		
	0	1	2
สี	1.58±1.10 ^B	6.17±1.12 ^A	6.62±0.92 ^A
กลิ่นน้ำตาลไหม้	2.50±1.41 ^B	4.38±1.29 ^A	4.14±1.61 ^A
กลิ่นโมลาส	1.80±1.29 ^B	4.13±1.66 ^A	3.95±1.95 ^A
กลิ่นหอม	3.21±3.18 ^A	3.92±1.64 ^A	4.42±2.26 ^A
รสหวาน	5.05±2.27 ^A	5.67±1.62 ^A	5.20±1.72 ^A
รสเปรี้ยว	1.59±1.70 ^A	1.46±1.40 ^A	1.32±1.43 ^A
รสเค็ม	1.21±1.60 ^A	1.36±1.60 ^A	1.31±1.69 ^A
รสขม	0.88±0.93 ^A	1.57±1.50 ^A	1.59±1.54 ^A
กลิ่นรสแปลกปลอม	1.05±1.45 ^A	1.53±1.61 ^A	2.13±2.02 ^A

หมายเหตุ แบบอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.5$)

5.3 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาสภาวะในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่มีการปรับความชื้นสัมพัทธ์โดยใช้สารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรท โปแตสเซียมไฮโอไดด์และแอมโมเนียมซัลเฟต มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50 65 และ 80% ตามลำดับ ระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีความชื้นและปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มากที่สุด รองลงมาคือโปแตสเซียมไฮโอไดด์และแมกนีเซียมไนเตรท ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยตัวอย่างที่มีปริมาณความชื้นมากจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อย

เมื่อระยะเวลาการเก็บมากขึ้นน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแอมโมเนียมซัลเฟตมีลักษณะเหลวตัวในทุกอุณหภูมิ เมื่อนำไปตรวจวัดค่าความแข็งพบว่ามีความแข็งต่ำที่สุด ส่วนน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาในสภาวะที่มีสารละลายเกลืออิมิตัวแมกนีเซียมไนเตรทมีความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือโปแตสเซียมไฮโอไดด์

จากการตรวจวัดค่าพีเอชพบว่า ค่าพีเอชของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น ปริมาณกรดทั้งหมดของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดทั้งหมดใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 6 น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณกรดมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชที่มีแนวโน้มลดลง

จากการวัดค่าสีพบว่าน้ำตาลมะพร้าวทุกสภาวะของการเก็บรักษามีค่า L^* ลดลง แสดงว่าน้ำตาลมีสีคล้ำมากขึ้น น้ำตาลมะพร้าวมีค่า a^* ไปในทิศทางลบเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีสีไปในทิศทางสีเขียว ส่วนค่า b^* สีไปในทิศทางสีเหลือง

ในการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์พบว่าเริ่มตรวจพบยีสต์และราเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน เนื่องจากน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีค่า a_w เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของยีสต์และรา และจะเริ่มตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน

การทดสอบคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวเดือนที่ 0 ถึง 2 เมื่อเก็บรักษาในสารละลายเกลืออิ่มตัวแมกนีเซียมไนเตรท อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าค่าสี กลิ่น น้ำตาลไหม้และกลิ่นโมลาส ของเดือนที่ 0 แตกต่างจากเดือนที่ 1 และ 2 ส่วนคุณลักษณะของกลิ่น หอม รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม รสขม และกลิ่นแปลกปลอมไม่มีความแตกต่างกันในทุกตัวอย่าง ($p < 0.05$)

4. การนำไปประยุกต์ใช้

น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวควรเก็บรักษาในสภาวะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 50-65% ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเก็บได้นานเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

สรุป

เมื่อพิจารณาผลของพีเอชและวิธีการให้ความร้อนในการเคี้ยวน้ำตาลมะพร้าว พบว่าน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีแนวโน้มให้สีเข้มขึ้น ถ้าพีเอชของน้ำตาลสดวัตถุดิบเป็นต่างมากขึ้น และการให้ความร้อนแบบช้าให้สีเข้มกว่าการให้ความร้อนแบบเร็ว น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวจากน้ำตาลสดพีเอช 4.0 มีลักษณะเหลวหนืด ไม่แข็งตัว และมีรสเปรี้ยว น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวจากน้ำตาลสดพีเอช 5.5 7.0 8.5 และน้ำตาลสดที่ไม่ได้ปรับพีเอช มีลักษณะแข็งตัวทั้งในตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนแบบช้าและแบบเร็ว

จากการศึกษาผลของปริมาณสารฟอกสีเมตาไบซัลไฟต์และไฮโดรซัลไฟต์ต่อคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว พบว่า สารฟอกสีเมตาไบซัลไฟต์มีประสิทธิภาพในการฟอกสีไม่แตกต่างจากสารฟอกสีไฮโดรซัลไฟต์ เมื่อเติมสารฟอกสีปริมาณมากขึ้นส่งผลให้สีของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีความเข้มลดลง และปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างสูงขึ้น

ส่วนการศึกษการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำตาลมะพร้าวระหว่างการเก็บรักษาพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษามากขึ้น น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีสีเข้มขึ้นในทุกตัวอย่าง ค่าความแข็งของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวมีแนวโน้มลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น โดยความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการเก็บรักษาน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวคือ 50-65% ที่อุณหภูมิห้อง และเก็บรักษาได้นานเป็นระยะเวลาประมาณ 3 เดือน

ข้อเสนอแนะ

น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่ผลิตจากน้ำตาลสดพีเอช 5-7 โดยการให้ความร้อนแบบเร็ว จะได้ น้ำตาลที่มีคุณลักษณะที่ดีกว่าที่พีเอชต่ำ เพราะน้ำตาลเคี้ยวมีลักษณะเหลวหนืด ไม่แข็งตัว และมีรส เบี้ยวไม่เหมาะต่อการนำมาประกอบอาหาร แต่ถ้าน้ำตาลสดมีพีเอชสูง จะทำให้น้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว มีสีเข้มมาก ดังนั้นควรมีการปรับพีเอชของน้ำตาลสดก่อนนำมาเคี้ยวเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ สม่ำเสมอ

จากผลการทดลองพบว่าไซเดียมเมตาไบซัลไฟด์มีประสิทธิภาพเทียบเท่าไซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ซึ่งเป็นสารฟอกสีที่ไม่อนุญาตให้ใช้ในอาหาร แต่การผลิตน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวในปริมาณมาก อาจมี ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตกค้างในน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวแตกต่างจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เนื่องจากความร้อนที่เหลืออยู่ในน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาอัตราการตกค้างของ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เมื่อประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม

การเหลวตัวของน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยวที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาป้องกันได้โดยการ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ แต่ในทางการค้าอาจใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถควบคุมอัตราการ แพร่ผ่านของอากาศหรือใช้สารดูดซับความชื้น ดังนั้นควรมีการศึกษาถึงชนิดของบรรจุภัณฑ์และชนิด ของสารดูดความชื้นที่เหมาะสมต่อน้ำตาลมะพร้าวเคี้ยว