บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก อุณหภูมิ และเวลา ต่อการลด ปริมาณความชื้นของแก้วมังกร

ปอกผลแก้วมังกรสดพันธุ์สีขาว ให้มีขนาด 4×4×1 เซนติเมตร (ภาพที่ 4.1) แล้วแช่ในสารละลายออสโมติก 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 1.5 กรัม แคลเซียมคลอไรด์ 0.15 กรัม โพแทสเซียมซอร์เบต 0.25 กรัม และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.25 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อการตรวจวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

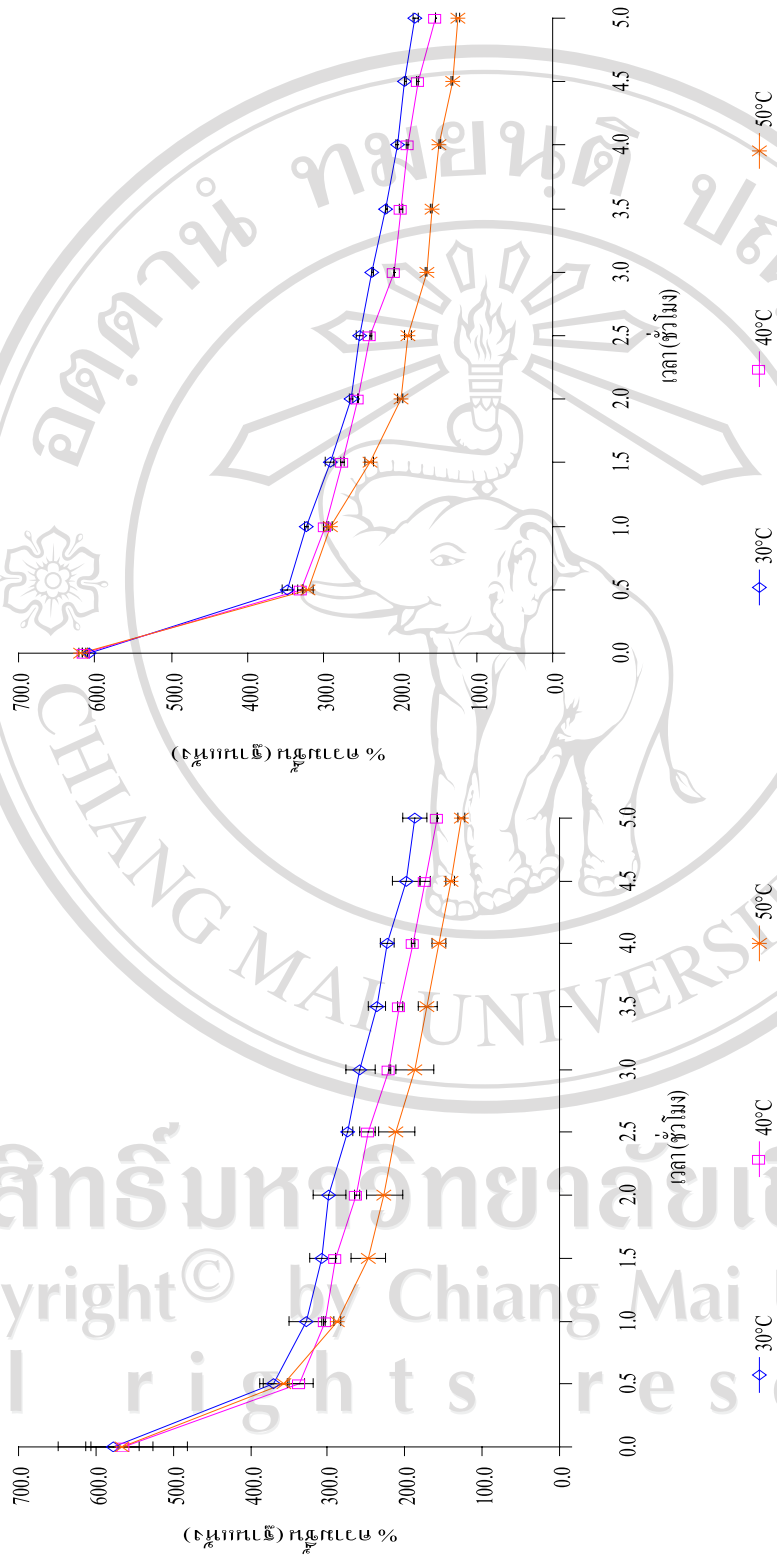
ภาพ 4.1 แก้วมังกรขนาด 4×4×1 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1 ปริมาณความชื้นระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

แก้วมังกรสดมีปริมาณน้ำอยู่ในช่วง 564.76 ± 83.84% ถึง 619.09 ± 2.03% (ฐานแห้ง) นำแก้วมังกรแช่ในสารละลายออสโมติก 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม สุ่มตัวอย่างชิ้นแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ออกมาเป็นระยะเวลาใน ทุก 30 นาที เพื่อหาปริมาณ น้ำของแก้วมังกรจนครบกำหนดระยะเวลา ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30 , 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมง ในภาพพบว่าเมื่อระยะเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นปริมาณ น้ำของตัวอย่างแก้วมังกรลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นลดลงมากในช่วง 30 นาทีแรกของการแช่ หลังจากนั้นอัตราการลดลงของความชื้นจะต่ำลง ทั้งนี้ มีสาเหตุจากความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายหรือสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่าภายในเซลล์ รวมทั้งเกิดจากความต่างศักย์ของน้ำ กล่าว คือน้ำมีการเคลื่อนที่จากที่มีศักย์ของน้ำสูงไปยังที่มีศักย์ของน้ำต่ำกว่า หรือเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลต่ำกว่า ซึ่งค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลเป็นค่าที่แสดงถึงระดับพลังงานอิสระของน้ำ โดยปกติน้ำจะมีค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลสูงที่สุด ในกรณีที่เป็นสารละลายซึ่งมีตัวถูกละลายปนอยู่ในน้ำซึ่งทำให้โมเลกุลของน้ำลดลง ส่งผลให้ค่าพลังงานอิสระของน้ำลดลง ยิ่งมีตัวถูกละลายมากขึ้นเท่าใดระดับพลังงานอิสระของน้ำจะยิ่งลดลงมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากมีโมเลกุลของตัวถูกละลายแทรกอยู่ ซึ่งน้ำภายในแก้วมังกรมีค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลสูงกว่าค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลของสารละลาย จึงทำให้ปริมาณน้ำภายในชิ้นของแก้วมังกรเคลื่อนที่ออกมาภายนอก จนกระทั่งเข้าสู่สมดุล และความชื้นสุดท้ายมีค่าอยู่ในช่วง 124.97 ± 2.52% ถึง 186.65 ± 15.75% (ฐานแห้ง) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ปวีณา (2550) ซึ่งทำการทดลองในมะม่วงแก้ว และการทดลองของ Rastogi and Raghavarao (2004) ทำการทดลองในสับปะรด คือเมื่อระยะเวลาในการแช่ชิ้นตัวอย่างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลง เมื่อพิจารณาในส่วนของความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม พบว่ามีปริมาณความชื้ นลดลงมากกว่าที่ความเข้มข้นสารละลาย ออสโมติก 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ในทุกอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.2 ยังพบว่าในช่วง 30 นาทีแรก อุณหภูมิของสารละลายไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นในแก้วมังกร แต่เมื่อเวลาผ่านไปความชื้นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและผลของอุณหภูมิจะคงที่ตลอดระยะเวลา 5 ชั่วโมง เนื่องจากในช่วง 30 นาทีแรกมีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารละลายที่สูงมากทำให้ปริมาณความชื้นในช่วงระยะเวลานี้ลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอุณหภูมิของสารละลายในช่วง 30 นาทีแรกจึงไม่มีผลต่อปริมาณความชื้นของแก้วมังกร เมื่อเวลาผ่านไปน้ำภายในแก้วมังกรจะแพร่ออกมาสู่ภายนอกทำให้ความเข้มข้นของสารละลายภายนอกลดลงหรือมีความแตกต่างของความเข้มข้นลดลง ทำให้ผลของความเข้มข้นต่อปริมาณความชื้นลดลง เมื่อพิจารณาที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงมากกว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 30 องศาเซลเซียส ในความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสารละลายจะมีความหนืดลดลง และอุณหภูมิสูงยังทำให้เซลล์เมมเบรนสูญเสียคุณสมบัติที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน จึงเกิดการแพร่ของน้ำในอาหารออกมายังสารละลายได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tonon *et al.* (2007) ศึกษาผลกระทบของการทำแห้งแบบออสโมซิส โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส ต่ออัตราการถ่ายเทมวลของมะเขือเทศเชอรี่ (*Lycopersicum esculentum* Mill) ที่ผ่าครึ่ง พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายออสโมติกสูงขึ้นปริมาณน้ำในมะเขือเทศลดลง เนื่องจากอุณหภูมิของสารละลายสูงทำให้ความหนืดลดลงเป็นการเพิ่มอัตราการไหลเวียนของสารละลาย จึงมีผลต่อการลดปริมาณน้ำของมะเขือเทศเชอรี่ และยังพบว่าการกวนหรือการคนสารละลายมีผลต่อการลดปริมาณน้ำออกจากมะเขือเทศเชอรี่ด้วย ความเร็วในการกวนมีผล ให้ปริมาณน้ำออกจากตัวอย่างมะเขือเทศ เชอรี่ คือยิ่งใช้ความเร็วในการกวนสูง (1000 rpm) อัตราการลดลงของน้ำในมะเขือเทศเชอรี่ก็จะสูงด้วย แต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในมะเขือเทศ เชอรี่ที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในการศึกษาผลของการกวนหรือคนสารละลายออสโมติกของ Azuara *et al.* (1996) พบว่าในระบบของกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อทำการกวนตลอดเวลาทำให้ปริมาณความชื้นมีค่าลดลงเร็วกว่ากระบวนการที่ไม่ได้ทำการกวน และปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นมากกว่าเช่นกัน

นอกจากนี้ระยะเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกยังมีผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้น โดยแก้วมังกรที่แช่ในสารละลายออสโมติกในระยะเวลาสั้นกว่าปริมาณความชื้นจะลดลงน้อยกว่าแก้วมังกรที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่ใช้ระยะเวลานาน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mandala *et al.* (2005) ที่ศึกษาการทำแห้งโดยการออสโมซิสแอปเปิลโดยใช้สารละลายน้ำตาล 2 ชนิด คือ กลูโคส และซูโครส ที่ความเข้มข้น 30 % w/w และ 45% w/w โดยใช้ระยะเวลาในการแช่ 3, 12 และ 18 ชั่วโมง พบว่าในการทำแห้งแบบออสโมซิสที่ใช้ระยะเวลานานสามารถลดปริมาณน้ำออกจากตัวอย่างได้มากกว่าการทำแห้งแบบออสโมซิสที่ใช้ระยะเวลาสั้น

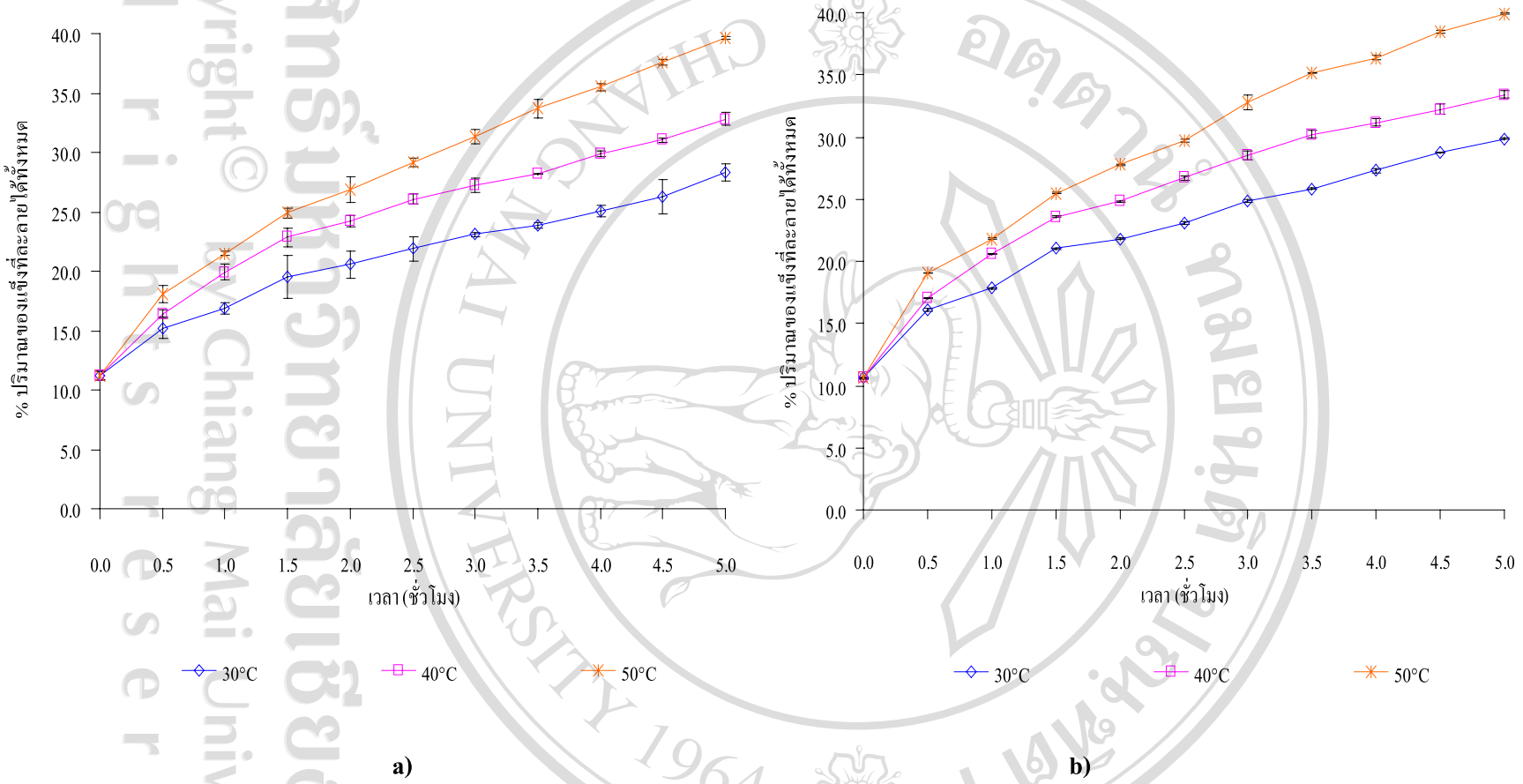
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยระยะเวลาในการแช่ 3 ชั่วโมง มีการลดปริมาณน้ำออกจากตัวอย่างต่ำ ส่วนการทำแห้งแบบออสโมซิสที่ใช้ระยะเวลานาน (18 ชั่วโมง) การลดปริมาณน้ำออกจากตัวอย่างและการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะสูง อย่างไรก็ตามการใช้ระยะเวลาในการทำแห้งแบบออสโมซิสนานเกินไปทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังไปทำลายโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสารละลายน้ำตาลซูโครสเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เมื่อมีการแพร่เข้าสู่ตัวอย่างจะทำลายโครงสร้างภายใน และการที่มีปริมาณของแข็งเข้าไปในตัวอย่างมากเกินไป เป็นผลให้ใช้เวลาในการทำแห้งด้วยลมร้อนนานขึ้นด้วย ดังนั้นการทำแห้งแบบออสโมซิสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จึงมีความเหมาะสม กับการทดลองดังกล่าว เนื่องจากมีการลดปริมาณน้ำออกจากตัวอย่างและมีการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้ที่เหมาะสม

4.1.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

เมื่อนำแก้วมังกรแช่ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม จากนั้นสุ่มตัวอย่างชิ้นแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ออกมาทุก 30 นาที เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ จนครบกำหนดเวลา 5 ชั่วโมง ผลการทดลองดังภาพที่ 4.3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมดกับเวลา ในภาพจะเห็น ว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของแก้วมังกร ที่เวลาเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 10.60 ± 0.07 ถึง 11.25 ± 0.35 องศาบริกซ์ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปริมาณของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด โดยมีค่า 28.30 ± 0.71 ถึง 39.93 ± 0.04 องศาบริกซ์ อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระยะเวลาการแช่ 5 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ลักษณะของเส้นกราฟมีความชันมาก ดังนั้นหากเพิ่มระยะเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติก อาจพบว่าเกิดการถ่ายเทมวลอย่างต่อเนื่องอีกระยะหนึ่งจนกว่าระบบจะเข้าสู่สมดุล เส้นกราฟที่ได้จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และจะคงที่เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4. 3 การเปลี่ยนแปลง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ในชิ้นแก้วมังกร ระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

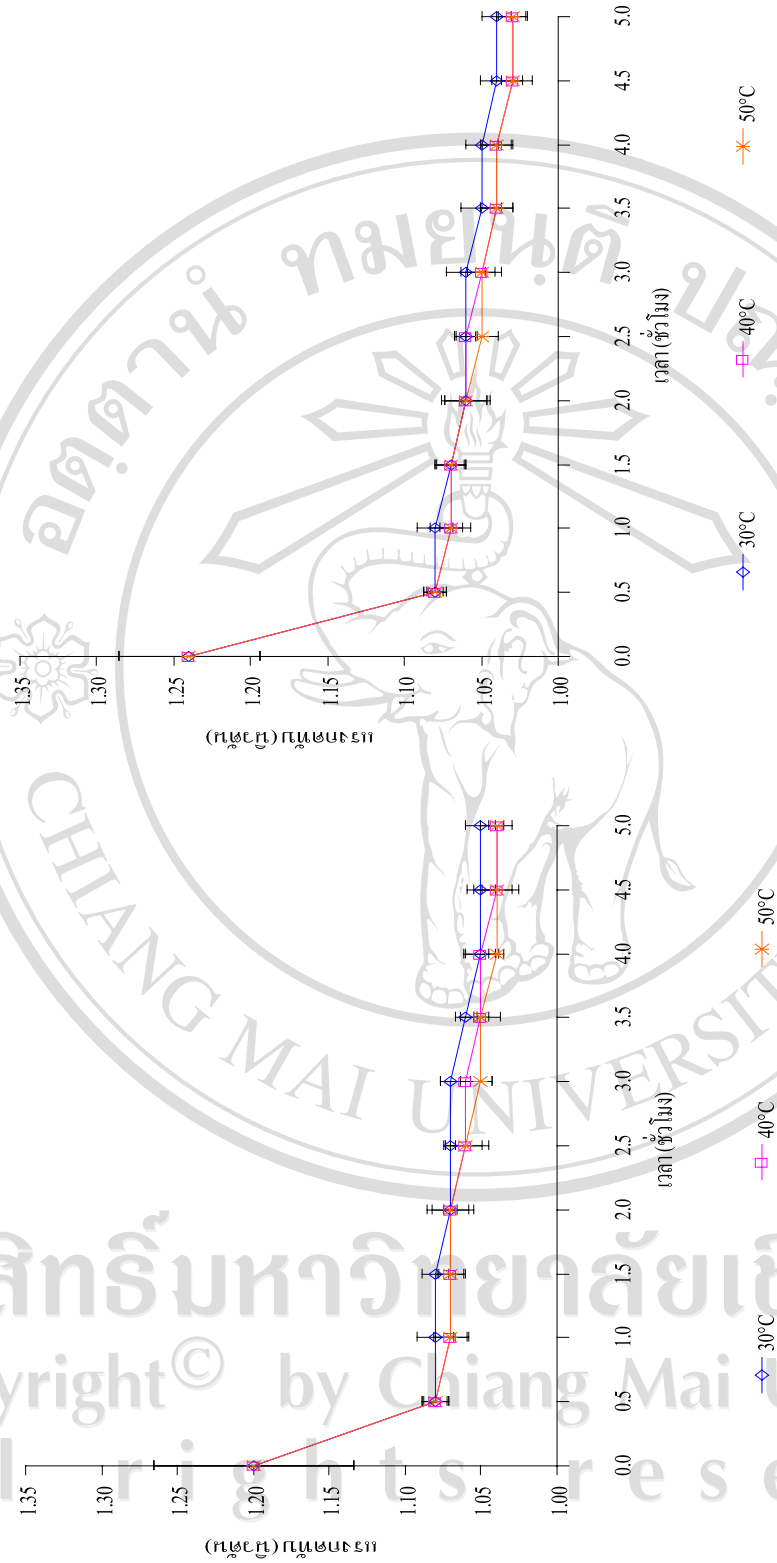
จากภาพที่ 4.3 เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม จะเห็นว่ามีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่าที่ความเข้มข้น 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ในทุกอุณหภูมิ เนื่องจากสารละลายออสโมติกมี ความเข้มข้น สูงทำให้การถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Tonon *et al*. (2007) ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือ หรือน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นอัตราการถ่ายเทมวลของมะเขือเทศก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดัน ออสโมติก ระหว่างภายนอกและภายใน เซลล์สูงขึ้น ทำให้น้ำที่อยู่ภายในเกิดการแพร่ออกมายังผิวนอกได้มาก ขึ้น และตัวถูกละลาย ที่อยู่ภายนอกก็จะเคลื่อนที่เข้าไปภายในมะเขือเทศได้มาก ขึ้นเช่นกัน แต่การใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมากเกินไปอาจมีผลต่อรสชาติได้ เมื่อพิจารณาจากผลของอุณหภูมิพบว่าในช่วง 30 นาทีแรกอุณหภูมิเริ่มมีผลต่อการแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และผลของอุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ตลอดระยะเวลา 5 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด ที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสารละลายออสโมติกทำให้ เกิดการออสโมซิสได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Barat *et al.,* 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในสับปะรดของ Rastogi and Raghavarao (2004) ส่วนการศึกษากระบวนการออสโมติกพริกเขียวทรงลูกบาศก์ของ Ozen *et al.* (2002) โดยมีการใช้สารละลายเกลือแกง 2 % ถึง 10% และ ซอบิทอล 2% ถึง10 % ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการถ่ายเทมวลในช่วง 2 ชั่วโมงแรก คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการถ่ายเทมวลเร็วขึ้น เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยระหว่างอุณหภูมิกับความเข้มข้นของสารละลาย ปัจจัยที่สำคัญต่อกระบวนการออสโมติกพริกเขียวคือความเข้มข้นของสารละลาย การทดลองนี้เมื่อพิจารณาระหว่างปริมาณความชื้นกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดพบว่าเมื่อเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกผ่านไปปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นโดยจะแปรผกผันกับปริมาณความชื้นที่ลดลง เนื่องจากในขณะเกิดการออสโมซิส น้ำที่อยู่ภายในอาหารจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาในสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง ขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายจะผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป การแพร่ของน้ำภายในอาหารและตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้นภายนอกเกิดขึ้นพร้อมกันแต่ในทิศทางตรงข้ามกัน (รัตนาและพิไลรัก, 2541)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสโดยวัดแรงกดทับ (compression force) และแรงเฉือน (shear force) ของชิ้นแก้วมังกรระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

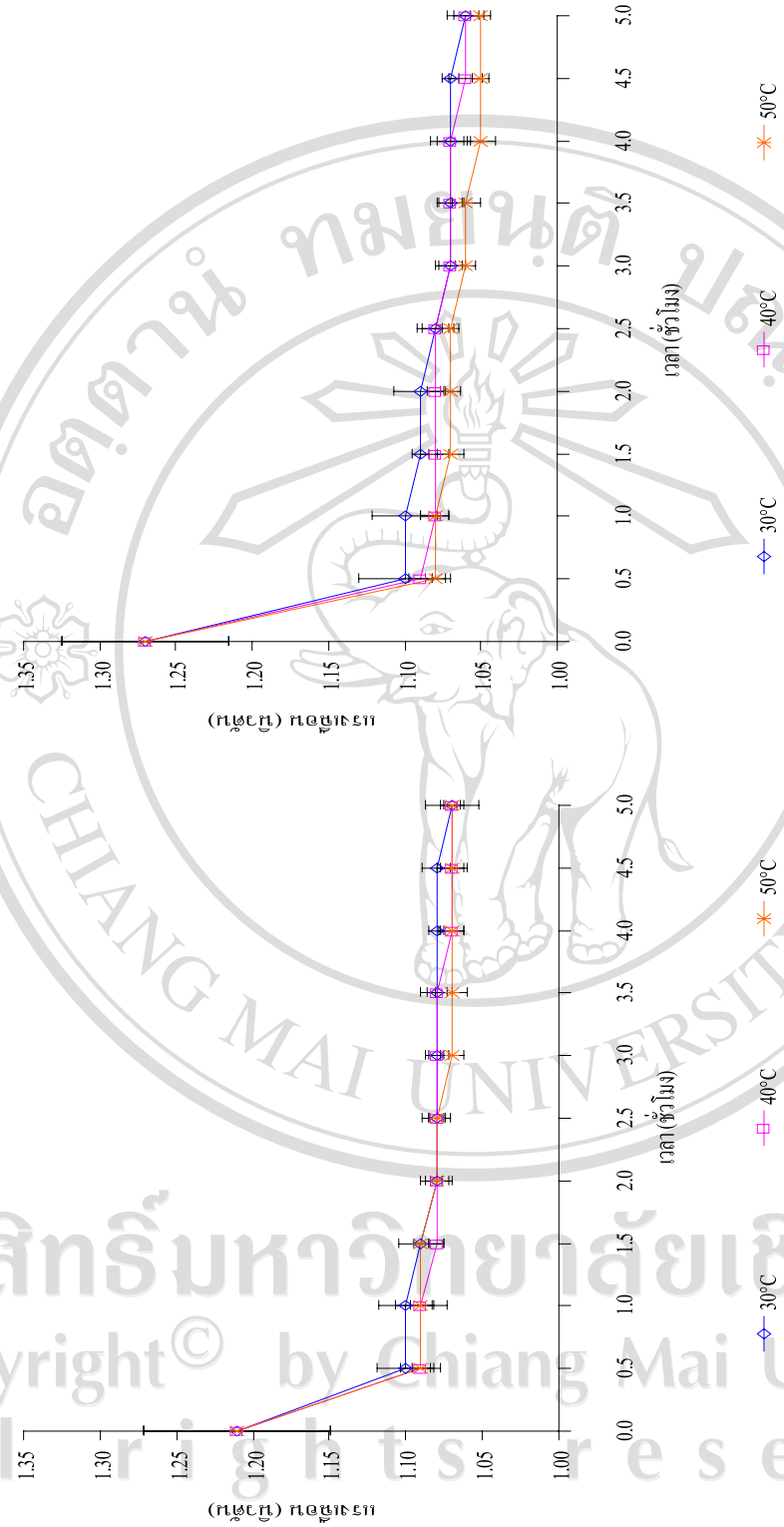
เมื่อนำแก้วมังกรแช่ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ทำการสุ่มตัวอย่างชิ้นแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ออกมาทุก 30 นาที เพื่อทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของแก้วมังกรระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน โดยการวัดค่า แรงกดทับและแรงเฉือน นในทุกสภาวะ จนครบกำหนดเวลา ได้ผลจากการทดลองดังภาพที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดทับและแรงเฉือนของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติก ที่ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าเมื่อทำการวัดค่าแรงกดทับแก้วมังกรที่เวลาเริ่มต้นพบว่ามีค่า แรงกดทับ เฉลี่ยเท่ากับ 1.20 ± 0.07 ถึง 1.24 ± 0.05 นิวตัน และแก้วมังกรที่เวลาเริ่มต้นมีค่าแรงเฉือนเฉลี่ยเท่ากับ 1.21 ± 0.06 ถึง 1.27 ± 0.06 นิวตัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างชิ้นแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ออกมาทุก 30 นาที เพื่อทำการวัดค่าแรงกดทับและค่าแรงเฉือน พบว่าเมื่อเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น ค่าแรงกดทับและแรงเฉือนมีค่าลดลง เนื่องจากแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติกเกิดการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำในอาหาร ซึ่งมีผลกระทบต่อโครงสร้างของเซลล์ เมื่อมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ทำให้ผนังเซลล์เสียรูปทรงและยุบตัว ส่งผลให้เซลล์และเซลล์ข้างเคียงเหี่ยว และมีปริมาตรลดลง (นิธิยา , 2543) นอกจากนี้ยังพบว่าแรงกดทับและแรงเฉือนมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และลดลงอย่างช้า ๆ ในเวลาต่อมา เมื่อระยะเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกผ่านไป 5 ชั่วโมง ค่า แรงกดทับของแก้วมังกรที่ความเข้มข้น 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่า 1.05 ± 0.01, 1.04 ± 0.01 และ 1.04 ± 0.01 นิวตัน ตามลำดับ และค่าแรงเฉือนมีค่า 1.07 ± 0.02 นิวตัน ในทุกอุณหภูมิ ส่วนค่า แรงกดทับของแก้วมังกรที่ความเข้มข้น 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส มีค่า 1.04 ± 0.01, 1.03 ± 0.01 และ1.03 ± 0.01 นิวตัน ตามลำดับ และค่าแรงเฉือนมีค่า 1.06 ± 0.01, 1.06 ± 0.01 และ1.05 ± 0.01 นิวตัน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดทับของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของแก้วมังกรขณะแช่ในสารละลายออสโมติกพบว่าแรงต้านที่มากระทำต่อแก้วมังกรมีค่าลดลงเนื่องจากแรงกดทับที่ใช้กระทำต่อแก้วมังกรทำให้รูปร่างของแก้วมังกรมีขนาดหรือปริมาตรของแก้วมังกรเล็กลงโดยทำให้รูปทรงยุบตัวลง ทั้งนี้เนื่องจากชิ้นแก้วมังกรมีโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น เช่นเดียวกันกับแรงเฉือนที่ใช้ จะเห็นว่า แรงตัดแก้วมังกรซึ่ง ทำให้แก้วมังกร ถูกแยกออกเป็นสองส่วน มีปริมาณน้อยลงทำให้ค่าแรงเฉือนที่ได้มีค่าลดลง แต่แนวโน้มของการลดลงของค่าแรงกดทับและแรงเฉือนไม่มีความแตกต่างกันเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แสดงว่าโครงสร้างของแก้วมังกรมีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนในช่วง 30 นาทีแรกของการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติก หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างแก้วมังกรมีเพียงเล็กน้อย อัตราการลดลงของค่าแรงกดทับและแรงเฉือนมีค่าลดลงมากในช่วง 30 นาทีแรกเนื่องจากการลดลงรวดเร็วของปริมาณความชื้นในช่วง 30 นาทีแรก หรือมีการถ่ายเทมวลอย่างรวดเร็วจากความแตกต่างของ แรงดัน (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอก ปริมาณน้ำในอาหารออกมาสู่ผิวอาหารอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างของแก้วมังกรในช่วงแรกเกิดการหดตัว ลักษณะผิวหน้าของแก้วมังกรเริ่มอ่อนตัวแตกต่างกับแก้วมังกรสด (ภาพที่ 4.6) และลักษณะภายในแก้วมังกรจะมีเมล็ดคล้ายเมล็ดงา หรือเมล็ดแมงลักติดอยู่ รวมทั้งมีเส้นใยอยู่มาก (คชษิณ, 2544)

a) **b)**

ภาพ 4.6 a) แก้วมังกรสด b) แก้วมังกรผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 55 กรัม อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

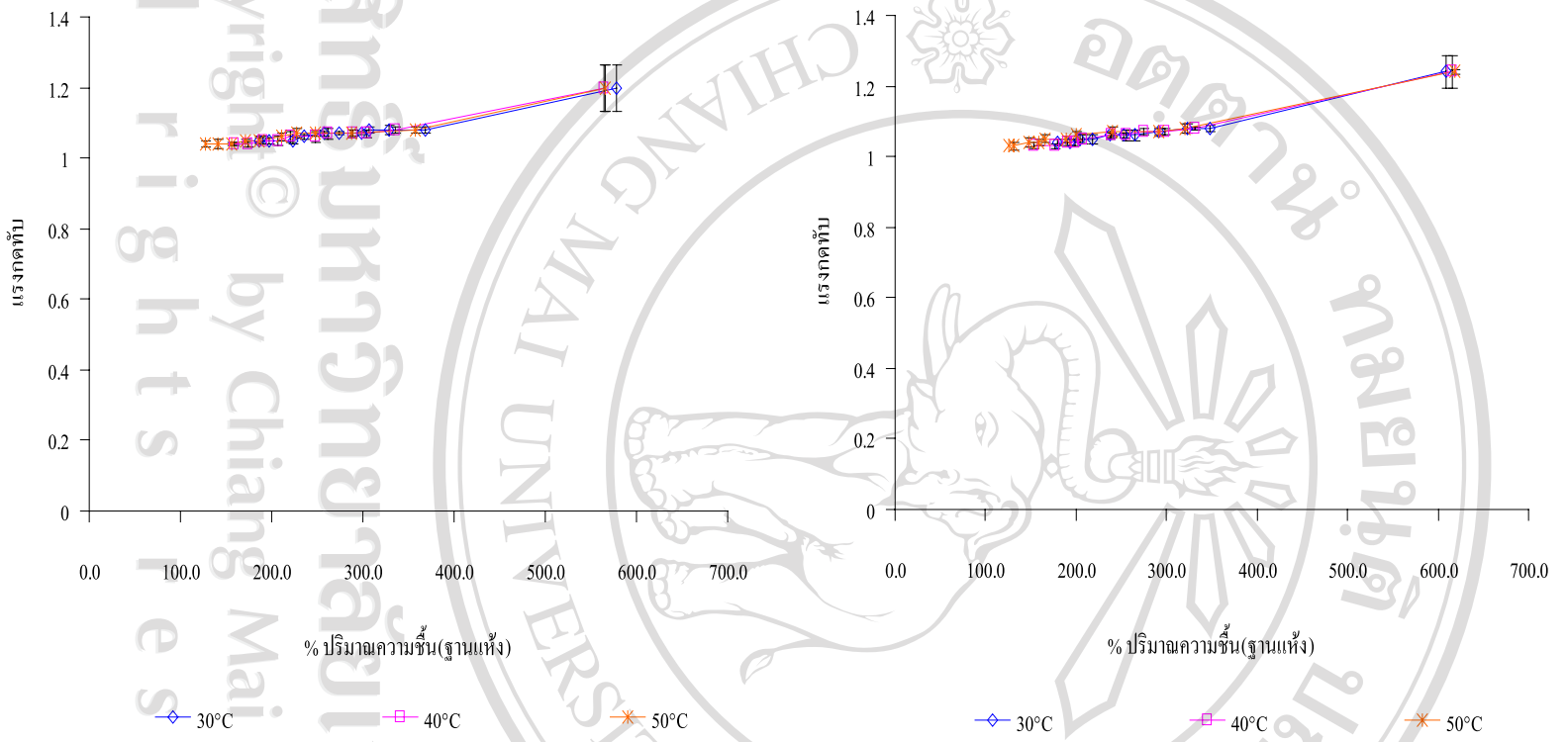
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อระยะเวลา 30 นาทีแรกผ่านไปจนถึงชั่วโมงที่ 5 พบว่ามีการลดลงของค่าแรงกดและแรงเฉือน เนื่องจากเซลล์จะเกิดการหดตัว และขนาดของช่องว่างภายในเซลล์จะลดลง เมื่อมีความเข้มข้นของน้ำตาลเข้าไปทำให้เกิดการปรับสภาวะภายในเซลล์ให้เท่ากับภายนอกเซลล์เพื่อให้มีสภาวะใกล้เคียงกันส่งผลให้องค์ประกอบภายในเซลล์หดตัวและอาจทำให้ผนังเซลล์แยกออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ ปริมาตรภายในเซลล์ลดลง และก่อให้เกิดช่องว่างภายในเซลล์ (นิพนธ์, 2534; Mauro *et al*., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Salvatori and Alzamora (2000) ซึ่งศึกษากระบวนการออสโมซิสแอปเปิลโดยใช้น้ำตาลกลูโคส พบว่าช่วงแรกของการออสโมซิสนั้นเซลล์ของแอปเปิลเกิดการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำ ผนังเซลล์ของแอปเปิลมีการเปลี่ยนรูปร่าง แต่หลังจากการออสโมซิสผ่านไป 200 นาที เซลล์ของแอปเปิลจะมีลักษณะเต่ง เช่นเดียวกับการแช่ชิ้นแอปเปิลในสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 25 % และซูโครส 34.6% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาการแช่แอปเปิลในสาร ออสโมติก ผ่านไป 50 นาที เนื้อเยื่อจะหดตัว และมีขนาดของช่องว่างภายในเซลล์ลดลง จากนั้นเซลล์จะกลับมาเต่ง คล้ายเซลล์แอปเปิลสด (Nieto *et al.,* 2004)

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดทับและแรงเฉือนกับปริมาณความชื้น

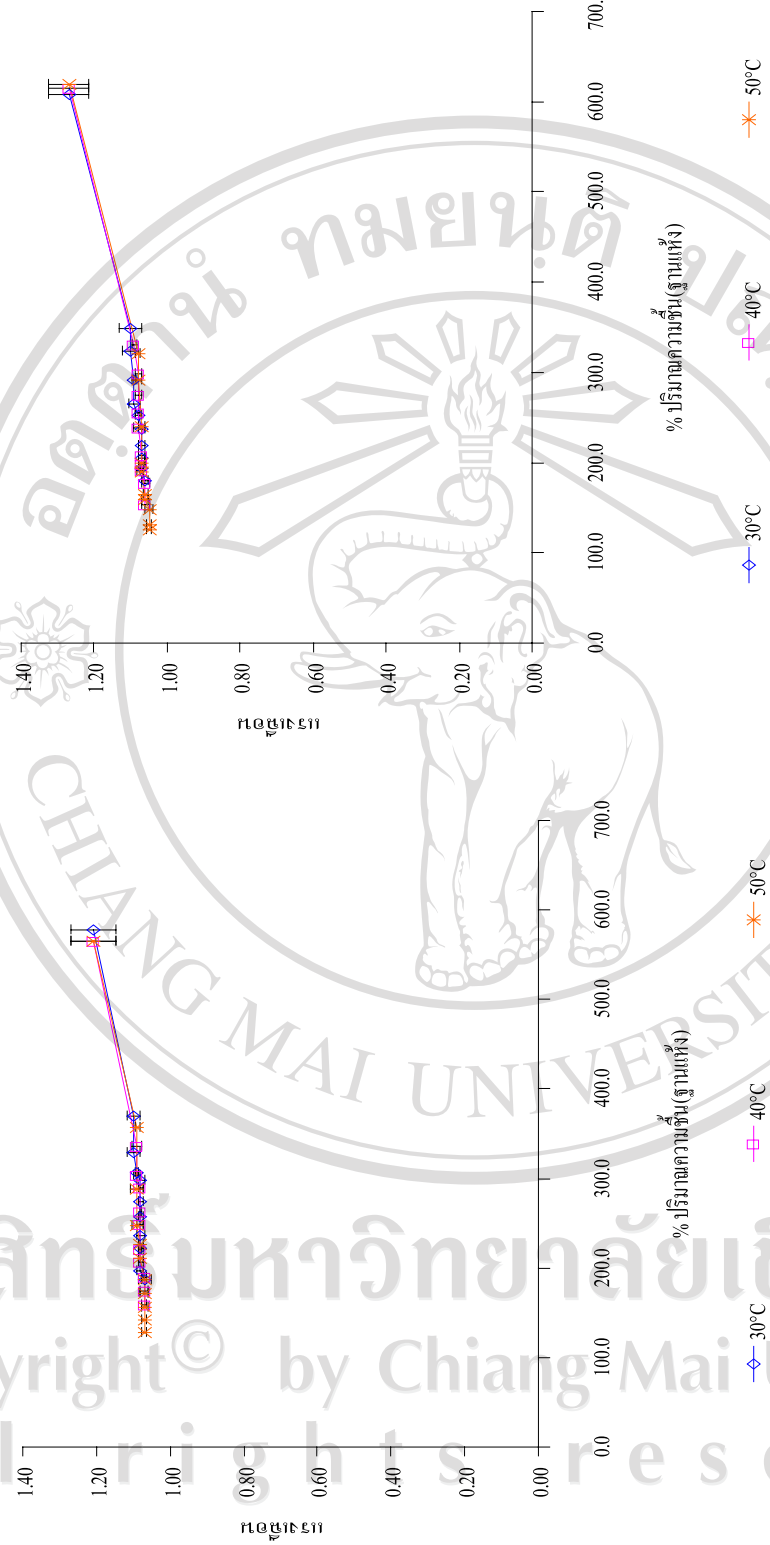
การเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดทับของ ชิ้นแก้วมังกร ระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติก ที่ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น แสดงดังภาพที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งจะเห็นว่าอุณหภูมิและความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าแรงกดทับและค่าแรงเฉือนในทุกๆค่าของความชื้น ทั้งนี้เมื่อปริมาณความชื้นลดลงค่าแรงกดและแรงเฉือนมีค่าลดลง แต่แนวโน้มของการลดลงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณน้ำในชิ้นแก้วมังกรลดลง ทำให้โครงสร้างภายในของแก้วมังกรเสียรูปทรงทำให้แรง (ค่าแรงกดทับและค่าแรงเฉือน) ที่มากระทำต่อแก้วมังกรลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Mandala *et al.* (2005) พบว่าหลังการทำแห้งแอปเปิลแบบออสโมซิสโดยใช้สารละลายน้ำตาลซูโครสและกลูโคสทำให้แอปเปิลมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้น และจากการศึกษาค่าแรงที่กระทำต่อแอปเปิลและกล้วยที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันต่อปริมาณความชื้นพบว่าเมื่อปริมาณความชื้นลดลงค่าแรงที่กระทำต่อแอปเปิลและกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งจะช่วยรักษาโครงสร้างของแอปเปิลและกล้วยทำให้ใช้แรงที่กระทำต่อแอปเปิลและกล้วยเพิ่มขึ้น (Arun , 2000) จากการทดสอบเนื้อสัมผัสของกล้วยที่ทำการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าแรงเฉือนอยู่ในช่วง 1.37 ถึง1.48 kgf (Cano-Chauca *et al.,* 2002) ทั้งนี้จากผลการทดลองข้างต้นพบว่ากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันเป็นการแพร่ของน้ำภายในอาหาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดทับของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าแรงเฉือนของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

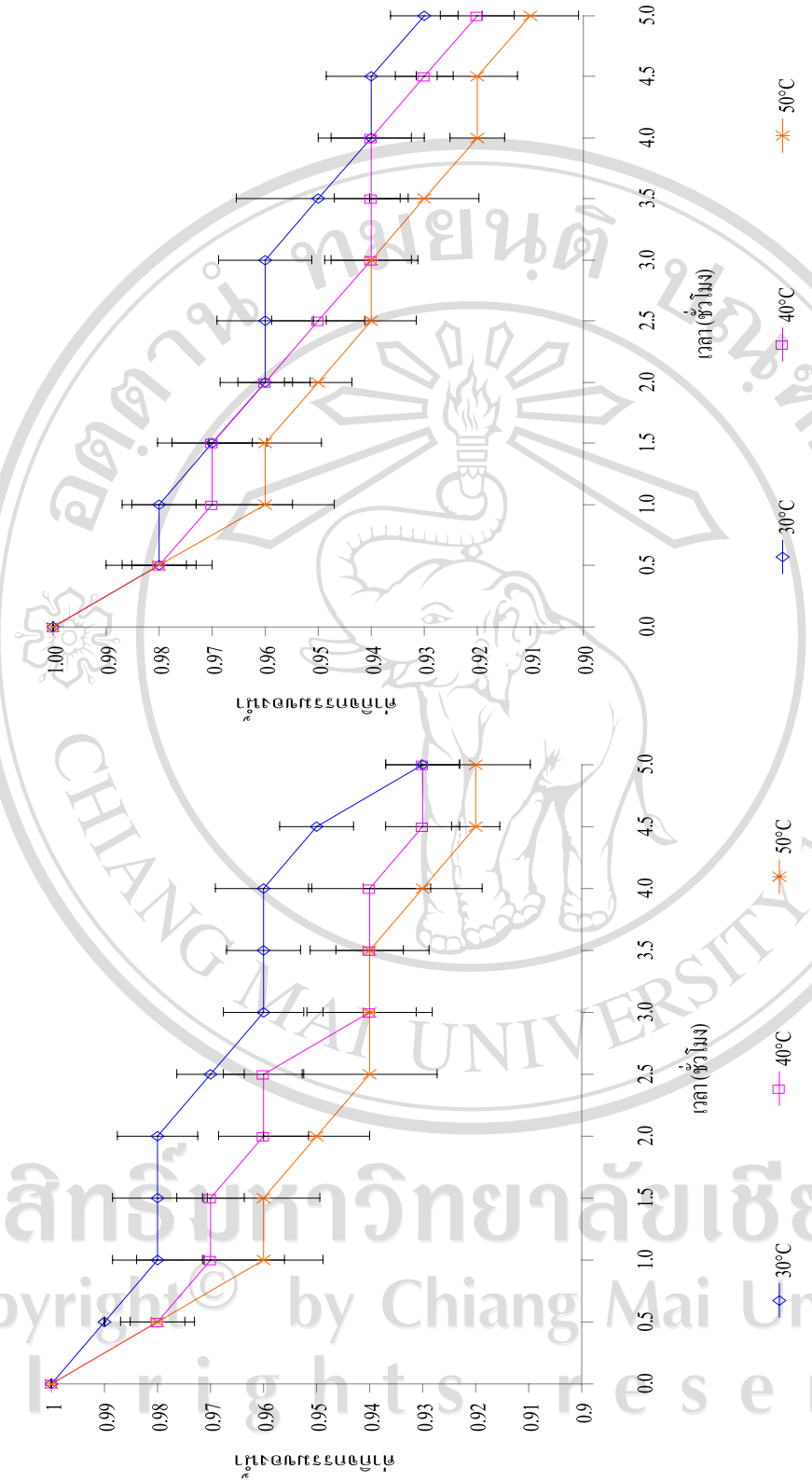
และตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้นภายนอกซึ่งจะเกิดขึ้นพร้อมกันแต่ในทิศทางตรงข้ามกัน ฉะนั้นขณะที่มีการแพร่ของน้ำภายในอาหารออกมา ก็มีการแพร่ของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกเข้มข้นเข้าไปในอาหารด้วย ทำให้อาหารมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกว่าระบบจะเข้าสู่สมดุล ขณะที่น้ำตาลซูโครสแพร่เข้าไปอยู่ภายในเซลล์ จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเพกติน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสที่ผนังเซลล์ และน้ำตาลซูโครสซึ่งมีโมเลกุลขนาดใหญ่จะยึดเกาะที่ผนังเซลล์ (ศิริลักษณ์, 2523; Bray *et al*., 2000) เมื่อมีน้ำตาลซูโครสที่ผนังเซลล์มากขึ้น แรงที่ใช้ในการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสจากการทดลองอื่นๆดังที่กล่าวมาข้างต้นกับลักษณะเนื้อสัมผัสของแก้วมังกรจะเห็นว่าโครงสร้างของแก้วมังกรค่อนข้างละเอียดอ่อนและถูกทำลายได้ง่าย โดยขณะที่แก้วมังกรแช่อยู่ในสารละลายออสโมติกของแข็งที่แพร่เข้าไปในแก้วมังกรมีผลน้อยกว่าผลของโครงสร้างที่ถูกทำลาย หรือความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกน้อยเกินไปจึงทำให้ไม่มีผลต่อการรักษาโครงสร้างของแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก

4.1.5 ค่ากิจกรรมของน้ำระหว่างกระบวนการออสโมติก

ค่ากิจกรรมของน้ำ คือปริมาณทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่เป็นตัวชี้ถึงศักยภาพที่จะมีการนำน้ำไปใช้เพื่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารและปฏิกิริยาเคมี จากการทดลอง นำแก้วมังกรแช่ในสารละลายออสโมติก 2 ระดับ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม แล้วสุ่มตัวอย่างชิ้นแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ออกมาทุกๆ 30 นาที เพื่อหาค่ากิจกรรมของน้ำในความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ จนครบกำหนด ระยะเวลา โดยแสดงผล การเปลี่ยนแปลงของค่ากิจกรรมของน้ำในชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ในอุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (ดังภาพที่ 4.9) ซึ่งพบว่าในระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน เมื่อระยะเวลาในการแช่แก้วมังกรเพิ่มขึ้น ค่ากิจกรรมของน้ำมีค่าลดลง ในความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ และในทุกอุณหภูมิ ซึ่งเมื่อแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกจนครบกำหนดเวลาพบว่าแก้วมังกรมีค่ากิจกรรมของน้ำอยู่ในช่วง 0.91 ถึง 0.93 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Alline *et al.* (2003) โดยศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันในชิ้นมะละกอ และพบว่าเมื่อเวลาในการแช่มะละกอในสารละลายออสโมติกผ่านไป มีค่ากิจกรรมของน้ำลดลง และที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่ากิจกรรมของน้ำมีค่าลดลงมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมของน้ำในชิ้นแก้วมังกรระหว่างการทำให้แห้งแบบพาความร้อนของชิ้นที่ถูกตัดแต่งขนาดต่างกัน (a) 55 กรัม และ (b) 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลการศึกษาของวัฒนา (2545) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับเนื้อลิ้นจี่ทำแห้ง โดยใช้กระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน พบว่าเนื้อลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าและกระบวนการออสโมติกดีไฮเดชัน ที่เวลา 3 และ 4 ชั่วโมง มีค่ากิจกรรมของน้ำลดลง โดยมีค่ากิจกรรมของน้ำในช่วง 0.86 ถึง 0.87 เช่นเดียวกับการทดลองของ ปวีณา (2550) ซึ่งได้ศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับเทคนิคฟลูอิดไดเซชันในการทำแห้งเนื้อมะม่วงแก้ว พบว่าค่ากิจกรรมของน้ำหลังการแช่มะม่วงในสารละลายออสโมติกมีค่าลดลง และมีค่า 0.92 ก่อนจะนำไปอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเซชัน

จากการทดลองพบว่าค่ากิจกรรมของน้ำที่ลดลงไประหว่างการแช่แก้วมังกรในสารออสโมติก เกิดจากการสูญเสียปริมาณน้ำอิสระที่มีอยู่มากในอาหาร โดยจะมีค่ากิจกรรมของน้ำสูงกว่า 0.75 เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะระหว่างน้ำและอาหารน้อย ทำให้สามารถกำจัดออกได้ง่ายซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งค่ากิจกรรมของน้ำของแก้วมังกรหลังจากการแช่ในสารละลายออสโมติกแล้วยังคงมีค่าสูง ดังนั้นควรนำแก้วมังกรไปทำแห้งด้วยลมร้อน เพื่อเป็นการลดค่ากิจกรรมของน้ำให้มีค่าต่ำกว่า 0.60

4.2 ศึกษาการแพร่ของน้ำและของแข็งที่ละลายได้

4.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสต่อการถ่ายเทมวลในแก้วมังกรระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน

การวัดประสิทธิภาพของกระบวนการออสโมซิสสามารถศึกษาจากการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นระหว่างสารละลายและชิ้นแก้วมังกร ซึ่งแสดงด้วยค่าที่เพิ่มขึ้นของของแข็งและการสูญเสียน้ำ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 19 และ 20 ดังนี้

$$\%\text{การเพิ่มขึ้นของของแข็ง} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เวลาใดใด} - \text{ปริมาณของแข็งเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad (19)$$

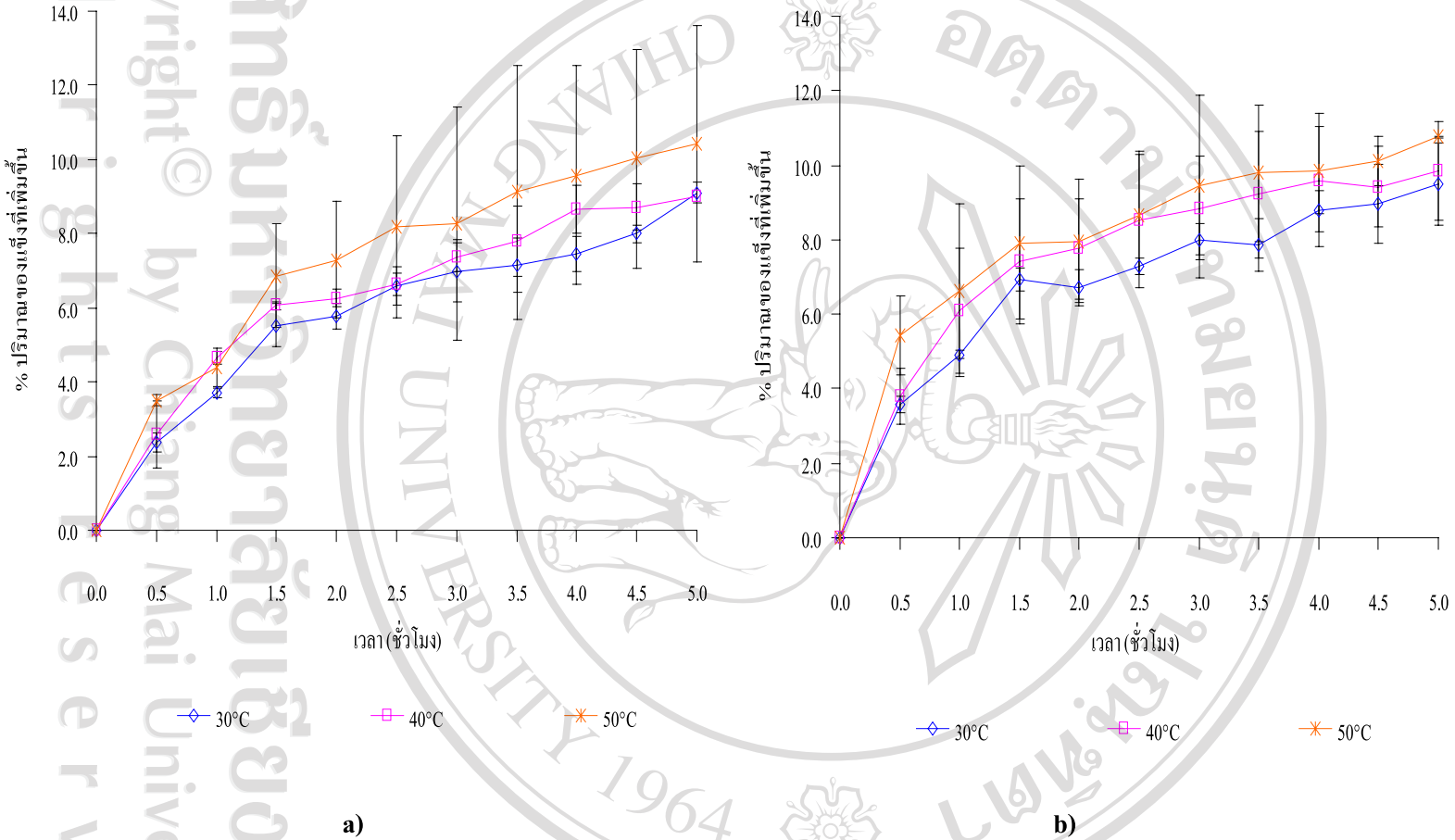
$$\%\text{ การสูญเสียน้ำ} = \frac{\text{ปริมาณน้ำเริ่มต้น} - \text{ปริมาณน้ำที่เวลาใดใด}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100 \quad (20)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ศึกษาปรากฏการณ์ถ่ายเทมวลของความชื้นในแก้วมังกร โดยแช่ในสารละลายของน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดำเนินการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 30 นาที เพื่อนำไปหาการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณของแข็งที่

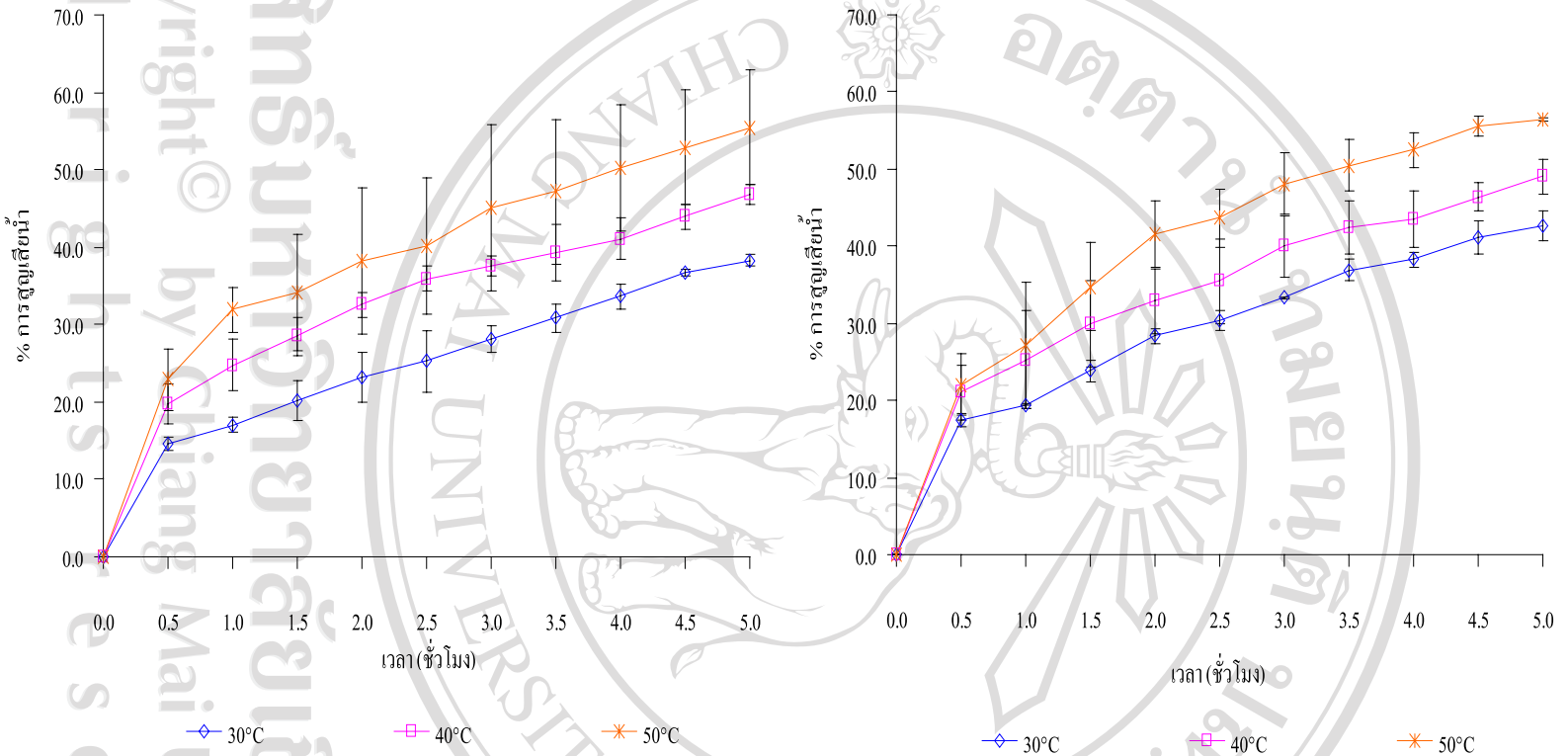
เพิ่มขึ้น และปริมาณการสูญเสียน้ำกับเวลา ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาในการแช่แก้วมังกรในสารละลายน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น พบว่าเปอร์เซ็นต์ของของแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากขณะที่แช่แก้วมังกรไว้ใน สารละลายที่มีแรงดันออสโมติกสูง ทำให้เกิดการออสโมซิส เกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในชิ้นแก้วมังกรและสารละลายออสโมติก น้ำที่อยู่ภายในแก้วมังกรจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกมาในสารละลายขณะเดียวกันตัวถูกละลายในสารละลายจะซึมผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป เนื่องจากสารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่าภายในเซลล์ รวมทั้งเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำภายในแก้วมังกร (ค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลสูงกว่า) ไปยังตัวถูกละลาย (ค่าวอร์เตอร์โพแทนเชียลต่ำกว่า) ซึ่งการแพร่ของน้ำและของแข็งจะเกิดขึ้นพร้อมกันแต่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม ฉะนั้นขณะที่เกิดการแพร่ของน้ำภายในแก้วมังกรออกมา จะมีการแพร่ของตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกเข้มข้น (น้ำตาลซูโครส) เข้าไปในแก้วมังกรด้วย ส่งผลให้ เปอร์เซ็นต์ของของแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ ที่เพิ่มขึ้น อย่างต่อเนื่องจนกว่าระบบจะเข้าสู่สมดุล จาก เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ ที่เพิ่มขึ้น ยังพบอีกว่า มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถแพร่ออกมาที่ตัวถูกละลายภายนอกได้มากกว่าการที่ของแข็งแพร่เข้าไปในแก้วมังกรเพราะขณะที่น้ำในอาหารแพร่ออกมาจะนำพาสารต่างๆที่มีอยู่ในแก้วมังกรออกมาด้วยจึงส่งผลให้เกิดการขัดขวางการแพร่ของของแข็งเข้าไปในแก้วมังกร เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งสูงที่สุดอยู่ในช่วง $9.02 \pm 0.34\%$ ถึง $10.76 \pm 0.01\%$ และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำสูงที่สุดอยู่ในช่วง $38.29 \pm 0.73\%$ ถึง $56.38 \pm 0.20\%$ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kolawole *et al.* (2007) ซึ่งศึกษากลไกการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน และพบว่าเมื่อเวลาในการแช่แตงโมในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็ง ส่วนที่ความเข้มข้นเดียวกันพบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำและปริมาณการเพิ่มขึ้นของของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากการศึกษาของ Laura and Rodolfo (2005) ซึ่งศึกษาอัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาล ระหว่างการทำแห้งสับปะรดแบบออสโมซิส ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในสารละลายน้ำตาลซูโครส 61% w/w เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าอัตราการแพร่ของน้ำและน้ำตาลเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของของแข็งที่เพิ่มขึ้นในชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.11 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำในชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยการใช้เกลือเป็นสารออสโมติกต่อการถ่ายเทมวล โดย Azoubel and Murr (2004) ศึกษาการถ่ายเทมวลของการทำแห้งมะเขือเทศเชอรี่แบบ ออสโมซิส ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 10 % w /w และ 25 % w /w (ของตัวอย่างที่มีการเติมน้ำตาล และไม่เติมน้ำตาล) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 360 นาที พบว่าสมการกลไกการทำแห้งด้วยวิธีออสโมซิสมะเขือเทศเชอรี่สอดคล้องกับสมการของ peleg fick และ page equation โดย สมการของ peleg ทำนายค่าการสูญเสียน้ำได้ดีที่สุด (R^2 = 0.99) ส่วนการเพิ่มขึ้นของของแข็ง (ปริมาณเกลือ) สมการของ page สามารถทำนายได้ดี (R^2 = 0.98) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เกลือจะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำ ที่มีในตัวอย่าง และปริมาณของ ของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันในสารละลายและภายในตัวอย่าง นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายน้ำตาลมีผลทำให้ เกิดแรงขับ ในกระบวนการมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายเกลืออย่างเดียว เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์จะทำให้ค่าน้ำอิสระในตัวอย่างลดลง และการที่เกลือมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้ความสามารถในการแทรกซึมผ่านสูง แต่การใช้เกลือในปริมาณมากเกินไปจะมีผลต่อรสชาติของอาหาร ส่วนเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของสารละลายน้ำตาลซูโครส 65 กรัม มีปริมาณ เพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 55 กรัม เช่นเดียวกับการศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในแตงโม โดน Kolawole *et al.* (2007) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก มีผล ให้เปอร์เซ็นต์ของของแข็งและการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น แต่จากการทดลองการลดลงของปริมาณความชื้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำของทั้งสองความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกัน

4.2.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำหนักที่ลดลงของแก้วมังกรขณะแช่ในสารละลายออสโมติกกับเวลา

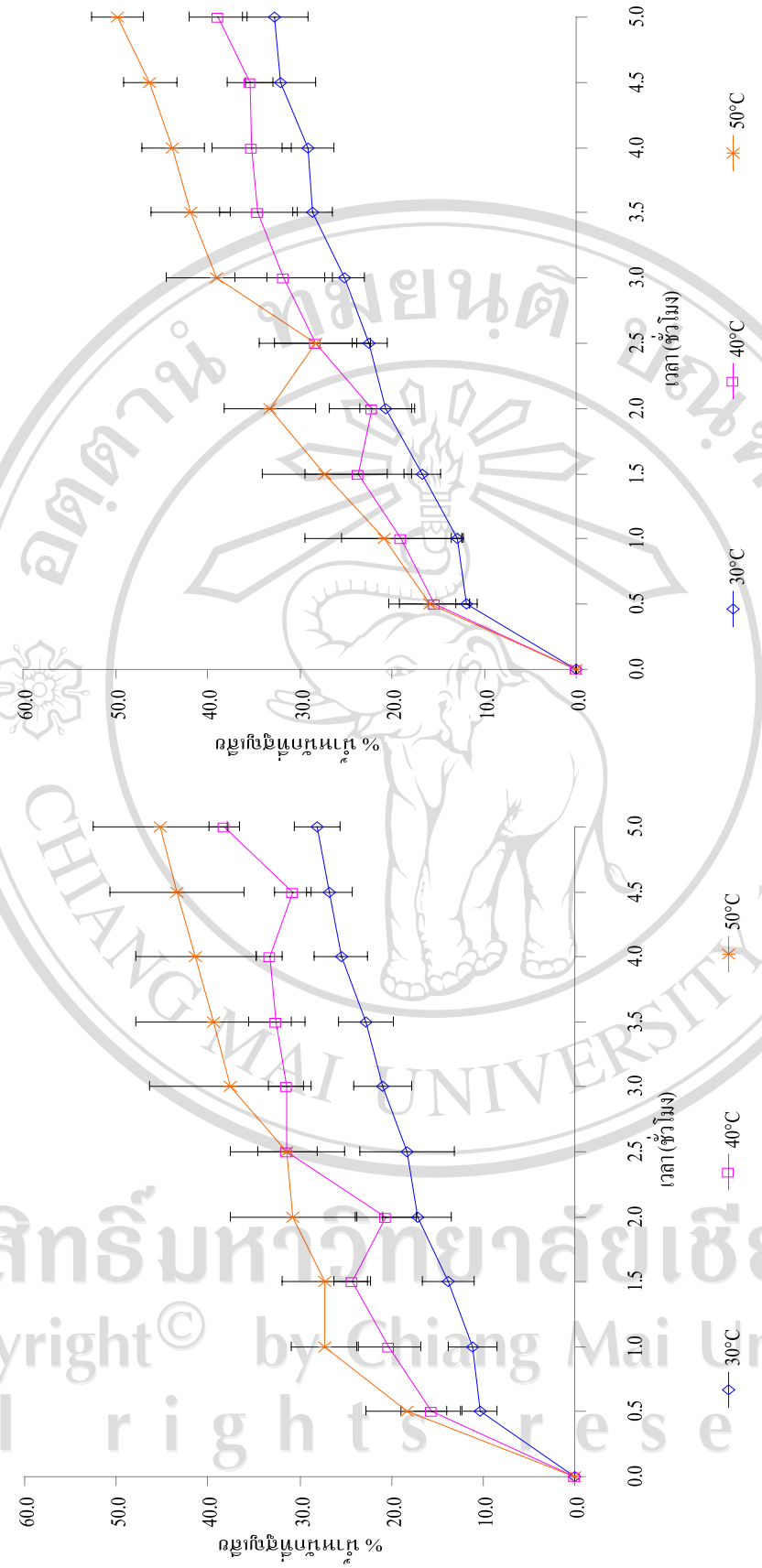
จากปริมาณการเพิ่มขึ้นของของแข็งและปริมาณการสูญเสียน้ำ พบว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณการลดลงของน้ำหนัก ซึ่งสามารถหาปริมาณการลดลงของน้ำหนักตัวอย่างได้ดังสมการที่ 21

$$\%\text{น้ำหนักที่สูญเสีย} = \frac{\text{ปริมาณน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} - \text{ปริมาณน้ำหนักตัวอย่างที่เวลาใดใด}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad (21)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองได้นำแก้วมังกรแช่ในสารละลายออสโมติก 2 ระดับ ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส 55 และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม แล้วสุ่มตัวอย่างชิ้นแก้วมังกรขณะแช่อยู่ในสารละลายออสโมติก ออกมาทุก 30 นาที เพื่อหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ของความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ จนครบกำหนดระยะเวลา 5 ชั่วโมง โดยแสดงผลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4.12 ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปการสูญเสียของน้ำหนักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นทั้ง 2 ระดับ และที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 65 กรัม มีการลดลงของน้ำหนักมากกว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส 55 กรัม และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักมากกว่าอุณหภูมิที่ 40 และ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากการสูญเสียปริมาณน้ำในตัวอย่างมีผลทำให้น้ำหนักของตัวอย่างมีค่าลดลง จากการทดลองยังพบอีกว่าการสูญเสียของน้ำหนักของแก้วมังกรยังมีผลจากลักษณะเนื้อของแก้วมังกรด้วย เนื่องจากโครงสร้างภายในของแก้วมังกรมีเมล็ดซึ่งลักษณะคล้ายเมล็ดงาอยู่ เมื่อแช่ชิ้นแก้วมังกรในสารละลายออสโมติกแล้วเมล็ดที่ติดอยู่ภายในแก้วมังกรจะหลุดออกมา โดยโครงสร้างของแก้วมังกรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขณะที่ปริมาณน้ำในแก้วมังกรลดลง เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักที่สูญเสียไปจะมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำมากกว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งเนื่องจากขณะเกิดการออสโมซิสจะเกิดการแพร่ของน้ำออกจากแก้วมังกรมากกว่าการแพร่ของของแข็งเข้าไปในแก้วมังกร ดังนั้นขณะที่ของแข็งแพร่เข้าไปจึงไม่มีผลต่อการสูญเสียของน้ำหนัก นอกจากนี้การแช่ผลไม้ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูง ปริมาณน้ำลดลงเนื่องจากกระบวนการออสโมซิส และสารละลายที่มีอุณหภูมิสูงมีผลในการทำลายเซลล์เมมเบรนซึ่งทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน ทำให้ปริมาณน้ำภายในแก้วมังกรลดลงและส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของแก้วมังกร การสูญเสียน้ำหนักของแก้วมังกรจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องขณะที่เกิดการออสโมซิสจนกว่าระบบของกระบวนการจะเข้าสู่สมดุล หรือไม่เกิดการสูญเสียน้ำของแก้วมังกรอีก จากการศึกษาของ Cohen and Yang (1999) ได้ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์(เชอรี่ บลูเบอรี่ และแครอท) ที่ได้จากการทำแห้งโดยอาศัยหลักออสโมซิสพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักและปริมาตรลดลง ในการศึกษาของ Fito *et al.* (1999) พบว่าจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื้อเยื่อของแอปเปิลขณะทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิส ส่งผลให้ปริมาณน้ำในแอปเปิลลดลงมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างเซลล์ลดลง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรและน้ำหนักลดลงด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.12 การศึกษาอัตราการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้น 55 กรัม (a) และ 65 กรัม (b) ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส และอุณหภูมิ กับสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ และสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ของแก้วมังกรคำนวณได้จากการนำค่าความชันของกราฟระหว่าง ln E กับเวลาในการแช่ชิ้นแก้วมังกรในสารละลายออสโมติก (ภาคผนวก) (Kolawole *et al.*, 2007)

เมื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ของแก้วมังกรระหว่างการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยทำการสุ่มตัวอย่างทุกๆ 30 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น และเปอร์เซ็นต์ของแข็งที่ละลายได้ แล้วนำไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่โดยอาศัยกฎข้อที่ 2 ของฟิกค์ พบว่ามีผลการคำนวณดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	ซูโครส 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม (มีหน่วยเป็น10^{-10}(m^2/s))	ซูโครส 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม (มีหน่วยเป็น10^{-10}(m^2/s))
30	6.31 ± 0.47^{a}	6.60 ± 0.28^{a}
40	7.02 ± 0.32^{b}	7.44 ± 0.15^{b}
50	9.81 ± 1.84^{c}	11.3 ± 0.27^{d}

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็ง

อุณหภูมิ (°C)	ซูโครส 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม (มีหน่วยเป็น10^{-10}(m^2/s))	ซูโครส 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม (มีหน่วยเป็น10^{-10}(m^2/s))
30	4.13 ± 0.20^{a}	4.16 ± 0.0002^{a}
40	4.61 ± 0.18^{b}	4.72 ± 0.055^{b}
50	5.34 ± 0.19^{c}	5.38 ± 0.0005^{c}

หมายเหตุ ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันที่กำกับค่าของข้อมูล แสดงว่าเป็นค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในแก้วมังกร และตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ในแก้วมังกร พบว่าในการทดลองความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครส เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธ์การแพร่ของน้ำและของของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วพบว่าไม่มีความแตกต่าง ขณะที่ผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของสารมีพลังงานจลน์มากขึ้น ทำให้โมเลกุลเหล่านี้เคลื่อนที่ได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ การแพร่จึงเกิดขึ้นได้เร็ว ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสามารถแพร่ได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ สัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ เนื่องจากน้ำมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าน้ำหนักโมเลกุลของน้ำตาลซูโครสมาก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kolawole *et al.* (2007) ได้ศึกษากลไกการถ่ายเทมวลระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในแตงโม และ Rastogi and Raghavarao (2004) ศึกษากระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ในสับปะรด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูงขึ้น ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสามารถแพร่ได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ สัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งที่ละลายได้ จากการศึกษาของ Garia *et al.* (1999) ซึ่งศึกษาการถ่ายเทมวลในสับปะรด โดยใช้น้ำตาลซูโครสเป็นสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 50, 60 และ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6, 7 และ 8 ตามลำดับ โดยพิจารณาการแพร่ด้วยกฎของฟิกค์ พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งที่ละลายมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.11×10^{-5} ถึง 2.7×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที และ 1.49×10^{-5} ถึง 3.15×10^{-5} ตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และให้ผลของแบบจำลองของสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของแข็งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.94 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการถ่ายเทมวลโดยใช้เกลือเป็นสารออสโมติกด้วย เช่น การทดลองของ Azoubel and Murr (2004) ศึกษาการถ่ายเทมวลของการทำแห้งมะเขือเทศเชอรี่แบบ ออสโมซิส ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 10% w /w และ 25% w /w ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เวลา 360 นาที พบว่าสมการกลไกการทำแห้งมะเขือเทศเชอรี่ โดยอาศัยหลักการออสโมซิส สามารถอธิบายโดยกฎข้อที่ 2 ของฟิกค์ ซึ่งให้ผลของ สัมประสิทธ์การแพร่ของน้ำมีค่า 0.43×10^{-9} ถึง 1.77×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที และสัมประสิทธิ์การแพร่ของของแข็งมีค่า 0.04×10^{-9} ถึง 0.54×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที และจากการศึกษาของ Otoniel and Nelson (2007) ศึกษาสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสำหรับปลาซาร์ดีนแผ่น ระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันที่อุณหภูมิ 30 และ38 องศาเซลเซียส ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารละลายออสโมติกห้าระดับคือ 0.15, 0.18, 0.21, 0.24 และ 0.27 kg NaCl/kg พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ อยู่ในช่วง 2.084×10^{-12} ถึง 3.015×10^{-12} ตารางเมตรต่อวินาที ที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกต่ำกว่า 0.24 kg NaCl/kg และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของสารออสโมติกที่เท่ากับหรือสูงกว่า 0.24 kg NaCl/kg เมื่อเพิ่มอุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าลดลง

การแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้เกิดการสู ญเสียน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง อัตราการแพร่ของน้ำในอาหารออกมา สู่สารละลายเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Lazarides *et al*. (1995) ศึกษาการถ่ายเทมวลสารระหว่างการออสโมติกแอปเปิล โดยทำการแช่ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 45 ถึง 65 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20, 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกสูงขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณของของแข็งและอัตราการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงความหนืดมีค่าลดลงทำให้ระบบหมุนเวียนได้ดี และTonon *et al*. (2007) ได้ทำการศึกษาหาผลกระทบของการทำแห้งแบบออสโมซิส โดยได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส ต่ออัตราการถ่ายเทมวลของมะเขือเทศ เชอรี่ พบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการทำแห้งแบบออสโมซิสสูงขึ้น ประสิทธิภาพการแพร่ของน้ำและของของแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อความหนืดของสารละลายน้ำตาล คือทำให้ความหนืดลดลงอัตราการไหลเวียนของสารละลายเพิ่มมากขึ้น จึงมีผลต่ออัตราการลดปริมาณน้ำในมะเขือเทศเชอรี่และการเพิ่มขึ้นของของแข็งของมะเขือเทศเชอรี่ เมื่ออัตราการแพร่ของน้ำสูงกว่าของโมเลกุลซูโครสและการแพร่มีทิศทางตรงกันข้าม ทำให้โมเลกุลของน้ำไปขัดขวางการแพร่ของโมเลกุลของซูโครส และมีน้ำแพร่ออกมาจากเซลล์ซึ่งจะพาของแข็งที่ละลายได้ในแก้วมังกรบางส่วนออกมาด้วยจึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของของแข็งต่ำกว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ สอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.2.1

จากค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำและของของแข็ง สามารถนำไปหาความสัมพันธ์กับสมการของ Arrhenius ได้ดังตารางที่ 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ค่าพลังงานกระตุ้น

ความเข้มข้นสารละลายออสโมติก	น้ำ	ของแข็ง
55 กรัม	10.43 kJ/mol	17.84 kJ/mol
65 กรัม	10.50 kJ/mol	21.78 kJ/mol

ตารางที่ 4.3 พบว่าพลังงานกระตุ้นของการแพร่ของน้ำที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม มีค่า 10.43 และ10.50 kJ/mol ตามลำดับ และพลังงานกระตุ้นการแพร่ของของแข็งที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม มีค่า17.84 และ 21.78 kJ/mol ตามลำดับ โดยความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังนั้นผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์การแพร่จึงเป็นไปตามกลไกของ Arrhenius

4.3 การทดสอบด้านประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์แก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติก โดยใช้สภาวะของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกระยะเวลา 4 และ 5 ชั่วโมงที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 2 ระดับ คือ 55 และ 65 กรัม ต่อ ปริมาณน้ำ 100 กรัม นำแก้วมังกรไปทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งมีความชื้น 10% ถึง 12 % (ฐานเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.6 จากนั้นนำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน โดยพิจารณาลักษณะปรากฏโดยรวม ได้แก่ สี และลักษณะ โดยรวม ของผลิตภัณฑ์ (overall appearance) กลิ่น รสชาติโดยรวม (overall flavor) และการยอมรับโดยรวม (overall acceptability) โดยใช้แบบทดสอบแบบ 9-points hedonic scale เพื่อคัดเลือกสภาวะและการยอมรับที่ดีที่สุด

4.3.1 ผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ และความเข้มข้นต่อการยอมรับลักษณะปรากฏโดยรวม

ภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าคะแนนการยอมรับลักษณะปรากฏโดยรวมของแก้วมังกร มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คะแนนที่ได้จากการทดสอบ มีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 9 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึกไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด อย่างไรก็ตามค่าคะแนนที่สูงที่สุดคือ 6.32 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึก ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเป็นคะแนนที่ได้จากการทดสอบจากการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ และความเข้มข้นต่อการยอมรับกลิ่นและรสชาติโดยรวม

ภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าคะแนนการยอมรับกลิ่นและรสชาติโดยรวมของแก้วมังกร มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คะแนนที่ได้จากการทดสอบ มีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 9 ซึ่ง

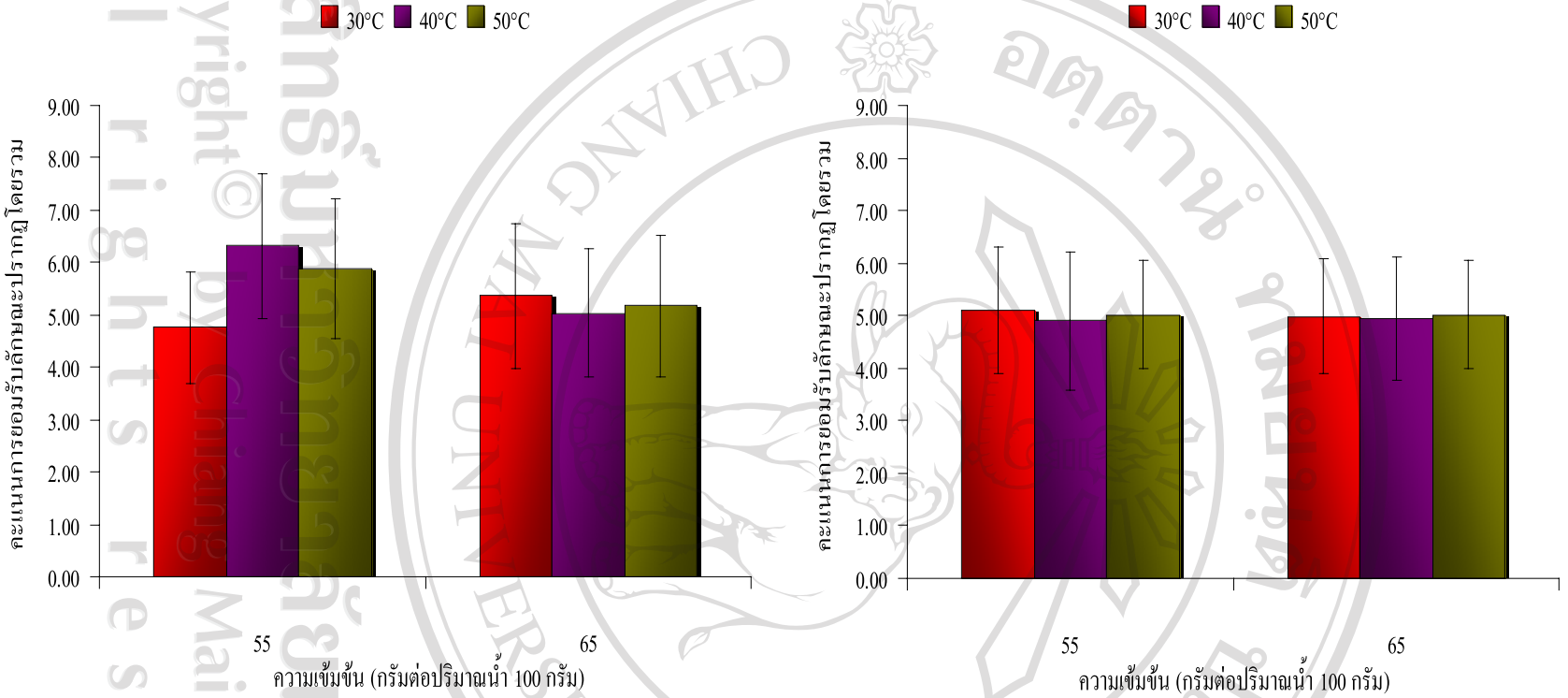
อยู่ระหว่างความรู้สึกไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด อย่างไรก็ตามค่าคะแนนที่สูงที่สุดคือ 6.66 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึก ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเป็นคะแนนที่ได้จากการทดสอบจากการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม

4.3.3 ผลของอุณหภูมิ ระยะเวลาในการแช่ และความเข้มข้นต่อการยอมรับโดยรวม

ภาพที่ 4.15 จะเห็นว่าคะแนนการยอมรับโดยรวมของแก้วมังกร มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คะแนนที่ได้จากการทดสอบ มีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 9 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึกไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด อย่างไรก็ตามค่าคะแนนที่สูงที่สุดคือ 6.82 ซึ่งอยู่ระหว่างความรู้สึก ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยเป็นคะแนนที่ได้จากการทดสอบจากการแช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม

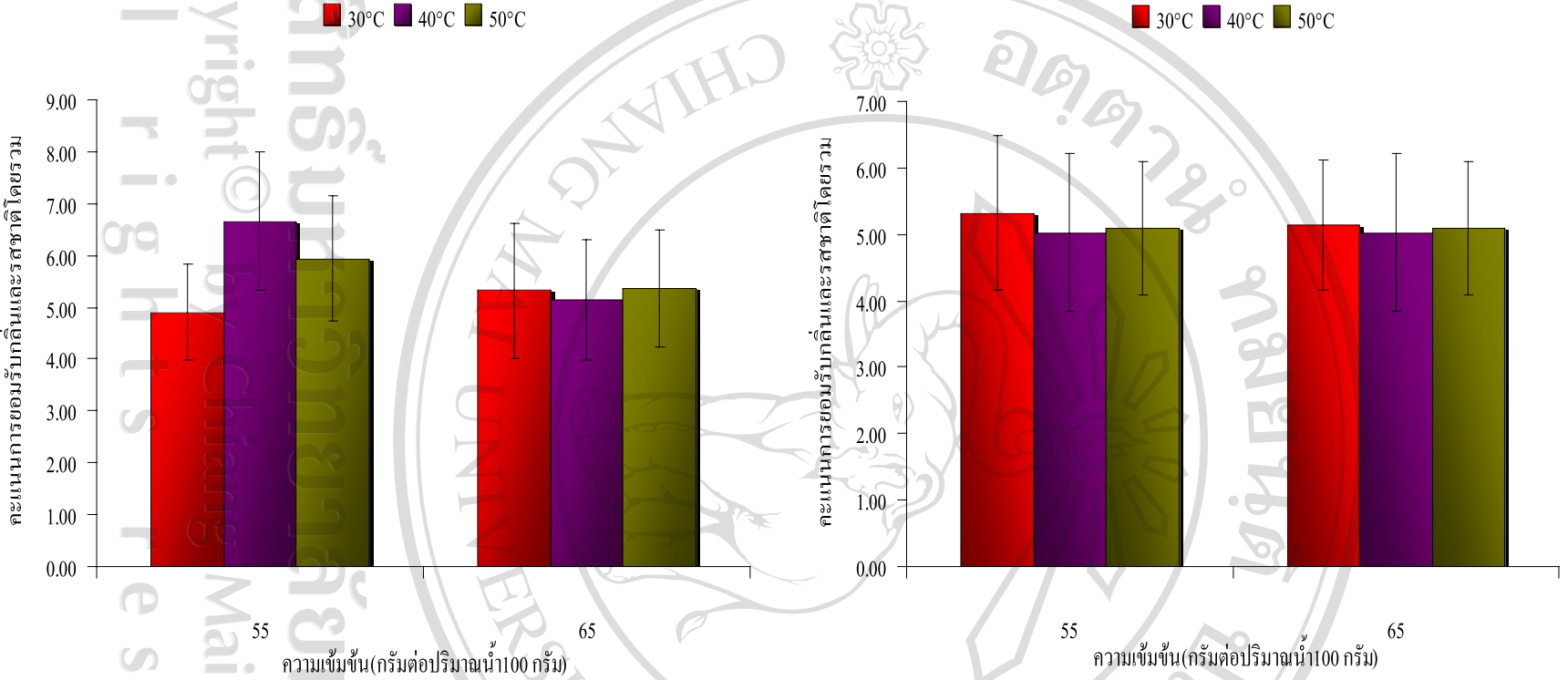
จากการทดลองของ ปวีณา (2550) ในส่วนของการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้การประเมินแบบ 9-points hedonic scale ผู้ทดสอบจำนวน 50 คน สภาวะที่ศึกษาคืออุณหภูมิในการแช่ ระยะเวลาในการแช่ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง ซึ่งพบว่าคะแนนการยอมรับทางด้านลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมและรสชาติไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในการทดลองนี้พบว่าคะแนนการยอมรับเป็นคะแนนที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากลักษณะปรากฏของแก้วมังกรเปลี่ยนไป คือ มีลักษณะแห้งและมีเมล็ดสีดำกระจายอยู่โดยรอบบริเวณเนื้อของแก้วมังกรทำให้ลักษณะปรากฏไม่เป็นที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภคบางส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



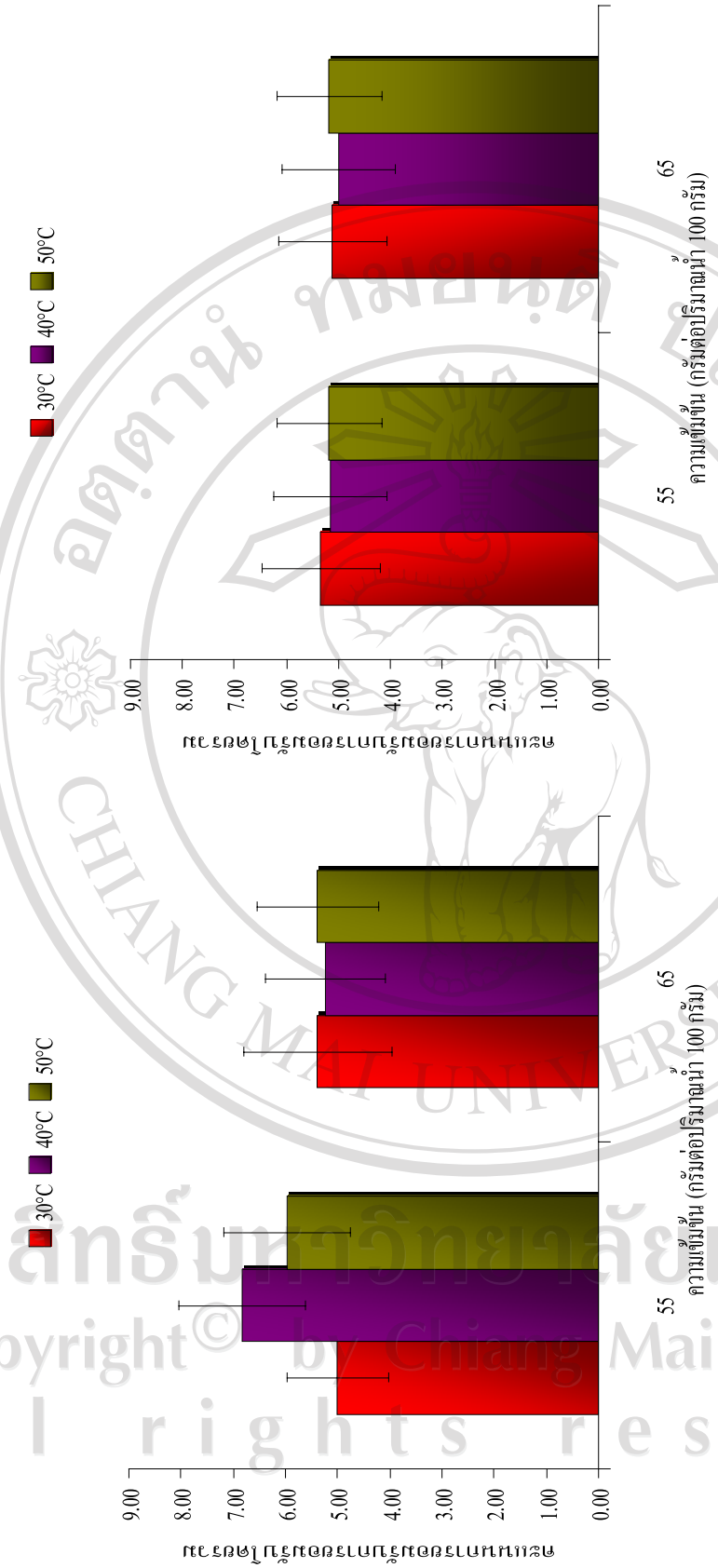
ภาพ 4.13 คะแนนการยอมรับของลักษณะปรากฏภายนอกโดยรวมของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.14 คะแนนการยอมรับของกลิ่น รสชาติโดยรวมของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b)

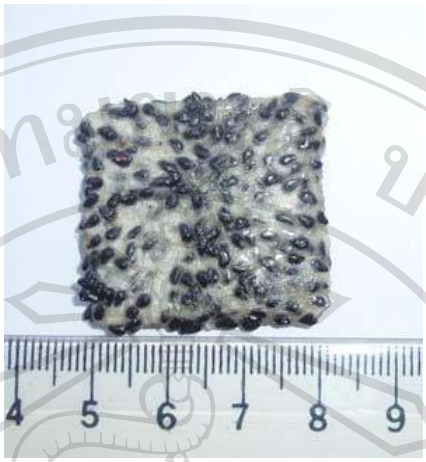
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.15 คะแนนการยอมรับของการยอมรับโดยรวมของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 สีของแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและทำแห้งด้วยลมร้อน (ภาพที่ 4.16)

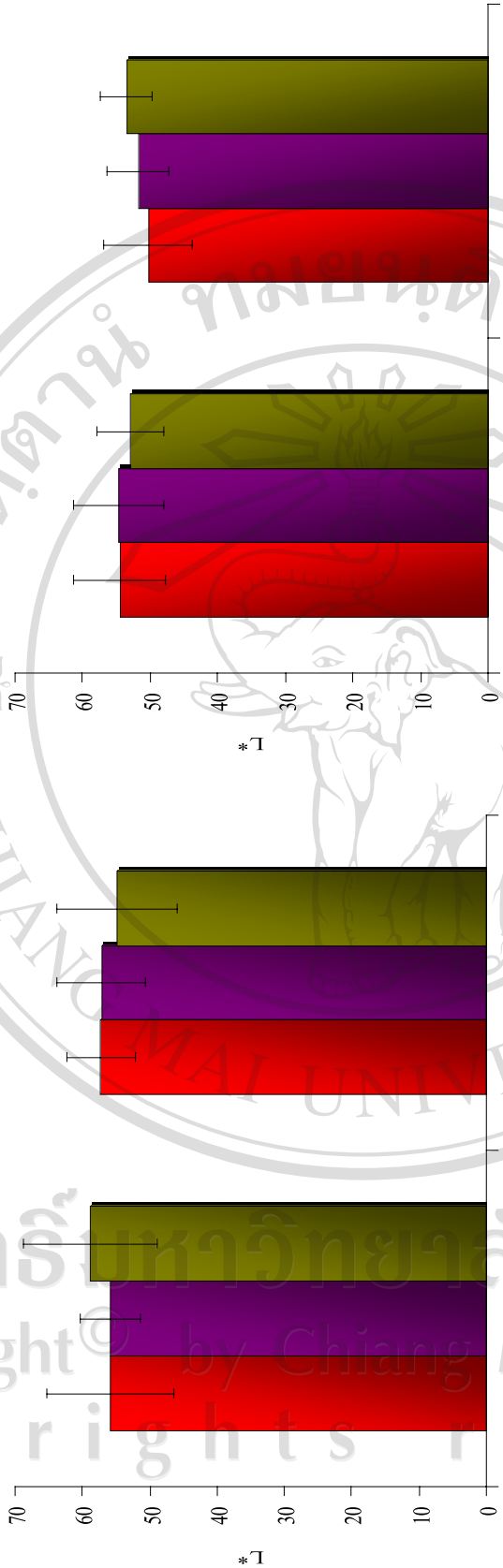


ภาพ 4.16 แก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและทำแห้งด้วยลมร้อน

นำแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้ง จากสภาวะที่ใช้ในการทดสอบการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทั้ง 12 สภาวะ ไปวัดค่าสี L* a* และ b* แสดงดังภาพที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อนำแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อนย่อมทำให้แก้วมังกรมีสีเข้มขึ้น โดยแก้วมังกรสดมีค่า L* อยู่ในช่วง 65.53 ถึง 68.59 และหลังจากผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อนค่า L* ของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 54.94 ถึง 58.79 และ ค่า L* มีที่ผ่านการแช่ 5 ชั่วโมง มีค่า L* อยู่ในช่วง 50.27 ถึง 54.60 จะเห็นว่าค่า L* มีค่าลดลงเมื่อเวลาในการแช่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาคงที่จะเห็นว่าอุณหภูมิของสารออสโมติก และความเข้มข้นของสารออสโมติกไม่มีผลต่อ L*อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$)

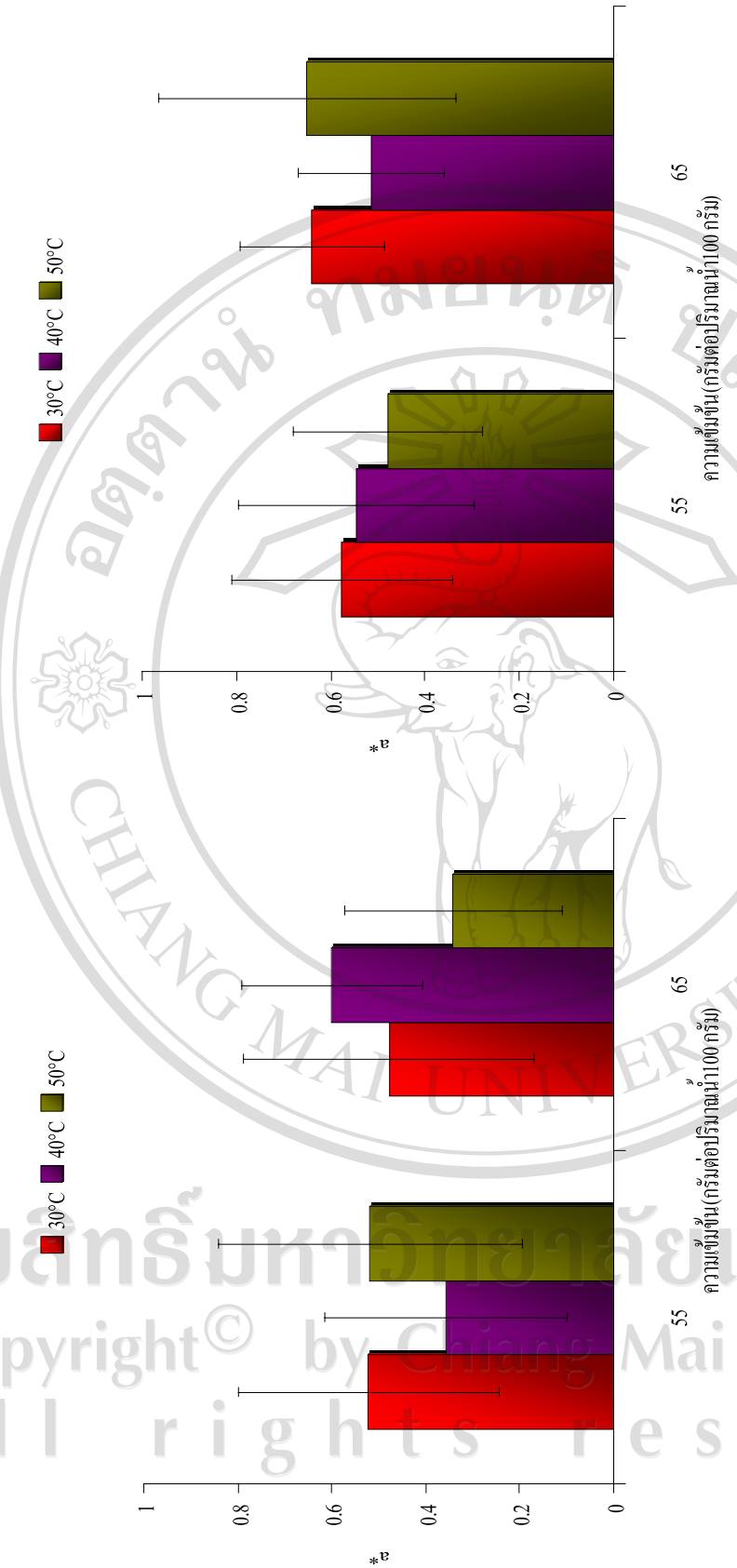
เนื่องจากที่ระยะเวลาการแช่ 5 ชั่วโมงมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากการทดลองส่วนมากเป็นน้ำตาลซูโครส ดังนั้นเมื่อทำแห้งด้วยลมร้อนเป็นระยะเวลานานจึงมีผลทำให้น้ำตาลซูโครสเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ (นิธิยา, 2543) ทำให้แก้วมังกรที่แช่ในสารละลายออสโมติกเป็นระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีสีเข้มกว่าแก้วมังกรที่แช่ในสารละลายออสโมติก เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



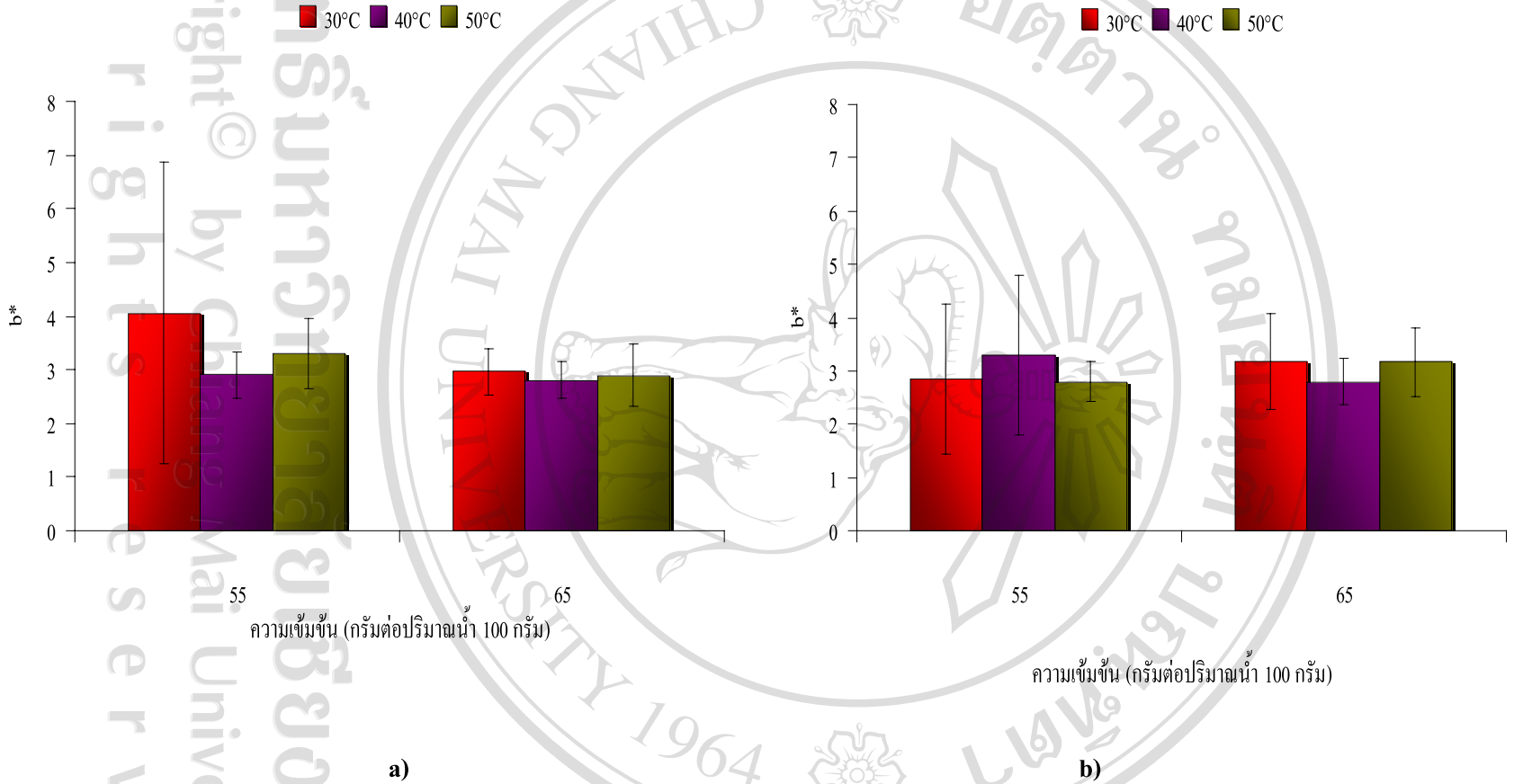
ภาพ 4.17 ค่า L* ของแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความข้นข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b) แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.18 ค่า a* ของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b) แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.19 ค่า b* ของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b) แล้วนำไปทำแห้ง ด้วยลมร้อน

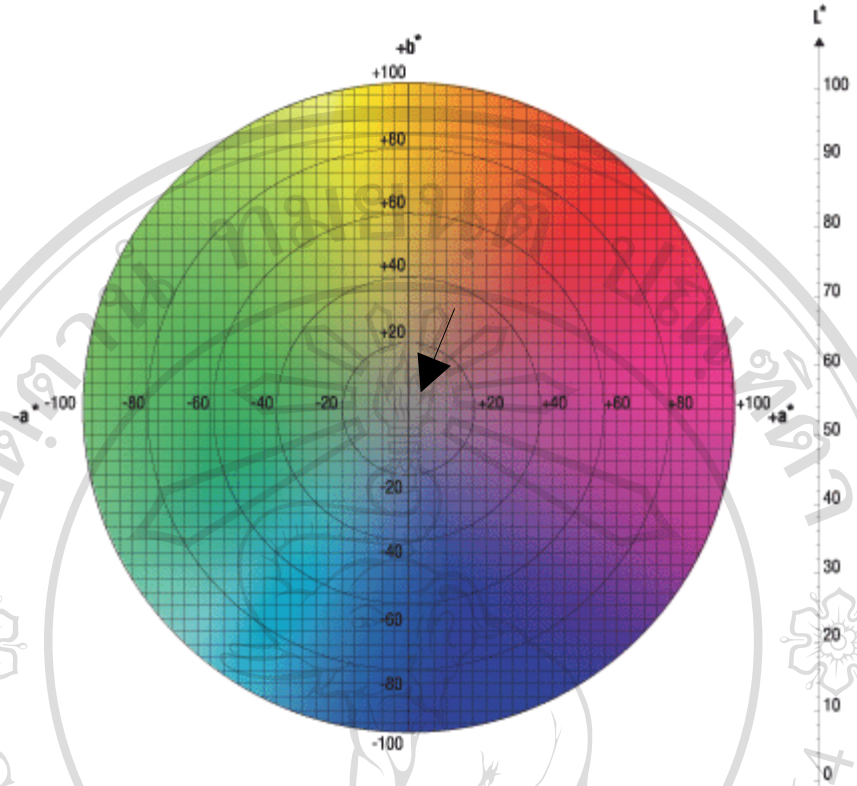
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.18 เมื่อพิจารณาค่า a* หรือค่าความเป็นสีแดง (ค่า a* เป็นบวก) และสีเขียว (ค่า a* เป็นลบ) ที่แก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน พบว่าค่า a* ที่ระยะเวลาในการแช่ 4 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.34 ถึง 0.60 และค่า a* ของระยะเวลาในการแช่ 5 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.48 ถึง 0.65 สำหรับค่าความเป็นสีเหลือง b* (ค่า b* เป็นบวก) และสีน้ำเงิน (ค่า b*เป็นลบ) ดังภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อนของระยะเวลาในการแช่ 4 ชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วง 2. 80 ถึง 4.08 และค่า b* ที่ระยะเวลาในการแช่ 5 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 2.79 ถึง 3.31 ซึ่งมีความเป็นสีเหลืองเล็กน้อยและไม่มีความเป็นสีน้ำเงินเลย โดยระยะเวลาในการแช่ อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก และความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a* และ b* จากค่า L* a* และ b* สามารถบอกได้ว่าแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน มีความสว่างปานกลาง มีสีแดงและสีเหลืองเล็กน้อย

ค่า L* a* และ b* สามารถนำมาหาความสัมพันธ์สำหรับระบบสีสเกล C* และ h° เพื่อให้ได้ตำแหน่งของสีที่ชัดเจนขึ้น โดยแสดงค่า C* และ h° ดังภาพที่ 4.21 และ 4.22 จากภาพพบว่าค่า C* ที่ระยะเวลาในการแช่ 4 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 2.86 ถึง 4.08 และค่า C* ที่ระยะเวลาในการแช่ 5 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 2.84 ถึง 3.24 และ h° ของระยะเวลาในการแช่ 4 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 77.91 ถึง 83.21 และ h° ที่ระยะเวลาในการแช่ 5 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 76.10 ถึง 79.82 โดยระยะเวลาในการแช่ อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก และความเข้มข้นของสารละลายออสโมติกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า C* และ h° แต่เมื่อพิจารณาค่า h° พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 55 กรัม มีค่าสูงกว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายออสโมติก 65 กรัม

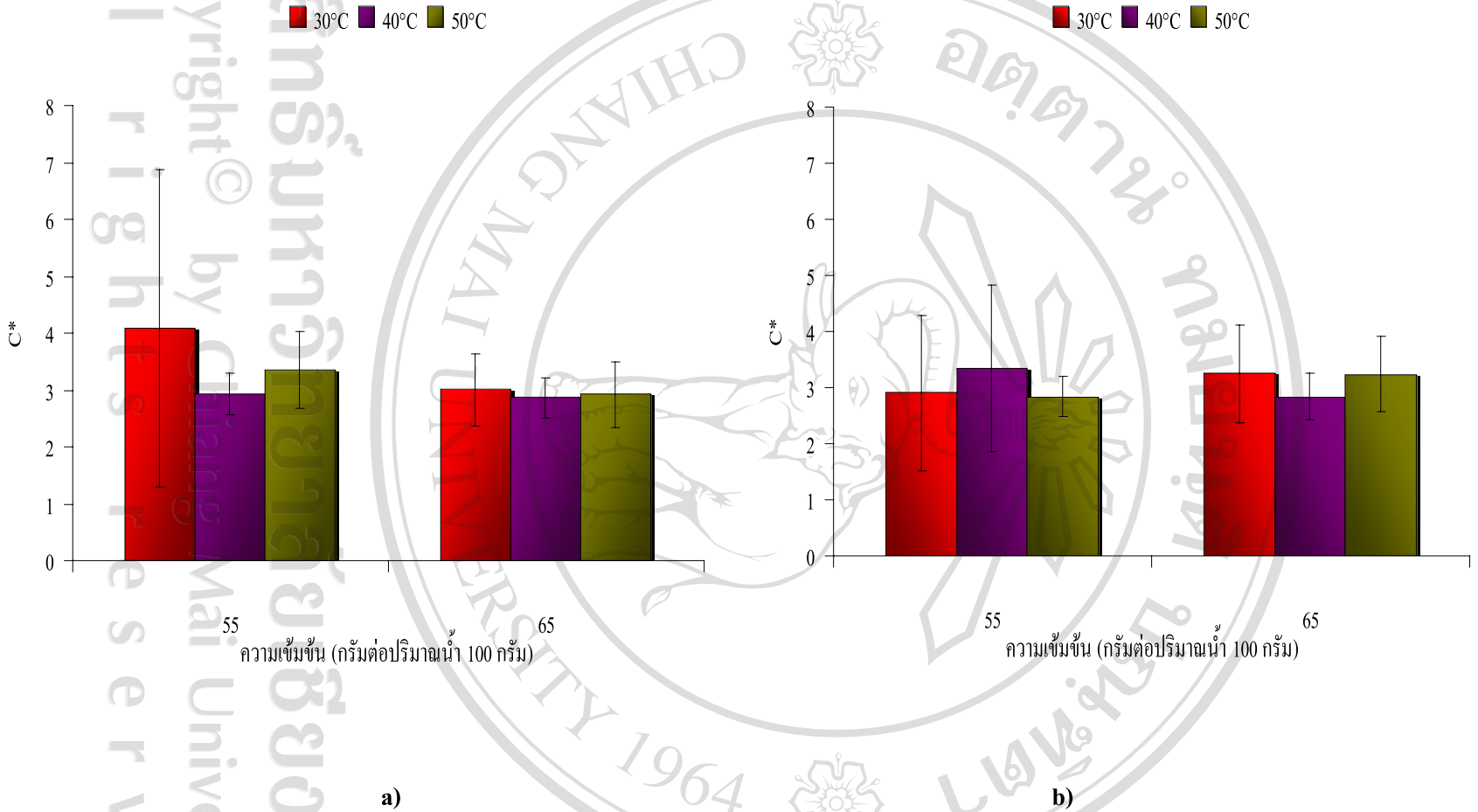
จากข้อมูลค่าสีสำหรับระบบสีสเกล C* และ h° นำไประบุตำแหน่งสีของแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน โดยแสดงตำแหน่งสีดังภาพที่ 4.20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



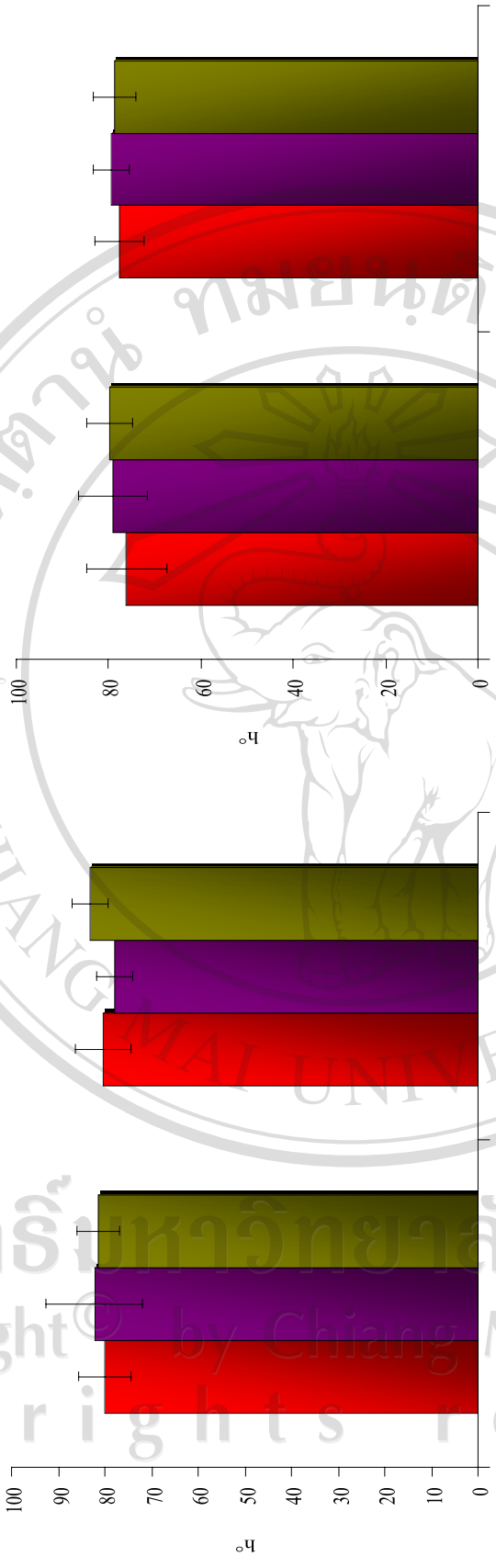
ภาพ 4.20 ตำแหน่งสีของแก้วมังกรหลังผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.21 ค่า C* ของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b) แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.22 ค่า h° ของแก้วมังกรที่ผ่านการแช่ด้วยสารละลายออสโมติกความเข้มข้น 55 กรัม และ 65 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (a) และ 5 ชั่วโมง (b) แล้วนำไปทำแห้งด้วยลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

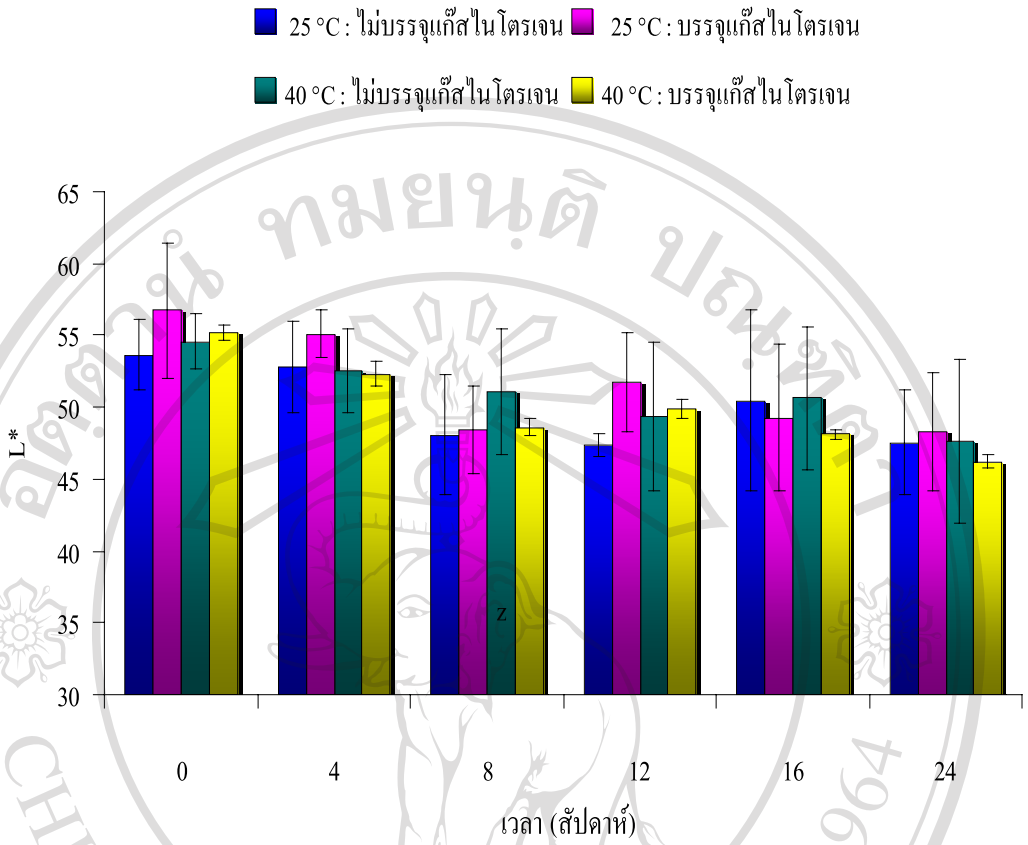
4.5 ศึกษาอายุการเก็บรักษาในสภาพการบรรจุที่ต่างกัน และสภาวะอุณหภูมิต่างกัน

หลังจากการศึกษาชิ้นแก้วมังกรระหว่างกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดแล้ว ได้ทำการคัดเลือกแก้วมังกรที่เป็นที่ยอมรับจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน โดยพิจารณาจากคะแนนการยอมรับที่สูงที่สุดจากทุก สภาวะ พบว่าชิ้นแก้วมังกรที่แช่ในสารละลายออสโมติกความเข้มข้นน้ำตาลซูโครส 55 กรัม ต่อปริมาณน้ำ 100 กรัม แช่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าคะแนนการยอมรับสูงที่สุด จากนั้นนำมาศึกษาอายุการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ ชนิดอลูมิเนียมเปลวที่ไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจน และชนิดอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 1 และ40 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงของสีค่า L* , C* และ h° ระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงค่าสี ค่า L* ของแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งขณะเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าค่า L* ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิการเก็บรักษาระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวที่ไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจนและบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 1 และ 40 ± 1 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบสภาพบรรจุภัณฑ์ พบว่าในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษาแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนมีค่า L* มากกว่าในแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งที่บรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวที่ไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา ค่า L* ของแก้วมังกรสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.59 และเมื่อผ่านการทำแห้งแล้วให้ค่า L*ในช่วง 53.63 ถึง 56.74 และเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์มีค่า L* ลดลงอยู่ในช่วง 46.22 ถึง 48.29 ซึ่งเมื่อทำการแช่แก้วมังกรในสารละลายออสโมติกแล้วทำการอบแห้งพบว่าแก้วมังกรมีสีเข้มขึ้นและระหว่างการเก็บรักษาพบว่าสีของแก้วมังกรมีความเข้มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากถุงที่ใช้ในการบรรจุเป็นถุงอลูมิเนียมเปลวซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันแสงได้ (The International Aluminium Institute, 2000 : online) ช่วยรักษาสีของผลิตภัณฑ์ไว้ แต่เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้นานขึ้นอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นได้ และมีผลต่อค่าความสว่างระหว่างการเก็บรักษา (Gustavo and Vega-Mercado, 1996) ในที่สัปดาห์ที่ 24 พบว่าสภาวะเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในบรรจุภัณฑ์บรรจุแก๊สไนโตรเจนมีค่า L* สูงที่สุด รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในบรรจุภัณฑ์ที่ไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจน และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในบรรจุภัณฑ์บรรจุแก๊สไนโตรเจน ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

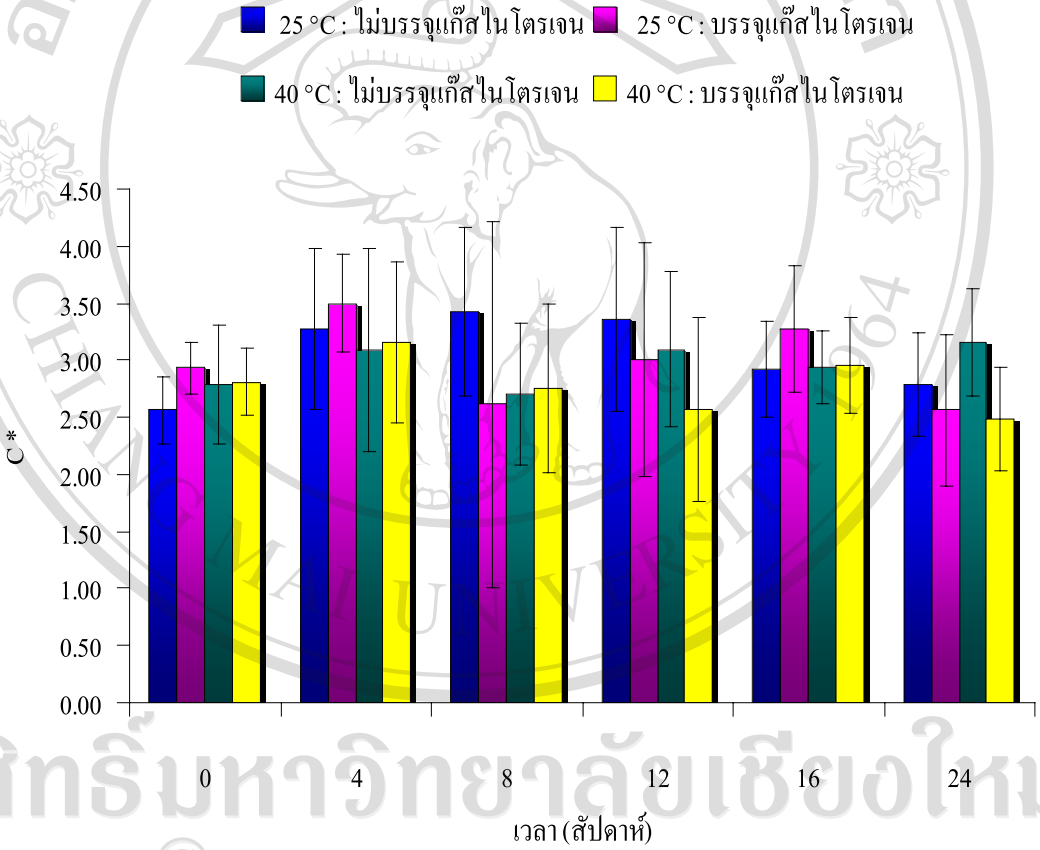


ภาพ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า L* ระหว่างการเก็บรักษา

ค่า C* ของแก้วมังกรสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.12 เมื่อผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วนำไปทำแห้งพบว่า ค่า C* มีค่าอยู่ในช่วง 2.56 ถึง 3.50 ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่า C* ของแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 4. 24 เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่า C* มีแนวโน้มลดลงแต่พบว่าสภาวะบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และสัปดาห์ ที่ 24 ค่า C * มีค่าอยู่ในช่วง 2.49 ถึง 3.16 โดยที่ขณะเก็บรักษามีการเพิ่มขึ้นของ C* แสดงว่าอาจเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลชนิดไม่ใช้เอนไซม์ โดยปฏิกิริยาสีน้ำตาลเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นในอาหารที่มีค่ากิจกรรมของน้ำต่ำ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำและจะมีการเกิดปฏิกิริยาสูงสุดที่ระดับความชื้นปานกลาง เนื่องจากน้ำมีบทบาทเป็นทั้งตัวทำละลายและเป็นสารยับยั้งปฏิกิริยาด้วย โดยขีดจำกัดของปฏิกิริยาที่ค่ากิจกรรมของน้ำต่ำคือสารไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ และหากมีปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้สารมีความเข้มข้นน้อยลง การเกิดปฏิกิริยาจึงลดต่ำลง (วิไล, 2546) ซึ่งผลการทดลองมีความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สอดคล้องกับการทดลองของ วัฒนา (2545) ซึ่งศึกษาถึงการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้ง พบว่าระหว่างการเก็บรักษาค่า C* มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างการเก็บรักษา และในการเก็บรักษาหอมหัวใหญ่แช่อิ่มอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลว โดยพบว่าค่า C* มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25-45 องศาเซลเซียส) (นักสิทธิ์, 2546) แต่แตกต่างจากการทดลองของปวีณา (2550) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษามะม่วงแก้ว โดยพบว่าค่า C* มีแนวโน้มลดลงระหว่างการเก็บรักษา แต่เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติแล้วพบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

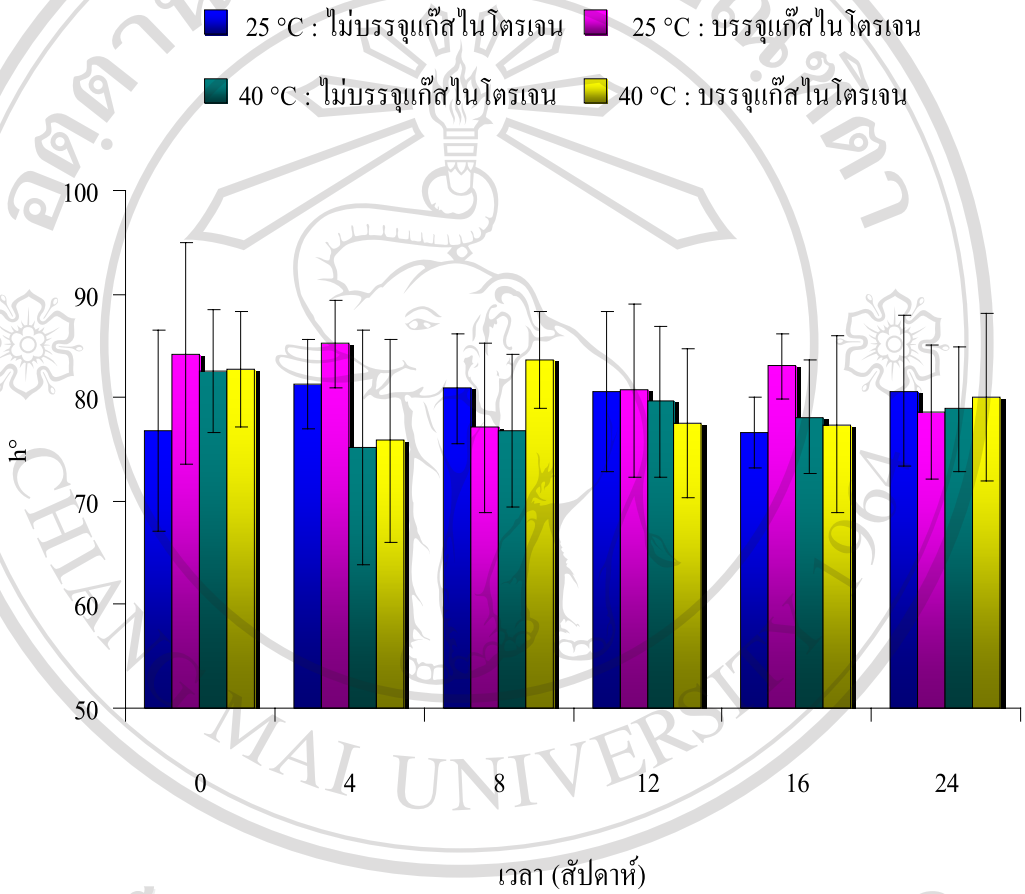


ภาพ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า C* ระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า h° ของแก้วมังกรสดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.85 เมื่อผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันและทำการอบแห้งแล้วค่า h° มีค่าอยู่ในช่วง 76.85 ถึง 84.23 การเปลี่ยนแปลงค่า h° ของแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังภาพที่ 4. 25 พบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

สภาวะบรรจุและอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) ต่อค่า h° และใน สัปดาห์ที่ 24 ค่า h° มีค่าอยู่ในช่วง 78.57 ถึง 80.64 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ปวีณา (2550) จากการเก็บรักษามะม่วงแก้ว พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษาและสภาวะบรรจุภัณฑ์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า h° ของมะม่วงแก้วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

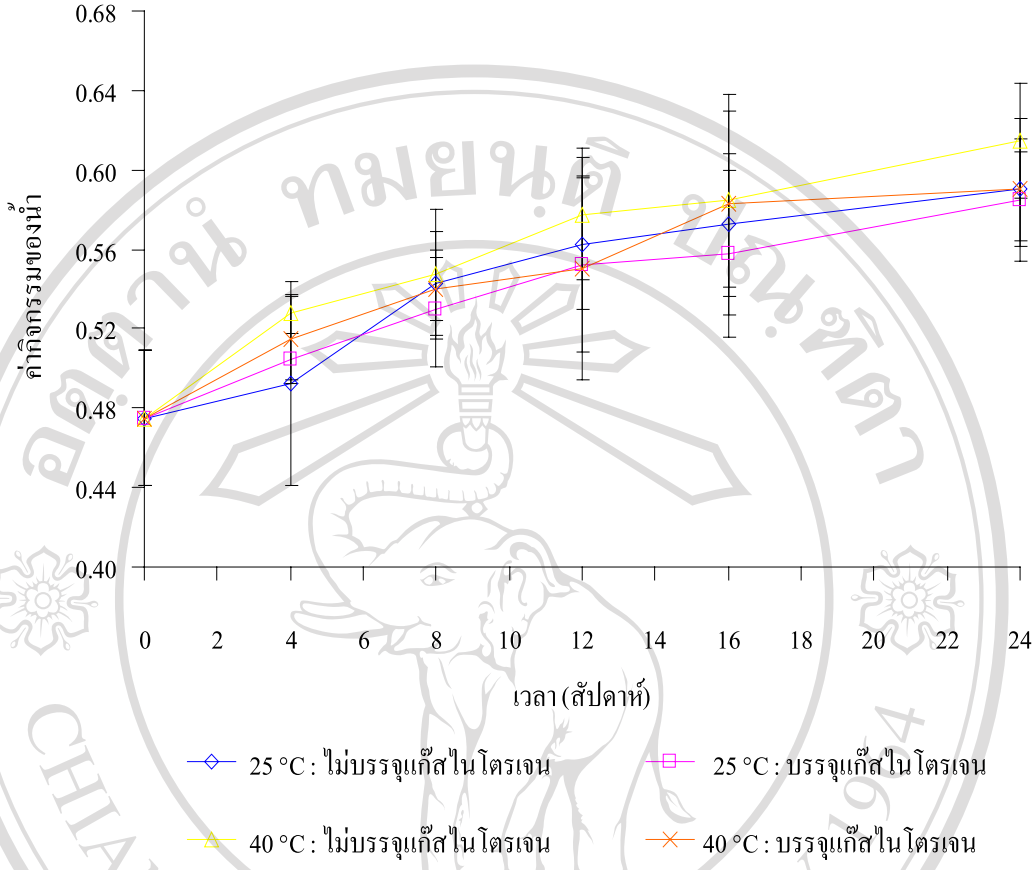


ภาพ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่า h° ระหว่างการเก็บรักษา

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงของค่ากิจกรรมของน้ำระหว่างการเก็บรักษา

ค่ากิจกรรมของน้ำก่อนการอบแห้งอยู่ในช่วง 0.91 ถึง 0.93 ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) เมื่อทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วมีค่ากิจกรรมของน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 0.47 การเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมของน้ำ ของแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันแล้วทำแห้งด้วยลมร้อน เป็นเวลา 24 สัปดาห์ แสดงดังภาพที่ 4.26

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่ากิจกรรมของน้ำระหว่างการเก็บรักษา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

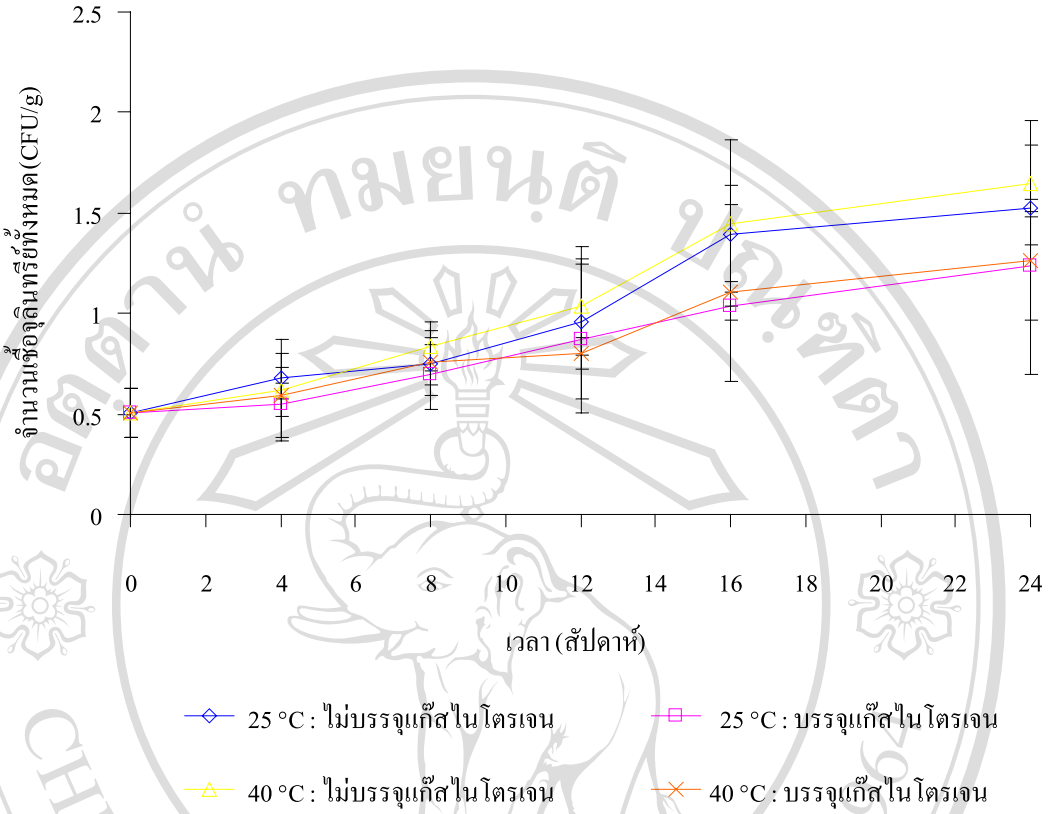
จากภาพจะเห็นได้ว่าในระหว่างการเก็บรักษาแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งเป็นเวลา 24 สัปดาห์ ค่ากิจกรรมของน้ำ ของทุกสภาวะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยอุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลต่อค่า กิจกรรมของน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 40 องศาเซลเซียส บรรจุแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งในถุงอลูมิเนียมเปลวสภาวะปกติที่เวลา 24 สัปดาห์ มีค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นสูงที่สุด และจากการศึกษาการเก็บรักษาเนื้อลิ้นจี่แช่อิ่มอบแห้งพบว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 8 องศาเซลเซียส มีค่ากิจกรรมของน้ำลดลง ส่วนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 ถึง 30 องศาเซลเซียส มีค่ากิจกรรมของน้ำเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (วัฒนา , 2545) ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ สิรินทัศน์ (2551) ซึ่งศึกษาการเก็บรักษามะเดื่อแช่อิ่มอบแห้งและพบว่าค่ากิจกรรมของน้ำมีค่าลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาจำนวน 90 วัน

ในการเก็บรักษาเป็นเวลา 24 สัปดาห์พบว่า ค่ากิจกรรมของน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นทุกสภาวะ คือที่สภาวะบรรจุแบบปกติที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส มี ค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.59 และ 0.62 ตามลำดับ และที่สภาวะบรรจุแบบบรรจุแก๊สไนโตรเจนอุณหภูมิการเก็บรักษา 25 และ 40 องศาเซลเซียส มี ค่ากิจกรรมของน้ำ เท่ากับ 0.58 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ถือว่าอยู่ในช่วงต่ำกว่าระดับที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในแก้วมังกรแช่อิ่มอบแห้งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 24 สัปดาห์ ในสภาวะบรรจุและอุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ การทดลองมีการตรวจนับโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดที่ระดับความเจือจางของสารละลายเท่ากับ 1 : 100 พบว่ามีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น 0.5 โคโลนีต่อกรัม จุลินทรีย์ทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นในทุกสภาวะ และสภาวะบรรจุแบบปกติมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมากกว่าสภาวะบรรจุแบบบรรจุแก๊สไนโตรเจนแสดงดังภาพที่ 4.27

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.27 การเปลี่ยนแปลงของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ระหว่างการเก็บรักษา

จากภาพจะเห็นได้ว่าที่สภาวะบรรจุแบบปกติและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ มีการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็น 1.52 โคโลนีต่อกรัม และ1.65 โคโลนีต่อกรัมตามลำดับ สภาวะบรรจุแบบบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 และ40 องศาเซลเซียส เวลา 24 สัปดาห์มีการเพิ่มขึ้นของเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็น 1.23 โคโลนีต่อกรัมและ 1.26 โคโลนีต่อกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่า 1×10^2 โคโลนีต่อกรัม ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลไม้แห้งกำหนดไว้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม , 2533) เนื่องจากสารละลายที่ใช้ในกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชัน ได้แก่ เกลือ น้ำตาล โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ โพแทสเซียสซอร์เบต มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ (ปรียา , 2543 ; ไพโรจน์, 2539) เช่นเดียวกับ ปวีณา (2550) ในเนื้อมะม่วงแก้ว และจากการเก็บรักษามะเดื่อแช่อิ่มอบแห้งระยะเวลา 90 วัน พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดมีน้อยกว่า 250 โคโลนีต่อกรัม ก่อนการเก็บรักษาและตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการลดปริมาณน้ำด้วยการออสโมซิสและค่ากิจกรรมของน้ำต่ำกว่า 0.60 ทำให้ปริมาณน้ำในอาหารไม่เพียงพอต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (สิรินทัศน์, 2551) ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคควรป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานที่มาตรฐานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้

ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อน ในบรรจุภัณฑ์ ชนิดอลูมิเนียมเปลวไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจน และชนิดอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 ± 1 และ40 ± 1 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าแก้วมังกรที่ผ่านกระบวนการออสโมติกดีไฮเดรชันร่วมกับการทำแห้งด้วยลมร้อนในสภาวะบรรจุในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงค่า L* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาน้อยที่สุด รองลงมาคือในบรรจุภัณฑ์ถุงอลูมิเนียมเปลวที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส ในถุงอลูมิเนียมเปลวที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส และในถุงอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่ากิจกรรมของน้ำพบว่าค่ากิจกรรมของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาคือในอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส รองลงมาคือในอลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส ในถุงอลูมิเนียมเปลวไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส และในถุงอลูมิเนียมเปลวไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่าสภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดคือใน อลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส รองลงมาคือใน อลูมิเนียมเปลวบรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส ในถุงอลูมิเนียม เปลวไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25 องศาเซลเซียส และในถุงอลูมิเนียมเปลว ไม่บรรจุแก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved