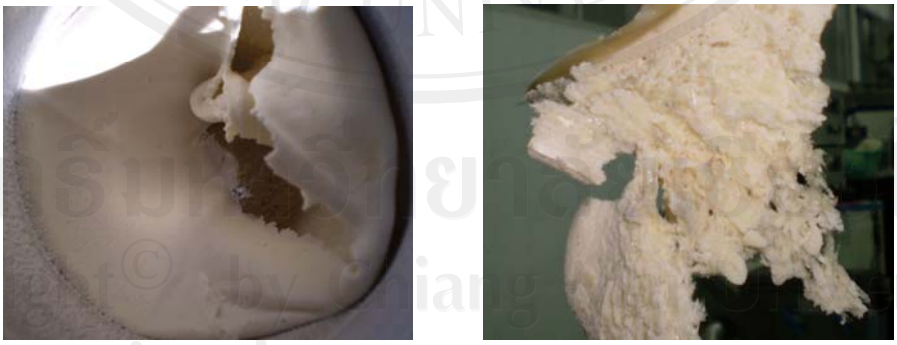
บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำผึ้งผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผึ้งต้องมีการเติมสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เพื่อช่วยลดความเหนียวของน้ำผึ้ง โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้สาร 4 ชนิด ได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน นมผง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร โดยเติมสารแต่ละชนิดในอัตราส่วน 50, 55 และ 60% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การใช้สารในปริมาณที่น้อยกว่า 50% โดยน้ำหนัก จะไม่สามารถทำการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผึ้งอาจมีตัวอย่างน้ำผึ้งประมาณ 50% หรือน้อยกว่าส่วนที่เหลือคือสารที่ช่วยในกระบวนการอบแห้ง เช่น การเติมมอลโทเดกซ์ทริน 63% เพื่อให้สามารถทำการผลิตน้ำผึ้งผงในทางการค้าได้ (Wang and Langrish, 2009) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสและฟรักโทสเป็นส่วนประกอบหลัก น้ำผึ้งดอกลำไยจะประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทสเท่ากับ 43.89% (ขนิษฐา, 2550) น้ำตาลทั้ง 2 ชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำนี้จะมี T_g ที่ต่ำด้วย เมื่อทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่า T_g มาก ผลิตภัณฑ์จึงเกิดการเหนียวและการเกาะติดกัน (Bhandari *et al*., 1997a) ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงการเหนียวของน้ำผึ้งผงที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ในการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ต้องเติมน้ำในน้ำผึ้งเพื่อให้ความหนืดของน้ำผึ้งลดลง และเพื่อให้ง่ายต่อการปั๊มและฉีดพ่นระหว่างการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แต่เนื่องจากน้ำมีค่า T_g ที่ต่ำมากคือเท่ากับ -135°C มีผลทำให้ค่า T_g ของสารผสมลดลง แต่ค่า T_g จะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำระเหยออกไป อย่างไรก็ตามต้องมีการเติมลดความเหนียวในปริมาณที่เพียงพอในสภาวะการอบแห้งที่อุณภูมิสูงจึงจะทำให้สามารถทำผลิตน้ำผึ้งผงได้ (Bhandari *et al*., 1997b)

ในการอบแห้งน้ำผึ้งผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารลดความเหนียวต่อสมบัติทางเคมีของน้ำผึ้งผงได้แก่ ค่า a_w ปริมาณความชื้น และลักษณะ sorption isotherm สมบัติทางกายภาพได้แก่ ค่า T_g ค่าสี ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการไหล ความหนาแน่นของผง และความหนาแน่นของอนุภาค ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตและปริมาณผลผลิต (%yield) รวมทั้งการศึกษาสมบัติทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังต่อไปนี้

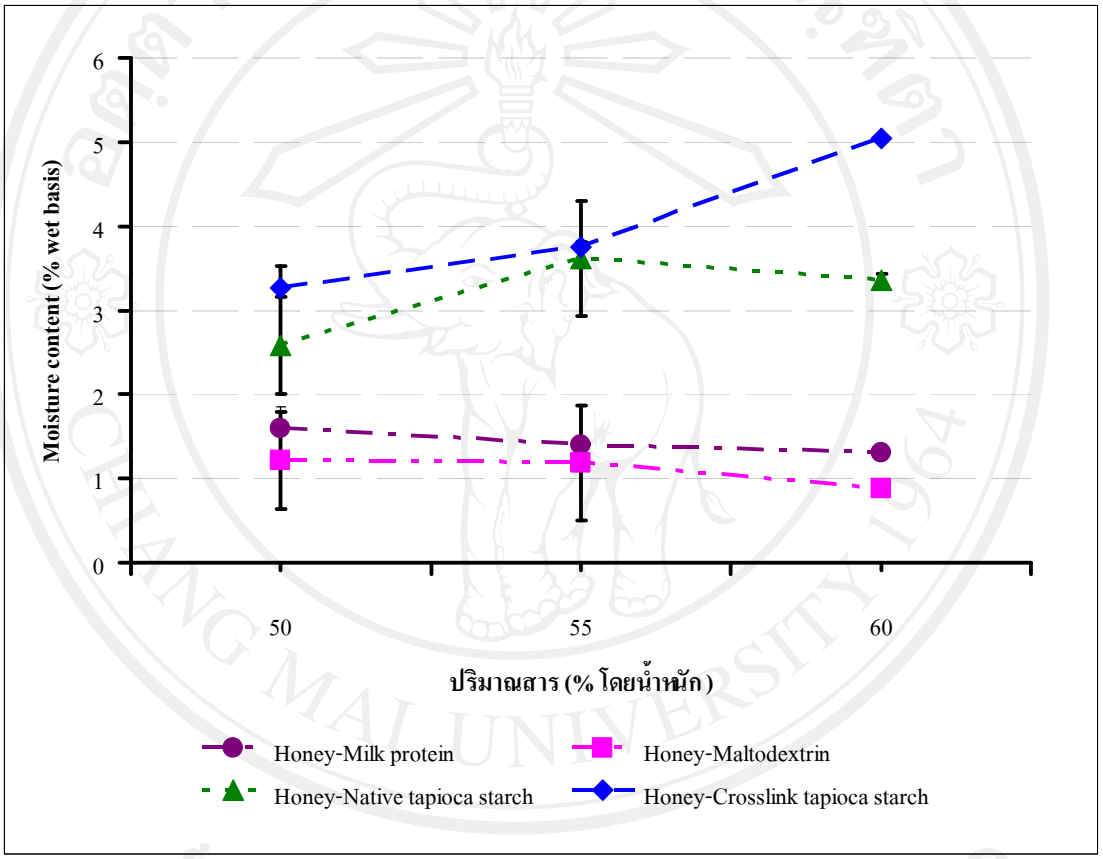
4.2 สมบัติทางเคมีของน้ำผึ้ง

4.2.1 ปริมาณความชื้น (moisture content)

จากการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด พบว่ามีปริมาณความชื้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณสารลดความเหนียวที่ระดับ 50, 55 และ 60% โดยน้ำหนักไม่มีผลต่อค่าความชื้น ($p > 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4.2 โดยน้ำผึ้งที่ผสมนมผงมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 1.5901, 1.3990 และ 1.3065% ตามลำดับ ส่วนน้ำผึ้งผสมมอลโทเดกซ์ทรินมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 1.2155, 1.1797 และ 0.8845% ตามลำดับ น้ำผึ้งที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 2.5796, 3.6183, 3.3613% และ 3.2606, 3.7563, 5.0379% ตามลำดับ โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร ปริมาณความชื้นของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากสตาร์ชดัดแปรทุกชนิดจะมีอุณหภูมิ transition (T_o: เริ่มต้น, T_p : พีค) อุณหภูมิสุดท้าย (T_c) และพลังงานเอนทาลปีทั้งหมด (ΔH_{gel}) ที่สัมพันธ์กับการเกิดเจลาติไนเซชัน ในการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีไฮดรอกซีโพพิลเลชัน (hydroxypropylation) จะทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลที่สายโซ่ของสตาร์ช ทำให้น้ำสามารถเข้าไปจับกับพันธะที่อิสระ เป็นผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันลดลง ผลของไฮดรอกซีโพพิลเลชันต่อสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชมันฝรั่งชนิดต่างๆ มีผลทำให้โมเลกุลที่ถูกแทนที่เพิ่มขึ้นด้วยน้ำ (molar substitution) ΔH_{gel}, T_o, T_p และ T_c จะลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยในการเกิดเจลาติไนเซชันจะเพิ่มขึ้น ($T_c - T_o$) หากในระหว่างการอบแห้งน้ำมีการระเหยออกจากเจลช้า จะส่งผลให้มีความชื้นในตัวอย่างสูง (Perera *et al*., 1997) ซึ่งหากเพิ่มปริมาณของสตาร์ชในสารผสมน้ำผึ้งมากขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งจะต้องเพิ่มมากขึ้น (Herbar *et al*., 1987) ปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขาออก หากอุณหภูมิขาออกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นลดลง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิขาเข้าที่สูงกว่าอุณหภูมิในการหลอมเหลว (melting) จะมีผลทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าและมีช่วงเวลาภายในถังอบแห้งสั้นจึงมีผลทำให้ผงมีความชื้นสูง ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้จะลดสมบัติในการไหล ความหนาแน่น และความเสถียรของผงลง (Hui *et al.*, 2008)



ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว 4 ชนิด

4.2.2 ค่า water activity (a_w) ของน้ำผึ้งผง

ค่า a_w ของน้ำผึ้งผงซึ่งผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน นมผง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร ในอัตราส่วน 50, 55 และ 60% โดยน้ำหนักที่ผ่านการทำแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่า ชนิดและปริมาณสารลดความเหนียวมีผลต่อค่า a_w ของน้ำผึ้งผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำผึ้งผงผสมนมผงมีค่า a_w ต่ำที่สุดและค่า a_w เพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ 0.181, 0.171 และ 0.156 ตามลำดับ ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีค่า a_w เท่ากับ 0.251, 0.242 และ 0.220 ตามลำดับ การใช้นมผง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และมอลโทเดกซ์ทรินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเติมสารลดความเหนียวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างของน้ำผึ้งสามารถจับกับอนุภาคของสารได้มากกว่า จึงเกิดรูพรุนภายในโครงสร้างได้มากกว่า น้ำผึ้งผงที่ได้จึงมีค่า a_w ที่ต่ำลง (Rahman, 1995) ในขณะที่การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า a_w สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรพบว่าให้ค่า a_w ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่า a_w ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมากจากโครงสร้างของ granule และความหนืดของสตาร์ช โดยสตาร์ชมันสำปะหลังจะมีโครงสร้างของ crystalline ที่แข็งและอัดตัวกันแน่นและมีความหนืดสูง มีผลทำให้อัตราในการอบแห้งลดลง (Loksuwan, 2007) นอกจากนี้ค่า a_w ยังแปรผันตามปริมาณความชื้น ซึ่งพบว่าเมื่อมีปริมาณความชื้นมาก a_w จะมีค่ามากตามไปด้วย (ลักขณา และนิธิยา, 2544) ตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรมีปริมาณความชื้นสูงกว่า จึงทำให้ค่า a_w สูงกว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่า a_w ได้แก่ องค์ประกอบในอาหาร สถานะทางเคมีกายภาพของอาหาร โครงสร้างรูพรุนของอาหาร อุณหภูมิ ความดัน และแรงตึงผิว ซึ่งพบว่าตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงและมอลโทเดกซ์ทรินมีโครงสร้างรูพรุนที่มากกว่าจึงมีค่า a_w ต่ำกว่าตัวอย่างที่ผสมสตาร์ชทั้ง 2 ชนิด (Hui *et al*., 2008)

ตารางที่ 4.1 ค่า a_w ของน้ำผึ้งผงจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้สารลดความเหนียวชนิดต่างๆ

ปริมาณ (%)	ค่า a_w ของน้ำผึ้งผงจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ใช้สารลดความเหนียว			
	นมผง	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร^{ns}
50	$0.181^{Ab} \pm 0.01$	$0.251^{Bb} \pm 0.01$	$0.191^{Aa} \pm 0.04$	$0.189^{A} \pm 0.01$
55	$0.171^{Ab} \pm 0.01$	$0.242^{Cb} \pm 0.02$	$0.210^{Bb} \pm 0.09$	$0.204^{B} \pm 0.03$
60	$0.156^{Aa} \pm 0.02$	$0.220^{Ba} \pm 0.03$	$0.222^{Bb} \pm 0.11$	$0.219^{B} \pm 0.14$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 สมบัติทางกายภาพของน้ำผึ้งผง

4.3.1 อุณหภูมิ glass transition (T_g) ของน้ำผึ้งผง

อาหารที่มักทำแห้งด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ non-sticky และ sticky โดยทั่วไปวัตถุประเภท non-sticky จะสามารถทำแห้งโดยใช้สภาวะการอบแห้งทั่วไปและผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสามารถในการไหลได้อย่างอิสระ ตัวอย่างอาหารในกลุ่มนี้ได้แก่ นมพร่องมันเนย มอลโทเดกซ์ทริน กัม และโปรตีน ในขณะที่วัตถุที่มักเกิดการเหนียวได้ง่ายนั้น หากทำการอบแห้งด้วยวิธีปกติจะทำได้ยาก เนื่องจากอาหารที่มีน้ำตาลและกรดสูง เช่น น้ำผักและน้ำผลไม้ รวมถึงน้ำผึ้งนั้นประกอบด้วยน้ำตาลฟรักโทส กลูโคส ซูโครส และกรดอินทรีย์ต่างๆซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมักมีอุณหภูมิ glass transition (T_g) ที่ต่ำด้วย T_g คือ อุณหภูมิที่ทำให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะ glassy ไปเป็น rubbery state โดย T_g เป็นดัชนีทางกายภาพที่มีความสำคัญอย่างมากในการอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเคมีและทางกายภาพของอาหาร (Bell and Touma, 1996)

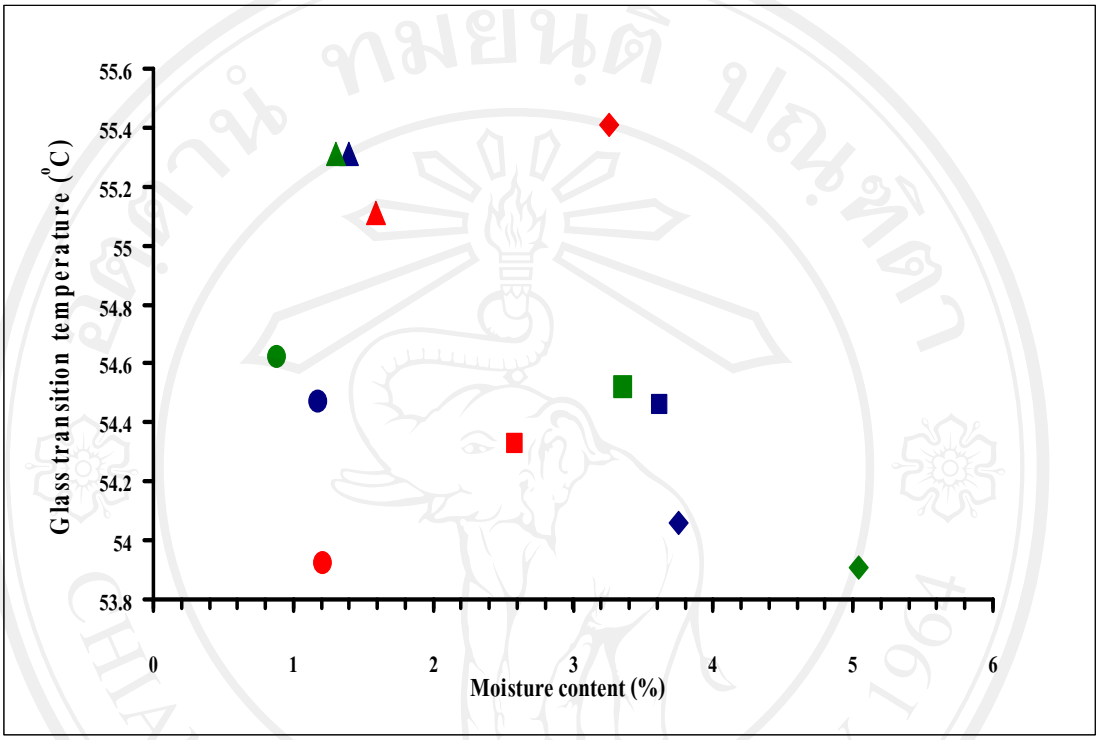
อาหารเหล่านี้เมื่ออบแห้งให้เป็นผงจะมีโครงสร้างอสัณฐาน ซึ่งมีสมบัติในการดูดความชื้นกลับทำให้ผลิตภัณฑ์ผงเกิดการเหนียวขึ้น เป็นผลจากการลดลงของ T_g อุณหภูมิจุดเหนียวของอาหารผง (sticky point temperature) จะลดลงหากน้ำหนักโมเลกุลและ T_g ลดลง (Roos and Karel, 1991) วัตถุเช่นน้ำผลไม้ผงซึ่งประกอบด้วยโมโนแซ็คคาไรด์จะมีค่า T_g ต่ำและอุณหภูมิจุดเหนียวที่ต่ำ สามารถลดการเหนียวของอาหารผงและเพิ่มความเสถียรโดยการเติมสารที่มี T_g สูง (Jaya and Das, 2004)

จากการวิเคราะห์ T_g ของน้ำผึ้งผงซึ่งผสมสารลดความเหนียว 4 ชนิดได้แก่ นมผง มอลโท-เดกซ์ทริน สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรในปริมาณ 50, 55 และ 60% มีผลทำให้ค่า T_g ของน้ำผึ้งผงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งค่า T_g ของน้ำผึ้งผงจะอยู่ในช่วงระหว่าง 53-55°C แสดงดังภาพที่ 4.3 ปริมาณนมผงที่เพิ่มขึ้นค่า T_g มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงที่ 50% มีค่า T_g ต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณความชื้นสูงสุดเมื่อเทียบกับที่ 55 และ 60% ในขณะที่มอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 55% มีค่า T_g ต่ำกว่าที่ระดับ 50 และ 60% เนื่องจากมีปริมาณความชื้นในตัวอย่างสูง การใช้สตาร์ชมันสำปะหลังในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า T_g สูงขึ้นแต่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร ในขณะที่การใช้ปริมาณสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า T_g มีแนวโน้มที่ลดลงตามปริมาณความชื้นที่สูงขึ้น

โครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชมันสำปะหลังจะประกอบด้วยโพลิเมอร์ 2 กลุ่มได้แก่ อะไมโลสและอะไมโลแพคติน ทั้ง 2 โมเลกุลจะก่อรูปเป็น semi-crystalline superstructures ที่ประกอบด้วยชั้นของ crystalline และ amorphous เรียงซ้อนกันเป็นโครงสร้าง ส่วน crystalline

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทั้งหมดจะก่อตัวมาจากอะไมโลแพคติน ซึ่งจะมีบางส่วนในโครงสร้างเป็นโมเลกุลของอะไมโลส ภายในโครงสร้างของ crystalline จะมีการกำหนดจำนวนโมเลกุลของน้ำ ในขณะที่ส่วนของ amorphous จะมีการจัดโครงสร้างให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำอิสระในอากาศ



ภาพที่ 4.3 อุณหภูมิ glass transition ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ปริมาณความชื้นต่างๆ
(△= น้ำผึ้ง-นมผง○ = น้ำผึ้ง-มอลโทเดกซ์ทริน □ = น้ำผึ้ง-สตาร์ช ◇ = สตาร์ชดัดแปร)
(สีแดง = 50%, สีน้ำเงิน = 55%, สีเขียว = 60%)

น้ำซึ่งถูกขับออกจากผลึก (crystals) เนื่องจากกระบวนการ crystallization นั้น จะถูกดูดซับเข้าสู่ rubbery amorphous ของ starch matrix ได้ดีกว่า ในทางกลับกันเนื่องจากสมบัติ plasticizing จึงมีผลทำให้ความสามารถในการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น จำนวน hydroxyl groups จึงมีปริมาณเพิ่มขึ้น ดังนั้นน้ำจึงมีอิทธิพลต่อโครงสร้างโดยจะมีลักษณะเป็น plasticizer ของ amorphous regions ซึ่งจะมีผลในการลด T_g ที่ปริมาณความชื้นสูงน้ำจะมีสมบัติเป็น plasticizes ทำให้ T_g ลดลง (Perdomo *et al.*, 2008)

การที่ตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรมีค่า T_g ลดต่ำลง เนื่องจาก T_g ของสตาร์ชที่ทำ cross-linking ภายใต้สภาวะที่มีน้ำจำกัดจะลดลงตามอัตราส่วนของสารที่ใช้ cross-linking ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก internal plasticization โดยการแทนที่ของโมโนฟอสเฟต ทำให้ปริมาณสายแขนงของสตาร์ชอิสระเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ T_g ลดลง (Singh *et al.*, 2007) อิทธิพลของน้ำในการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็น plasticizing จะมีผลต่ออาหารน้อยมาก หากมีค่า a_w ที่ต่ำ ดังนั้น T_g จึงมีความสัมพันธ์กับส่วนของ amorphous ในตัวอย่าง ซึ่งที่อุณหภูมิห้องวัตถุอาจจะยังมีลักษณะเป็น amorphous อยู่

ที่สถานะ rubbery จะมีปริมาณน้ำมากกว่าในสถานะ amorphous เนื่องจาก free volume จะเพิ่มขึ้นเหนืออุณหภูมิ T_g การเพิ่มขึ้นของ a_w ทำให้อาหารเกิด plasticization เนื่องจากส่วนที่มีขั้วของอาหารจับกับโมเลกุลของน้ำเพิ่มขึ้น และโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น (Al-Muhtaseb *et al.*, 2004) กลไกการเกิด plasticizion ของน้ำเกิดจากการจับก่อพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bonds) อย่างหลวมๆและจากปฏิกิริยา dipole-dipole intra- และ inter-macromolecular การป้องกันแรงกระทำจากโมเลกุลของน้ำมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่นที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การเพิ่มค่า T_g ของอาหาร

4.3.2 สมบัติด้านสีของน้ำผึ้งผง

ผลการวัดค่าสีของน้ำผึ้งผงด้วยเครื่องวัดสี Color Quest II Colorimeter (Chroma Meter CR 300 Series, Minolta, Japan) วัดค่า L*, C* และ h° แสดงดังตารางที่ 4.2-4.4 พบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของมอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 93.23, 95.08 และ 96.27 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารลดความเหนียวเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสว่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยถ้าค่า L* มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยจนเป็นสีคล้ำ ถ้าค่า L* เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาว (McGuire, 1992)

ตารางที่ 4.2 ค่าความสว่าง (L*) ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว 4 ชนิด

ปริมาณ (%)	ค่าความสว่าง (L*) ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว			
	นมผง	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	$90.29^{Bb}\pm1.36$	$93.23^{Ac}\pm0.63$	$88.82^{Cb}\pm1.48$	$88.07^{Cc}\pm2.20$
55	$92.02^{Ba}\pm0.41$	$95.08^{Ab}\pm0.40$	$91.57^{Ba}\pm1.58$	$90.43^{Cb}\pm1.01$
60	$92.27^{Ba}\pm1.28$	$96.27^{Aa}\pm0.30$	$92.23^{Ba}\pm1.28$	$92.50^{Ba}\pm1.59$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า chroma (C*) ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงซึ่งผสมนมผงมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณสารลดความเหนียวที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความค่า C* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า C* ของน้ำผึ้งผงผสมนมผง มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรมีค่าเท่ากับ 23.77, 13.82 , 13.07 และ 10.70 ตามลำดับ หากค่า C* เข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีเทา หากค่า C* มากขึ้น แสดงว่าตัวอย่างมีความเข้มของสีมากขึ้น (McGuire, 1992)

ตารางที่ 4.3 ค่า Chroma (C*) ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว 4 ชนิด

ปริมาณ (%)	ค่า Chroma (C*) ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว			
	นมผง	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	$23.77^{Aa} \pm 2.54$	$10.70^{Ca} \pm 0.26$	$13.82^{Ba} \pm 0.87$	$13.07^{Ba} \pm 0.88$
55	$21.96^{Aab} \pm 2.01$	$8.48^{Cb} \pm 0.34$	$11.10^{Bb} \pm 1.37$	$11.39^{Bb} \pm 0.55$
60	$20.92^{Ab} \pm 1.98$	$6.97^{Dc} \pm 0.34$	$10.56^{Bb} \pm 0.82$	$9.17^{Cc} \pm 1.17$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

น้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดให้ค่าเฉดสี (h°) อยู่ในช่วง 92-97 องศา แสดงถึงสีของน้ำผึ้งผงอยู่ในช่วงสีเหลือง-สีเขียว โดยชนิดและปริมาณสารลดความเหนียวมีผลต่อค่า h° ของน้ำผึ้งผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.4 ค่า h° หรือ Hue angle เป็นค่าที่แสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น หากค่า h° อยู่ในช่วง 0-45 องศา แสดงสีม่วงแดง-สีส้มแดง 45-90 องศา แสดงสีส้มแดง-สีเหลือง 90-180 องศา แสดงสีเหลือง-สีเขียว 180-270 องศา แสดงสีเขียว-สีน้ำเงิน 180-360 องศา แสดงสีน้ำเงิน-สีม่วงแดง (McGuire, 1992) ตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงให้ค่า h° สูงสุด ซึ่งตัวอย่างน้ำผึ้งมีสีเป็นสีเหลืองเข้ม รองลงมาได้แก่ ตัวอย่างที่ผสมมอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร และสตาร์ชมันสำปะหลัง โดยค่า h° อยู่ในช่วงเท่ากับ 94.41-97.09, 95-96 และ 94-96 องศา ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างน้ำผึ้งที่ผสมสารทั้ง 3 ชนิดจะมีเฉดสีเป็นสีเหลืองอ่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 ค่า h° ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว 4 ชนิด

ปริมาณ (%)	ค่า h° ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียว			
	นมผง	มอลโทเดกซ์ทริน^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลัง^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	$94.41^{BCb}\pm2.788$	$96.59^{A}\pm0.599$	$93.29^{C}\pm1.466$	$96.14^{ABa}\pm2.516$
55	$96.97^{Aa}\pm0.696$	$95.47^{AB}\pm1.604$	$93.16^{C}\pm2.685$	$94.30^{BCb}\pm0.644$
60	$97.09^{Aa}\pm2.391$	$95.63^{AB}\pm2.370$	$92.84^{C}\pm2.837$	$94.21^{BCb}\pm1.309$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

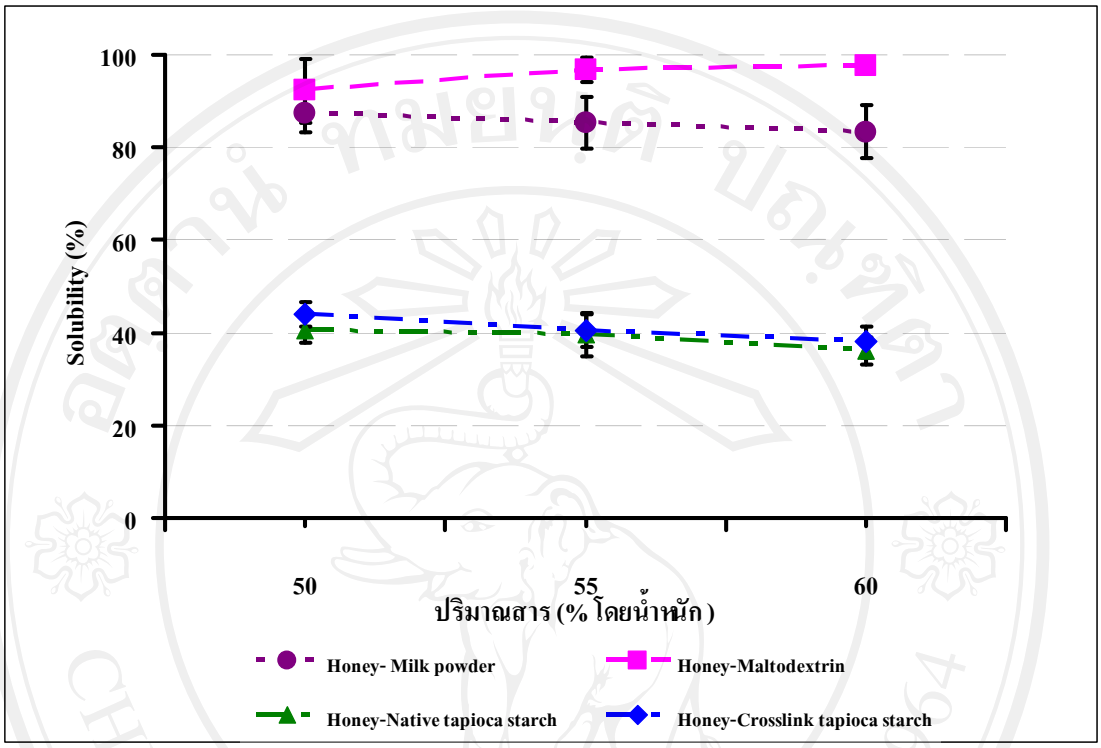
จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงมีผลทำให้ h° เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบพอลิไฮดรอกซีคาร์บอนิล (polyhydroxycarbonyl compound : sugar or acid) ในน้ำผึ้งถูกความร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วเป็นผลก่อให้เกิดสารที่เรียกว่าคาราเมล ซึ่งเป็นสารผสมของผลิตผลการสลายตัวที่ได้จากการให้ความร้อนกับน้ำตาลที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลว (melting point) ของน้ำตาลนั้นๆ ในขณะที่การใช้มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า h° ลดลงตามลำดับ เนื่องจากสีของมอลโทเดกซ์ทรินและสตาร์ชทั้ง 2 ชนิดมีสีขาวเมื่อนำมาผสมกับน้ำผึ้งจะทำให้สีของน้ำผึ้งผงอ่อนลง และมีความสว่างมากขึ้นตามปริมาณของสารที่เติมลงไป

4.3.3 ความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดแสดงดังภาพที่ 4.4 พบว่า สารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดมีผลต่อความสามารถในการละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยน้ำผึ้งผงที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินมีค่าความสามารถในการละลายสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำผึ้งผงผสมนมผง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร การผสมมอลโทเดกซ์ทรินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการละลายสูงขึ้นเท่ากับ 92.33, 96.79 และ 97.75% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด

การใช้นมผง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความสามารถในการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากนมผงเมื่อถูกความร้อนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (protein denature) มีผลทำให้การละลายลดลง ในขณะที่สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรและสตาร์ชมันสำปะหลังจะมีสมบัติในการละลายน้ำน้อยกว่า โดยสตาร์ชมันสำปะหลังที่ 50, 55 และ 60% มีค่าความสามารถในการละลายต่ำสุดเท่ากับ 40.60, 39.57 และ 36.15% ซึ่งเป็น % การละลายที่ใกล้เคียงกับ % ของน้ำผึ้งที่ผสมอยู่ จึงสรุปได้ว่าความสามารถในการละลายของน้ำผึ้งผงที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังเป็น % การละลายของน้ำผึ้งที่ผสมอยู่ ความสามารถในการละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรจะสูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันนี้ เนื่องจากความแตกต่างของขนาดโมเลกุลและโครงสร้าง granule ซึ่งสตาร์ชมันสำปะหลังที่ถูกดัดแปรจะทำให้มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง และบางส่วนของ granule มีการแตกทำให้น้ำสามารถซึมเข้าไปใน granule ได้ เป็นผลให้ % การละลายของสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรสูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง (Loksuwan, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

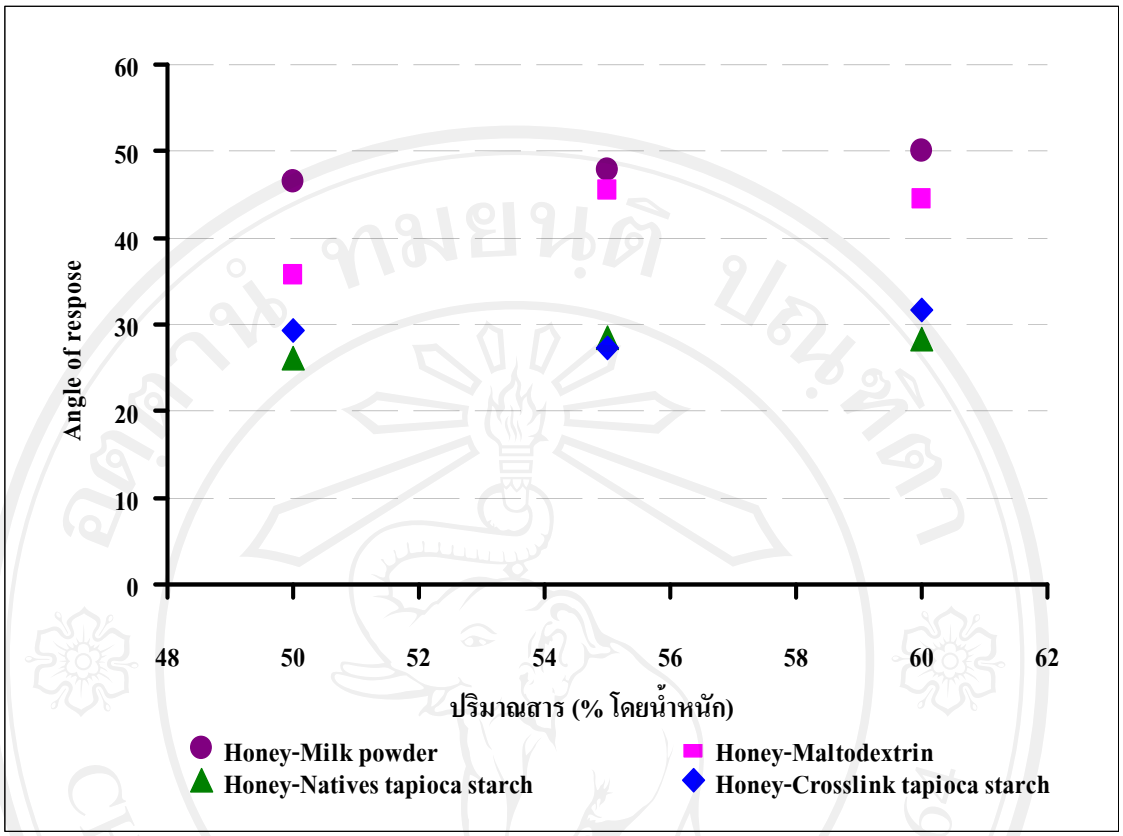
พรรณจิราและคณะ (2545) ทำการทดสอบการอบแห้งแบบพ่นฝอยน้ำผลไม้รวม พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าการละลายจะผันแปรตามอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและปริมาณมอลโทเดกซ์ทริน คือ เมื่อปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินคงที่ อุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีค่าการละลายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอาหารผงที่ได้จากการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีลักษณะเป็นทรงกลมและมี wet surface อยู่โดยรอบ ซึ่งถ้าหากมี wet surface อยู่ในปริมาณมากจะทำให้น้ำในบริเวณดังกล่าวเกิดการดึงดูดกันเอง เป็นผลให้อนุภาคผงเข้ามารวมตัวกันเป็นก้อน ซึ่งเมื่อนำไปละลายจะทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ดังนั้นการใช้อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นจะทำให้ผงมีความชื้นต่ำลงและมี wet surface อยู่รอบอนุภาคน้อย เมื่อนำไปละลายน้ำจึงละลายได้ดีกว่าผงที่มีความชื้นสูง

4.3.4 ความสามารถในการไหลโดยใช้วิธีวัดมุมกอง

มุมกอง คือมุมกองระหว่างพื้นราบและพื้นเอียงของกองวัสดุที่ถูกทำให้ไหลลงมาจากอุปกรณ์ที่จัดให้อยู่สูงเหนือพื้นราบ มุมกองเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง ค่ามุมกองของวัสดุแห้งจะมีค่าต่ำกว่าและมีความสามารถในการไหลได้มากกว่าวัสดุแห้งที่มีค่ามุมกองที่สูงกว่า ความสามารถในการไหลของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ได้จากการผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดแสดงดังภาพที่ 4.5 พบว่า สารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดมีผลต่อค่ามุมกอง โดยค่ามุมกองจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารลดความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรจะมีความสามารถในการไหลได้ดีกว่ามอลโทเดกซ์ทรินและนมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ปริมาณสตาร์ชมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการไหลมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากค่าความชื้นของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่ค่าความสามารถในการไหลจะผันแปรตามปริมาณความชื้นของตัวอย่าง แต่ทั้งนี้ค่ามุมกองยังอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 35 องศา แสดงว่าตัวอย่างน้ำผึ้งผงยังคงมีความสามารถไหลได้อย่างอิสระ

น้ำผึ้งผงที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินมีค่าความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น โดยมีมุมกองเท่ากับ 35.67, 45.44 และ 44.56 องศา แสดงว่าอนุภาคตัวอย่างเกิดการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคเล็กน้อย ส่วนน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงมีค่าความสามารถในการไหลต่ำสุดเทียบเท่ากับมุมกอง 46.56, 47.89 และ 50.00 องศา ที่ระดับ 50, 55, 60% ตามลำดับ ซึ่งค่ามุมกองที่อยู่ในช่วง 45-55 องศา แสดงว่าเกิดการเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคมาก ซึ่งหมายถึงอาหารผงเกิดการสูญเสียความสามารถในการไหล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.5 แสดงความสามารถในการไหลของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด

ปัจจัยที่มีผลต่อค่ามุมกองคือ สภาวะในการเก็บรักษาของผงที่ต้องการทดสอบความสามารถในการไหล ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผงเพียงเล็กน้อยก็สามารถเพิ่มค่ามุมกองได้มากกว่า 1 เท่า (Zou and Brusewitz, 2002) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคและองค์ประกอบของพื้นผิวของผง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผงที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบที่พื้นผิวสูงจะไปยับยั้งสมบัติของการไหล (Kim *et al*., 2005) และปริมาณไขมันยังมีผลอย่างมากต่อการเกาะตัวกันของนมผง โดยนมผงที่มีปริมาณไขมันที่พื้นผิวของอนุภาคมากกว่าก็จะส่งผลให้มีการเกาะตัวกันมากกว่าทำให้ความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์นมผงมีค่าลดลง (Fitzpatrick *et al*., 2007)

นอกจากนี้ความสามารถในการไหลจะมีความสัมพันธ์กับความชื้นด้วย ทั้งนี้จากผลการทดลองสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรมีค่าความชื้นสูง แต่ความสามารถในการไหลที่ดี เนื่องจากสตาร์ชเป็นประเภท non-hygroscopic ดังนั้นจึงไม่มีการดูดความชื้นจากสภาวะบรรยากาศทำให้ตัวอย่างน้ำผึ้งผงมีการไหลที่ดี ในขณะที่ตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงพบว่าแม้จะมีปริมาณความชื้นต่ำแต่ผงเกิดการดูดความชื้นจากอากาศได้มาก เนื่องจากนมผงที่ใช้มีการผสมไขมันและน้ำมันอยู่จึงทำให้ความสามารถในการไหลต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.5 ความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งผง

ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ได้จากการผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ปริมาณสารลดความเหนียวที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นของผงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) น้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงและมอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 50 และ 55% มีความหนาแน่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผึ้งผงที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้สารลดความเหนียว พบว่า ที่ระดับปริมาณสารทั้ง 4 ชนิดที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นรวมของน้ำผึ้งผงลดลง Barboza -Cánova and Juliano (2005) พบว่า สตาร์ชจะมีความหนาแน่นเท่ากับ 1500 kg/m^3 และโปรตีนมีความหนาแน่นประมาณ 1400 kg/m^3 ซึ่งจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลซูโครสที่มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1560 และ 1590 kg/m^3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างน้ำผึ้งผง

ปริมาณ (%)	ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างน้ำผึ้งผง (kg/m^3)			
	นมผง	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ช มันสำปะหลัง	สตาร์ช มันสำปะหลังดัดแปร
50	$420.01^{Ba} \pm 0.292$	$420.39^{Ba} \pm 0.401$	$478.06^{Aa} \pm 0.354$	$451.10^{ABa} \pm 0.3868$
55	$391.59^{Bab} \pm 0.320$	$400.56^{Bab} \pm 0.225$	$462.97^{Aa} \pm 0.150$	$445.48^{Aa} \pm 0.2625$
60	$365.78^{Bb} \pm 0.499$	$378.44^{ABb} \pm 0.460$	$404.26^{ABb} \pm 0.569$	$413.66^{Ab} \pm 0.2214$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.6 ความหนาแน่นของอนุภาคผง

ความหนาแน่นของอนุภาคของตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิดแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผง สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรมีค่าความหนาแน่นของอนุภาคที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ปริมาณสารลดความเหนียวที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) น้ำผึ้งผงที่ผสม

มอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีผลทำให้ความหนาแน่นของอนุภาคเท่ากับ 1875.8, 1936.3 และ 1696.8 kg/m^3 ตามลำดับ

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นของอนุภาคอย่างยิ่ง คือการปิดกั้นของอากาศหรือโพรงอากาศภายในอนุภาค ความหนาแน่นของอาหารผงโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 1200-1400 kg/m^3 ความหนาแน่นของมวลผลิตภัณฑ์ (ความหนาแน่นของของแข็ง) ของอาหารโดยทั่วไปเท่ากับ 1400 kg/m^3 (Goula and Adamopoulos, 2005) การรวมตัวของอากาศสามารถเกิดขึ้นได้ในของเหลวระหว่างการปั๊มการเขย่าหรือทำให้ตัวอย่างปั่นป่วนและกระบวนการฉีดตัวอย่าง สมบัติในการเกิดโฟมของตัวอย่าง เช่นนมพร่องมันเนยจะช่วยให้อากาศเกิดการรวมตัวกันได้ สารละลายโปรตีนจะมีสมบัติในการสร้างโฟม เนื่องจากสามารถลดแรงตึงผิวระหว่างผิวหน้าได้ การมีไขมันในอาหารเหลวจะทำให้ไม่สามารถเกิดโฟมได้เนื่องจากเป็นการเพิ่มแรงตึงผิว การใช้อุณหภูมิขาออกสูงมักมีผลทำให้เกิดโพรงภายในอนุภาคที่ใหญ่เนื่องจากการเดือดเป็นไอ การขยายตัวและเกิดเป็นฟองในอากาศ ความหนาแน่นของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นของผง wettability และ sinkability ของผงเพิ่มขึ้น (Hui *et al.,* 2008)

ตารางที่ 4.6 ความหนาแน่นของอนุภาคตัวอย่างน้ำผึ้งผง

ปริมาณ (%)	ความหนาแน่นของอนุภาคตัวอย่างน้ำผึ้งผง (kg/m^3)			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลัง^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร^{ns}
50	1715.6^{AB}±0.215	1875.8^{B}±0.278	1534.1^{A}±0.147	1564.8^{A}±0.073
55	1499.4^{A}±0.335	1936.3^{B}±0.098	1550.3^{A}±0.098	1526.1^{A}±0.111
60^{ns}	1479.1±0.142	1696.8±0.206	1587.0±0.088	1558.2±0.099

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การยอมรับทางประสาทสัมผัส

จากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีทดสอบความชอบด้วย 9 hedonic scale ในคุณลักษณะต่างๆ ของน้ำผึ้งผงผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด ที่ผ่านการทำแห้งด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยดังนี้คือ สี กลิ่นน้ำผึ้ง รสหวาน ความเป็นเนื้อเดียว และความชอบโดยรวม ทำการทดสอบกับผู้ทดสอบจำนวน 50 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.7-4.11

จากตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลการทดสอบความชอบต่อสีของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งผสมที่ใช้สารลดความเหนียว ได้แก่ นมผง มอลโทเดกซ์ทริน สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่ผ่านการทำแห้งด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า น้ำผึ้งผงที่มีนมผงเป็นส่วนผสมที่ปริมาณ 50, 55 และ 60% ผู้ทดสอบทั้ง 50 คน ให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยน้ำผึ้งผงที่มีนมผงเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนเท่ากับ 7.5, 7.4 และ 7.4 ตามลำดับ ซึ่งมีเกณฑ์ความชอบปานกลาง สำหรับน้ำผึ้งผงที่มีมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนเท่ากับ 6.3, 6.5 และ 5.8 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความชอบเล็กน้อย ส่วนน้ำผึ้งที่มีสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.8, 6.0, 5.7 และ 6.1, 5.8, 5.8 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย-เฉยๆ

ตารางที่ 4.7 คะแนนความชอบด้านสี

ปริมาณ (%)	คะแนนความชอบด้านสี			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ช มันสำปะหลัง	สตาร์ช มันสำปะหลังดัดแปร
50	$7.5^{A}\pm1.3$	$6.3^{Ba}\pm1.3$	$5.8^{Cb}\pm1.4$	$6.1^{Ba}\pm1.2$
55	$7.4^{A}\pm1.2$	$6.5^{Ba}\pm1.4$	$6.0^{Ba}\pm1.1$	$5.8^{Cb}\pm1.3$
60	$7.4^{A}\pm0.8$	$5.8^{Bb}\pm1.5$	$5.7^{Bb}\pm1.5$	$5.8^{Bb}\pm1.3$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบความชอบต่อกลิ่นของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งผง แสดงดังตารางที่ 4.8 พบว่า น้ำผึ้งผงที่มีนมผงและมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมที่ปริมาณ 50, 55 และ 60% ผู้ทดสอบทั้ง 50 คน ให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) น้ำผึ้งผงที่มีนมผงเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนเท่ากับ 6.3, 6.5 และ 6.5 ตามลำดับ น้ำผึ้งผงที่มีมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมมีคะแนนเท่ากับ 6.0, 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความชอบเล็กน้อย ส่วนน้ำผึ้งที่มีสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.3, 5.4, 5.6 และ 5.8, 5.7, 5.7 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความชอบเฉยๆ

ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบด้านกลิ่น

ปริมาณ (%)	คะแนนความชอบด้านกลิ่น			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	$6.3^{A}\pm1.2$	$6.0^{A}\pm1.4$	$5.3^{Cb}\pm1.1$	$5.8^{Ba}\pm1.1$
55	$6.5^{A}\pm1.3$	$6.2^{A}\pm1.2$	$5.4^{Ca}\pm1.2$	$5.7^{Bb}\pm1.1$
60	$6.5^{A}\pm1.3$	$6.3^{A}\pm1.4$	$5.6^{Ba}\pm0.9$	$5.7^{Bc}\pm0.9$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การทดสอบความชอบต่อรสหวานของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งผง แสดงดังตารางที่ 4.9 พบว่า น้ำผึ้งผงที่มีนมผงเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีคะแนนเท่ากับ 7.1, 6.8 และ 6.7 ตามลำดับ น้ำผึ้งผงที่มีมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมที่ปริมาณ 55 และ 60% ผู้ทดสอบทั้ง 50 คน ให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยที่ระดับมอลโทเดกซ์ทริน 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 6.3, 6.7 และ 6.7 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความชอบเล็กน้อย ส่วนน้ำผึ้งที่มีสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.3, 5.4, 5.4 และ 5.4, 5.6, 5.4 ตามลำดับ สตาร์ชทั้ง 2 ชนิดมีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉยๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 คะแนนความชอบด้านรสหวาน

ปริมาณ (%)	คะแนนความชอบด้านรสหวาน			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร^{ns}
50	$7.1^{A}\pm1.2$	$6.3^{Bb}\pm1.5$	$5.3^{C}\pm1.7$	$5.4^{C}\pm1.5$
55	$6.8^{A}\pm1.3$	$6.7^{Aa}\pm1.3$	$5.4^{B}\pm1.4$	$5.6^{B}\pm1.4$
60	$6.7^{A}\pm1.5$	$6.7^{Aa}\pm1.2$	$5.4^{B}\pm1.6$	$5.7^{B}\pm1.6$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการทดสอบความชอบต่อความเป็นเนื้อเดียวของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งผง (ตารางที่ 4.10) พบว่า น้ำผึ้งผงที่มีนมผงเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% ผู้ทดสอบทั้ง 50 คน ให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีคะแนนเท่ากับ 7.2, 6.8 และ 7.3 ตามลำดับ น้ำผึ้งผงที่มีมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมมีคะแนนเท่ากับ 5.9, 7.3 และ 7.0 ตามลำดับ ซึ่งน้ำผึ้งผงทั้ง 2 ชนิดอยู่ในเกณฑ์ความชอบปานกลาง–ชอบเล็กน้อย ส่วนน้ำผึ้งที่มีสตาร์ชมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.1, 5.3 และ 5.6 ตามลำดับ ที่มีสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% คะแนนความชอบเท่ากับ 5.2, 5.3 และ 5.9 ตามลำดับ ซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉยๆ

การทดสอบความชอบต่อความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งผง พบว่า น้ำผึ้งผงที่มีนมผง สตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่ปริมาณ 50, 55 และ 60% ผู้ทดสอบทั้ง 50 คน ให้คะแนนความชอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) น้ำผึ้งผงที่มีนมผงเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนเท่ากับ 7.2, 6.6 และ 6.8 ตามลำดับ น้ำผึ้งผงที่มีมอลโทเดกซ์ทรินเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนเท่ากับ 6.2, 7.0 และ 6.6 ตามลำดับ ส่วนน้ำผึ้งที่มีสตาร์ชมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.3, 5.5และ 5.3 ตามลำดับ และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรเป็นส่วนผสมที่ระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

50, 55 และ 60% มีคะแนนความชอบเท่ากับ 5.5, 5.5 และ 5.7 ตามลำดับ สตาร์ชทั้ง 2 ชนิดมีคะแนนความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉยๆ (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.10 คะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียว

ปริมาณ (%)	คะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียว			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	$7.2^{A}\pm1.2$	$5.9^{Bb}\pm1.7$	$5.1^{Cb}\pm1.7$	$5.2^{Cb}\pm1.5$
55	$6.8^{A}\pm1.5$	$7.3^{Aa}\pm1.3$	$5.3^{Cb}\pm1.5$	$5.3^{Ba}\pm1.2$
60	$7.3^{A}\pm0.9$	$7.0^{Aa}\pm1.1$	$5.6^{Ba}\pm1.4$	$5.9^{Ba}\pm1.7$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.11 คะแนนความชอบโดยรวม

ปริมาณ (%)	คะแนนความชอบโดยรวม			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง^{ns}	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	$7.2^{A}\pm1.3$	$6.2^{Bb}\pm1.5$	$5.3^{C}\pm1.5$	$5.5^{Cb}\pm1.3$
55	$6.6^{A}\pm1.3$	$7.0^{Aa}\pm1.3$	$5.5^{B}\pm1.3$	$5.5^{Bb}\pm1.4$
60	$6.8^{A}\pm1.5$	$6.6^{Aa}\pm1.1$	$5.3^{C}\pm1.7$	$5.7^{Ba}\pm1.5$

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าผู้ทดสอบทั้ง 50 คนให้คะแนนความชอบผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงที่ระดับ 50% มากที่สุด โดยมีระดับคะแนนอยู่ในช่วง 6-7 คะแนน ซึ่งมีคะแนนอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อย–ปานกลาง รองลงมาได้แก่ มอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 55% สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่ระดับ 60% และสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระดับ 55% ตามลำดับ

4.5 ประสิทธิภาพการอบแห้งและปริมาณผลผลิต (%yield) ในการผลิต

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการทำแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว เวลาที่ให้ในการทำแห้งสั้น โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผลิตภัณฑ์ที่เหนียวและไม่เหนียว ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เหนียวมักจะทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ยาก ระหว่างการอบแห้งจะยังคงมีลักษณะเป็นไซรับหรือเกิดการเหนียวติดกับผนังเครื่องอบแห้งหรือเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนที่ผนังของห้องอบหรือส่วนดักผง ทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่ำและเกิดปัญหาในกระบวนการผลิต (Langrish, 2001)

ปริมาณการสะสมของผงที่ผนังอบแห้งจากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีผลอย่างมากต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยที่ yield คือ % ปริมาณผลิตภัณฑ์ซึ่งรวบรวมได้ หากเกิดการสะสมที่ผนัง อนุภาคที่ผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะเหนียวติดกับผนังเครื่องอบแห้ง เป็นสาเหตุทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ลดลง (Masters, 1996) ปริมาณผลผลิตและประสิทธิภาพด้านความร้อนในการผลิตน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.12-4.14

จากตารางที่ 4.12 การทำแห้งน้ำผึ้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับ 50, 55 และ 60% พบว่า น้ำผึ้งผงที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินและนมผงที่ระดับ 50% มีค่า overall thermal efficiency ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 58-60% แต่แตกต่างกับน้ำผึ้งผงที่ผสมสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในขณะที่ระดับสารลดความเหนียวเท่ากับ 55 และ 60% สารทั้ง 4 ชนิด มีค่า overall thermal efficiency ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณสารลดความเหนียวแต่ละชนิดที่ระดับ 50, 55 และ 60% มีผลทำให้ค่า overall thermal efficiency ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

จากตารางที่ 4.13 การทำแห้งน้ำผึ้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด ที่ระดับ 50, 55 และ 60% พบว่า น้ำผึ้งผงที่ผสมนมผง มอลโทเดกซ์ทริน และสตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปรที่ระดับ 50 และ 60% มีค่า evaporative efficiency ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อเพิ่มปริมาณสารแต่ละชนิดมีผลทำให้ค่า evaporative efficiency ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 68-70%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.12 ค่า Overall thermal efficiency ในการผลิตน้ำผึ้งผง

ปริมาณ (%)	ค่า Overall thermal efficiency ในการผลิตน้ำผึ้งผง			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน^{ns}	สตาร์ช มันสำปะหลัง^{ns}	สตาร์ช มันสำปะหลังดัดแปร
50	58.69^{BC}+0.85	59.36^{B}+0.73	58.12^{C}+1.39	60.49^{Aa}+0.46
55^{ns}	60.29+1.23	59.90+1.41	58.77+1.25	60.20^{a}+0.61
60^{ns}	58.67+1.64	59.13+1.36	58.65+1.79	58.37^{b}+1.04

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ค่า Evaporative efficiency ในการผลิตน้ำผึ้งผง

ปริมาณ (%)	ค่า Evaporative efficiency ในการผลิตน้ำผึ้งผง			
	นมผง^{ns}	มอลโทเดกซ์ทริน^{ns}	สตาร์ช มันสำปะหลัง	สตาร์ช มันสำปะหลังดัดแปร^{ns}
50^{ns}	68.63+1.20	68.59+1.10	69.16^{a}+1.13	69.54+0.97
55	69.51^{Aa}+0.81	68.92^{Aa}+1.47	67.96^{Bb}+1.84	69.77^{Aa}+0.93
60^{ns}	68.28+1.01	69.02+1.70	68.42^{a}+1.41	68.82+0.61

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ns แสดงว่าข้อมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิต พบว่า สารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณสารลดความเหนียวที่เพิ่มขึ้นมีผลทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ให้มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับการทดลองโดย Luksuwan (2007) ซึ่งทำการศึกษาการอบแห้งเบตา-แคโรทีนด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยผสมสารที่ช่วยในกระบวนการผลิตได้แก่ สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร สตาร์ชมันสำปะหลัง และมอลโทเดกซ์ทริน พบว่า มีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 82.18%, 68.35% และ 46.74% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตน้ำผึ้งผงพบว่า น้ำผึ้งผงมีค่าปริมาณผลผลิตน้อยกว่า เนื่องจากน้ำผึ้งมี T_g ที่ต่ำกว่ามาก เมื่อใช้สภาวะในการผลิตที่อุณหภูมิสูงทำให้น้ำผึ้งผงเกิดการเกาะติดที่ผนังเครื่องอบแห้ง ทำให้ปริมาณผลผลิตลดลง

ตารางที่ 4.14 ค่าปริมาณผลผลิต (%yield) ในการผลิตน้ำผึ้งผง

ปริมาณ (%)	ค่าปริมาณผลผลิต (%yield) ในการผลิตน้ำผึ้งผง			
	นมผง	มอลโทเดกซ์ทริน	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชมันสำปะหลังดัดแปร
50	58.47^{Ac}+2.19	52.80^{Bb}+12.72	38.00^{Dc}+3.74	44.93^{Cb}+0.90
55	67.1^{Bb}+7.58	71.67^{Aa}+2.84	53.20^{Cb}+3.02	79.47^{Aa}+9.35
60	73.13^{Aa}+2.72	74.87^{Aa}+3.83	75.07^{Aa}+9.43	75.33^{Aa}+2.39

หมายเหตุ : ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวนอนที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

: ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่กำกับค่าของข้อมูลตามแนวตั้งที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

Goula and Adamopoulos. (2004) กล่าวว่า อุณหภูมิขาออกและความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำมากมีผลทำให้เกิดการสร้าง solid particle surface ซึ่งจะช่วยลดส่วนที่ตกค้างสะสมและทำให้จำนวนอนุภาคที่มีลักษณะเหนียวเป็นเทอร์โมพลาสติกลดลงในผนังของเครื่องอบแห้งลดลง การเติมมอลโทเดกซ์ทรินจะสามารถป้องกันผลิตภัณฑ์ไม่ให้เกิดการเหนียวติดกับผนังได้ โดยพบว่าหากอัตราส่วนของตัวอย่างน้ำผลไม้ที่ผสมมอลโทเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้น จะเกิดการสะสมที่ผนังเครื่องอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการเพิ่มปริมาณตัวอย่างที่จะผสมลงในมอลโทเดกซ์ทรินจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิขาเข้าในการผลิต หรือทำการเติมมอลโทเดกซ์ทรินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้นลงไป (Bhandari *et al*., 1997a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 ลักษณะ Sorption isotherm

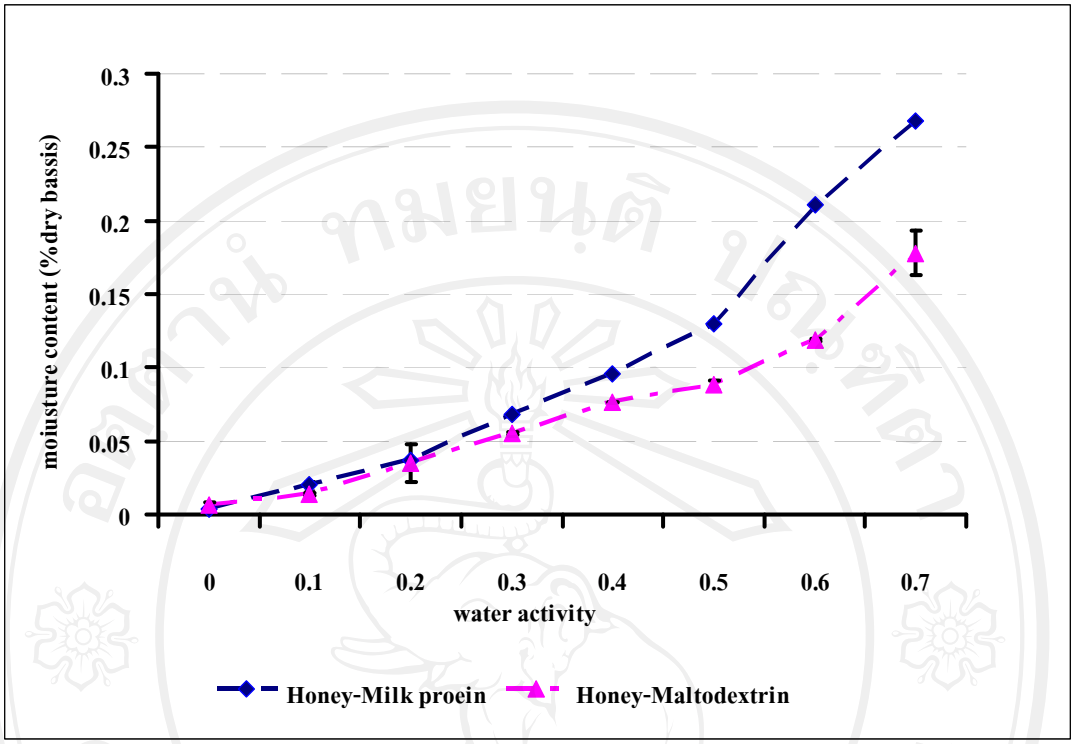
ในการวิเคราะห์ sorption isotherm ได้ทำการคัดเลือกตัวอย่างน้ำผึ้งผงซึ่งมีสมบัติดีที่สุดจากตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมสารลดความเหนียวทั้ง 4 ชนิด โดยพิจารณาจากสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ พบว่า ตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงที่ระดับ 50% และมอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับ 55% มีสมบัติดีที่สุด โดยมีค่าปริมาณความชื้น ค่า a_w และความหนาแน่นของผงต่ำสุด มีความสามารถในการละลายและคะแนนความชอบทั้งในด้านสี กลิ่น รสหวาน ความเป็นเนื้อเดียว และความชอบโดยรวมสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดเพื่อใช้ในการศึกษาลักษณะ sorption isotherm ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและ a_w ของน้ำผึ้งผง ทำการศึกษาที่ระดับ a_w ในช่วง 0.1-0.7 ลักษณะ sorption isotherm ของน้ำผึ้งผงดังแสดงในภาพที่ 4.6

ลักษณะ sorption isotherm ของตัวอย่างน้ำผึ้งผงซึ่งผสมมอลโทเดกซ์ทรินและนมผงทุกระดับเป็น adsorption isotherm ที่สอดคล้องกับลักษณะ sorption isotherm ประเภทที่ 3 adsorption isotherm แสดงการเพิ่มของความชื้นของตัวอย่างเมื่อสภาวะบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherm จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product (Fellows, 2000)

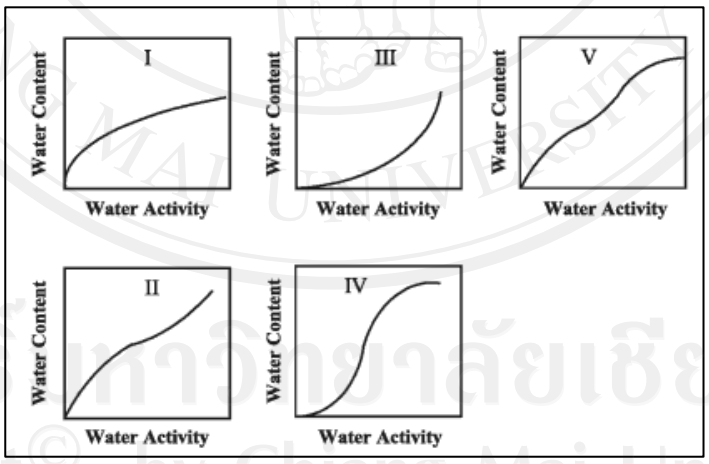
ในการวิเคราะห์นี้น้ำผึ้งผงมีการดูดซับความชื้นที่สภาวะ a_w 0.1-0.7 โดยตัวอย่างน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงกราฟจะมีความชันมากกว่ามอลโทเดกซ์ทริน แสดงถึงน้ำผึ้งผงที่ผสมนมผงมีความสามารถในการดูดความชื้นกลับมากกว่าน้ำผึ้งผสมมอลโทเดกซ์ทริน Sablani and Rahman (2008) ได้ทำการจำแนกประเภทของ adsorption isotherm เป็น 5 ชนิด โดยหากเป็นอาหารที่ประกอบด้วยเกลือหรือน้ำตาล กราฟจะมีลักษณะเว้าเข้าไปด้านในเป็นกราฟประเภทที่ 3 แสดงดังภาพที่ 4.7

ลักษณะ sorption isotherm ของตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่เพิ่มมากขึ้น โดยในลำดับเริ่มต้นของกระบวนการ sorption ที่ปริมาณความชื้นต่ำซึ่งจะมี active sites จับกับผิวหน้าของอาหารมากกว่าโดยมีลักษณะเป็น monolayer ของน้ำซึ่งจะมีพลังงานในการจับตัวกันสูงกว่าสภาวะที่มีความชื้นสูง ปริมาณ monolayer water จะลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการลด active sites ในอาหารเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ (เช่นระดับการจับพันธะของ hydrogen ที่ลดลง) Isosteric heat ของ sorption จะลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น (Al-Muhtaseb *et al*., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.6 ลักษณะ sorption isotherm ของน้ำผึ้งผงผสมมอลโทเดกซ์ทรินและนมผง



ภาพที่ 4.7 ประเภทของ adsorption isotherm ของอาหาร
ที่มา : Mathlouthi and Roge (2003)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved