บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นมผึ้ง (Royal Jelly)

นมผึ้ง หรือ รอยัลเยลลี (royal jelly) ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 2 94 พ.ศ. 2548 เรื่องรอยัลเยลลี และผลิตภัณฑ์รอยัลเยลลีนั้น หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของผึ้งที่ใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงตัวอ่อนของผึ้งนางพญา มีลักษณะเหมือนครีมข้นสีขาว และให้หมายรวมถึงรอยัลเยลลีที่นำไประเหยน้ำออกจนแห้งด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม มีลักษณะเป็นผงหรือเกล็ดหรือลักษณะอื่น (กระทรวงสาธารณสุข, 2548)

นมผึ้งเป็นอาหารสำหรับเลี้ยงดูตัวอ่อนของผึ้ง และผึ้งนางพญา ซึ่งเป็นสารอาหารที่ผลิตขึ้นโดยผึ้งงาน (*Apis mellifera*) หรือ ผึ้งนางพยาบาล (nurse bees) ในช่วงอายุ 7 วัน ซึ่งผึ้งงานเป็นผึ้งเพศเมียเช่นเดียวกับผึ้งนางพญา นมผึ้งจะขับออกจากจากต่อมไฮโปฟาริงค์ (hypo-pharyngeal gland) และต่อมน้ำลาย (mandibular gland) ที่อยู่บริเวณส่วนหัวของผึ้งงาน (Antinellia *et al*., 2003) ซึ่งนมผึ้งจะถูกสร้างขึ้นจากที่ ต่อมไฮโปฟาริงค์มากกว่าที่ต่อมน้ำลาย นอกจากนี้ต่อมน้ำลายยังสามารถสร้างกรด 10-hydroxy-2-decenoic (10-HDA) และกรดไขมันอื่นๆ อีกด้วย (Townsend & Lucus, 1940) ผึ้งงานจะคายนมผึ้งออกจากปากใส่ลงในหลอดรวงตัวอ่อน (brood cells) นอกจากนั้นผึ้งงานจะป้อนนมผึ้งให้แก่ผึ้งนางพญาตั้งแต่เป็นหนอนตัวอ่อนจนกลายเป็นผึ้งนางพญาที่สมบรูณ์ (สิริวัฒน์, 2540) ผึ้งทั่วไปได้รับนมผึ้งเพียงแค่ 3 วันแรก ซึ่งมีเฉพาะตัวอ่อนที่เจริญไปเป็นผึ้งนางพญาเท่านั้นที่ได้รับนมผึ้งตลอดชีวิต (พิชัย และสมนึก, 2537) เหตุนี้จึงถูกเรียกว่า อาหารทิพย์ วุ้นทิพย์ วุ้นราชินี อาหารราชินี หรือ อาหารนางพญา (ประไพศรี, 2537)

นมผึ้งใช้สำหรับเร่งการเจริญเติบโตของหนอนตัวอ่อนของทั้งผึ้งงาน และตัวอ่อนที่เจริญไปเป็นผึ้งนางพญา ซึ่งตัวอ่อนของผึ้งนางพญาจะได้รับนมผึ้งมากกว่าตัวอ่อนของผึ้งงาน ส่งผลให้ผึ้งนางพญามีรูปร่างใหญ่โต และสวยงามกว่าผึ้งงาน (รูปที่ 2.1) อีกทั้งยังมีอายุยืนกว่าผึ้งชนิดอื่น ซึ่งมีช่วงอายุยืนกว่าผึ้งงานทั่วไป 10-20 เท่า และสามารถออกไข่เพื่อสืบพันธุ์ได้ สามารถออกไข่ได้ตลอดเวลาจนสิ้นสุดอายุขัย วางไข่วันละประมาณ 2,000-3,000 ฟอง (สุภาภรณ์, 2539)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นมผึ้งที่ผลิตได้ต่อรังจะมีปริมาณน้อยมาก ผึ้งงาน 1 รัง (ประมาณ 60,000 ตัวขึ้นไป) จะสามารถผลิตนมผึ้งได้เพียงวันละ 1.5-3.3 g เท่านั้น การผลิตนมผึ้งเพื่อการค้าจะเก็บทุก 3 วัน ประมาณ 5-10 g/วัน ปริมาณการผลิตนมผึ้งของผึ้งงานจะแตกต่างขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับพืชอาหาร และสภาพแวดล้อม (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2528; พิชัย, 2524; Morse, 1975)

ก ข ค ง จ

รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างผึ้งนางพญา (ซ้าย) และผึ้งงาน (ขวา) ชนิดต่างๆ
ก) ผึ้งหลวง ข) ผึ้งมิ้ม ค) ผึ้งมิ้มเล็ก ง) ผึ้งโพรงฝรั่ง จ) ผึ้งโพรงไทย
ที่มา : สิริวัฒน์ (2540)

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของนมผึ้ง

นมผึ้งเป็นสารที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้นเป็นเนื้อเดียวกัน มีสีครีมหรือเหลืองอ่อน จะมีลักษณะภายนอก และเนื้อสัมผัสคล้ายนมข้นหวาน หรือ โยเกิร์ต เป็นต้น (กองเผยแพร่และควบคุมการโฆษณา, 2541; Matsui *et al*., 2002) ซึ่งนมผึ้งสดจะมีกลิ่นฉุนของพวกสารประกอบฟีโนลิก (phenolic) ซึ่งพบว่ากรดออกทาโนอิก (octanoic acid) เป็นส่วนประกอบหลักของสารประกอบที่ระเหยง่าย (volatile compound) ที่พบในนมผึ้ง (Nazzi *et al*., 2009) มีรสชาติเปรี้ยว (Krell, 1996) และรสค่อนข้างเผ็ดเล็กน้อย (กองพัฒนาศักยภาพผู้บริโภค, 2551)

นมผึ้งมีความหนาแน่นประมาณ 1.1 g/cm^3 และบางส่วนสามารถละลายน้ำได้ นมผึ้งมีความหนืดไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในนมผึ้ง และอายุของผึ้งงาน เมื่อเก็บนมผึ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ละลายน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้นหรือมีปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ละลายน้ำและกรดอะมิโนลดลง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง และเกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนของไขมันและโปรตีน และเมื่อเพิ่มน้ำตาลซูโครสหรือน้ำตาลทรายเข้าไป จะทำให้นมผึ้งกลายเป็นของเหลวไหลง่าย (Krell, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 องค์ประกอบของนมผึ้ง

นมผึ้งมีองค์ประกอบหลัก คือ น้ำ โปรตีน ไขมัน น้ำตาล (ตารางที่ 2.1) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับฤดูกาล และพื้นที่ในการเลี้ยงผึ้ง (Takekana, 1982; Ratanavalachai, 2002) นอกจากนี้นมผึ้งยังมีวิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน และสารชีวโมเลกุล (Miyata *et al*., 2004; Nagai & Inoue, 2004; Simuth *et al*., 2004; Stocker *et al*., 2005) ส่วนประกอบของนมผึ้งจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะของการเจริญเติบโตของตัวอ่อนที่จะเป็นนางพญาผึ้ง หากเก็บรักษานมผึ้งไว้ไม่ดีเท่าที่ควร จะส่งผลให้ส่วนประกอบต่างๆ ของนมผึ้งนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของนมผึ้ง

สารอาหาร	ปริมาณต่ำสุด (% น้ำหนักแห้ง)	ปริมาณสูงสุด (% น้ำหนักแห้ง)
น้ำ	57	70
โปรตีน (ไนโตรเจน x 6.25)	17	45
น้ำตาล	18	52
ไขมัน	3.5	19
แร่ธาตุ	2	3

ที่มา : Krell, 1996

นมผึ้งมีค่า pH ประมาณ 3.6-4.2 มีฤทธิ์เป็นกรด และมีองค์ประกอบต่างๆ ซึ่งมีน้ำอยู่ประมาณ 50-75% ของน้ำหนักเปียก รองลงมาเป็นส่วนของโปรตีน และน้ำตาล ซึ่งจะมีมากที่สุด (Krell, 1996) มีโปรตีนประมาณ 12-15% โดยเฉลี่ยของนมผึ้ง (Takenaka, 1982) ประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายในน้ำได้ (water soluble protein) และไม่ละลายในน้ำ (water - insoluble protein) โดยโปรตีนที่ละลายในน้ำได้มีมากกว่า 46-89% ของโปรตีนทั้งหมดในนมผึ้ง (Chen and Chen, 1995; Takenaka and Echigo, 1983) จะมีสารจำพวกไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นโปรตีนหลัก 6 ชนิด และไกลโคโปรตีน 4 ชนิด มีกรดอะมิโนอิสระเฉลี่ย 2.3% และเปปไทด์ (peptide) 0.16% ของสารประกอบไนโตรเจน (Krell, 1996; Schmitzova *et al*., 1998)

นมผึ้งมีกรดอะมิโน และอนุพันธ์ทั้งหมดที่จำเป็นสำหรับมนุษย์ (Krell, 1996) คือ histidine (His), serine (Ser), arginine (Arg), glycine (Gly), aspartic acid (Asp), glutamic acid (Glu), threonine (Thr), alanine (Ala), hydroxylysine (Hylys), proline (Pro), cysteine (Cys), lysine (Lys), tyrosine (Tyr), methionine (Met), valine (Val), isoleucine (Ile), leucine (Leu), phenylalanine

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Phe), taurine (Tau), g-aminobutyric (GABA), aminoisobutyric acid (AABA), ornithine (Orn), glutamine (Gln), asparagines (Asn), hydroxyproline (Hypro) และ tryptophan (Trp) (Wu *et al*., 2009) ซึ่งกรดแอสพาร์ติกเป็นกรดอะมิโนหลักที่จำเป็นสำหรับการเจริญของเนื้อเยื่อ และสร้างถึง 16.1% ของปริมาณโปรตีนในนมผึ้ง และพบว่าทั้งกรดแอสพาร์ติก และกรดกลูตามิคแสดงบทบาทสำคัญมากในการเป็นศูนย์กลางการทำงานของเอนไซม์ (enzyme active centers) เหมือนเป็นการรักษาความสามารถในการละลาย (solubility) และลักษณะไอออนของโปรตีน (Krell, 1996)

ในนมผึ้งยังประกอบด้วยเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucoseoxidase) ฟอสฟาเตส (phosphatase) คอลีนเอสเทอเรส (cholinesterase) (Krell, 1996) ยังพบว่านมผึ้งมีสารที่คล้ายอินซูลิน (insulinlike peptide) (Kramer *et al*., 1980 และ 1982) และพบว่ามีเปปไทด์ที่มีกรดอะมิโนที่เชื่อมต่อกันอย่างสมบรูณ์ ได้แก่ รอยัลไลซิน (royalizin) ประกอบด้วยเรซีดิวส์ของกรดอะมิโน (amino acid residues) 51 โมเลกุล เชื่อมด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) 3 พันธะ ซึ่งเป็นโปรตีนที่สมบัติเป็นสารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial protein) (Fujiwara *et al*., 1990) อะไพซิน (apisin) (Watanabe *et al*., 1996, 1998) และรอยัลแลคซิน (royalactin) (Kamakura *et al.,* 2001)

ฮอร์โมนที่พบในนมผึ้ง ได้แก่ ฮอร์โมนเทสโทสเทอโรน (testosterone) ตรวจพบปริมาณน้อยมาก ประมาณ 0.012 g/g นมผึ้งสด (Krell, 1996) และฮอร์โมนโพรเจสเทอโรน (progesterone) ประมาณ 0.003 g/g นมผึ้งสด (Tangpraprutgul, 1993)

น้ำตาลในนมผึ้งมีอยู่ประมาณ 6-18% ของนมผึ้งสด หรือ 18-52% (น้ำหนักแห้ง) มีน้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคสเป็นส่วนมาก (90% ของน้ำตาลทั้งหมด) ยังพบน้ำตาลชนิดอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณเพียงเล็กน้อย คือ น้ำตาลมอลโตส (maltose) ทรีฮาโลส (trehalose) เมลิไบโอส (melibiose) ไรโบส (ribose) และเออโลส (erlose) (Krell, 1996) ซึ่งไม่พบน้ำตาลแลคโตสในนมผึ้งสด (Sesta, 2006)

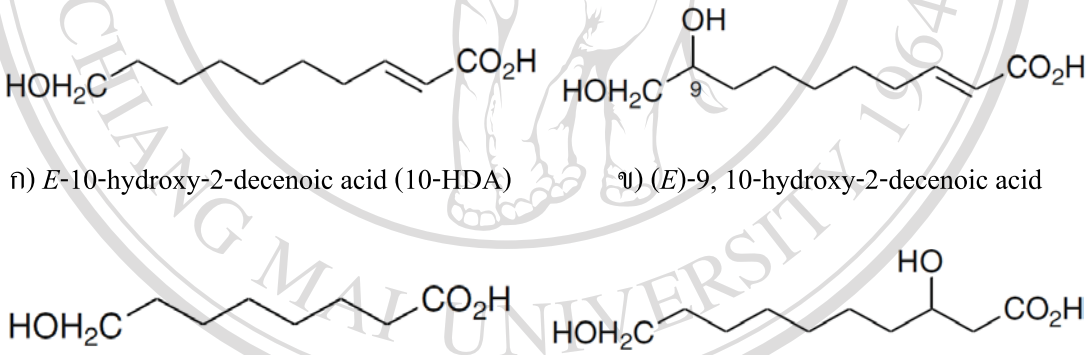
ตารางที่ 2.2 ปริมาณน้ำตาลในนมผึ้ง

น้ำตาล	ปริมาณต่ำสุด (g/100g นมผึ้ง)	ปริมาณสูงสุด (g/100g นมผึ้ง)
Fructose	2.3	6.9
Glucose	3.7	8.2
Sucrose	<0.1	2.1
Maltose	<0.1	3.1

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก Sesta, 2006

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นมผึ้งมีไขมันประมาณ 3-5 % ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระ 80-90% (น้ำหนักแห้งของไขมันทั้งหมด) ส่วนมากเป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลสายสั้น (short chain fatty acid) มีจำนวนคาร์บอน 8-10 อะตอม เช่น กรดไขมันประเภทไฮดรอกซี (hydroxy fatty acids) หรือ กรดไดคาร์บอกซิลิก (dicarboxylic acid) ซึ่งพบว่านมผึ้งมีกรดไขมันที่สำคัญ คือ 10-hydroxy-2-decenoic acid (10-HDA; 10-hydroxy-δ-2-decenoic acid; trans 10-hydroxy-2-decenoic acid) (Krell, 1996) และพบได้เฉพาะในนมผึ้งเท่านั้น จึงได้ชื่อว่ากรดนมผึ้ง (royal jelly acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันหลักที่พบในนมผึ้ง และมีปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณกรดไขมันทั้งหมดในนมผึ้ง มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 186.25 และมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{10}H_{18}O_3$ (Tani *et al*., 2009) ส่วนสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.2ก พบว่าสามารถแยกกรดไขมันประเภทไฮดรอกซีได้หลายชนิด ได้แก่ 3,10-dihydroxydecanoic acid, (*E*)-9-hydroxy-2-decenoic acid, 11-hydroxydodecanoic acid และ11,12-dihydroxydodecanoic acid (รูปที่ 2.2) ได้มีการรายงานเกี่ยวกับกิจกรรมทางชีวภาพของกรดไขมันเหล่านี้ไว้เช่นกัน (Noda *et al*., 2005; Melliou and Chinou, 2005) และพบว่า (*E*)-9, 10-hydroxy-2-decenoic acid เป็นองค์ประกอบใหม่ที่ถูกแยกได้จากนมผึ้ง (Tani *et al*., 2009) ดังรูปที่ 2.2ข



ก) *E*-10-hydroxy-2-decenoic acid (10-HDA) ข) (*E*)-9, 10-hydroxy-2-decenoic acid

ค) 8- hydroxyoctanoic acid ง) 3, 10-hydroxydecenoic acid

รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของกรดไขมันในนมผึ้ง
ที่มา : Tani *et al*. (2009)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นมผึ้งมีปริมาณเถ้าทั้งหมดประมาณ 1 % (น้ำหนักเปียก) หรือ 2-3 % (น้ำหนักแห้ง) และมีวิตามินอยู่หลายชนิด ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งมีวิตามินที่ละลายในน้ำ เช่น วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) วิตามินบี 3 (niacin) วิตามินบี 6 (pyridoxine) ไบโอทิน (biotin) ไอโนซิทอล (inositol) วิตามินบี 5 (folic acid) วิตามินบี 9 (pantothenic acid) และวิตามินซี และวิตามินที่ละลายในน้ำมันมีเพียงวิตามินอีเท่านั้น และแร่ธาตุที่พบในนมผึ้ง ได้แก่ โพแทสเซียม โซเดียม ทองแดง สังกะสี เหล็ก แคลเซียม และแมกนีเซียม (Takenaka, 1982; Krell, 1996)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณวิตามินของนมผึ้ง

วิตามิน	**ปริมาณ** (μg/g ของนมผึ้งสด)
Thiamine (B1)	1.44-6.70
Riboflavin (B2)	5-25
Niacin (B3)	48-88
Pantothenic acid (B5)	159-265
Pyridoxine (B6)	1.0-48.0
Folic acid (B9)	0.13-0.53
Inositol	80-350
Biotin	1.1-19.8

ที่มา : Krell, 1996

2.1.3 ประโยชน์ของนมผึ้ง

2.1.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของนมผึ้ง

นมผึ้งเป็นแหล่งของสารอาหารที่ครบถ้วน มีทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ รวมถึงสารประกอบชีวเคมี เช่น เอนไซม์ เป็นต้น ได้มีการเปรียบเทียบสารอาหารของน้ำนมวัวกับนมผึ้ง พบว่านมผึ้งมีปริมาณโปรตีนมากกว่านมวัวประมาณ 5 เท่า มีคาร์โบไฮเดรตมากกว่าประมาณ 3 เท่า และมีปริมาณวิตามินที่มากกว่าในนมวัว ดังตารางที่ 2.4 (วัฒนะ, 2546)

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบสารอาหารของนมวัวและนมผึ้ง

สารอาหาร	**นมวัว**	**นมผึ้ง**
คาร์โบไฮเดรต (g/100g)	4.8	10-12
โปรตีน (g/100g)	3.5	14-15
ไขมัน (g/100g)	3.5	3-5
Thiamine (B1) (g/100g)	0.04	0.5
Riboflavin (B2) (mg/100g)	0.19	0.9
Pantothenic acid (B5) (mg/100g)	0.35	20
Niacin (B3) (mg/ 100g)	0.08-0.18	10
Folic acid (B9) (mg/100g)	0.004	0.02

ที่มา : วัฒนะ, 2546

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3.2 คุณค่าทางการแพทย์ และทางยารักษาโรค

ได้มีการศึกษาทางด้านเภสัชวิทยา พบว่านมผึ้งมีคุณประโยชน์ ดังนี้

นมผึ้งมีกรด 10 hydroxy-2-decenoic หรือ 10-HDA มีงานวิจัยพิสูจน์แล้วว่ากรด 10-HDA มีฤทธิ์ต้านการเจริญของแบคทีเรียหลายชนิด ซึ่งฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียมักพบในกรดไขมันที่มีคาร์บอน 6 อะตอม จะมีฤทธิ์สูงสุด และกรด 10-HDA มีฤทธิ์สูงกว่ากรดไขมันตัวอื่นที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากัน โดยกรด 10-HDA มีประสิทธิภาพประมาณ 75% ของเพนนิซิลิน (penicilin) ฤทธิ์นี้จะหมดไปถ้าเก็บรักษานมผึ้งที่อุณหภูมิห้องนาน 30-40 วัน (ประไพศรี, 2537) กรด 10-HDA สามารถต้านการเจริญของแบคทีเรียทั้งแกรมบวก และแกรมลบ รวมทั้งเชื้อที่ดื้อต่อยาปฏิชีวนะทั่วๆ ไป เช่น *Proteus Vularis* หรือ *Pseudomonas aeruginosa* ฤทธิ์การต้านแบคทีเรียของนมผึ้งจะสูงสุดภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากเก็บนมผึ้งออกจากรัง หลังจากนั้นฤทธิ์จะลดลงสู่ระดับคงที่ (ตรีทิพย์, 2528) นอกจากนั้นยังพบว่านมผึ้งมีฤทธิ์ในการต้านสารกัมมันตรังสี และต้านการเจริญ และช่วยยับยั้งการลุกลามของเซลล์มะเร็ง (Bincoletto *et al*., 2005; Majtan *et al*., 2006) ลดอาการอักเสบของเซลล์มะเร็ง (Townsend *et al*., 1960) และจากการศึกษาในผู้ป่วยมะเร็งเต้านมระยะแพร่กระจายมาก พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับนมผึ้งมีการอักเสบรอบก้อนมะเร็งน้อยกว่ากลุ่มที่ได้ยาหลอก (placebo) ซึ่งหมายถึง สารที่ไม่ก่อเกิดขบวนการทางเภสัชในการรักษา มีลักษณะปรากฏภายนอกเหมือนยาจริง (ยาที่ออกฤทธิ์ตามกลไกเภสัชศาสตร์) แล้วนำมาใช้ในการแพทย์ ซึ่งเป็นยาที่ใช้มากในการศึกษาวิจัย ถูกใช้เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบเพื่อ ควบคุมการทดลองทางคลินิกเพื่อทดสอบยา เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพของยาจริง (Hart, 1999)

อะเซทิลคอลีน (acetylcholine) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่จำเป็นต่อระบบการทำงานของประสาทในมนุษย์ มีฤทธิ์ในการขยายหลอดเลือดจึงสามารถช่วยลดความดันเลือดได้ (Shimoda *et al*., 1978)

สารมีฤทธิ์คล้ายอินซูลิน (insulinlike peptide) ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด (Fujii *et al*., 1990) มีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด

กรดซีบาสิด (sebacid acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีฤทธิ์ต้านการเจริญของเชื้อราที่ผิวหนัง และสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียบางชนิด (อิทธิพล, 2545)

ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ช่วยให้ผิวหนังสดใส และไร้สิวฝ้า (สุภาภรณ์, 2539) ส่วนไอโนซิทอล (inositol) ซึ่งช่วยขจัดไขมันตกค้างในตับ ลดคอเลสเทอรอลในเส้นเลือด (Nakajin *et al*., 1982) และยังเป็นสารต้านความเครียด และช่วยบำรุงรักษาเส้นผม ช่วยเสริมการสร้างคอลาเจน (Miyata *et al*., 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้นมผึ้งยังมีคุณสมบัติในการเสริมการทำงานของฮอร์โมนเพศหญิง กระตุ้นการสร้างฮอร์โมนเพศหญิง (Mishima *et al*., 2005; Husein & Haddad, 2006; Kridli & Al-Khetib, 2006) เพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมแคลเซียมและป้องกันภาวะกระดูกพรุน ช่วยสร้างเม็ดเลือดและความแข็งแรงของกระดูกในเด็กเล็ก และคนสูงอายุ จะเพิ่มความหนาแน่นของกระดูก และช่วยการสร้างเม็ดเลือดแดงให้สมบูรณ์แข็งแรงขึ้น ช่วยดูดซับอาหารและออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ได้ดีขึ้น (Hidaka *et al*., 2006) และช่วยรักษาบาดแผล และป้องกันโรคเกี่ยวกับทางเดินอาหาร จากการศึกษาในระบบทางเดินอาหารของหนูทดลอง พบว่าลดอัตราการเกิดแผลในกระเพาะอาหารของหนูได้ (Fujii *et al*., 1990) มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Buratti *et al*., 2007; Jamnik *et al*., 2007; Nagai *et al*., 2006)

ปริมาณการบริโภคนมผึ้งต่อวัน ซึ่งองค์การ FDA (Food and Drug Adminidtration) เท่านั้นที่มีสิทธิ์บังคับควบคุมในประเทศสหรัฐอเมริกา (USA) สามารถกำหนดเงื่อนไขของปริมาณการบริโภคแต่ละวัน (dose, dosage) ของอาหารเสริม ซึ่งองค์การ FDA กำหนดให้นมผึ้งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม (FDA, 2007) และจนถึงทุกวันนี้พบว่านมผึ้ง และผลิตภัณฑ์อื่นจากผึ้ง ยังไม่มีการกำหนดปริมาณการบริโภคในแต่ละวันด้วยองค์การ FDA ดังนั้นจึงไม่มีการแนะนำถึงปริมาณบริโภคในแต่ละวันของนมผึ้ง และผลิตภัณฑ์จากผึ้ง ซึ่งผู้ที่บริโภคนมผึ้งเป็นการใช้เพื่อประโยชน์บำรุงสุขภาพเหมือนเป็นอาหารเสริม จากการายงานข้อมูลที่มีการกำหนด ปริมาณการบริโภคแต่ละวันนั้นเป็นเพียงการสะสมข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของผู้ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ของนมผึ้ง และอาหารเสริมอื่นๆ ซึ่งไม่ได้พิจารณาจากองค์การ FDA จึงไม่สามารถตีพิมพ์ข้อมูลเหล่านั้นเพื่อเผยแพร่แก่ผู้บริโภคได้ (Taylor, 2009)

จากรายงานการวิจัยพบว่าการรับนมผึ้งเป็นเวลา 1-2 เดือน โดยการกลืนหรืออมใต้ลิ้นให้นมผึ้งละลายในปริมาณ 200-500 mg/วัน ซึ่งนมผึ้งจะทำหน้าที่เหมือนเป็นยาบำรุง และยากระตุ้นส่งผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ (Krell, 1996) จากการรวบรวมข้อมูลทางการแพทย์ พบว่าปริมาณบริโภคการนมผึ้งสดต่อวันในผู้ใหญ่จะขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี ซึ่งปริมาณต่ำสุด คือ 100-300 mg/วัน ปริมาณปานกลาง 500 mg/วัน และในกรณีที่สาหัสหรือเร่งด่วนใช้ปริมาณ 800-1,000 mg/วัน ส่วนในเด็กจะขึ้นอยู่กับอายุ โดยจะใช้แค่ 1/2 หรือ 1/4 ของปริมาณที่ผู้ใหญ่ใช้ ส่วนปริมาณการบริโภคนมผึ้งผงด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ซึ่งปริมาณที่ใช้ คือ 1/3 ของปริมาณการบริโภคนมผึ้งสดที่ได้กล่าวมาข้างต้น (Donadieu, 1983) และปริมาณการบริโภคนมผึ้งผสมน้ำผึ้ง ซึ่งจำนวนของน้ำผึ้งที่เติมจะขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของนมผึ้ง โดยปกติเติมน้ำผึ้ง 1-3% ของนมผึ้งสด ปริมาณการบริโภคต่อวัน จะบริโภคหนึ่งช้อนชาหรือประมาณ 100-300 mg (Donadieu, 1983; Krell, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากคุณประโยชน์ต่างๆ ของนมผึ้งที่กล่าวข้างต้น ทำให้มีการนำนมผึ้งมาบริโภคเพื่อเป็นอาหารเสริมบำรุงร่างกาย เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ยาเพื่อการรักษาโรค รวมไปถึงเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอางเพื่อการเสริมความงาม (Krell, 1996)

2.1.4 โทษและความเป็นพิษของนมผึ้ง

โทษ และความเป็นพิษของนมผึ้งมีรายงานไว้ไม่มากนัก ซึ่งอาการที่ปรากฏมีทั้งอาการเพียงเล็กจนถึงรุนแรง มีรายงานว่าผู้ชายคนหนึ่งที่รับประทานนมผึ้ง 5 g หลังจากนั้น 2-3 วัน มีอาการกระสับกระส่าย นอนไม่หลับ มีไข้ และอุณหภูมิร่างกายสูงเล็กน้อย มีอาการประมาณ 4 วัน หลังจากนั้นจึงหายเป็นปกติ (Decourt, 1956) รายงานว่าผู้หญิงชาวญี่ปุ่นอายุ 53 ปี มีอาการปวดหลังและท้องร่วงอย่างรุนแรงหลังจากที่บริโภคนมผึ้ง 10 mL/วัน เป็นเวลา 25 วัน เมื่อตรวจบริเวณลำไส้พบว่ามีอาการตกเลือด อักเสบ เกล็ดเลือดจับตัวเป็นก้อน และพบว่าเซลล์เกิดการอักเสบ (Yonei, 1997) อย่างไรก็ตามไม่มีรายงานว่าสาเหตุที่แท้จริงของการเจ็บป่วยนั้นเกิดจากนมผึ้งหรือไม่

2.1.5 การเก็บรักษานมผึ้ง

นมผึ้งสามารถเก็บรักษาไว้เพื่อรอการจำหน่ายหรือแปรรูปได้ 2 ลักษณะ คือ การเก็บรักษาชั่วคราวเป็นการเก็บรักษาหลังการเก็บนมผึ้งออกจากถ้วยนมผึ้งจะใช้เป็นถังเก็บความเย็นหรือตู้เย็น และการเก็บรักษาโดยการแช่แข็ง ซึ่งจะต้องเก็บนมผึ้งไว้ที่อุณหภูมิแช่แข็ง (ต่ำกว่า -10°C) เพื่อให้นมผึ้งเก็บไว้ได้นาน และยังคงคุณสมบัติของนมผึ้งให้คงที่ (วัฒนะ, 2546)

การเก็บรักษานมผึ้งสดเป็นเวลานาน ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบ เช่น ปริมาณกรดสูงขึ้น ส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำมีปริมาณมากขึ้น กรดอะมิโนเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส และอื่นๆ ลดลง เป็นต้น ซึ่งการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมชีววิทยา การเก็บรักษาโดยการแช่เย็น และแช่แข็ง สามารถการชะลอ และลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของนมผึ้งได้ (Krell, 1996)

การเก็บรักษานมผึ้งสดไว้ที่อุณหภูมิภายในตู้เย็นจะมีอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 18 เดือน ซึ่งเมื่อเก็บนมผึ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องหรือแช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 °C ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ หากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -17°C จะมีอายุการเก็บรักษาได้นาน 2 ปี และพบว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0-5°C จะทำให้นมผึ้งสดมีคุณภาพดีในช่วงอายุการเก็บ 1 ปี (Krell, 1996) ปริมาณของกรด 10-HDA ซึ่งเป็นสารสำคัญที่มีอยู่ในนมผึ้ง สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของนมผึ้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิการเก็บรักษา หากเก็บรักษาไว้ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณของ กรด 10-HDA ลดลงอย่างรวดเร็ว (Antinelli *et al*., 2003) ดังนั้นหากเก็บรักษาไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพของนมผึ้งลดลง ในขณะที่การแปรรูปโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งทำให้ได้นมผึ้งผงที่มีความเสถียรกว่านมผึ้งสด

2.1.6 การแปรรูปนมผึ้ง

เนื่องจากนมผึ้งนมผึ้งมีอายุการเก็บสั้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส และสีของนมผึ้ง (Messia *et al*., 2005) การเก็บรักษาหรือการจำหน่ายที่อุณหภูมิแช่แข็งนั้นทำให้เกิดความไม่สะดวก และการบริโภคนมผึ้งสดมักมีปัญหาในด้านกลิ่นและรสชาติของนมผึ้งที่ไม่ค่อยพึงประสงค์รับประทานได้ค่อนข้างยาก (Hideo, 2005) จึงทำให้มีการนำนมผึ้งสดมาแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บของนมผึ้งสดให้อยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการรับประทาน และสะดวกในการพกพา โดยปกตินมผึ้งถูกแปรรูปให้เป็นผงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) (Messia *et al*., 2005) ซึ่งเป็นกระบวนการทำอาหารแห้งด้วยการทำให้น้ำหรือตัวทำละลายระเหิดออกจากผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็ง การระเหิดของน้ำในอาหารจะเป็นการเปลี่ยนสถานะจากน้ำในรูปของแข็งให้กลายเป็นไอ โดยไม่เปลี่ยนเป็นของเหลว (Velardi & Barresi, 2008) เป็นวิธีที่ใช้อุณหภูมิต่ำ เพื่อรักษาคุณสมบัติของสารต่างๆ ที่ไวต่อความร้อน (รุ่งนภา, 2535) และยังรักษาคุณลักษณะดั้งเดิม (original characteristic) ของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ และรักษาสารระเหย (volatile component) ให้คงอยู่ได้ นมผึ้งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถดูดความชื้นได้เร็ว (high hygroscopy) (Krell, 1996)

นมผึ้งที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบอื่นได้ เช่น การนำไปบรรจุในแคปซูล การทำนมผึ้งผงอัดเม็ด นอกจากนี้แล้วยังมีการแปรรูปนมผึ้งเพื่อให้เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เช่น การทำเครื่องดื่มนมผึ้งที่มีการผสมสารที่ช่วยเพิ่มการกระจายตัวเพื่อให้ได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Susumu *et al*., 2002) การผสมในน้ำผลไม้ เช่น น้ำส้มในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ (Masahito *et al*., 2000) การผสมนมผึ้งลงในวัสดุที่ใช้ทำแคปซูล โดยนำนมผึ้งไปผสมกับไขผึ้ง ไขมัน น้ำมัน และ glycerin fatty acid ester (Nobuyuki & Koji, 2001) นอกจากนี้การทำนมผึ้งผงดัดแปร และนมผึ้งผงดัดแปรผสมอาหารผง โดยนำนมผึ้งผงละเอียดไปทำเป็นแกรนูลโดยใช้สารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น เด็กซ์ตริน เคซีน กัมอะราบิค หรือ โพลีไวนิล แอลกอฮอล์ แล้วเคลือบผิวด้วยไขมันหรือน้ำมัน ที่มีจุดหลอมเหลวมากกว่าหรือเท่ากับ 40°C (Yukiya *et al*., 1999) การนำนมผึ้งไปผสมในเครื่องดื่มชา เช่น ชาอู่หลง ชาเขียว หรือ ชาจัสมิน เพื่อเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Taizo & Sadahiro, 1999) การนำนมผึ้งมาย่อยด้วยโปรทีเอส (protease) ให้มีมวลโมเลกุลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3,000 แล้วเติมลงในนมพร้อมดื่มและนมเปรี้ยว เพื่อเพิ่มสารที่ช่วยเร่งในการดูดซึมแคลเซียม เช่น เคซีน ฟอสเฟตเปปไทด์ ไอโซฟลาโวน วิตามินดี วิตามินเค และสารอื่นๆ (Shuichiro & Mitsuyoki, 2000) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 น้ำผึ้ง (Honey)

น้ำผึ้งเป็นของเหลวรสหวานซึ่งผึ้งผลิตขึ้นจากน้ำหวานจากดอกไม้หรือแหล่งน้ำหวานอื่นๆ หรือส่วนใดส่วนหนึ่งจากต้นไม้ ซึ่งผึ้งงานนำมาเก็บสะสม และผ่านขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพบางอย่างแล้วไว้ในรังผึ้ง (มอก., 2526; สิริวัฒน์ และคณะ, 2528)

2.2.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งมีลักษณะเป็นของเหลวข้น เป็นเนื้อเดียวกัน มีสีตามธรรมชาติ (มอก., 2526) คือ มีสีเหลืองอ่อนๆ จนถึงสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำผึ้ง น้ำผึ้งที่ได้จากธรรมชาติจะมีรสหวานจัด กลิ่นหอมตามธรรมชาติ คือ มีกลิ่นหอมของน้ำผึ้งหรือกลิ่นหอมของดอกไม้ ลักษณะของน้ำผึ้งที่ดีควรใส มีลักษณะข้นหนืด ไม่มีฟองเนื่องจากการบูด ปราศจากสิ่งแปลกปลอม และสะอาด ไม่มีไขผึ้งหรือตัวผึ้งปน น้ำผึ้งมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับน้ำหวานจากดอกไม้ที่ผึ้งเก็บมาทำเป็นน้ำผึ้ง แหล่งที่มาของน้ำผึ้งที่แตกต่างกัน ก็ส่งผลให้น้ำผึ้งก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น สี กลิ่น รส หรือ คุณสมบัติในการตกผลึก (สิริวัฒน์ และคณะ, 2528)

2.2.2 องค์ประกอบของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งจากดอกไม้แต่ละชนิดกันจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน (สิริวัฒน์ และคณะ, 2528) องค์ประกอบหลักของน้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคสปริมาณ 70-80% น้ำ 10-20% และองค์ประกอบอื่นๆ ปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโนอิสระ กรดอินทรีย์ แร่ธาตุ วิตามิน และสารประกอบฟีโนลิก (Ouchemoukh *et al*., 2007) นอกจากนี้น้ำผึ้งยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์ (enzymatic antioxidants) ได้แก่ กลูโคสออกซิเดส และคะตะเลส สารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่ใช้เอนไซม์ (non-enzymatic antioxidants) ได้แก่ กรดแอสคอบิก ฟลาโวนอยด์ กรดฟีโนลิก อนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์ กรดอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล กรดอะมิโน โปรตีน และแอลฟา-โทโคฟีรอล (α-tocopherol) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของวิตามินอีที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Ahmed *et al*., 2007) ซึ่งสามารถใช้เป็นสารยืดอายุการเก็บของอาหารได้

องค์ประกอบหลักของน้ำผึ้ง คือ

1. ความชื้นหรือน้ำ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของน้ำผึ้งประมาณ 17-18% ซึ่งทำให้สามารถเก็บน้ำผึ้งไว้ได้นาน เมื่อมีความชื้นที่เหมาะสมน้ำผึ้งก็จะมีแรงดูดซึมสูงจึงสามารถดูดซึมน้ำจากเซลล์จุลินทรีย์ต่างๆ สามารถทำให้จุลินทีย์ตายได้ (นาวี, 2550) น้ำผึ้งที่มีความชื้นสูงอาจทำให้เกิดการหมักเนื่องมาจาก osmophilic yeasts ได้ (Belitz and Grosch, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. น้ำตาล ซึ่งถือว่าน้ำตาลเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำผึ้งมีมากกว่า 95% ของปริมาณของแข็งในน้ำผึ้ง องค์ประกอบของน้ำตาลขึ้นอยู่กับชนิดของดอกไม้ สภาวะอากาศ และพื้นที่ที่ผึ้งไปดูดน้ำหวานมา จากรายงานวิจัยพบว่าน้ำผึ้งมีองค์ประกอบของน้ำตาล (Zamora and Chirife, 2006) ดังต่อไปนี้

- น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) เช่น น้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคส ปริมาณ 38.19 และ 31.28% โดยเฉลี่ย ตามลำดับ (Sharquie and Najim, 2004) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของน้ำผึ้ง คิดเป็นประมาณ 80-85% ของของแข็งในน้ำผึ้ง และเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้น้ำผึ้งมีรสหวาน ซึ่งสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะใช้น้ำตาลกลุ่มนี้ในการสร้างพลังงาน

- น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เช่น มอลโตส และซูโครส ปริมาณ 7.31 และ 1.31% โดยเฉลี่ย ตามลำดับ (Sharquie and Najim, 2004)

- น้ำตาลอื่นๆ เช่น trisaccharide และ oligosaccharide มีปริมาณน้อย

น้ำตาลทั้งหมดนี้เป็นน้ำตาลที่เป็นส่วนผสมโดยธรรมชาติจากต่อมน้ำหวานของพืชหรือเป็นส่วนผสมของน้ำหวานที่แมลงจำพวกเพลี้ยปล่อยออกมาหลังจากที่ดูดกินน้ำเลี้ยงจากพืช ส่วนน้ำหวานหรือน้ำเชื่อมที่ได้จากการเอาน้ำตาลทราย น้ำตาลปี๊บ น้ำตาลปึก หรือน้ำตาลสังเคราะห์อื่นๆ ไปละลายน้ำแล้วให้ผึ้งกินไม่เป็นที่ยอมรับว่าเป็นส่วนผสมของน้ำผึ้งโดยธรรมชาติ ดังนั้นในน้ำผึ้งแท้จึงต้องมีข้อกำหนดว่าจะมีน้ำตาลซูโครสได้เพียงไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก น้ำผึ้งที่มีปริมาณน้ำตาลซูโครสสูงกว่านี้ ถือว่าเป็นน้ำผึ้งผสมน้ำเชื่อมซึ่งไม่ใช่น้ำผึ้งแท้ (นาวี, 2550)

3. กรดในน้ำผึ้งมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญคือ กรดกลูโคนิก (gluconic acid) ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส นอกจากนั้นยังพบกรดชนิดอื่นๆ ในน้ำผึ้งแต่มีอยู่ในปริมาณน้อย เช่น กรดอะซีติก (acetic acid) บิวทีริก (buteric acid) แลคติก (lactic acid) ซิตริก (citric acid) ฟอร์มิก (formic acid) มาลิก (malic acid) และออกซาลิก (oxalic acid) เป็นต้น (Belitz and Grosch, 1999)

4. กรดอะมิโน ซึ่งในน้ำผึ้งจะประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด ซึ่งพบในเกสรดอกไม้ที่ผึ้งได้ไปดูดน้ำหวานมา ตัวอย่างกรดอะมิโนที่มีในน้ำผึ้ง แสดงดังตารางที่ 2.5

5. แร่ธาตุ ในน้ำผึ้งมีอยู่หลายชนิด เช่น แคลเซียม โซเดียม และฟอสฟอรัส ปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้แม้จะมีไม่มากนัก แต่ก็อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม ดังนั้นการเติมน้ำผึ้งลงไปแทนน้ำตาลในอาหารชนิดต่างๆ จึงเป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็นให้แก่ร่างกายด้วย

6. วิตามิน ในน้ำผึ้งมีวิตามินอยู่หลายชนิด เช่น วิตามินซี บี 2 บี3 และบี6 เป็นต้น แม้ว่าวิตามินแต่ละชนิดจะมีอยู่ในปริมาณไม่มากนักแต่ก็อยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม ปริมาณวิตามินในน้ำผึ้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำผึ้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. อินฮิบิน (inhibine) คือ สารที่มีสมบัติในการต่อต้าน จุลินทรีย์ คนในสมัยโบราณนิยมใช้น้ำผึ้งในการรักษาบาดแผล และแก้อาการอักเสบ ซึ่งได้ผลเพราะน้ำผึ้งมีสารอินฮิบินเป็นองค์ประกอบ (Sharquie and Najim, 2004)

ตารางที่ 2.5 กรดอะมิโนที่พบในน้ำผึ้ง

กรดอะมิโน	**ปริมาณ** (mg/100 g น้ำผึ้ง, น้ำหนักฐานแห้ง)
Aspartic acid (Asp)	3.44
Asparagines (Asn) + Glutamine(Gln)	11.64
Glutamic acid (Glu)	2.94
Proline (Pro)	59.65
Glycine (Gly)	0.68
Alanine (Ala)	2.07
Cystein (Cys)	0.47
Valine (Val)	2.00
Methionine (Met)	0.33
Isoleucine (Ile)	1.12
Leucine (Leu)	1.03
Tyrosine (Tyr)	2.58
Phenylalanine (Phe)	14.75
β-Alanine (β-Ala)	1.06
γ-Aminobuteric (γ-Abu)	2.15
Lysine (Lys)	0.99
Ornithine (Orn)	0.26
Histidine (His)	3.84
Tryptophan (Trp)	3.84
Arginine (Arg)	1.72
กรดอะมิโนที่ไม่สามารถระบุชนิดได้	24.53
รวมทั้งหมด	118.77

ที่มา : Belitz and Grosch (1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

8. เอนไซม์ คือ สารอินทรีย์ประเภทโปรตีนที่มีอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น การย่อยอาหาร เอนไซม์ที่สำคัญที่สุดที่พบในน้ำผึ้ง คือ อินเวอร์เตส (invertase) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโทส และเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกรดกลูโคนิกอันเป็นส่วนประกอบของน้ำตาลกลูโคส (นาวี, 2550) นอกจากนั้นยังพบเอนไซม์ไดแอสเตส (diastase) ในน้ำผึ้งด้วย โดยกิจกรรมของเอนไซม์อินเวอร์เ ตส และไดแอสเตสร่วมกับปริมาณไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล (hydroxy methyl furfural; HMF) ซึ่งสามารถใช้ในการประเมินความสดใหม่ของน้ำผึ้ง และดูว่าน้ำผึ้งผ่านการให้ความร้อนหรือไม่ (Belitz and Grosch, 1999; Bogdanov, 2009) อุณหภูมิในการให้ความร้อนมีผลต่อปริมาณ HMF โดยปริมาณ HMF มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Crane, 1984) ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับกิจกรรมของไดแอสเตส (diastase activity) และปริมาณ HMF สำหรับน้ำผึ้ง โดยหน่วยงาน Codex Alimentarius และ EU norm กำหนดปริมาณ HMF สูงสุด คือ 40 mg/kg น้ำผึ้ง (Bogdanov, 2009)

2.2.3 ประโยชน์ของน้ำผึ้ง

คุณค่าที่ผู้บริโภคได้รับจากน้ำผึ้งนั้นมีอยู่มากมายทั้งนี้ก็เพราะน้ำผึ้งอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ คุณค่าที่ได้รับจากน้ำผึ้งสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 หัวข้อใหญ่ คือ คุณค่าทางโภชนาการ และคุณค่าทางยารักษาโรค (นาวี, 2550) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการ

น้ำผึ้งมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมากเพราะมีสารอาหารครบถ้วน คุณค่าทางโภชนาการที่สำคัญต่างๆ มีดังนี้

1. คาร์โบไฮเดรต น้ำผึ้งจัดเป็นอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตที่ดีที่สุด เพราะถ้าระเหยน้ำออกจากน้ำผึ้งจนหมด สิ่งที่เหลือก็คือน้ำตาลซึ่งเมื่อถูกเผาผลาญก็จะให้พลังงานแก่ร่างกาย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับอาหารคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆในปริมาณน้ำหนักแห้งเท่ากัน น้ำผึ้งจะให้พลังงาน และความอบอุ่นมากกว่า

2. โปรตีน และไขมัน ถึงแม้ว่าในน้ำผึ้งจะมีโปรตีน และไขมันจำนวนน้อยแต่ก็มีคุณค่าทางโภชนาการสูงสุด เพราะอยู่ในรูปโมเลกุลที่เล็กที่สุด คือ กรดอะมิโน และกรดไขมัน ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ได้ทันที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนั้นน้ำผึ้งยังให้พลังงานที่เหมาะกับผู้ที่มีปัญหาในระบบย่อยอาหาร โดยน้ำตาลที่ได้จากแป้งและอาหารทั่วๆไป ถ้าเป็นน้ำตาลซูโครสเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะต้องผ่านกระบวนการย่อยก่อนร่างกายจึงจะนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่สำหรับน้ำผึ้งนั้นร่างกายสามารถดูดซึมได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการย่อยอีก ร่างกายจึงนำสารอาหารไปเสริมสร้างพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับการย่อยอาหารหรือเด็กที่กำลังเติบโตโดยต้องใช้พลังงานอยู่เสมอจึงควรรับประทานน้ำผึ้งเป็นประจำ อีกทั้งน้ำผึ้งช่วยควบคุมการทำงานของระบบประสาทในร่างกาย เนื่องจากในน้ำผึ้งมีสารกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวภาพหลายชนิด เช่น เอนไซม์ วิตามิน แร่ธาตุ ซึ่งต่างมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบประสาทในร่างกายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (นาวี, 2550)

2.2.3.2 คุณค่าทางยารักษาโรค

เนื่องจากน้ำผึ้งมีความชื้นน้อยจึงมีแรงดูดซึมสูง สามารถดูดซึมน้ำจากเซลล์จุลินทรีย์ทำให้ยับยั้งการเจริญของเชื้อโรค และทำให้เชื้อโรคตายได้ อีกทั้งน้ำผึ้งยังมีสารอินฮิบินหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงสามารถยับยั้งการเจริญ และทำลายเชื้อโรคได้

จากคุณประโยชน์ของน้ำผึ้งที่ได้กล่าวมาจึงพบว่ามีการนำน้ำผึ้งไปใช้ในอุตสาหกรรมมากมาย เพื่อผลิตเป็นสินค้าออกมารองรับความต้องการของผู้บริโภคไม่ว่าจะใช้ในการผสมอาหาร เช่น นมผงผสมน้ำผึ้ง ลูกอม ไอศกรีม ใช้ในการเก็บรักษาผักผลไม้ให้อยู่ได้นาน เช่น ลูกพรุน ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง เช่น ช่วยลดการเหี่ยวย่นของเนื้อสัตว์ ช่วยทำให้อาหารกระป๋องน่ารับประทานยิ่งขึ้น (นาวี, 2550)

2.2.4 การตกผลึกของน้ำผึ้ง

การตกผลึกในน้ำผึ้งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นระหว่างเก็บรักษาน้ำผึ้ง ทำให้น้ำผึ้งจะมีสีเข้มขึ้น กลิ่นหอม น้ำผึ้งที่ได้จากน้ำหวานดอกไม้บางชนิด เช่น ดอกทานตะวัน และดอกยางพารา เมื่อเก็บไว้ในช่วงเวลาหนึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเช่น น้ำผึ้งมีสีเข้มขึ้น สูญเสียรสชาติ และเกิดการตกผลึกได้ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมารวมตัวกันเกิดเป็นผลึกของแข็ง (ขนิษฐา, 2550)

น้ำผึ้งตกผลึก (crystallized honey) คือ น้ำผึ้งที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นของแข็งหรือเป็นผลึก สาเหตุมาจากน้ำผึ้งชนิดนั้นมีปริมาณกลูโคสมาก หรือความชื้นในน้ำผึ้งมีน้อยจะเกิดการตกผลึกได้ง่าย และจะตกผลึกเร็วขึ้นเมื่อเก็บน้ำผึ้งในอุณหภูมิที่ต่ำ การเก็บรักษาน้ำผึ้งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก ซึ่งเกิดจากการจำกัดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล (Hebbar *et al*.,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2008) โดยปกติน้ำผึ้งทั่วไปไม่ค่อยตกผลึกเพราะมีฟรุกโ ตสมากกว่ากลูโคส ถ้ามีฟรุกโ ตสมากกว่ากลูโคสถึง 1.5 เท่า น้ำผึ้งจะไม่เกิดการตกผลึก รูปร่างของผลึกกลูโคสในธรรมชาติจะอยู่ในรูป D-enantiomer และเป็นรูปที่พบได้ทั่วไปในผลึกน้ำผึ้งซึ่งมีสามแบบ คือ α-monohydrate, α-anhydrous และ β-anhydrous (Yong, 2003)

การตกผลึกของน้ำผึ้งอาจเกิดการตกผลึกเป็นบางส่วน ตกผลึกเพียงหนึ่งในสี่ สองในสาม หรือตกผลึกทั้งหมดขึ้นกับค่าของสัดส่วนระหว่างกลูโคสกับน้ำในน้ำผึ้ง น้ำผึ้งไทยที่ตกผลึกง่าย ได้แก่ น้ำผึ้งดอกทานตะวัน น้ำผึ้งดอกลิ้นจี่ และน้ำผึ้งจากดอกยางพารา (กรมส่งเสริมการเกษตร , 2550) เนื่องจากน้ำผึ้งที่ตกผลึกไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงทำให้ผู้ผลิตต้องนำน้ำผึ้งไปละลายให้เป็นของเหลวเช่นเดิมด้วยการนำภาชนะที่บรรจุน้ำผึ้งตกผลึกไปแช่ในน้ำอุ่นหรือนึ่งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60ºC จนผลึกละลายหมด ทำให้น้ำผึ้งตกผลึกกลับคืนสภาพเดิมได้ โดยไม่ทำลายคุณภาพของน้ำผึ้ง แต่ถ้าหากมีการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า และเป็นเวลานานจะทำให้สีของน้ำผึ้งเข้มขึ้น กลิ่นหอมลดลง และเกิดกลิ่นไหม้ นอกจากนี้ความร้อนจากอุณหภูมิสูงยังสามารถทำลายสารต้านอนุมูลอิสระ วิตามิน กรดอะมิโนต่างๆ ส่งผลให้คุณค่าทางอาหารของน้ำผึ้งลดลง และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) และจากรายงานการวิจัยโดยละลายผลึกน้ำผึ้งด้วยความร้อนที่ 55ºC ในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าน้ำผึ้งที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนจะมีปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระลดลงในขณะที่มีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น และน้ำผึ้งมีสีที่เข้มขึ้นจากเดิม

การตกผลึกในน้ำผึ้งทำให้เกิดความขุ่น ซึ่งส่งผลให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (ขนิษฐา, 2550) เนื่องจากผู้บริโภคเข้าใจว่าเป็นน้ำผึ้งที่เสื่อมคุณภาพ ทำให้ผู้ประกอบการที่ผลิตน้ำผึ้งประสบปัญหาสินค้าถูกตีกลับ และเกิดการสูญเสียมูลค่าทางการตลาด แท้ที่จริงนั้นน้ำผึ้งที่เกิดการตกผลึกไม่ได้เป็นน้ำผึ้งที่เสื่อมสภาพแต่อย่างไร ยังคงคุณค่าทางด้านสารอาหาร และคุณภาพด้านกลิ่นหอมและรสหวานซึ่งเป็นกลิ่นรสเดิมของน้ำผึ้งอยู่ แต่อาจมีลักษณะบางอย่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลง นั่นคือเกิดการจับรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนผลึก ทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น แต่ผู้บริโภคน้ำผึ้งบางรายก็ชอบลักษณะน้ำผึ้งที่เกิดการตกผลึก เนื่องจากง่ายต่อการตักน้ำผึ้งรับประทาน และมีรสชาติอีกแบบหนึ่ง ซึ่งทำให้ด้านการตลาดบางบริษัทผลิตน้ำผึ้งในรูปครีมน้ำผึ้งหรือน้ำผึ้งตกผลึกจำหน่าย งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่นำผลึกน้ำผึ้งที่มีปริมาณของแข็งที่มากกว่าน้ำผึ้งที่ไม่สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารผงโดยไม่ผ่านการเติมสารช่วยเพิ่มปริมาณของแข็ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำผึ้งที่เกิดการตกผลึก โดยไม่ต้องนำไปทำให้กลายสภาพเป็นของเหลวโดยใช้ความร้อนเพื่อเสี่ยงต่อการสูญเสียคุณค่าทางสารอาหาร และลักษณะทางกายภาพอีกด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.5 ปัจจัยการตกผลึกของน้ำผึ้ง

1. องค์ประกอบของน้ำผึ้ง น้ำผึ้งมีองค์ประกอบของน้ำตาลเป็นหลัก คือ น้ำตาลฟรุกโตส และกลูโคส น้ำผึ้งที่มี น้ำตาลกลูโคสปริมาณมากจะเกิดการตกผลึกได้เร็ว เนื่องจากมีความสามารถในการละลายต่ำกว่า น้ำตาลฟรุกโตส (Zamora and Chirife, 2006) อัตราส่วนระหว่าง น้ำตาลฟรุกโตสต่อกลูโคส สัดส่วน ของน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำ ปริมาณเด็กซ์ตริน และผลึกของแข็งขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำผึ้ง จากรายงานการวิจัยพบว่าน้ำผึ้งจะเกิดการตกผลึกได้มากเมื่อมีปริมาณกลูโคสมากกว่า 280-300 g/kg น้ำผึ้ง มีอัตราส่วน ของน้ำตาลฟรุกโตสต่อกลูโคสน้อยกว่า 1.14 (Bogdanov, 1993) และมีอัตราส่วนกลูโคสต่อน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 2.1 (White, 1974)

2. สภาวะในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งการเก็บรักษาน้ำผึ้งที่อุณหภูมิต่ำจะเร่งให้เกิดการตกผลึกของกลูโคส และยังมีผลต่อความหนืด เนื่องจากความสามารถในการละลายของน้ำตาลจะลดลงตามอุณหภูมิ นอกจากนั้นการคนหรือเขย่าน้ำผึ้งจะช่วยให้เกิดการตกผลึกได้ดีขึ้น เนื่องจากการสัมผัสกันของโมเลกุลน้ำตาลในสารละลายที่หนืดจะมีมากขึ้น (Yong, 2003)

3. สารชักนำอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำผึ้ง ละอองเกสร ฝุ่น ไขผึ้ง (bee wax) โพรเพอลิส (properlis) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำผึ้ง การมีผลึก (nuclei) อนุภาคเล็กๆ หรือฟองอากาศที่มีอยู่ในน้ำผึ้งเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการตกผลึกโดย (Escobedo *et al*., 2006) โดยการตกผลึกที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความอิ่มตัวของกลูโคส อุณหภูมิ และความเป็นกรดด่าง ซึ่งมีผลต่ออัตราการขยายขนาดและรูปร่างของผลึก

2.2.6 การเสื่อมคุณภาพของน้ำผึ้ง

การเก็บรักษาน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 0-10°C เป็นเวลาหลายปี จะไม่ทำให้ส่วนประกอบและกิจกรรมทางชีวเคมี (biochemical activity) ของน้ำผึ้งมีการเปลี่ยนแปลง รวมถึงในด้านสีและกลิ่นรส น้ำผึ้งจะไม่เสื่อมคุณภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ ยกเว้นพวก osmophilic yeast จะเกิดในน้ำผึ้งที่มีปริมาณความชื้นสูง (Varju, 1970) จากรายงานการวิจัยของ White *et al*. (1953) พบว่ามีเอนไซม์ทรานกลูโคไซเลส (tranglucosylase) จะเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นไดแซคคาไรด์หลายชนิด เช่น มอลโทส และไอโซมอลโทส White *et al.* (1962) พบว่าเมื่อเก็บน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 26±3°C เป็นเวลา 2 ปี สีจะคล้ำขึ้น และพบว่าโมโนแซคคาไรด์จะเปลี่ยนเป็นไดแซคคาไรด์ประมาณ 9% ต่อปี อัตราส่วนระหว่างกลูโคสกับฟรุกโทสจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลูโคสลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนฟรุกโทสจะเปลี่ยนเป็นกรดกลูโคนิก เอนไซม์จะลดลงโดยเฉพาะไดแอสเตสจะลดลงเร็วกว่าเอนไซม์อื่นๆ

การที่เก็บน้ำผึ้งไว้เป็นเวลานานๆ ที่อุณหภูมิห้อง ถึงแม้จะไม่เสื่อมคุณภาพแต่ก็ทำให้กรดอะมิโนทำปฏิกิริยากับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ได้สารเมลานอยด์ดิน (melanoidin) ทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำผึ้งมีสีเข้ม แสดงว่าน้ำผึ้งที่มีกรดอะมิโนสูงจะมีโอกาสเกิดสีคล้ำได้มากกว่าน้ำผึ้งที่มีกรดอะมิโนต่ำ น้ำผึ้งที่มีความชื้นต่ำทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ จึงสามารถเก็บน้ำผึ้งไว้เป็นเวลานานโดยไม่มีการเน่าเสีย ส่วนน้ำผึ้งที่มีความชื้นสูงมักมีลักษณะเหลวและมีฟองอากาศที่บริเวณผิวของน้ำผึ้งในภาชนะบรรจุเป็นจำนวนมาก เมื่อเกิดการหมัก กลิ่นของน้ำผึ้งจะบูดเปรี้ยว เนื่องจากน้ำตาลบางส่วนเปลี่ยนกรดเป็นแอลกอฮอล์ (Cathaway, 1932)

ในน้ำผึ้งที่มีปริมาณของน้ำตาลสูง จุลินทรีย์ที่สามารถทนสภาพที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงได้แก่ osmophilic yeast อาจเจริญได้ และทำให้เกิดการหมักในน้ำผึ้ง เมื่อมีความชื้น และอุณหภูมิที่เหมาะสม มียีสต์หลายชนิดที่แยกได้จากน้ำผึ้งที่สามารถเกิดการหมักได้แก่ *Nematospora ashbya gossypii, Saccharomyces bisporus, Saccharomyces. torulosus, Schizosaccharomyces octosporus, Schwanniomyces occidentilis, Torula mellis,* และ *Zygosaccharomyces spp.,* ได้แก่ *Z. barkeri, Z. japonicus, Z. mellis, Z. mellis acidi, Z. mussbaumeri, Z. priorianus* และ *Z. richteri* (Crane, 1984)

2.3 วานิลลา (Vanilla)

วานิลลา (Vanilla planifolia) เป็นสารให้กลิ่นที่มีการใช้อย่างกว้างขวาง และเป็นวัตถุดิบที่ให้กลิ่นที่มีความสำคัญ (Walton *et al*., 2003; Marquez *et al*., 2008) และเป็นเครื่องเทศชนิดเดียวที่มาจากพืชในวงศ์กล้วยไม้ (Orchidaceae) สกุล Vanilla ซึ่งวานิลลาพันธุ์ *Vanilla planifolia* และ *V. fragrans* เป็นสองพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อทางการค้า แหล่งของกลิ่นวานิลลาได้จากเมล็ด และฝัก (Walton et al., 2003) มีซึ่งถิ่นกำเนิดอยู่ทางภาคใต้ของประเทศเม็กซิโก ในอเมริกากลาง (อัจฉราพร, 2544) วานิลลาจะออกดอกปีละครั้งเท่านั้น ดอกมีสีเหลืองคล้ายกับดอกสะบันงาหรือดอกจำปี ผลของวานิลลามีรูปร่างคล้ายฝักถั่ว ภายในมีเมล็ดเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ฝักมีกลิ่นหอมซึ่งเกิดจากสารวานิลลิน (vanillin) (อภิชัย, 2552) นิยมนำมาแต่งกลิ่นไอศกรีม เครื่องดื่ม ขนมเค้ก คัสตาร์ด พุดดิ้ง และขนมหวานอื่นๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการแต่งกลิ่นน้ำหอมและทำยาอีกด้วย (อัจฉราพร, 2544) สารประกอบหลักที่พบในวานิลลาสกัด (vanilla extract) คือ วานิลลิน และยังพบสารประกอบที่ระเหยง่ายชนิดอื่น เช่น กัวอะคอล (guaiacol) อะนิซัลดีไฮด์ (p-anisaldehyde) และเมทิลซินนาเมท (methyl cinnamate) (Lamprecht *et al*., 1994; Perez-Silva *et al*., 2006)

วานิลลิน (Vanillin)

วานิลลิน หรือ 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde เป็นสารประกอบอินทรีย์ และมีสูตรโมเลกุล คือ $C_8H_8O_3$ ซึ่งหมู่ที่มาเกาะ (functional group) ได้แก่ อัลดีไฮด์ (aldehyde) อีเทอร์ (ether)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และแอลกอฮอล์ (alcohol) (Walton *et al*., 2003) วานิลลินมีสูตรโมเลกุลที่สัมพันธ์กับไอโซวานิลลิน (isovanillin) หรือ 3-hydroxy-4-methoxybenzaldehyde และเอทิลวานิลลิน (ethylvanillin) หรือ 3-ethoxy-4-hydroxybenzaldehyde ซึ่งวานิลลินเป็นองค์ประกอบหลักของวานิลลาที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งรวมถึงวานิลลินที่ได้จากการสกัดจากเมล็ดวานิลลา วานิลลินมีลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นวานิลลา และเอทิลวานิลลิน (Egawa *et al*., 2006) โดยวานิลลินจะแสดงสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านจุลินทรีย์ ซึ่งใช้เป็นสารกันเสียในอาหาร (Burri *et al*., 1989; Davidson and Naidu, 2000) เป็นสารออกฤทธิ์ที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้อาหารเน่าเสียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ และยับยั้งการเจริญยีสต์ และราในผลไม้ และในอาหารเลี้ยงเชื้อในห้องปฏิบัติการ (Cerrutti *et al*., 1997; Lopez-Malo *et al*., 1998; Fitzgerald *et al*.,2003) เกรียงศักดิ์ และคณะ (2548) ได้ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งปอด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่าหมู่เคมีทุกหมู่ในโครงสร้างของวานิลลินมีความสำคัญต่อฤทธิ์ยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็ง

วานิลลามักถูกนำมาใช้แต่งกลิ่นในการประกอบอาหารประเภทของหวาน และไอศกรีม เป็นส่วนใหญ่ การใช้วานิลลาในการประกอบอาหารทำโดยกรีดฝักวานิลลาออก และขูดนำเอาเม็ดในฝักไปใช้ประกอบอาหารหรือนำทั้งฝักไปต้มน้ำ และช้อนออก วานิลลาแท้มีราคาสูงมากทำให้มีการสังเคราะห์วานิลลาขึ้นมาแทนเพื่อให้มีราคาถูกลง โดยใช้น้ำมันกานพลู น้ำมันอบเชยหรือใช้ขี้เลื่อยเป็นวัตถุดิบ อย่างไรก็ตามกลิ่นที่ได้จากวานิลลาสังเคราะห์มีความเข้มของกลิ่นไม่เท่ากับของจริง (อภิชัย, 2552)

ได้มีการผลิตวานิลลาจำหน่ายในหลายรูปแบบ (อัจฉราพร, 2544) ดังนี้

1. วานิลลาสกัด (Vanilla extract) เป็นสารสกัดที่ได้จากการเอาฝักวานิลาไปผสมกับน้ำและแอลกอฮอล์หมักไว้หลายๆ เดือน บางครั้งอาจจะมีการผสมน้ำตาลใส่ลงไปด้วย ทำให้วานิลลามีสีค่อนข้างเข้ม และเหมาะสำหรับการผสมใส่ในอาหารที่มีสีเข้ม เช่น คุกกี้ เป็นต้น ซึ่ง vanilla extract ไม่เหมาะสำหรับการผสมในของเหลวที่กำลังร้อน เพราะแอลกอฮอล์ที่ผสมอยู่นั้นจะระเหยออกไปพร้อมกับนำกลิ่นหอมของวานิลาระเหยออกไปด้วย

2. วานิลลาเข้มข้น (Vanilla essence) ได้จากการสกัดมาจาก vanilla extract ซึ่งวานิลลาเข้มข้นนี้จะมีกลิ่นเข้มมาก จะไม่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์

3. ฝักหรือเมล็ดวานิลลา (Pod/bean of vanilla) ฝักวานิลามักจะผ่าฝักแบ่งครึ่งทางยาวก่อนนำมาใช้ จะมีเมล็ดสีดำๆ อยู่ข้างใน พวกนี้มักจะนำมาใช้กับอาหารที่เป็นของเหลว (ค็อกเทลต่างๆ) คัสตาร์ด นม ครีม และน้ำเชื่อม เป็นต้น แบ่งออกเป็น 3 เกรด คือ fine vanilla , woody vanilla และ vanillon ขึ้นอยู่กับสีของฝัก กลิ่นหอม ความบาง และความยาวของฝัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. วานิลลาผง (Vanilla powder) คือ การเอาฝักวานิลาแห้งทั้งฝักไปบดจนเป็นผงละเอียด ข้อดีของการใช้ผงวานิลามีดังนี้ สามารถใช้ใส่ไปในของเหลวร้อนๆ ได้โดยที่กลิ่นวานิลาไม่ระเหยหายไปเหมือนกับแบบน้ำซึ่งมีตัวแอลกอฮอล์พาระเหยไป สามารถใช้กับอาหารที่ไม่มีสีสันหรืออาหารที่มีสีขาวหรือสีอ่อน เช่น วิปปิ้งครีม (whipped Cream) ไข่ขาว เป็นต้น อีกทั้งเวลาผสมไปในวิปปิ้งครีมหรือของเหลวอย่างอื่น จะไม่ทำให้ส่วนผสมนั้นถูกลดความเจือจางลงไป และเป็นตัวผสมกับส่วนผสมที่เป็นของแห้งได้ดี เช่น แป้ง น้ำตาล คอร์นสตาร์ ช เป็นต้น (การใช้แบบน้ำผสมกับของแห้งต่างๆ อาจทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นก้อนเล็กๆ ของส่วนผสมของอาหารแห้งได้)

5. วานิลลาแบบน้ำตาล (Vanilla sugar) คือ การเอาฝักวานิลามาผสมกับน้ำตาลหรือไอซ์ซิ่ง โดยนำเอาฝักวานิลลาแบ่งครึ่งตามยาวแล้วนำไปฝังไว้ใต้น้ำตาลทรายหรือน้ำตาลไอซ์ซิ่งแล้วปิดคลุมไว้อย่างดี ทิ้งไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ หรือจนกลิ่นผสมผสานเข้ากันดี แทนที่น้ำตาลธรรมดา เช่น ในคุกกี้หรือโดนัท การใช้น้ำตาลวานิลาแบบนี้ช่วยทำให้ขนม หอมอร่อยมากขึ้น น้ำตาลวานิลลา 1 ช้อนโต๊ะ จะมีกลิ่นหอมเท่ากับ Vanilla Extract 1/4 ช้อนชา

6. วานิลลาเพสต์ (Vanilla paste) มีลักษณะเหนียวๆ คล้ายกะปิ มักใช้ผสมไอศกรีม เจลลาโต้ (gelato) บรูเล่ครีม (creme Brulee) วิปครีม เค้ก และไอซ์ซิ่ง เป็นต้น

2.4 การแปรรูปอาหารผง

การแปรรูปอาหารผงเป็นการนำวัตถุดิบอาหารไปผ่านการทำแห้ง (drying) ซึ่งหมายถึง เป็นการกำจัดน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในอาหาร โดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของของแข็ง (Fellows, 2000) ด้วยเทคนิคการทำแห้ง และใช้เครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ซึ่งการผลิตอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูง จะเสื่อมคุณภาพง่ายกว่าอาหารที่มีปริมาณความชื้นต่ำ เช่น นมสด น้ำผลไม้สด เป็นต้น ดังนั้นการทำแห้งหรือการแปรรูปให้เป็นผง จึงสามารถช่วยลดปริมาณความชื้นในอาหารให้ต่ำลง ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ อีกทั้งยัง ช่วยลดค่าใช้จ่ายของการเก็บรักษา และขนส่ง ช่วยเพิ่มความหลากหลาย และความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภค และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร (วิไล, 2546)

หลักการแปรรูปอาหารผงเป็นการทำแห้งอาหารชนิดหนึ่ง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง มีการละลายน้ำที่ดี มีปริมาณความชื้นต่ำ (ประมาณ 5%) สามารถเก็บรักษาได้นานที่อุณหภูมิห้อง ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่สามารถชงละลายได้ทันที มีอีกชื่อเรียกว่า Instantized powder

การที่จะเก็บอาหารไว้บริโภคได้นานๆ นั้น ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการนำเอาอาหารมาทำแห้ง ผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้งควรมีคุณสมบัติที่ดี คือ สามารถทำให้กลับคืนรูปเดิมได้อย่างรวดเร็วโดยน้ำ ภายในเวลา 1-2 นาที มีสี รส และกลิ่นใกล้เคียงกับอาหารสดมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพื่อเป็นการยอมรับของผู้บริโภค และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่สูญเสียคุณภาพ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นอนุภาคเล็ก มีน้ำหนัก และปริมาตรลดลงประมาณ 8 และ 4 เท่า ตามลำดับ (สมชาติ, 2535) ซึ่งการแปรรูปอาหารผงมีทั้งการใช้ และไม่ใช้ความร้อน โดยการแปรรูปอาหารผงแบบใช้ความร้อนมีผลต่อความเสื่อมเสียคุณภาพทางอาหาร โดยเฉพาะอาหารที่มีองค์ประกอบเป็นสารที่ไวต่อการเสื่อมสลายด้วยความร้อน

นมผึ้งประกอบด้วยสารที่มีประโยชน์มากมายที่อาจสูญเสียได้ง่าย หากใช้การแปรรูปให้เป็นผงโดยใช้ความร้อน ดังนั้นการทำแห้งโดยไม่ใช้ความร้อน ได้แก่ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จึงน่าจะเป็นวิธีที่จะสามารถรักษาคุณภาพของนมผึ้งไว้ได้มากที่สุด

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying หรือ lyophilization)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการทำให้แห้งโดยการระเหิดของน้ำแข็งออกจากอาหาร โดยขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง คือ การแช่แข็งอาหารโดยอาหารจะถูกแช่แข็งแบบรวดเร็ว (quick freezing) เพื่อให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก และลดความเสียหายที่จะเกิดกับเซลล์ของอาหาร หากอาหารเป็นของเหลวอาจแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) ได้ หลังจากนั้นน้ำที่อยู่ในสภาพน้ำแข็งจะถูกกำจัดออกโดยการระเหิดกลายเป็นไอน้ำทันทีโดยไม่หลอมละลายเป็นของเหลว ภายใต้สภาวะการทำให้แห้งต่ำกว่าจุด triple point ของน้ำ คือ 0ºC และความดัน 611 Pa (ประมาณ 4.58 torr) ไอน้ำจะถูกกำจัดออกจากอาหารอย่างต่อเนื่องด้วยการรักษาความดันในตู้ให้ต่ำกว่าความดันไอที่ผิวของน้ำแข็ง ไอน้ำจะถูกกำจัดออกไปด้วยปั๊มสุญญากาศ และกลั่นตัวบนขดลวดทำความเย็น (refrigeration coils) (Fellows, 2000)

เนื่องจากการการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นการใช้ความดันต่ำเพื่อกำจัดน้ำออกจากวัฏภาคของแข็ง (น้ำแข็ง) ให้กลายเป็นไอโดยไม่ผ่านวัฏภาคของเหลวจนกระทั่งวัตถุดิบแข็งตัว และแห้ง โดยกระบวนการทั้งหมดจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งถ้าอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะสามารถเก็บไว้ได้เป็นระยะเวลานาน (Ramaswamy and Marcotte, 2006) มีรสชาติ และคุณค่าทางอาหารที่ดี โดยสารประกอบจำพวกกลิ่นจะไม่ระเหิดไปกับน้ำแต่จะถูกเก็บอยู่ในโครงสร้างของอาหาร เป็นผลให้สามารถกักเก็บกลิ่นรสได้ถึง 80-100% (Fellows, 2000) ช่วยรักษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ชีววิทยาและคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้เหมือนกับผลิตภัณฑ์เริ่มต้น และลดการสูญเสียคุณภาพเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทั้งที่เกิดจากเอมไซม์ และไม่ใช้เอมไซม์ ช่วยรักษาสี และวิตามินของอาหาร (Ramaswamy and Marcotte, 2006) อีกทั้งองค์ประกอบต่างๆ ของอาหารที่ไวต่อความร้อน จึงไม่มีการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือสูญเสียไปน้อยมาก การเคลื่อนย้ายของผลึกน้ำแข็งจะทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรู

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พรุน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะละลายน้ำได้เร็ว (Rahman and Perera, 1999) และค่อนข้างเปราะ อย่างไรก็ตามรูพรุนของโครงสร้างทำให้ออกซิเจนสามารถเข้าไปในโครงสร้างอาหาร และก่อให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันได้ ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุก๊าซเฉื่อย (Fellows, 2000)

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการกักเก็บสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ และสารจำพวกกลิ่นรสที่ได้จากธรรมชาติ (Desai and Park, 2005) รวมถึงสารที่ไวต่อความร้อน (heat sensitive materials) อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาในการทำให้แห้งด้วยกระบวนการนี้มีราคาสูง การนำกระบวนการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งนี้ไปประยุกต์ใช้จะถูกจำกัดในผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงได้แก่ ยา ผลิตภัณฑ์ทางชีวภาพ และอาหารที่มีคุณภาพ (Song *et al*., 2005) แม้ว่าการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการทำให้แห้งที่มีค่าใช้จ่ายสูง แต่ค่าใช้จ่ายอาจจะลดลงได้ถ้ากระบวนการทำให้แห้งใช้ระยะเวลาสั้น (Lin *et al*., 2005) การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการทำแห้งสำหรับวัตถุที่มีความไวต่อความร้อนเช่น อาหาร ยา วัตถุชีวภาพ และผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เช่น เนื้อ กาแฟ ปลา อาหารทะเลบางชนิด และผลไม้ เป็นต้น (Onwulata, 2005) เนื่องจากเป็นเทคนิคการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการสูญเสียเนื่องจากความร้อน (Schoug *et al*., 2006) หากเปรียบเทียบกับการทำแห้งโดยใช้ความร้อน จะพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะสามารถคงคุณภาพไว้ได้ดีกว่า

จากการศึกษาเปรียบเทียบการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการทำแห้งแบบพ่นฝอยของผงกลิ่นรสทุเรียน พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสามารถรักษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและสมบัติทาง physico-chemical ของผงกลิ่นรสทุเรียนได้ดีกว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Che Man *et al*., 1999) ในระหว่างการเก็บรักษาของไข่ผง พบว่าไข่ผงที่ทำแห้งแบบพ่นฝอยจะเกิดการออกซิเดชันของคอเลสเทอรอลมากกว่าไข่ผงที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Obara *et al*., 2004) และจากการศึกษาเปรียบเทียบการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การทำแห้งแบบพ่นฝอย การอบแห้งแบบถาด และการอบแห้งแบบลูกกลิ้งทรงกระบอกในการผลิตน้ำมันส้มวาเลนเซียผงผสมกัมอะราบิกและแป้งดัดแปร (modified starch) พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่ทำให้ได้น้ำมันส้มวาเลนเซียผงตามคุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุด (Buffo and Reineccius, 2001) จากการศึกษาเปรียบเทียบการเกิดออกซิเดชันของเมทิลลิโนลิเอต (methyl linoleate) เมื่อถูกห่อหุ้มด้วยกัมอะราบิกโดยการทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนกับการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าเมทิลลิโนลิเอตในผงที่ได้จากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะเกิดการออกซิไดซ์อย่างช้าๆ ที่ทุกๆระดับความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) และไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา (Minemoto *et al*., 1997) นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการผลิตผงของน้ำมันปลาโดยการแช่เยือกแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีการต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่ดี และสามารถรักษารูปทรงของอนุภาคผงไว้ได้ (Madene *et al*., 2005) จากการผลิตแป้งจากมันเทศด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แบบตู้อบลมร้อน และแบบลูกกลิ้งทรงกระบอก พบว่าแป้งจากมันเทศที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งช่วยรักษาการทำงานของแอนตี้ออกซิเดชัน (antioxidative activity) ได้มากที่สุด (Hsu *et al*., 2003)

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ากระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงแต่หากวัตถุประสงค์ของการผลิตนั้น เพื่อใช้ผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยยังคงคุณภาพ และการรักษาคุณค่าทางโภชนาการ รวมถึงกลิ่น สี และรสชาติของอาหารไว้ได้ จะทำให้เป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์อาหาร และมีความคุ้มค่า

2.5 การใช้มอลโตเด็กซ์ตรินในการผลิตอาหารผง

อาหารผงบางชนิดที่มีการดูดความชื้นสูง จะส่งผลให้อนุภาคผงเกิดการเกาะติดเป็นกลุ่มก้อน จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารบางชนิดเพื่อลดปัญหาการเกาะติด เช่น มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin) มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$-H_2O ซึ่งเกิดการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) แป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ และมีค่าสมมูลเด็กซ์โตส (dextrose equivalents; DEs) แตกต่างกันไป โดยปกติมอลโตเด็กซ์ตรินมีค่า DE น้อยกว่า 20 ซึ่งค่า DE วัดได้จากระดับการไฮโดรไลซิสโพลิเมอร์ของแป้ง (degree of starch polymer hydrolysis) (Rahman, 1995) มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็ง และความหนืด เป็นต้น (Klinkesorn *et al*., 2004)

มอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีรสชาติ และมีความชื้นประมาณ 3-5% (Macare *et al*., 1993) มอลโตเด็กซ์ตรินสามารถละลายในน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้อง (Klinkesorn *et al*., 2004) สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) ช่วยป้องกันการจับตัวกัน (anticaking) โดยเฉพาะมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE ต่ำๆ เนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อย มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลน้อยลง สามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ได้ดี นอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ซุป น้ำนม และน้ำผลไม้ เป็นต้น โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Furia, 1972) เมื่อเทผงมอลโตเด็กซ์ตรินออกมาจะไหลลงอย่างอิสระไม่เกาะติดกัน มนุษย์สามารถรับประทานมอลโตเ ด็กซ์ตรินอย่างปลอดภัย เนื่องจากเอนไซม์ในลำไส้เล็กของมนุษย์จะย่อยมอลโตเด็กซ์ตรินให้เป็น D-glucose เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรตทั่วไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE สูงจะมีความสามารถในการดูดความชื้น ความสามารถในการเกิดสีน้ำตาล ค่าการละลาย ความใสของสารละลาย และความหวานสูงกว่ามอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE ต่ำ (Macare *et al*., 1993) ความสามารถในการละลายของมอลโตเด็กซ์ตรินขึ้นอยู่กับค่า DE การละลายเพิ่มขึ้นเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้น อีกทั้งมอลโตเด็กซ์ตรินสามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์อาหารผงเนื่องจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารผงที่ได้สามารถไหลได้อิสระ

จากการผลิตน้ำมะม่วงผงโดยเติมมอลโตเด็กซ์ตรินลงไปในน้ำมะม่วงก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้สามารถลดความเหนียว แต่เพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำมะม่วงผง (Cano-Chauca *et al*., 2005) การผลิตน้ำสับปะรดผงโดยเติมมอลโตเด็กซ์ตรินลงไปในน้ำสับปะรดก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าค่า HG (hygroscopicity) ของน้ำสับปะรดผงลดลง (สโรบล และคณะ, 2550) จากการผลิตน้ำขิงผง โดยใช้มอลโตเด็กซ์ตริน และกลูโคสเหลว (liquid glucose) ก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าน้ำขิงที่มีการเติมมอลโตเด็กซ์ตรินมีปริมาณความชื้น และค่า a_w น้อยกว่าการเติมกลูโคสเหลว (อนงค์ และสิงหนาท, 2551) การศึกษาความคงตัวของสี และสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ในกระเจี๊ยบที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งโดยเติมมอลโตเด็กซ์ตรินและทรีฮาโลสเป็นสารเพิ่มความคงตัว พบว่าช่วยให้สารแอนโทไซยานินสลายตัวช้าลง (Duangmal *et al*., 2008)

2.6 สมบัติสำคัญของอาหารผง (Food powders properties)

สมบัติที่สำคัญของอาหารผงขึ้นอยู่กับคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา รวมไปถึงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารผง ซึ่งคุณภาพทางกายภาพเป็นสมบัติที่ผู้บริโภคสามารถสัมผัสได้เป็นอย่างแรก สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของอาหารผงได้แก่ ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการไหล ส่วนสมบัติทางเคมีที่มีความสำคัญ คือ ความชื้น และค่า water activity

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.6.1 ความชื้น (Moisture)

ปริมาณความชื้นมีส่วนสำคัญกับอาหารผง ซึ่งการเกาะติดของอนุภาคอาหารผงจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคอาหารผงมีความชื้นมากขึ้น อันเนื่องมาจากของเหลวระหว่างอนุภาคหรือฟิล์มที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคส่งผลให้เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาค อย่างไรก็ตามของเหลว และฟิล์มที่ผิวของอาหารผงอาจเป็นสาเหตุให้อาหารผงมีความสามารถในการไหลที่จำกัดอีกด้วย โดยของเหลวระหว่างอนุภาคอาหารผงจะหมายถึงน้ำอิสระ (free moisture) โดยน้ำอิสระสามารถทำให้

แห้งภายใต้สภาวะอากาศโดยรอบ ซึ่งใช้ในการหาปริมาณความชื้นของอนุภาคอาหารผง แสดงให้เห็นว่าหากมีความชื้นภายในอาหารผงต่ำก็จะส่งผลดีต่อคุณภาพของอาหารผงเนื่องจากปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา อีกทั้งยังช่วยให้อาหารผงไม่เกาะตัวรวมกัน (Barbosa-Canovas *et al*., 2005)

สมบัติของอาหารผง เช่น ขนาด รูปร่างและความชื้นจะมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติในการไหลของอาหารผง ตัวอย่างเช่น ค่ามุมกองของน้ำตาลที่มีขนาดแตกต่างกัน นมผงที่มีการเกาะตัวกัน (agglomerated) และไม่เกาะตัวกัน จะลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กจะเกิดการเกาะติดกันมากกว่า ส่วนรูปร่างของอนุภาคพบว่ามีอิทธิพลต่อพลังงานภายในของอนุภาคและมีผลต่อค่ามุมกองของอนุภาค ตัวอย่างเช่น อนุภาคอาหารผงที่มีรูปทรงกลม (spherical) และรูปทรงหลายเหลี่ยม (angular) พบว่าอาหารผงรูปทรงกลมจะมีสัมประสิทธิ์ค่าการเสียดสีต่ำ กองของอาหารผงค่อนข้างแบน ราบ ในขณะที่อนุภาครูปทรงหลายเหลี่ยม กองของอาหารผงสูงขึ้น ส่งผลต่อการเพิ่มค่ามุมกอง ความชื้นจะเพิ่มการเกาะติดกันของอาหารผงโดยการเพิ่มความเป็นพลาสติก (plasticity) และของเหลวที่เชื่อมโยงระหว่างอนุภาค (liquid bridge) หลังการทำแห้ง ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ค่ามุมกองเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นของอาหารผงเพิ่มขึ้น (Barbosa-Canovas *et al*., 2005)

2.6.2 Water activity (a_w)

คำจำกัดความของ a_w คือ อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในระบบ (P) กับความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ (P_0) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ดังสมการ 2.1

$$a_w = P / P_0 \qquad 2.1$$

เมื่อ P = ความดันไอของน้ำในตัวอย่างอาหาร

P_0 = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิสมดุลของระบบ

ค่า a_w เป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุม และป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร จึงมีผลโดยตรงต่อการกำหนดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากค่า a_w เป็นปัจจัยที่ชี้ระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในอาหารที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ระดับ a_w ต่ำ เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ โดยอาหารส่วนมากมีค่า a_w ในช่วง 0.6-0.7 (Stencl, 2004) กิจกรรมของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งที่ a_w ต่ำกว่า 0.6 เชื้อราส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.7 ส่วนยีสต์ และแบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญที่ a_w ต่ำกว่า 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ ในขณะที่อาหารสด เช่น ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์ รวมทั้งสัตว์ปีก และปลา มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.97-1.00 (Fellows, 2000) ค่า a_w เป็นปัจจัยหลักในการป้องกันหรือจำกัดการเจริญของจุลินทรีย์ และในหลายๆ กรณีพบว่า ค่า a_w คือตัวแปรเริ่มต้นที่มีผลต่อความคงตัวของอาหาร เป็นเกณฑ์สำหรับวัดการตอบสนองของจุลินทรีย์ (Chirife *et al*., 2006)

2.6.3 ความสามารถในการไหล (Flowability)

ความสามารถในการไหลของอาหารผงทำได้โดยการวัดค่ามุมกอง โดยมุมกอง (angle of repose) ตามนิยามของ Terzaghi and Peck (1948) หมายถึง มุมระหว่างพื้นราบ และพื้นเอียงของกองวัสดุที่ถูกทำให้ไหลลงมาจากอุปกรณ์ที่จัดให้อยู่สูงเหนือพื้นราบ โดยใช้อุปกรณ์อย่างง่ายในการทำให้เกิดการไหลของวัสดุจากจุดที่อยู่เหนือพื้นราบจนกระทั่งมุมที่เกิดขึ้นคงที่ แล้วจึงวัดมุมกองของวัสดุแห้ง ค่ามุมกองของวัสดุแห้งที่มีค่าต่ำจะมีความสามารถในการไหลได้มากกว่าวัสดุแห้งที่มีค่ามุมกองที่สูง (Bodhmage, 2006) และมุมกองเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง

มุมกองสามารถวัดได้ 2 แบบ คือ static angle of repose เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างระนาบพื้นราบ และเส้นความชันที่ยาวไปตามพื้นผิวของกองที่เกิดขึ้นโดยวัสดุที่เทลงบนพื้นผิวราบ การวัด static angle of repose แสดงดังรูป 2.3ก สำหรับ dynamic angle of repose จะถูกวัดในกระบอกตวงที่มีการหมุน (rotating cylinder) แสดงดังรูป 2.3ข (Bodhmage, 2006)

ก) static angle of repose ข) dynamic angle of repose

รูปที่ 2.3 Static และ dynamic of angle of repose

ที่มา : Bodhmage (2006)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การวัดค่ามุมกองแบบสถิตย์ (static angle of repose)

การวัดค่ามุมกองแบบสถิตย์ ทำโดยเทอาหารผงลงผ่านกรวยที่ทราบความสูงจากพื้นหรือบรรจุอาหารผงลงในกรวยจากนั้นค่อยๆ ยกกรวยขึ้นเพื่อให้อาหารผงไหลลงมา (ภาคผนวก ก-4) ซึ่งอาหารผงที่ใช้วิธีการทั้งสองวิธีนี้ต้องสามารถไหลผ่านกรวยขนาดเล็กได้ และอาหารผงที่มีการเกาะตัวกันนั้นไม่ควรใช้วิธีการนี้ในการวัดค่ามุมกอง (Geldart *et al*., 2006)

2. การวัดมุมกองแบบพลศาสตร์ (dynamic angle of repose)

การวัด dynamic angle of repose ด้วย Electrical Capacitance Tomography (ECT) โดย Dury และ Ristow ในปี 1998 นำผงตัวอย่างเข้าไปในกระบอกตวงที่มีการหมุน (rotating drum) แล้วสังเกตก้อนที่กลิ้งไปตามพื้นผิวของกองผง เมื่อเพิ่มอัตราการหมุนพบว่าก้อนที่กลิ้งจะหยุดเป็นพักๆ หรือน้อยลงและขาดออกจากพื้นผิวอย่างต่อเนื่อง โดย dynamic angle of repose คือ มุมที่เกิดขึ้นโดยพื้นผิวที่ลาดเอียงของกองผงกับแนวราบเมื่อทำการหมุนในกระบอกตวง และเมื่อเพิ่มอัตราเร็วการหมุนต่อไปมากขึ้น จะทำให้เกิดการเสียรูปของพื้นผิวแบนราบไปเป็นรูปร่างตัว S (S shape profile) การเสียรูปร่างเริ่มต้นจากการลดเข้ามาข้างในของขอบเขตและสามารถถูกประมาณค่าโดยเส้นตรง 2 เส้นที่มีความชันแตกต่างกัน โดยเส้นตรงที่มีความชันมากกว่าจะเป็นค่ามุมกองแบบ dynamic angle of repose (Bodhmage, 2006)

Carr (1965, 1970) and Raymus (1985) ได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการไหลของผง และการวัดทางกายภาพอย่างง่ายว่าค่ามุมกองที่ต่ำกว่า 30 องศา แสดงว่ามีความสามารถในการไหลที่ดี (free flowing) ส่วนค่ามุมกองที่อยู่ในช่วง 30-45 องศา แสดงว่าอนุภาคผงสามารถไหลได้ดี (medium flowing) แต่มีความเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคเล็กน้อย สำหรับค่ามุมกองที่อยู่ในช่วง 45-55 องศา แสดงว่ามีความเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคมาก (difficult flowing) และค่ามุมกองมากกว่า 55 องศา แสดงว่าอนุภาคไหลได้ช้าหรือมีความเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคสูงมาก (very difficult flowing) (Gustva *et al*., 2005; Geldart *et al*., 2006)

การวัดค่ามุมกองเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ รวดเร็ว และง่ายสำหรับการวัดความสามารถในการไหลของผงที่แตกต่างกัน โดยมุมกองที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีความสามารถในการไหลของผงได้อิสระกว่า ขณะที่มุมกองที่มีขนาดใหญ่กว่าแสดงว่าวัสดุมีความสามารถในการไหลได้ไม่ดีหรือมีความเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคได้ดีกว่า (cohesiveness) ซึ่ง ISO 3435 ได้กำหนดวิธีวัดมุมกองสำหรับการวิเคราะห์ความเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคของวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (Bodhmage, 2006)

ปัจจัยที่มีผลต่อค่ามุมกอง คือ สภาวะในการเก็บรักษาของผงที่ต้องการทดสอบความสามารถในการไหลซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผงเพียงเล็กน้อยก็สามารถเพิ่มค่ามุมกองได้มากกว่า100% (Zou and Brusewitz, 2002) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

องค์ประกอบของพื้นผิวของผง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผงที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบของพื้นผิวสูง จะไปยับยั้งสมบัติของการไหล โดยพบว่า skim milk powder มีการไหลได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผงชนิดอื่นๆ คือ whole milk powder, cream powder และ whey protein concentrate เนื่องจากพื้นผิวของ skim milk powder ประกอบด้วยน้ำตาลแลคโตส และโปรตีน ซึ่งมีจำนวนของไขมันอยู่เล็กน้อย ขณะที่พื้นผิวของ whole milk, cream และ whey protein powder ประกอบด้วยไขมันอยู่สูง จะไปยับยั้งความสามารถของการไหล (Kim *et al*., 2005) และปริมาณไขมันยังมีผลอย่างมากต่อการเกาะตัวกันของนมผง โดยนมผงที่มีปริมาณไขมันที่พื้นผิวของอนุภาคมากกว่าก็จะส่งผลให้มีการเกาะตัวกันมากกว่าทำให้ความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์นมผงมีค่าลดลง (Fitzpatrick *et al*., 2007)

2.6.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

สำหรับผลิตภัณฑ์ผงที่ละลายน้ำได้ทันที (instant powder) ควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ พื้นที่ในการดูดซับน้ำปริมาณมาก (wettability) ทำให้ความสามารถในการจม ของผง (sinkability) และความสามารถในการกระจายตัวของผง (dispersibility) ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดการละลายน้ำ (solubility) ที่ดีตามมา (Masters, 1991) นอกจากนี้ความสามารถในการคืนตัว (reconstitution) ยังขึ้นอยู่กับกรจับตัวกับน้ำ โดยปกติแล้วพบว่าในการทำแห้งซึ่งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพ และการคืนรูปของผลิตภัณฑ์อาหารผง ซึ่งการคืนรูปของอาหารแห้งหมายถึง การดูดน้ำกลับคืนของอาหารแห้งเพื่อเข้าสู่สภาพเดิมคล้ายก่อนการทำแห้งนั่นเอง ปัจจัยที่มีผลต่อการคืนรูปของอาหารผง (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996) มีดังนี้

1. Wettability คือ ความสามารถของอนุภาคของผงในการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค และปัจจัยที่มีผลต่อ wettability ได้แก่ขนาดและองค์ประกอบทางเคมีของผิวอาหาร อาหารที่มีอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง ซึ่งการเปียกนี้จะมีแนวโน้มจับตัวกันเป็นก้อนแน่น โดยภายในยังคงมีอาหารผงที่แห้งอยู่ทำให้น้ำซึมผ่านได้ลำบากและอัตราการดูดซับน้ำต่ำ ดังนั้นการเพิ่มอนุภาคโดยนำผงมารวมตัวกันอย่างหลวมๆ (agglomeration) จะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ดี ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมี เช่น การมีไขมันที่ผิวของอนุภาคจะขัดขวางการดูดซับน้ำ ดังนั้นการเติมสารบางอย่างเพื่อเพิ่มความสามารถในการกระจายตัว (surface active agent) เช่น เลซิทินซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์ทำให้เกิดการกระจายตัวในน้ำได้ดีขึ้น

2. Sinkability คือ ความสามารถของผงในการจมลงไปในน้ำหลังจากผงเกิดการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาคและถูกกระทบโดยความหนาแน่นของอนุภาค พบว่าขนาดที่มีอนุภาคใหญ่กว่าและมีความหนาแน่นมากกว่าจะจมตัวได้เร็วกว่าอนุภาคเล็กและเบา สำหรับอนุภาคที่มีอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายในหรือมีโครงสร้างที่โปร่งจะมีความสามารถในการจมตัวได้ช้าเนื่องจากอนุภาคมีความหนาแน่นและน้ำหนักที่เบาจะลอยที่ผิวน้ำ

3. Dispersibility คือ ความสามารถของผงในการกระจายตัวตลอดทั่วทั้งภายในน้ำโดยไม่เกิดเป็นก้อน ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ dispersibility คือ การไม่มีของอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 250 μm หรืออนุภาคที่เกาะตัวกันเป็นก้อน ซึ่งส่งผลให้การกระจายตัวเกิดขึ้นน้อยลง

4. Solubility คือ อัตราการละลายหรือความสามารถในการละลายทั้งหมด โดยการไม่มีจุดและการบวมน้ำอย่างรวดเร็วของอนุภาค เป็นปัจจัยที่กระทบต่อความสามารถในการละลาย ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย คือ ธรรมชาติของตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสม (Rahman, 1995)

สมบัติทั้ง 4 ประการนี้จะมีผลต่อการคืนรูปของอาหารแห้งที่เป็นผง ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะต้องสมดุลกัน ถ้าสมบัติประการใดเปลี่ยนแปลงไปพฤติกรรมการคืนรูปของอาหารนั้นจะเปลี่ยนไปด้วย ทั้งนี้สมบัติบางอย่างเช่น ขนาดของอนุภาคและความหนาแน่น นอกจากจะมีผลต่อการคืนรูปแล้วยังส่งผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกด้วย

2.6.5 ซอปชันไอโซเทอร์ม (Sorption isotherm)

ซอปชันไอโซเทอร์มเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของอาหาร และค่า a_w หรือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (นิธิยา, 25 51) ซึ่งซอปชันไอโซเทอร์มเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับอาหารที่มีความชื้นต่ำ โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง การทำให้เข้มข้น การดูดน้ำกลับ (rehydration) ยังใช้เพื่อในการพิจารณาความเสถียรของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (Goula *et al*., 2008) ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายความคงตัวของอาหาร โดยซอปชันไอโซเทอร์มจะเกี่ยวข้องกับความคงตัวของอาหา รทั้งในด้านความคงตัวของสารรงควัตถุ ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และการผลิตสารพิษในอาหาร (Rahman, 1995) อีกทั้งซอปชันไอโซเทอร์ม ใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้น และการกำหนดสภาวะการ ทำแห้ง คัดเลือกบรรจุภัณฑ์ ทำนายอายุระหว่างการเก็บรักษาอาหารแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างเนื้อสัมผัสที่ดี เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมี และให้ปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์ (นักสิต, 2546) ซึ่งความรู้จากซอปชันไอโซเทอร์มจะสามารถใช้ทำนายปริมาณความชื้นที่มากที่สุดของอาหารที่สามารถรับได้ในระหว่างการเก็บรักษา โดยการเจริญ และการผลิตสารพิษของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำอิสระของอาหาร ซึ่งปริมาณน้ำอิสระของอาหารควรจะต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (Rahman, 1995) การเกาะตัวกันของอาหารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพจาก อสัณฐาน (amorphous state) ไปเป็นของเหลวหนืด (rubbery state)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณความชื้นหรือค่า a_w มีผลต่อการเกาะติดกันของอนุภาค โดยทั่วไปอาหารที่มีน้ำตาลปริมาณสูง อัตราการเปลี่ยนแปลงเฟสระหว่างการเก็บรักษาจะเห็นได้ชัดเจนที่อุณหภูมิห้อง ถ้าผลิตภัณฑ์ได้รับความชื้นโดยมี a_w มากกว่า 0.4 การเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคจะเกิดขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการเกาะตัวกันของอนุภาค ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาการเกาะตัวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาซอปชันไอโซเทอร์มของส่วนผสมอาหาร (Bell and Labuza, 2000) เพื่อให้ทราบระดับปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษา

ซอปชันไอโซเทอร์ม โดยทั่วไปมีลักษณะเป็น รูปซิกมอยด์ (sigmoidal shape) แบ่งเป็น 2 แบบ คือ desorption และ adsorption isotherm โดยกระบวนการ desorption เป็นกระบวนการลดความชื้น ในขณะที่กระบวนการ adsorption เป็นกระบวนการเพิ่มความชื้น ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และมีผลต่อค่า a_w ด้วย การศึกษาซอปชันไอโซเทอร์ม นั้นกระทำในระบบปิดซึ่งมีการควบคุมสภาวะบรรยากาศให้มีความชื้นสัมพัทธ์ในระบบคงที่ ซึ่งสภาวะความชื้นสัมพัทธ์จะถูกสร้างโดยการใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวต่างๆ (ภาคผนวก ก ตาราง ก- 1) ตัวอย่างอาหารที่ทราบน้ำหนักเริ่มต้นจะถูกเก็บไว้ในระบบนี้ ความชื้นของอาหารปรับตัวจนกว่าจะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่เก็บรักษา โดยอาหารจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว (Ramaswamy and Marcotte, 2006)

อาหารที่มีลักษณะเป็นผงมีแนวโน้มบ่อยครั้งที่จะมีลักษณะเหนียว และเกาะตัวกันของผง ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปัญหาดังกล่าว ดังนั้นซอปชันไอโซเทอร์มเป็นเครื่องมือที่ใช้ประโยชน์สำหรับการทำความเข้าใจในเรื่องของความคงตัวของอาหารผง และสามารถใช้ในการทำนายความชื้นสูงสุดในอาหารที่ควรควบคุมในระหว่างกระบวนการทำแห้ง และการเก็บรักษาของอาหารผง (Stencl, 2004)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved