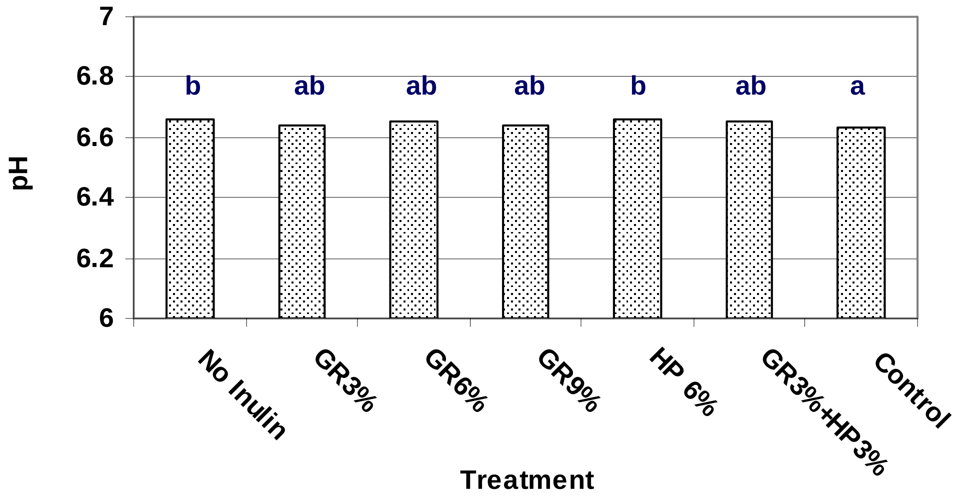
ผลและวิจารณ์

1. ผลของความเข้มข้นและขนาดอินูลินต่อคุณภาพของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

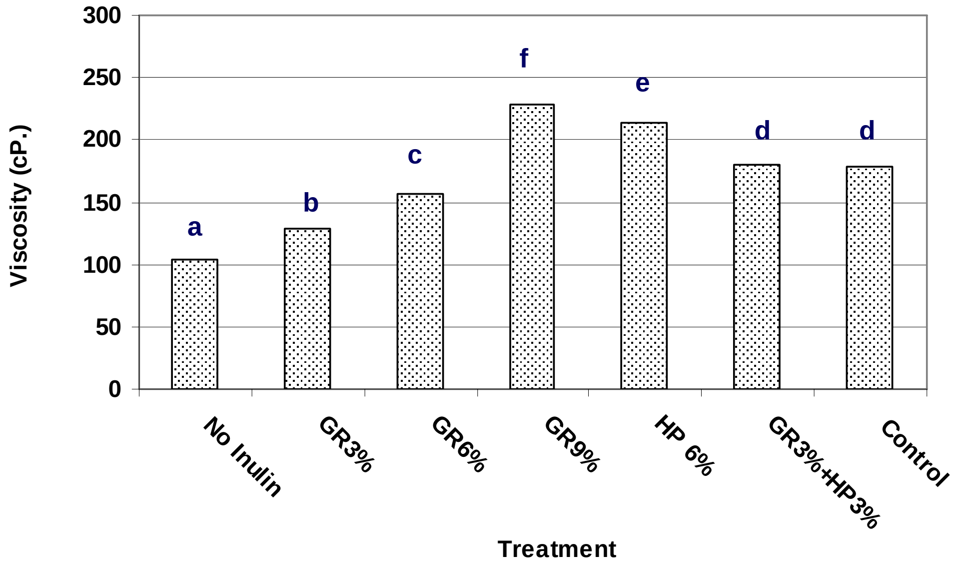
คุณสมบัติด้านกายภาพของเจลจากอินูลินสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากความเข้มข้นและ Degree of Polymerization (DP) ของอินูลินที่ต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างไอศกรีมวานิลลาที่มีไขมันร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) (สูตรควบคุม) กับไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่มีไขมันร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) โดยใช้อินูลินสายสั้น (GR) มี DP โดยเฉลี่ยต่ำกว่า10 เป็นสารทดแทนไขมันร้อยละ 0, 3, 6, 9 (โดยน้ำหนัก) และใช้อินูลินชนิดสายยาว (HP) มี DP มากกว่า 23 ร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) หรือสารผสมกันระหว่างอินูลินสายสั้น (GR) กับอินูลินสายยาว (HP) ในอัตราส่วนร้อยละ 1: 1 (รวมเป็นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก) ผลของอินูลินต่อพีเอชและความหนืดของไอศกรีมเหลวหรือไอศกรีมมิกซ์หลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ผลของความเข้มข้นและขนาดของอินูลินต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์
[a,b] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากภาพที่ 11 พบว่าพีเอชของไอศกรีมมีค่าอยู่ระหว่าง 6.63 – 6.66 Marshall and Arbuckle (1996) กล่าวว่าพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ขึ้นกับความเข้มข้นของเนื้อนมไม่รวมมันเนย (milk solid not fat)ได้แก่ โปรตีนนม เกลือแร่ (ฟอสเฟต และซิเทรต) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ใน

นม นอกจากนี้การเจริญของแบคทีเรียเป็นสาเหตุที่ทำให้พีเอชต่ำลงทำให้ไอศกรีมมิกซ์ไม่คงตัว การลดไขมันนมลงไปร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) ทำให้ปริมาณเนื้อนมไม่รวมมันเนยลดไปบ้างแต่ไม่มากนักจึงไม่มีผลต่อพีเอช และพบว่าการเติมอินูลินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของไอศกรีมมิกซ์ ($p \geq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guven *et al.* (2005) ทดลองผลิตโยเกิร์ตลดไขมันโดยใช้อินูลินสายยาว (Raftiline® HP) เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าการเติมอินูลินไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอช ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ และอะซิตัลดีไฮด์ ความหนืดของโยเกิร์ตเพิ่มขึ้นเมื่อเติมอินูลินมากกว่าร้อยละ 1 (โดยน้ำหนัก)

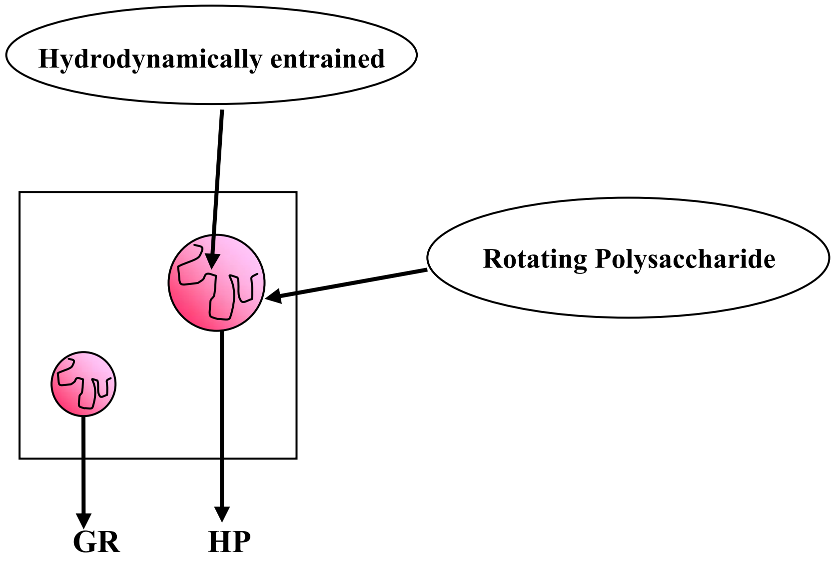


<u>ภาพที่ 12</u> ผลของความเข้มข้นและขนาดของอินูลินต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์

a, b, c, d, e, f ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากภาพที่ 12 พบว่าเมื่อลดไขมันจากร้อยละ 9 เป็นร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมเหลวหรือไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดลดลง แต่การเติมอินูลินช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมมิกซ์ให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอินูลินสามารถจับกับโมเลกุลน้ำและเกิดโครงสร้างเจล (gel – like network) จึงช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหล (rheology) ของไอศกรีมเหลวการศึกษาครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นและ Degree of Polymerization (DP) หรือขนาดของอินูลินทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์แตกต่างกัน เมื่อเติมอินูลินสายสั้น (GR, DP <10) ปริมาณร้อยละ 3, 6 และ 9 (โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมมิกซ์หนืดขึ้น ($p<0.05$) ในขณะที่ความเข้มข้นของอินูลินร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) อินูลินสายยาว (HP, DP >23) ให้ไอศกรีมมิกซ์ที่หนืดมากกว่า Gel – Nagar *et al.* (2002) ทดลองผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตลดไขมันโดยอินูลิน (Frutafit – HD®) เป็นสารทดแทนไขมันพบว่าความหนืด

ของไอศกรีมเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของอินูลินที่เพิ่มขึ้น Baal (1993) พบว่าอินูลินที่มี Degree of Polymerization (DP) สูงหรือมีสายยาวใช้ปริมาณน้อยกว่าในการเกิดเจลที่ความเข้มข้นของสารละลายอินูลินเดียวกัน อินูลินที่มี DP สูงให้ความหนืดมากกว่าอินูลินที่มี DP ต่ำที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นผลจากคุณสมบัติในการเกิด hydrodynamic volume ของโมเลกุล (ภาพที่ 13) โมเลกุลสายยาวมีปริมาตรจากการหมุนรอบมากกว่าสายสั้นจึงสามารถจับหรืออุ้มน้ำได้ดีกว่าและให้ความหนืดสูงกว่าสายสั้น จากภาพที่ 12 การใช้อินูลินสายยาว (HP) ร่วมกับสายสั้น (GR) ในอัตราส่วนร้อยละ 1: 1 (รวมเป็นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก) ให้ความหนืดไม่แตกต่างกับไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

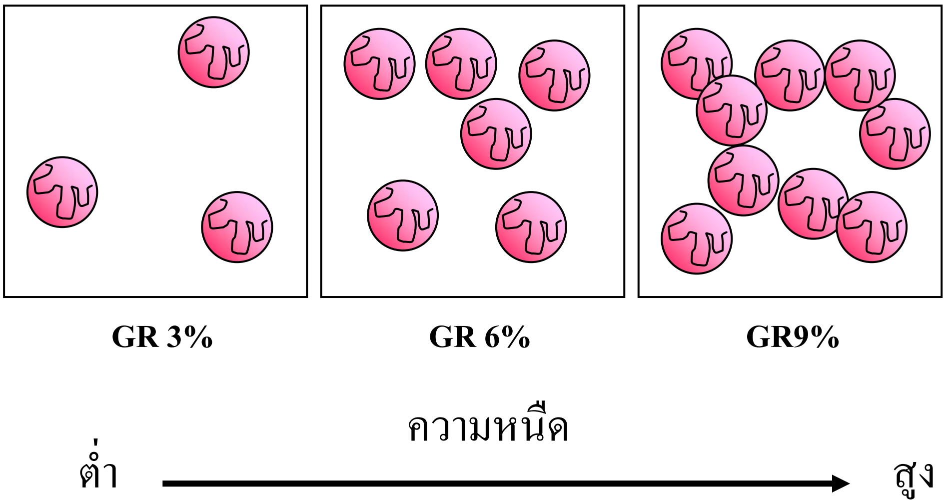


<u>ภาพที่ 13</u> ภาพจำลองเปรียบเทียบพื้นที่อิสระในการหมุนรอบตัวระหว่างโพลิเมอร์อินูลินสายสั้น (GR) และอินูลินสายยาว (HP)

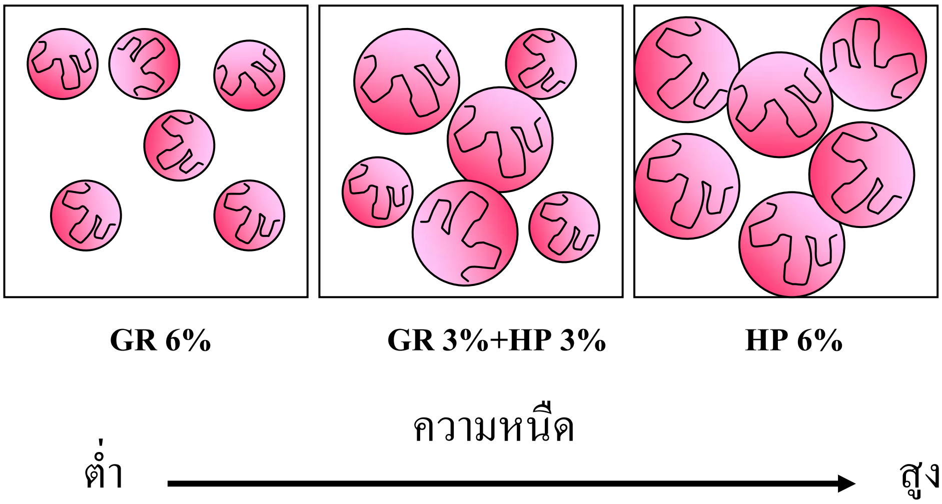
จากภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าอินูลินสายสั้น (GR) มีพื้นที่อิสระในการหมุนรอบตัวหรือปริมาตรอิสระในการหมุนรอบตัว (hydrodynamic volume) น้อยกว่าอินูลินสายยาว โพลิเมอร์แต่ละชนิดมีพื้นที่อิสระในการหมุนรอบตัวแตกต่างกันขึ้นกับความยาวของสายหรือขนาดของโพลิเมอร์และโครงสร้างของโพลิเมอร์ (แบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งก้าน) ถ้าโพลิเมอร์เป็นสายตรงจะให้พื้นที่อิสระในการหมุนรอบตัวมากกว่าโพลิเมอร์แบบกิ่งก้าน นอกจากนี้โพลิเมอร์สายตรงสามารถจับโมเลกุลน้ำและให้ความหนืดสูงกว่า สำหรับโพลิเมอร์ที่มีประจุลบ (anionic polymer) เช่น หมู่ซัลเฟต หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่ฟอสเฟตมีพื้นที่อิสระในการหมุนรอบตัวมากกว่าโพลิเมอร์ที่ไม่มี

ประจุ (nonionic polymer) หรือเป็นกลาง (neutral polymer) เนื่องจากประจุที่เหมือนกันจะผลักกันเป็นผลให้โพลิเมอร์พยายามอยู่ในรูปเส้นตรง ส่วนโพลิเมอร์ที่ไม่มีประจุมักขดไปมาทำให้มีพื้นที่อิสระในการหมุนรอบตัวน้อยกว่า Clegg (1996) กล่าวว่าความหนืดของไฮโดรคอลลอยด์ขึ้นกับโครงสร้างทางเคมี (chemical structure) น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) และความสามารถในการยืดหยุ่น (flexibility) ของโมเลกุล

เมื่อไฮโดรคอลลอยด์ละลายน้ำ โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระแบบ Brownian โครงสร้างไม่เป็นระเบียบ (disordered conformation) และอยู่ในรูป random coil เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเจือจางจึงเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างโพลิเมอร์ยาก ทำให้ความหนืดต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ลักษณะ random coil ของไฮโดรคอลลอยด์ลดลง โมเลกุลสามารถเกิดการทับซ้อนกันมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างโพลิเมอร์ (intermolecular interaction) และภายในโพลิเมอร์ (intramolecular interaction) มากขึ้นด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดจุดเชื่อม (junction zone) และเกิดโครงสร้างร่างแหที่ทำให้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ สารละลายจึงมีความหนืดขึ้น (Rees *et al.*, 1982; Morris, 1990) แต่ความหนืดของไฮโดรคอลลอยด์ต่างกันขึ้นกับธรรมชาติของไฮโดรคอลลอยด์ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย และความเข้มข้นของสารละลาย จากภาพที่ 14 แสดงให้ว่าการใช้อินูลินสายสั้นที่ความเข้มข้นต่ำโอกาสที่โมเลกุลมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันยาก การเพิ่มความเข้มข้นทำให้เพิ่มโอกาสที่โมเลกุลจะมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างโพลิเมอร์และสามารถจับกันเป็นร่างแหอุ้มน้ำจึงทำให้ความหนืดเพิ่มข้น แต่ถ้าเปลี่ยนจากโพลิเมอร์สายสั้นเป็นสายยาวยิ่งเพิ่มโอกาสที่โมเลกุลจะมีปฏิกิริยาสัมพันธ์กันระหว่างโพลิเมอร์ (ภาพที่ 15)

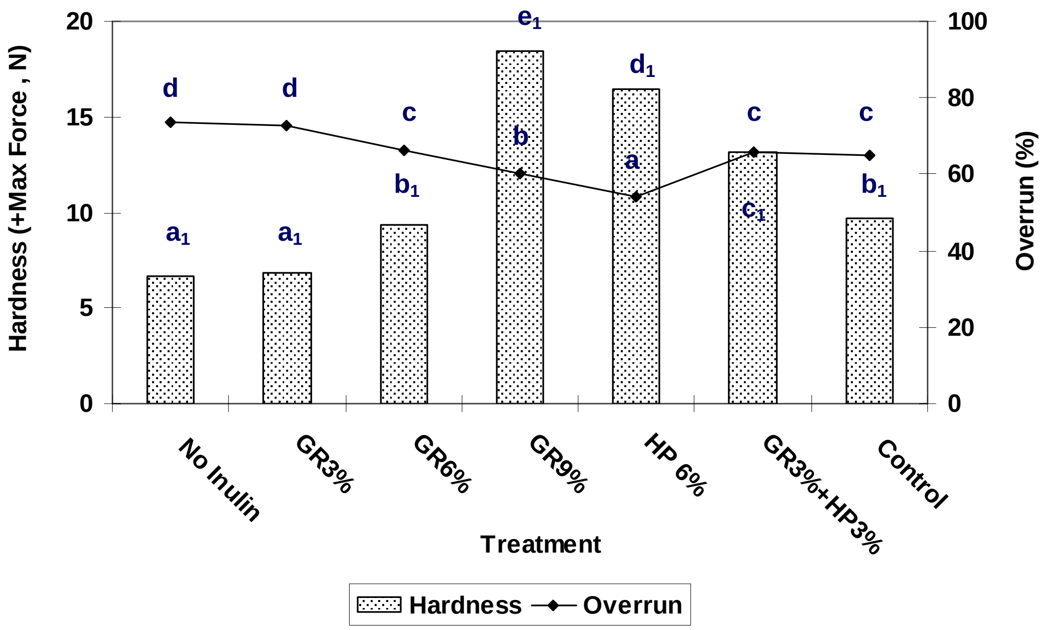


ภาพที่ 14 ภาพจำลองโพลิเมอร์ของอินูลินสายสั้น (GR) เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 15 ภาพจำลองโพลิเมอร์ของอินูลินสายสั้น (GR) และอินูลินสายยาว (HP) เมื่อความเข้มข้นเท่ากัน

เมื่อนำไอศกรีมเหลวมาผ่านกระบวนการปั่นเยือกแข็งแล้ววัดร้อยละการขึ้นฟู (overrun) และบรรจุใส่ภาชนะพลาสติก แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิประมาณ – 25 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วัดแรงกดอัดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่างด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีม (Texture Analyzer; Model XT.Plus®) ได้ผลของร้อยละการขึ้นฟูและความแข็งของไอศกรีมดังภาพที่ 16

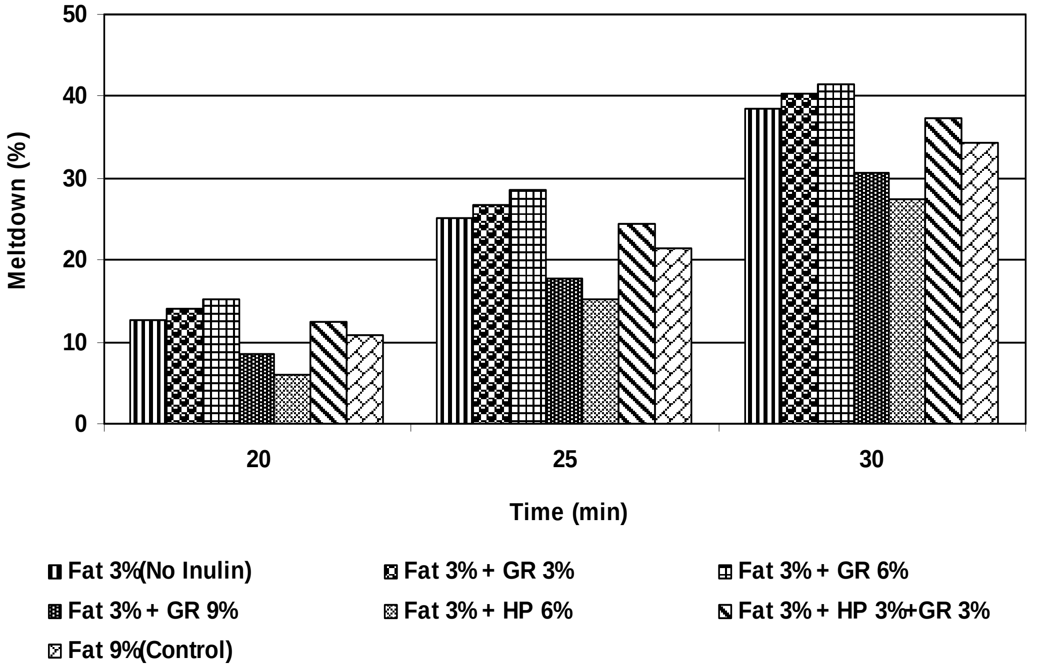


<u>ภาพที่ 16</u> ผลของความเข้มข้นและขนาดของอินูลินต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแข็งของไอศกรีมวานิลลา

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

$^{a_1, b_1, c_1, d_1, e_1}$ ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

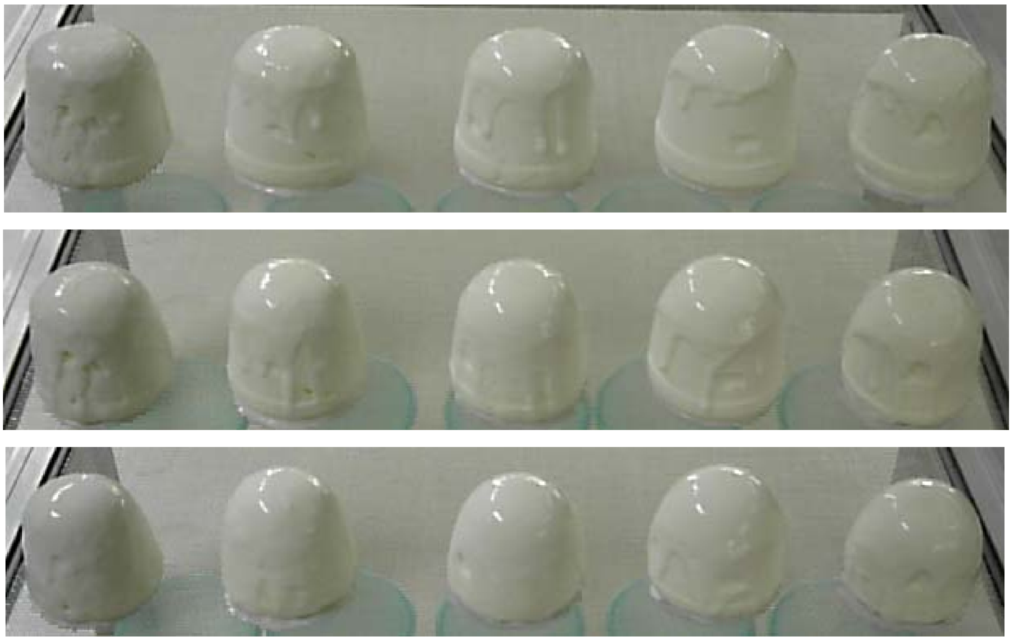
Wilbey *et al.* (1998) กล่าวว่าการขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งของไอศกรีมลดลง จากภาพที่ 16 พบว่าร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ไอศกรีมวานิลลาลดไขมันมีการขึ้นฟูสูง เมื่อวัดแรงกดสูงสุดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่างพบว่าใช้แรงกดสูงสุดต่ำ แสดงว่าการลดไขมันทำให้ไอศกรีมมีความแน่นแข็งลดลง ไอศกรีมเสียรูปร่างได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกดต่ำเทียบกับสูตรควบคุม แต่การเติมอินูลินสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันให้มีความแน่นแข็งขึ้นและทนต่อแรงที่ทำให้เสียรูปร่างได้ เนื่องจากอินูลินทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นจึงลดความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีมลง และไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น จากภาพที่ 16 พบว่าความเข้มข้นและ Degree of polymerization (DP) หรือขนาดของอินูลินทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีความสามารถในการขึ้นฟูและมีความแน่นแข็งแตกต่างกัน (p<0.05) ไอศกรีมลดไขมันมีร้อยละการขึ้นฟูต่ำและมีเนื้อสัมผัสแข็งเกินไปเมื่อเทียบกับความแข็งของไอศกรีมสูตรควบคุม ถ้าเติมอินูลินสายสั้น (GR) ที่ความเข้มข้นสูงร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) หรือใช้อินูลินสายยาว (HP) แทนสายสั้น (GR) ผลของการละลายของไอศกรีมวานิลลาและไอศกรีมวานิลลาลดไขมันแสดงดังภาพที่ 17



<u>ภาพที่ 17</u> ผลของความเข้มข้นและขนาดของอินูลินต่อร้อยละการละลายของไอศกรีม

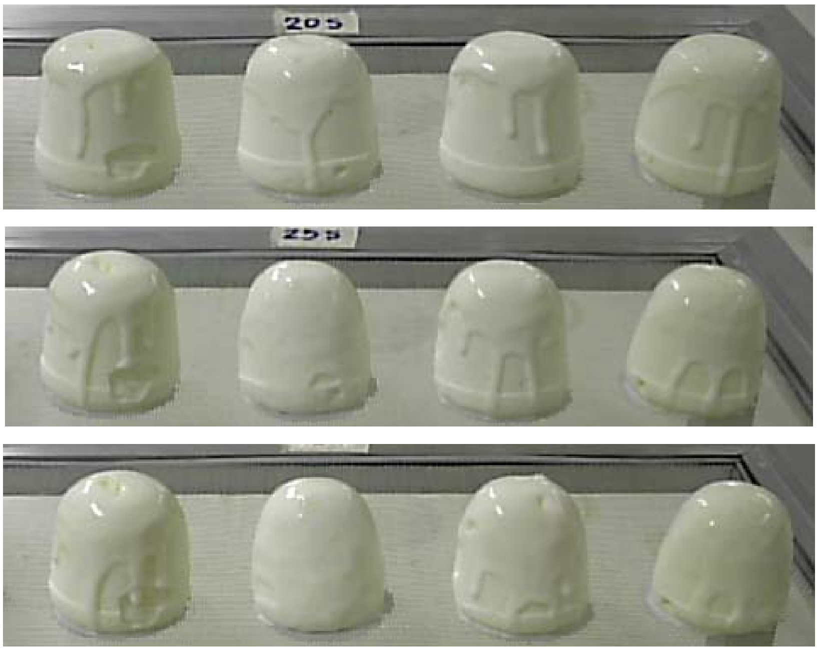
จากภาพที่ 17 เมื่อเวลาผ่านไป 20, 25 และ 30 นาที พบว่าไอศกรีมลดไขมันละลายเร็วกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม เพราะโครงสร้างของไอศกรีมสามารถคงอยู่ได้ด้วยกระบวนการ partial coalescenceหรือ destabilized fat ของเม็ดไขมันซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหล้อมรอบเซลล์อากาศและมีผลึกน้ำแข็งกระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวที่ไม่แข็งตัว (Marshall and Arbuckle,1996) โครงสร้างของไอศกรีมดังกล่าวช่วยชะลอและรักษารูปร่างของไอศกรีมขณะละลาย ดังนั้นไอศกรีมลดไขมันจึงละลายเร็ว เนื่องจากมีไขมันปริมาณน้อยทำให้โครงสร้างร่างแหของไขมันมีน้อยเพราะ partial coalescence น้อยลง นอกจากนั้นไขมันถูกแทนที่ด้วยน้ำหรือผลึกน้ำแข็งซึ่งมีอุณหภูมิในการหลอมเหลวต่ำกว่าผลึกไขมัน (Campbell and Pelan,1998) เมื่อเติมอินูลินสายสั้น (GR) ร้อยละ 3 และ 6 (โดยน้ำหนัก) ทำให้ไอศกรีมลดไขมันละลายเร็วขึ้นเนื่องจากอินูลินสายสั้นสามารถจับโมเลกุลน้ำได้น้อยและยังเพิ่มปริมาณของแข็งในสูตรไอศกรีม มีผลให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมต่ำลงและทำให้ส่วนที่เป็นของเหลวแข็งตัวช้ากว่าจึงละลายเร็วกว่าเมื่อเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ไม่เติมอินูลิน Li *et al.* (1997) พบว่าไอศกรีมที่มีปริมาณเนื้อนมรวมสูงละลายเร็วกว่าไอศกรีมที่มีปริมาณเนื้อนมรวมต่ำ แต่การเติมอินูลินสายสั้น (GR) ร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) ลดการละลายของไอศกรีมลงมากอาจเป็นผลจากการเติมอินูลินสายสั้นมากขึ้นทำให้เกิดโครงสร้างร่างแห และจับกับ

โมเลกุลน้ำได้ดีกว่าและลดการเคลื่อนที่ของเซลล์อากาศจึงมีความคงทนต่อการละลาย ผลของการเปรียบเทียบปริมาณอินูลินต่อลักษณะการละลายของไอศกรีมแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 ลักษณะการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้อินูลินสายสั้น (GR) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 (โดยน้ำหนัก) และไอศกรีมสูตรควบคุม

จากภาพที่ 18 พบว่าการเติมอินูลินสายสั้น (GR) ร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) ละลายช้าที่สุด จึงคงรูปร่างไอศกรีมขณะละลายได้นานกว่าการเติมอินูลินสายสั้นร้อยละ 3, 6 (โดยน้ำหนัก) และไอศกรีมสูตรควบคุมซึ่งสอดคล้องกับร้อยละการละลาย นอกจากนี้พบว่าขนาดหรือความยาวของสายอินูลินมีผลต่อการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน โดยไอศกรีมวานิลลาไขมันร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) ที่เติมอินูลินร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) เท่ากัน อินูลินสายยาว (HP) มีร้อยละการละลายต่ำกว่าอินูลินสายสั้น (GR) และไอศกรีมสูตรควบคุม (จากภาพที่ 17) ดังลักษณะการละลายของไอศกรีมที่แสดงในภาพที่ 19



20 นาที

25 นาที

30 นาที

HP 6%　　GR 6%　　GR 3%+HP 3%　　Control

ภาพที่ 19 ลักษณะการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้อินูลินความยาวต่างกัน (GR และ HP) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) และไอศกรีมสูตรควบคุม

Marshall and Arbuckle (1996) เสนอว่าการละลายของไอศกรีมมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของไขมันในไอศกรีม แต่เนื่องจากอินูลินสายยาว (HP) มีโมเลกุลขนาดใหญ่สามารถเกิดโครงสร้างร่างแหได้ดีกว่าอินูลินสายสั้น (GR) และสามารถจับกับโมเลกุลน้ำยึดเซลล์อากาศและรักษาอิมัลชันของไขมันให้กระจายอยู่ในเฟสที่เป็นของเหลวได้ดี จึงทำหน้าที่แทนโครงสร้างร่างแหของไขมันได้ดีกว่าอินูลินสายสั้น ทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง แต่ไอศกรีมที่มีคุณภาพด้านการละลายที่ดีนั้นควรมีการละลายไม่ช้าหรือเร็วเกินไป คงรูปร่างขณะละลายและของเหลวที่ละลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียว ไอศกรีมที่มีการละลายช้าเกินไปเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดีของไอศกรีมเพราะมีผลต่อเนื้อสัมผัส การได้รับกลิ่นรสในปากน้อยลง จึงกล่าวได้ว่าการใช้อินูลินสายสั้น (GR) หรือสายยาว (HP) ร้อยละ 6 (โดยน้ำหนัก) เพียงอย่างเดียวไม่ได้ปรับปรุงการละลายของไอศกรีมให้ดีขึ้นและมีการยอมรับการละลายไม่ดี ดังนั้นการใช้อินูลินสายยาว (HP) ร่วมกับสายสั้น (GR) ในอัตราส่วนร้อยละ 1: 1 จึงเป็นแนวทางช่วยปรับปรุงการละลายได้ดีกว่าเติมอินูลินสายสั้น (GR) หรือสายยาว (HP) เพียงอย่างเดียว (จากภาพที่ 17) และช่วยรักษารูปร่างขณะละลายให้ใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม (จากภาพที่ 19)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบสเกลบอกระดับความเข้มโดยผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนและการยอมรับด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาแสดงดังตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่มีความเข้มข้นและขนาดของอินูลินต่างกันโดยวิธีทดสอบแบบสเกลบอกระดับความเข้ม*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส **					
	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	การละลายในปาก	การรับรู้กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก
Fat 3% (No Inulin)	2.74 [a]	3.02 [a]	3.67 [a]	3.83 [a]	3.05 [a]	3.81 [a]
Fat 3%+GR 3%	3.54 [b]	4.28 [b]	5.05 [b]	4.49 [a]	3.98 [b]	4.83 [b]
Fat 3%+GR 6%	7.58 [c]	7.31 [c]	6.46 [c]	7.31 [bc]	7.56 [c]	7.18 [c]
Fat 3%+GR 9%	9.20 [d]	9.29 [e]	8.47 [f]	8.13 [cd]	8.97 [e]	9.38 [f]
Fat 3%+ HP 6%	9.06 [d]	9.02 [e]	8.63 [f]	6.78 [b]	8.48 [de]	8.25 [e]
Fat 3%+GR 3%+ HP 3%	8.02 [c]	8.04 [d]	7.74 [e]	6.78 [b]	8.16 [cde]	7.98 [de]
Control (Fat 9%)	7.79 [c]	7.93 [d]	7.12 [d]	8.68 [d]	8.07 [cd]	7.69 [cd]

* ใช้สเกลแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured line scale) ยาว 10 เซนติเมตร

** 1 = มีความเข้มน้อย ถึง 10 = มีความเข้มมาก

[a,b,c,d,e,f] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าไอศกรีมลดไขมันที่ไม่มีการเติมอินูลิน มีความเรียบเนียนต่ำและแตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากการลดไขมันทำให้ขาดโครงสร้างร่างแหของไขมันซึ่งล้อมเซลล์อากาศ จึงทำให้เซลล์อากาศขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่มาเชื่อมกันเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่ได้ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งไอศกรีมและระหว่างกระบวนการเก็บรักษาไอศกรีม เพราะแรงดันภายในเซลล์อากาศขนาดเล็กมากกว่าเซลล์อากาศขนาดใหญ่จึงรวมกันเป็นเซลล์อากาศขนาดใหญ่ เป็นผลให้โมเลกุลน้ำเคลื่อนที่มารวมกันกลายเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ส่งผลให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่หยาบเนื่องจากเกล็ดน้ำแข็งหรือ icy (Walstra and Jonkman,1998; Bolliger *et al.*, 2000) นอกจากนี้การลดไขมันทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านอื่นด้อยลง เช่น ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปาก และการรับกลิ่นรสด้อย

ลงแตกต่างจากไอศกรีมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เนื่องจากไขมันเป็นตัวพากลิ่นรส และหน่วงกลิ่นรสไว้ ทำให้ไอศกรีมลดไขมันได้รับคะแนนการยอมรับต่ำเมื่อเทียบกับไอศกรีมไขมันสูตรควบคุมและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) (จากตารางที่ 5) การเติมอินูลินช่วยให้ไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้น ช่วยลดการเคลื่อนที่ของเซลล์อากาศและโมเลกุลน้ำจึงยับยั้งการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็งในระหว่างการเก็บรักษา Schaller – Povolny and Smith (1999) พบว่าการใช้อินูลินอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับน้ำเชื่อมข้าวโพด (42 DE corn syrup) เพื่อทดแทนไขมันในไอศกรีมวานิลลาลดไขมันช่วยยับยั้งการโตของผลึกน้ำแข็งในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ – 28 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การเติมอินูลินยังช่วยปรับปรุงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาไขมันร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) ให้มีความแน่นเนื้อ การรับกลิ่นรสในปาก ความเหนียวหนืดในปาก และความเคลือบมันในปากดีขึ้น เพราะอินูลินช่วยรักษาอิมัลชันของไขมันให้กระจายอยู่ในเฟสที่เป็นของเหลวและมีความหนืดเพิ่มขึ้นทำให้รู้สึกว่ามีไขมันเคลือบในปากและลดการละลายของไอศกรีมในปากเมื่อเทียบกับไอศกรีมวานิลลาไขมันร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) ที่ไม่เติมอินูลิน

ตารางที่ 5 ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้ปริมาณและขนาดของอินูลินต่างกันโดยวิธี Hedonic scale

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส *			
	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความชอบโดยรวม
Fat 3 %(No Inulin)	3.50 ^{a}	4.30 ^{a}	4.20 ^{a}	4.00 ^{a}
Fat 3% + GR 3%	4.40 ^{a}	5.00 ^{a}	5.00 ^{a}	4.60 ^{a}
Fat 3% + GR 6%	7.40 ^{bc}	7.10 ^{b}	7.20 ^{bc}	7.30 ^{bc}
Fat 3% + GR 9%	6.80 ^{b}	7.00 ^{b}	6.40 ^{b}	6.60 ^{b}
Fat 3% + HP 6%	6.60 ^{b}	6.80 ^{b}	6.80 ^{bc}	6.80 ^{b}
Fat 3% + GR 3% + HP 3%	8.30 ^{c}	7.60 ^{bc}	7.70 ^{cd}	8.20 ^{c}
Control(Fat 9%)	8.10 ^{c}	8.20 ^{d}	8.40 ^{d}	8.10 ^{c}

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

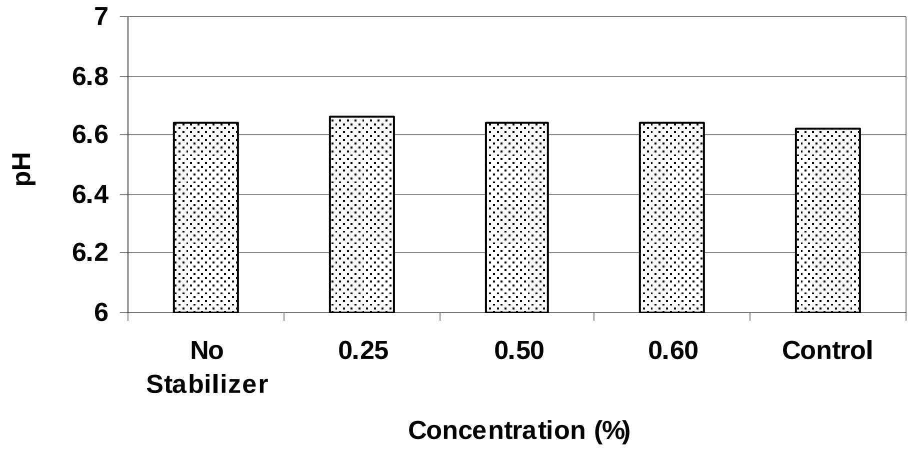
จากตารางที่ 5 การเติมอินูลินช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้มีการยอมรับมากขึ้น แต่ปริมาณและขนาดของอินูลินที่ต่างกันมีผลให้คุณภาพทางประสาทดังกล่าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปาก และความเหนียวหนืดในปากเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของอินูลินที่เพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นเดียวกันอินูลินสายยาว (HP) ให้ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปาก และความเหนียวหนืดในปากมากกว่าอินูลินสายสั้น (GR) (จากตารางที่ 4) นอกจากนี้อินูลินสายสั้นกับสายยาวมีผลต่อจุดเยือกแข็งของสารละลายต่างกันโดยอินูลินสายสั้น (GR) และอินูลินสายยาว (HP) เข้มข้นร้อยละ 5 (โดยน้ำหนัก) มีจุดเยือกแข็งเป็น –0.10 และ –0.04 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Orafti,1998) สายสั้นให้จุดเยือกแข็งที่ต่ำกว่าสายยาวเพราะมีจำนวนโมลมากกว่าเมื่อเติมปริมาณเท่ากัน การใช้อินูลินสายสั้นเพียงอย่างเดียวอาจทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา อาจทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลง การใช้อินูลินสายสั้น (GR) และสายยาว (HP) ร่วมกันให้ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปากและความเหนียวหนืดในปากไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (p≥0.05) (จากตารางที่ 4) จึงช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัส ความเคลือบมันในปาก และความชอบโดยรวมให้มีการยอมรับสูงใกล้กับไอศกรีมสูตรควบคุมโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p≥0.05) แต่การเติมยอมรับด้านกลิ่นรสด้อยกว่าสูตรควบคุม (p<0.05) (จากตารางที่5)

2. ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

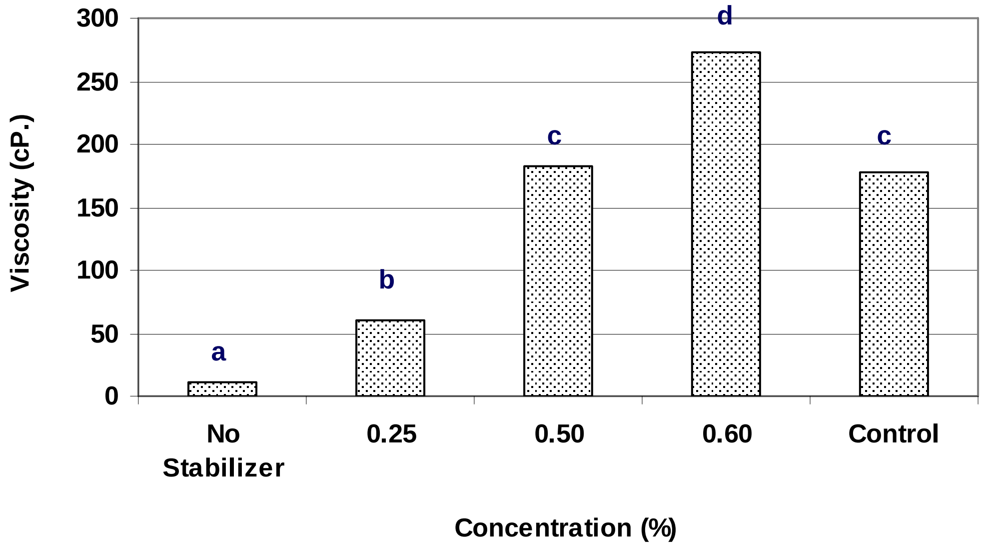
จากผลการทดลองข้อ 1 พบว่าความเข้มข้นและ Degree of Polymerization (DP) ของอินูลินทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันแตกต่างกัน แต่การใช้อินูลินสายยาวและสายสั้นอัตราส่วน 1: 1 (รวมเป็นร้อยละ 6) ให้ลักษณะทางกายภาพและประสาทสัมผัสที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม นอกจากนี้การเติมสารให้ความคงตัว (stabilizer) ที่ความเข้มข้นต่างกันให้คุณสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของไอศกรีมต่างกันด้วย เมื่อเติมสารให้ความคงตัว (PALSGAARD® 5924) ร้อยละ 0.25, 0.5 และ 0.6 (โดยน้ำหนัก) (ตารางที่ 6) แล้วตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมเหลวหรือไอศกรีมมิกซ์ได้แก่ พีเอช ความหนืด ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 20 และ 21 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 สูตรไอศกรีมที่ศึกษาความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อคุณภาพของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สูตรควบคุม	สูตรลดไขมัน			
		1	2	3	4
ไขมัน	9.0	3.0	3.0	3.0	3.0
อินูลินสายสั้น (GR)	-	3.0	3.0	3.0	3.0
อินูลินสายยาว (HP)	-	3.0	3.0	3.0	3.0
เนื้อนมไม่รวมมันเนย (Milk Solid Not Fat)	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
น้ำตาลทราย	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
สารให้ความคงตัว	0.5	0.0	0.25	0.5	0.6
เนื้อนมรวม (Total Solid)	32.5	32.0	32.25	32.5	32.6



ภาพที่ 20 ผลของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อพีเอชของไอศกรีมมิกซ์



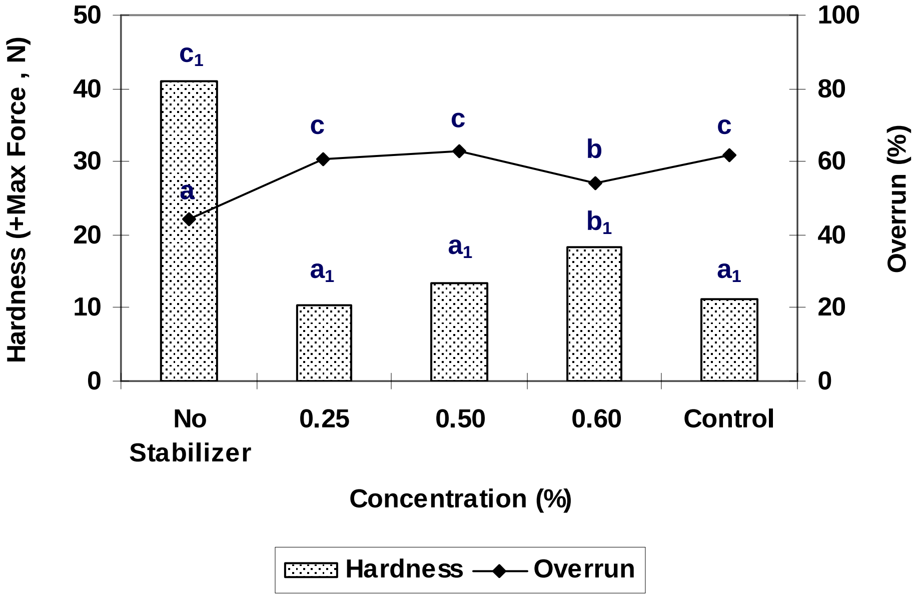
ภาพที่ 21 ผลของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์

[a, b, c, d] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

สารให้ความคงตัวปริมาณต่างกันไม่ทำให้พีเอชของไอศกรีมมิกซ์ต่างกัน (6.63 – 6.66) (จากภาพที่ 20) แสดงว่าสารให้ความคงตัวที่เติมลงในไอศกรีมมิกซ์ไม่มีผลต่อพีเอช แต่มีผลต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เมื่อเทียบกับทรีทเมนต์ที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว จากภาพที่ 21 จะเห็นว่าการเติมอินูลินเพื่อทดแทนไขมันแต่ไม่เติมสารให้ความคงตัวมีความหนืดต่ำ จึงไม่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของไอศกรีมมิกซ์ที่ลดไขมัน แต่การเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.25, 0.5 และ 0.6 (โดยน้ำหนัก) ทำให้ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว

สารให้ความคงตัวทางการค้า (PALSGAARD® 5924) ประกอบด้วยอิมัลซิไฟเออร์ คือ โมโน–ไดกลีเซอร์ไรด์ และสารให้ความคงตัว คือ คาราจีแนน โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส และกัวกัม ซึ่งเป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ประเภทโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลและภายในโมเลกุลได้ เกิดโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ช่วยจับโมเลกุลน้ำได้ดีกว่าอินูลินซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า Schmidt and Smith (1992) ศึกษาผลของแคปปา – คาราจีแนน กัวกัม และแซนแทนกัมและพบว่ามีปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโปรตีนนมทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้สารให้ความคงตัวร่วมกับอินูลินจึงช่วยให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและปรับปรุงคุณสมบัติการไหลของไอศกรีมมิกซ์ นอกจากนี้จากภาพที่ 21 ยังพบว่าการเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนัก) ให้ความหนืดใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$)

การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์หรือสารให้ความคงตัวในปริมาณต่างกันให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์แตกต่างกัน จึงมีผลต่อกระบวนการปั่นเยือกแข็งและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม โดยทำให้ไอศกรีมมีการขึ้นฟูและความแน่นแข็งต่างกันดังภาพที่ 22



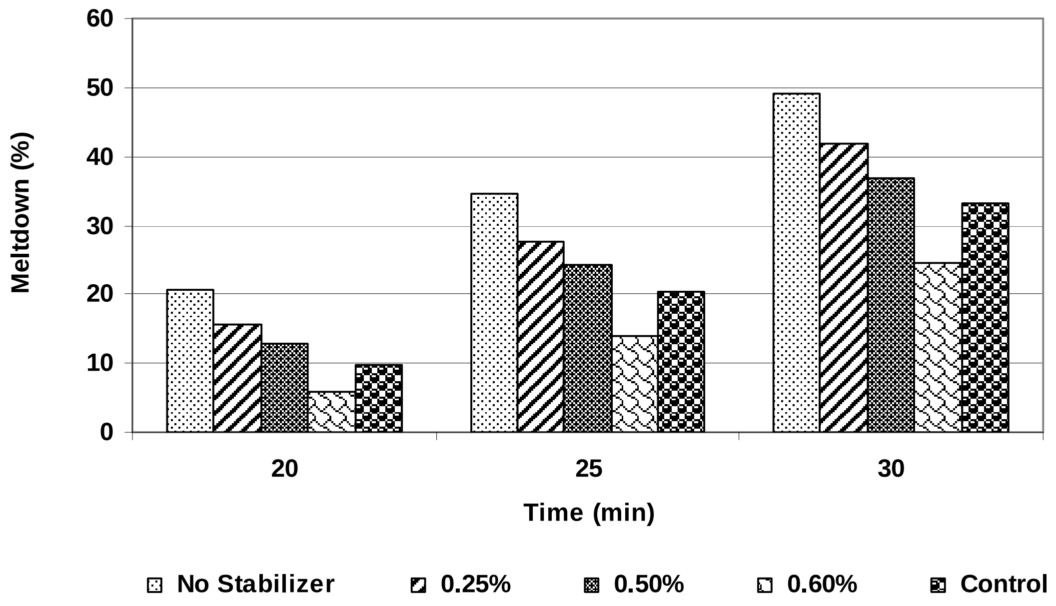
<u>ภาพที่ 22</u> ผลของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแข็งของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

[a, b, c] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

[a1, b1, c1] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากภาพที่ 22 จะเห็นว่าสารให้ความคงตัวมีส่วนสำคัญทำให้ไอศกรีมสามารถจับอากาศได้เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความแข็งลดลง เทียบกับทรีทเมนต์ที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว (p<0.05) เนื่องจากความหนืดทำให้ฟองอากาศเคลื่อนที่ช้าลงและคงตัวอยู่ได้ในระหว่างกระบวนการปั่นเยือกแข็ง อิมัลซิไฟเออร์ (โมโน – ไดกลีเซอร์ไรด์) ที่ผสมอยู่กับสารให้คงตัวช่วยทำให้เกิดกระบวนการ partial coalescence หรือ destabilized fat ของเม็ดไขมันซึ่งเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหล้อมรอบเซลล์อากาศไว้ (Olsen,1993; Flack,1996) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Baer *et al.*(1997) ที่พบว่าเมื่อเติมอิมัลซิไฟเออร์ปริมาณมากขึ้นทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นและไอศกรีมมีร้อยละการขึ้นฟู (overrun) เพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมลดลงและช่วยคงรูปร่างของไอศกรีมขณะกำลังละลาย แต่จากการทดลองครั้งนี้พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวปริมาณมากจนความหนืดของไอศกรีมมิกซ์สูงกลับทำให้ไอศกรีมสามารถจับอากาศได้ลดลงและเนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความแข็งขึ้น จากภาพที่ 22 พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.25 และ 0.5 (โดยน้ำหนัก) ให้ร้อยละการขึ้นฟูและความแน่นแข็งของไอศกรีมใกล้เคียงกับสูตรควบคุม ($p\geq$0.05)

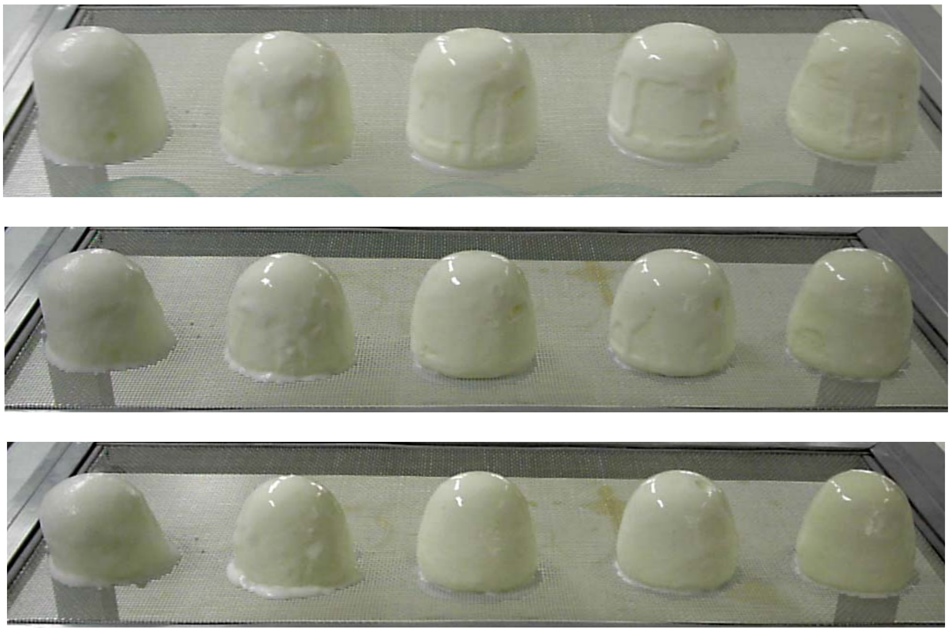
การเติมสารให้ความคงตัวร่วมกับอินูลินมีส่วนสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของไอศกรีมลดไขมัน เนื่องจากทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น ช่วยให้ไอศกรีมสามารถจับอากาศได้ดีขึ้น ลดความแข็งของไอศกรีมและปรับปรุงการละลายของไอศกรีมลดไขมันดังภาพที่ 23, 24 และ 25



ภาพที่ 23 ผลของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อร้อยละการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

จากภาพที่ 23 พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวมีบทบาทสำคัญในการลดการละลายของไอศกรีมลดไขมันเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว จากผลการทดลองเมื่อเติมสารให้ความคงตัวปริมาณ 0.25, 0.5 และ 0.6 (โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมลดไขมันมีร้อยละการละลายลดลงตามลำดับ เนื่องจากสารให้ความคงตัวทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับโปรตีนนมและส่วนประกอบอื่น ๆ โดยยึดไว้เป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ (Groven, 1995; Stanley *et al*., 1996) นอกจากนี้สารให้ความคงตัวช่วยอินูลินจับโมเลกุลน้ำไว้ทำให้มีปริมาณน้ำอิสระในไอศกรีมลดลง จึงลดการเกิดผลึกน้ำแข็งและทำให้ไอศกรีมละลายช้าลง Fennema (1996) กล่าวว่าค่าการนำความร้อนของน้ำแข็งสูงกว่าน้ำ ดังนั้นไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวจึงทำให้ระบบมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีปริมาณน้ำแข็งลดลง (น้ำที่ไม่แข็งตัวเพิ่มขึ้น) เป็นผลทำให้การส่งผ่านความร้อนของระบบช้าลง และคงความเย็นได้นานกว่า จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวละลายช้ากว่าไอศกรีมที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว การเติมสารให้ความคงตัวในปริมาณมากทำให้ไอศกรีมละลายช้าเกินไป แต่เมื่อเติมในปริมาณน้อยทำให้ไอศกรีมละลายเร็วเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม จากภาพที่ 23 จะเห็นว่าการใช้อินูลินร่วมกับสารให้ความคงตัวปริมาณ 0.5 (โดยน้ำหนัก) ให้การละลายที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวทำให้ไอศกรีมละลายเร็วหรือช้าได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ใช้

นอกจากสารให้ความคงตัวช่วยลดการละลายของไอศกรีมแล้วยังช่วยรักษารูปร่างของไอศกรีมขณะที่ไอศกรีมกำลังละลาย (ภาพที่ 24) และของเหลวจากการละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 25) ถ้าเปรียบเทียบระหว่างทรีทเมนต์ที่เติมกับไม่เติมสารให้ความคงตัว เมื่อไอศกรีมละลายจนถึงนาทีที่ 25 รูปร่างของไอศกรีมเริ่มเปลี่ยนแปลงและเห็นได้ชัดที่นาทีที่ 30 ทั้งนี้อาจเป็นผลจากส่วนที่เป็นน้ำแข็งซึ่งมีขนาดใหญ่เริ่มละลาย ในขณะที่ทรีทเมนต์อื่น ๆ มีสารให้ความคงตัวช่วยจับน้ำและทำให้ส่วนที่เป็นผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกระจายทั่ว เมื่อผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กละลายจึงสามารถรักษาโครงสร้างของไอศกรีมได้ แต่การเติมสารให้ความคงตัวช่วยลดการเคลื่อนที่ของเซลล์อากาศทำให้เซลล์อากาศขนาดเล็กคงตัวอยู่ในไอศกรีมขณะที่ไอศกรีมกำลังละลาย ทรีทเมนต์ที่ไม่เติมสารให้ความคงตัวเกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ขณะที่ไอศกรีมกำลังละลาย เนื่องจากฟองอากาศขนาดเล็กมารวมกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่ การรักษารูปร่างขณะไอศกรีมละลายไม่ดีและของเหลวที่ได้จากการละลายไม่เป็นเนื้อเดียวกัน



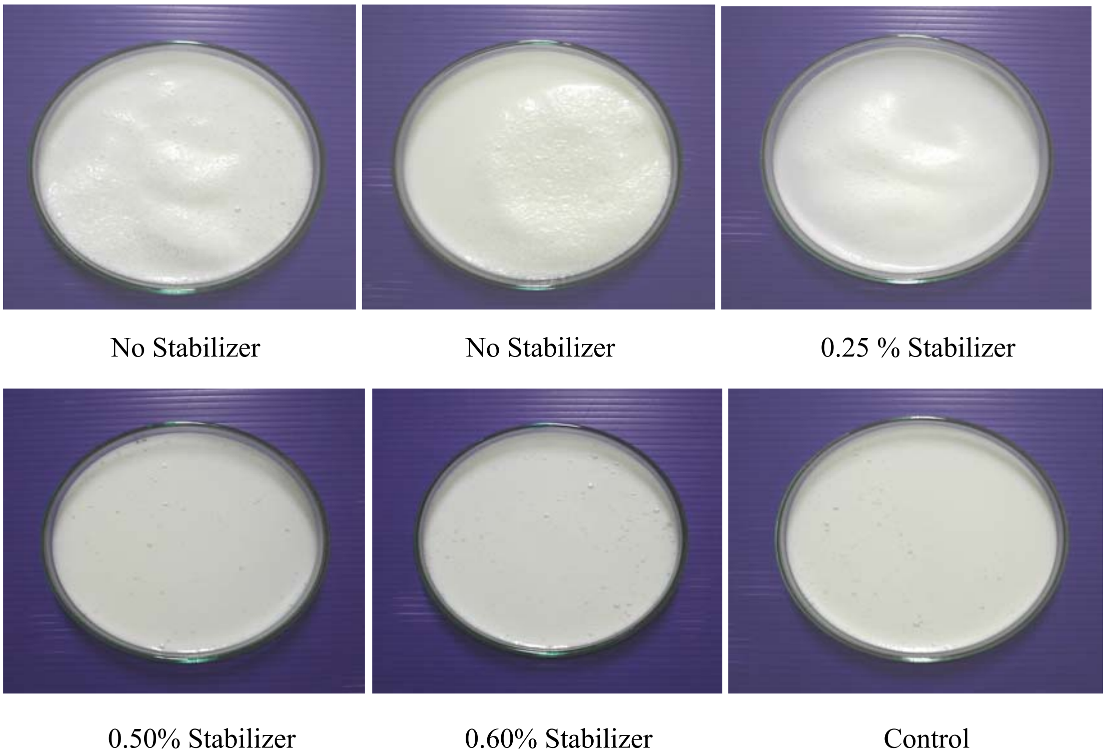
20 นาที

25 นาที

30 นาที

No Stabilizer　0.25%　0.50%　0.60%　Control

<u>ภาพที่ 24</u> ผลของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อลักษณะการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

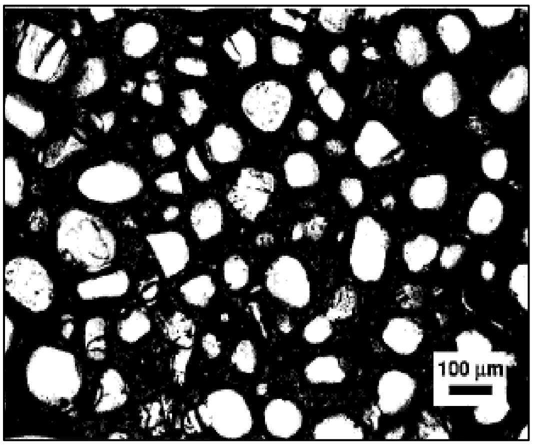


ภาพที่ 25 ผลของความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่อลักษณะของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ละลายแล้ว

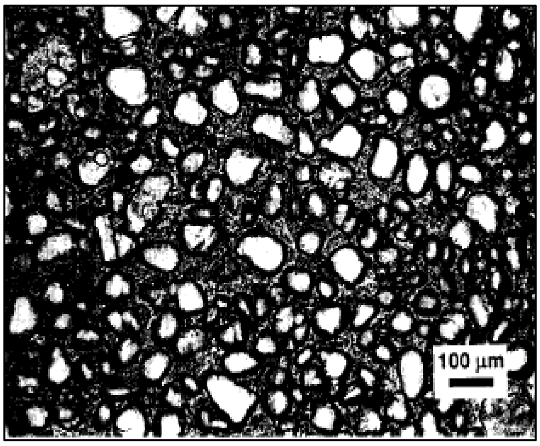
จากภาพที่ 25 จะเห็นว่าไอศกรีมที่ละลายจากทรีทเมนต์ที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว มีฟองอากาศแยกตัวจากของเหลว ฟองอากาศขนาดใหญ่และหยาบ เนื่องจากฟองอากาศขนาดเล็กเคลื่อนที่มารวมกันเป็นฟองอากาศขนาดใหญ่เพราะไม่มีสารให้ความคงตัวที่ให้ความหนืดและช่วยให้ฟองอากาศมีความคงตัว เมื่อเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.25 (โดยน้ำหนัก) ฟองอากาศที่พบมีขนาดเล็กกว่า ในขณะที่เติมสารให้ความคงตัวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 0.5 และ 0.6 (โดยน้ำหนัก) ไม่พบฟองอากาศแยกตัวจากของเหลวเช่นเดียวกับสูตรควบคุม เป็นไปได้ว่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้ฟองอากาศขนาดเล็กรวมตัวกันยากขึ้นและไอศกรีมมีร้อยละการขึ้นฟูต่ำจึงมีอากาศในโครงสร้างไอศกรีมน้อยลง ถ้าส่วนที่เป็นระบบของเหลวไม่แข็งตัวมีความหนืดน้อยอาจมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมขณะเก็บรักษา เพราะฟองอากาศมีโอกาสเคลื่อนที่มารวมกัน ทำให้โครงสร้างไอศกรีมยุบตัวลงได้ (shrinkage) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา

การเติมสารให้ความคงตัวและความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวมีผลต่อระบบอิมัลชันของไอศกรีม ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของไอศกรีม Hagiwara and Hartel (1996) ได้ศึกษาผลของการ

เติมสารให้ความคงตัวต่อผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมพบว่าไอศกรีมที่เติมสารให้ความคงตัวมีอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใหม่ต่ำกว่าไอศกรีมที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว ไอศกรีมที่ใช้และไม่ใช้สารให้ความคงตัวมีอัตราการตกผลึกใหม่เป็น 8.7 และ 15.6 ไมโครเมตร/วัน$^{0.33}$ ตามลำดับ นอกจากนี้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัวมีขนาดเล็กกว่ากรณีไม่ใช้สารให้ความคงตัว เมื่อเก็บรักษาไอศกรีมที่ –15.2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 สัปดาห์ (ภาพที่ 26) สอดคล้องกับผลงานของ Miller – Livney and Hartel (1997) ที่พบว่าไอศกรีมที่ใช้สารให้ความคงตัวมีอัตราการตกผลึกใหม่ซึ่งเป็นสาเหตุให้เนื้อสัมผัสหยาบต่ำกว่ากรณีไม่ใช้สารให้ความคงตัว Moore and Shoemaker (1981) พบว่าไอศกรีมที่ไม่ใช้สารให้ความคงตัวมีเกล็ดน้ำแข็งมากกว่ากรณีที่ใช้สารคงตัว จึงกล่าวได้ว่าการเติมสารให้ความคงตัวช่วยรักษาระบบอิมัลชันของไอศกรีม ทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ลดการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศมีความคงตัวในระบบไอศกรีม ลดการเคลื่อนที่ของน้ำและขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็งในระหว่างการปั่นเยือกแข็งและการเก็บรักษาไอศกรีม



(A)



(B)

ภาพที่ 26 ผลของสารให้ความคงตัวต่อผลึกน้ำแข็งของไอศกรีมเมื่อไม่เติมสารให้ความคงตัว (A) และเติมสารให้ความคงตัว (B)

ที่มา: Hagiwara and Hartel (1996)

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวทำให้ไอศกรีมมิกซ์วานิลลาลดไขมันมีความหนืดต่างกัน จึงทำให้ไอศกรีมมีขนาดของผลึกน้ำแข็งต่างกันด้วยและสามารถตรวจสอบได้จากความเรียบเนียนของไอศกรีมด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาแบบสเกลบอกระดับความเข้มจากผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝน และทดสอบการยอมรับ

ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้อินูลินเป็นสารทดแทนไขมันและเติมสารให้ความคงตัวปริมาณต่างกันได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่างกันโดยวิธีทดสอบแบบสเกลบอกระดับความเข้ม*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส **					
	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	การละลายในปาก	การรับรู้กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก
Fat 3% (No Stabilizer)	5.00^{a}	5.36^{a}	4.81^{a}	4.97^{a}	5.09^{a}	4.40^{a}
Fat 3%+ Stabilizer 0.25%	6.18^{b}	6.43^{b}	5.67^{a}	6.06^{ab}	5.83^{a}	5.22^{a}
Fat 3%+ Stabilizer 0.5%	7.09^{cd}	7.92^{c}	8.02^{bc}	6.34^{b}	7.56^{b}	7.31^{b}
Fat 3%+ Stabilizer 0.6%	8.37^{d}	8.73^{d}	8.52^{c}	6.13^{ab}	7.78^{b}	8.44^{c}
Control (Fat 9%)	7.48^{c}	7.60^{c}	7.10^{b}	8.13^{c}	7.96^{b}	7.44^{b}

* ใช้สเกลแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured line scale) ยาว 10 เซนติเมตร

** 1 = มีความเข้มน้อย ถึง 10 = มีความเข้มมาก

[a,b,c,d] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาแบบสเกลสอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ จากตารางที่ 7 พบว่าการใช้อินูลินทดแทนไขมันโดยไม่เติมสารให้ความคงตัวไม่สามารถปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสได้ ไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งมากความเรียบเนียบน้อย ความแน่นเนื้อต่ำ ละลายในปากเร็ว การรับรู้กลิ่นรสน้อย ความเคลือบมันและความเหนียวหนืดในปากน้อย ในขณะที่การเติมสารให้ความคงตัวร่วมกับอินูลินช่วยปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสให้ดีขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่างกันให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันด้วย (p<0.05) ยกเว้นการรับรู้กลิ่นรส เมื่อความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวเพิ่มขึ้นไอศกรีมมีความเรียบเนียบมากขึ้น เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น จึงลดการเคลื่อนที่ของน้ำและขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็งและจำกัดปริมาณน้ำที่แข็งตัว (Muhr and Blanshard, 1986) ส่วน Buyong and Fennema (1998) เสนอว่ากลไกที่ทำให้สารให้ความคงตัวมีบทบาทช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดัดแปรรูปร่างของผลึกน้ำแข็ง ทำให้ผลึกของน้ำแข็งมีความเรียบเพิ่มขึ้นหรือเกี่ยวข้องกับการ

เปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลและช่วยบดบังรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอของน้ำแข็งจึงทำให้ผู้ทดสอบให้คะแนนความเรียบเนียนเพิ่มขึ้น Sutton and Wilcox (1998) พบว่าสารให้ความคงตัวถูกดูดซับอย่างบาง ๆ ที่ผิวของผลึกน้ำแข็งจึงช่วยขัดขวางการโตของผลึกน้ำแข็ง นอกจากนั้นการเติมสารให้ความคงตัวยังทำให้ความแน่นเนื้อมากขึ้น การละลายช้าลง ความเคลือบมันและความเหนียวหนืดในปากมากขึ้น แต่การเติมอินูลินร่วมกับสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนัก) ให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$) (จากตารางที่ 7 และ 8)

ตารางที่ 8 ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวต่างกันโดยวิธี Hedonic scale

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส *			
	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความชอบโดยรวม
Fat 3 %(No Stabilizer)	4.00 [a]	4.68 [a]	4.12 [a]	4.12 [a]
Fat 3% + Stabilizer 0.25%	4.92 [b]	5.72 [b]	4.80 [b]	4.90 [b]
Fat 3% + Stabilizer 0.5%	8.12 [d]	7.40 [de]	7.52 [d]	7.88 [d]
Fat 3% +Stabilizer 0.6%	7.16 [c]	7.08 [c]	6.84 [c]	7.04 [c]
Control(Fat 9%)	8.12 [d]	7.80 [e]	8.04 [d]	7.92 [d]

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

[a,b,c,d] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การใช้อินูลินทดแทนไขมันโดยไม่เติมสารให้ความคงตัวไม่สามารถปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสได้จึงได้รับคะแนนการยอมรับต่ำจากผู้ทดสอบ การเติมสารให้ความคงตัวร่วมกับอินูลินช่วยปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสให้ดีขึ้น จึงได้รับคะแนนการยอมรับเพิ่มขึ้นจากผู้ทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับทรีทเมนต์ที่ไม่เติมสารให้ความคงตัว แต่การเติมสารให้ความคงตัวปริมาณน้อยหรือมากเกินไปเป็นผลให้ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบลดลง จากตารางที่ 7 พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวในปริมาณร้อยละ 0.25 (โดยน้ำหนัก) ทำให้ไอศกรีมวานิลลาลดไขมันมีความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปากและความเหนียวหนืดในปากน้อย การละลายค่อนข้างเร็ว จึงได้รับความชอบน้อย (ตารางที่ 8) ในขณะที่การเติมสารให้ความคงตัวในปริมาณร้อยละ 0.6 (โดยน้ำหนัก) ให้ความเรียบเนียน ความแน่นเนื้อ และความเหนียวหนืดในปาก

สูงที่สุด การละลายช้าที่สุด (ตารางที่ 7) แต่ได้รับความชอบน้อยกว่าการใช้สารให้ความคงตัวร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนัก) (ตารางที่ 8) ดังนั้นต้องเติมสารให้ความคงตัวในปริมาณที่เหมาะสม การศึกษาครั้งนี้พบว่าการเติมอินูลินร่วมกับสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.5 (โดยน้ำหนัก) มีลักษณะทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุมจึงได้รับการยอมรับด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส ความเคลือบมันในปาก และความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม ($p \geq 0.05$)

3. <u>คุณภาพของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน</u>

สารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีมมีหลายชนิดแต่ที่ใช้ส่วนใหญ่คือน้ำตาลทรายหรือซูโครส อาจใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มปริมาณ (bulking agent) เช่น กลูโคสไซรัป ฟรุกโตสไซรัป มอลโตเดกซ์ตริน ร่วมกับน้ำตาลซูโครสเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เนื่องจากโครงสร้างและขนาดโมเลกุลของสารให้ความหวานดังกล่าวต่างกัน ทำให้สารให้ความหวานมีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกันโดยเฉพาะความหวานและการลดจุดเยือกแข็ง (freezing point depression) ของสารละลาย

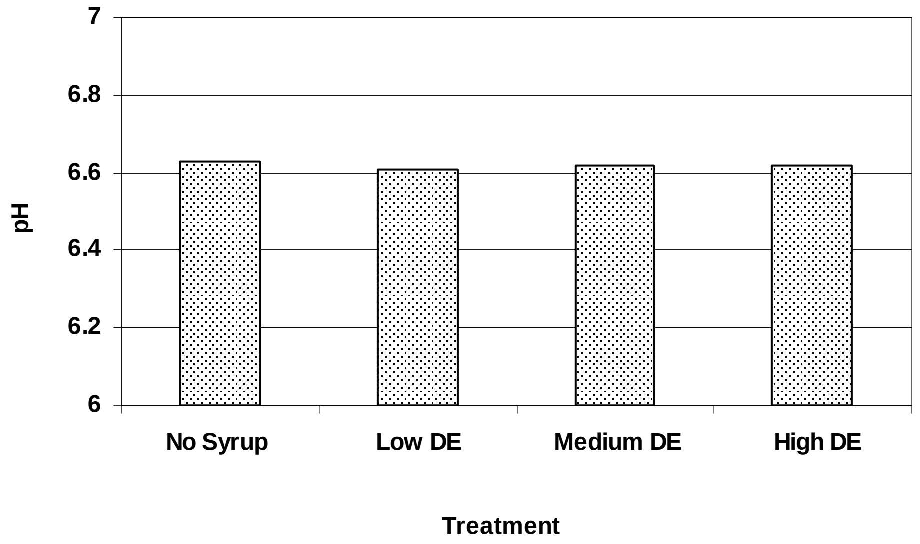
สำหรับการทดลองนี้ใช้กลูโคสไซรัป (glucose syrup, GS) ร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานเพื่อศึกษาคุณภาพของไอศกรีมที่เปลี่ยนไปเมื่อเติมกลูโคสไซรัป ซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีม เนื่องจากกลูโคสไซรัปมี Dextrose Equivalent (DE) ต่างกันจึงมีปริมาณน้ำตาลกลูโคสหรือเดกซ์โตรสทำหน้าที่ให้ความหวานในปริมาณต่างกัน โดยกลูโคสไซรัป DE ต่ำ กลาง และสูงมีร้อยละของ Dextrose Equivalent (DE) เป็น 29.7, 38.1 และ40.3 ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่ากลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่ำ มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสหรือเดกซ์โตรสต่ำกว่ากลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูง และมีโพลิเมอร์สายสั้นอื่น ๆ ปนอยู่ในปริมาณสูงกว่า ในขณะที่กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE กลาง มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสใกล้เคียงกับกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูง และมีโพลิเมอร์สายสั้นอื่นๆ ปนอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าใช้กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่ำ ทดแทนน้ำตาลทรายต้องใช้ในปริมาณมากกว่ากลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูง เพื่อปรับความหวานให้ใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมมิกซ์ระหว่างทรีทเมนต์ที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 12 (โดยน้ำหนัก) กับทรีทเมนต์ที่ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) ร่วมกับกลูโคสไซรัปซึ่งมี Dextrose Equivalent ต่างกัน (DE ต่ำ, DE กลาง และ DE สูง) โดยกำหนดให้มีกลูโคสปริมาณร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) แสดงดังตารางที่ 9 การตรวจสอบค่าพีเอชและความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ได้ผลดังภาพที่ 27 และ 28 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 สูตรไอศกรีมที่ศึกษาคุณภาพของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน

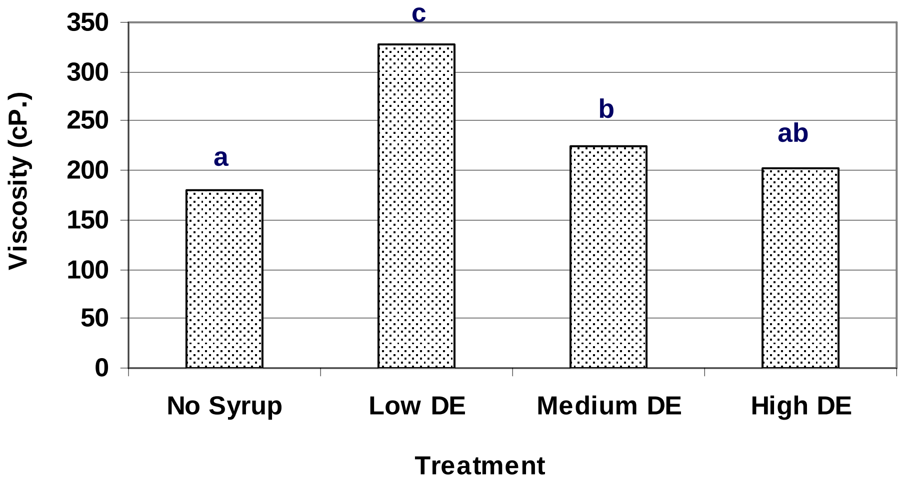
ส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สูตรควบคุม	สูตรลดไขมันและใช้กลูโคสไซรัป/ ทรีทเมนต์ 1	2	3
ไขมัน	3.0	3.0	3.0	3.0
อินูลินสายสั้น (GR)	3.0	3.0	3.0	3.0
อินูลินสายยาว (HP)	3.0	3.0	3.0	3.0
เนื้อนมไม่รวมมันเนย (Milk Solid Not Fat)	11.0	11.0	11.0	11.0
สารให้ความหวาน				
น้ำตาลทราย	12.0	9.0	9.0	9.0
GS Low DE (29.7)	-	10.10*	-	-
GS Medium DE (38.1)	-	-	7.87*	-
GS High DE (40.3)	-	-	-	7.44*
สารให้ความคงตัว	0.5	0.5	0.5	0.5
เนื้อนมรวม (Total Solid)	32.5	39.6	37.37	36.94

* กำหนดให้มีน้ำตาลกลูโคสร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก)



ภาพที่ 27 พีเอชของไอศกรีมมิกซ์ที่มีกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน

จากภาพที่ 27 พีเอชของไอศกรีมมิกซ์ระหว่างไอศกรีมลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปทดแทนน้ำตาลทรายหรือน้ำตาลทรายบางส่วนเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้น้ำตาลทรายอย่างเดียวมีค่าใกล้เคียงกัน (6.61 – 6.63) และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) การใช้กลูโคสไซรัปที่มี Dextrose Equivalent ต่างกัน (Low DE, Medium DE และ High DE) ไม่ทำให้พีเอชต่างกัน ($p \geq 0.05$) แต่การใช้กลูโคสไซรัปทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์ที่ใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว โดยความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้กลูโคสไซรัปที่มีร้อยละของ Dextrose Equivalent (DE) ต่ำลง (ภาพที่ 28)

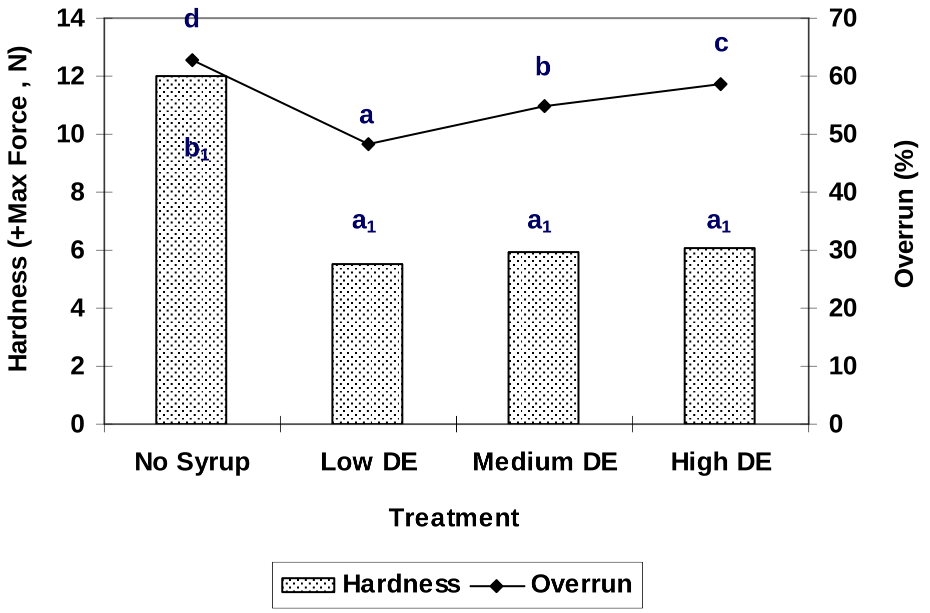


<u>ภาพที่ 28</u> ผลของกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานต่อความหนืดของไอศกรีมมิกซ์

[a,b,c] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากภาพที่ 28 พบว่าเมื่อกำหนดให้ไอศกรีมมิกซ์มีสารให้ความหวานร้อยละ 12 (โดยน้ำหนัก) เท่ากัน การใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน ทำให้ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Muse and Hartel (2004) ที่พบว่าการใช้คอร์นไซรัป (20 DE) ให้ความหนืดสูงกว่าน้ำตาลทราย และไฮฟรุกโตสไซรัปตามลำดับ เนื่องจากคอร์นไซรัปมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าหรือมีขนาดโพลิเมอร์ยาวกว่า และ Goyal *et al.* (1973) พบว่าการเติมกลีเซอรอล โมโนสเตียเรต คอร์นไซรัป หรือเดกซ์โตสไซรัป ในสูตรซอฟเซิร์ฟไอศกรีมมิกซ์ ทำให้มิกซ์หนืดขึ้น กลูโคสไซรัปช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในสูตรไอศกรีมทั้งนี้ขึ้นกับค่า Dextrose Equivalent (DE) ของกลูโคสไซรัป จากการคำนวณสูตรไอศกรีมกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่ำ ช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดได้มากกว่ากลูโคสไซรัปที่มีค่า DE กลาง และสูง (ตารางที่ 9) นอกจากนี้มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสต่ำและมีโพลิเมอร์สายสั้นอื่นๆ ปนอยู่ในปริมาณสูงกว่า ทำให้กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่ำ สามารถจับกับโมเลกุลน้ำและให้ความหนืดสูงกว่ากลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูง ในขณะที่กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE กลาง มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสใกล้เคียงกับกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูง และมีโพลิเมอร์สายสั้นอื่นๆ ปนอยู่ในปริมาณใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงให้ความหนืดที่ใกล้เคียงกับกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE สูง อย่างไรก็ตาม Goff *et al.* (1990) ทดลองใช้คอร์นไซรัปที่มีค่า DE ต่างกันในการผลิตไอศกรีมเพื่อลดความหวานของไอศกรีม พบว่าความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ลดลงเมื่อใช้ไซรัปที่มีค่า DE สูง จุดเยือกแข็งลดลง และความแน่นเนื้อของไอศกรีมลดลง การใช้กลูโคสไซรัปยังส่งผลให้คุณสมบัติทางกาพของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อวัดร้อยละการขึ้นฟูของไอศกรีมและแรงกดอัดที่ทำให้ไอศกรีมเสียรูปร่างด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสไอศกรีมหรือความแข็งดังผลที่แสดงในภาพที่ 29



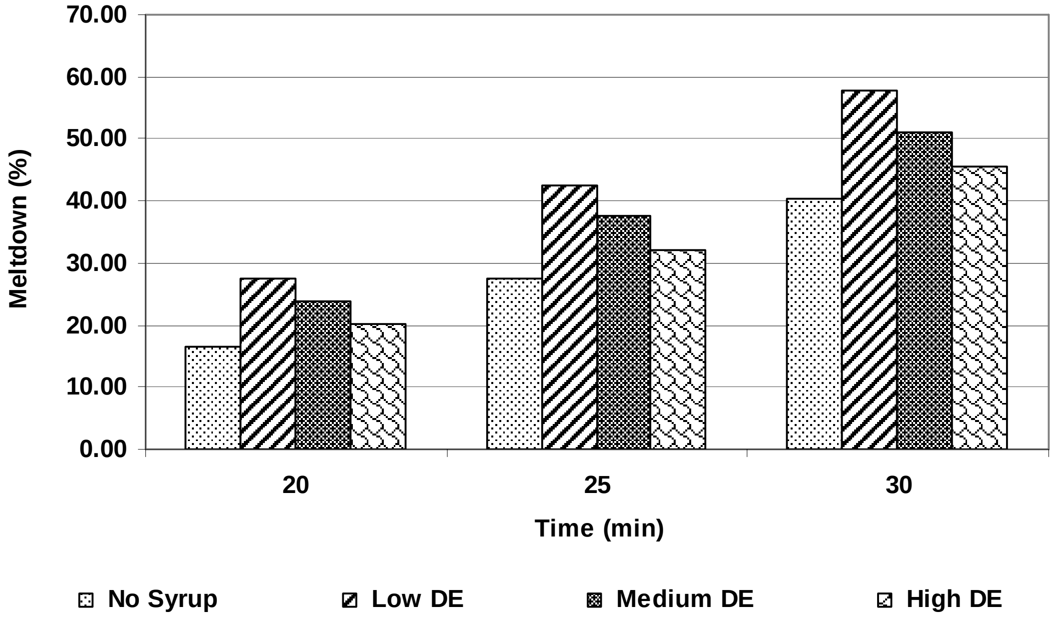
ภาพที่ 29 ผลของกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานต่อร้อยละการขึ้นฟูและความแข็งของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

^{a,b,c,d} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{a_1,b_1} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากภาพที่ 29 การทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนด้วยกลูโคสไซรัปทำให้ไอศกรีมมิกซ์หนืดขึ้นส่งผลให้การขึ้นฟูของไอศกรีมลดลง และการใช้กลูโคสไซรัปซึ่งมีร้อยละ Dextrose Equivalent (DE) ต่างกันทำให้ไอศกรีมมีร้อยละการขึ้นฟูแตกต่างกัน (p<0.05) โดยกลูโคสไซรัปที่มีร้อยละ DE สูง มีร้อยละการขึ้นฟูสูงกว่ากลูโคสไซรัปที่มีร้อยละ DE กลาง และDE ต่ำ ตามลำดับ (p<0.05) เป็นผลจากความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ที่สูงขึ้นทำให้เครื่องปั่นไอศกรีมขนาดเล็กมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะตีอากาศเข้าไปในไอศกรีม การเติมกลูโคสไซรัปทำให้เพิ่มปริมาณของแข็งในสูตรไอศกรีมลดไขมันจึงลดความสามารถการขึ้นฟูของไอศกรีม (Marshall *et al.*, 2003) นอกจากนี้การทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนด้วยกลูโคสไซรัปยังทำให้ความแข็งของไอศกรีมลดไขมันลดลงแม้ว่าไอศกรีมจะมีร้อยละการขึ้นฟูต่ำลง เมื่อเทียบกับทรีทเมนต์ที่ใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกลูโคสไซรัปยังมีน้ำตาลกลูโคสซึ่งทำหน้าที่ให้ความหวาน แต่กลูโคสมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าน้ำตาลทรายและยังมีโมเลกุลของโพลิเมอร์สายสั้นที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ (Hydrolysis) จึงเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งให้ไอศกรีมลดไขมัน จากเหตุผลที่กล่าวมาเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติคอลลิ

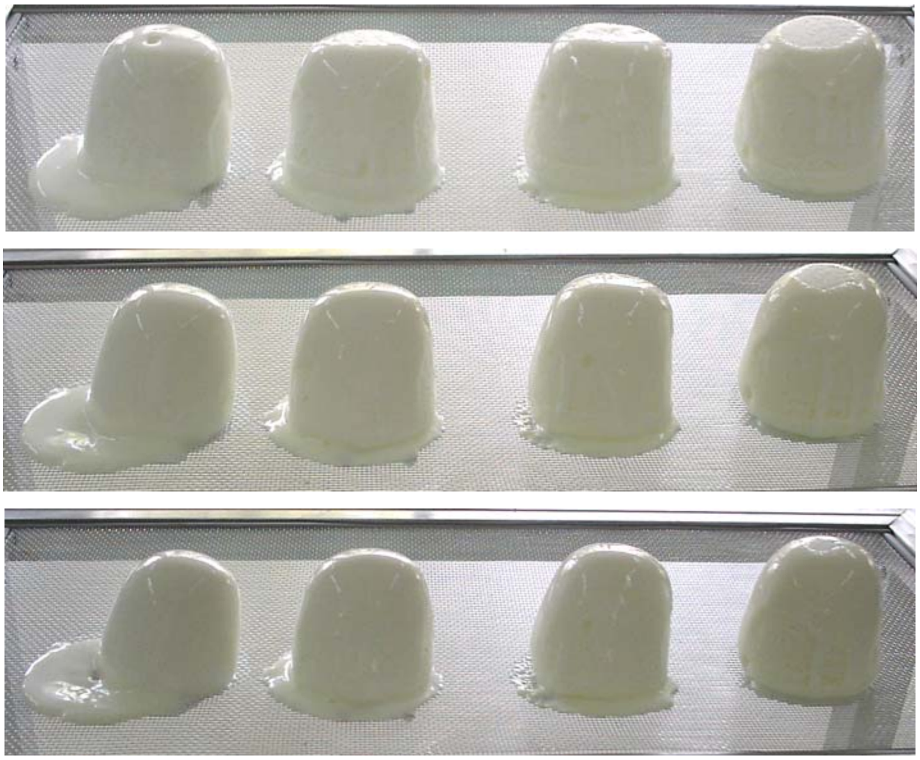
เกทีฟ (colligative properties) ของสารละลาย ทำให้จุดเยือกของไอศกรีมมิกซ์ลดลง ดังนั้นส่วนที่เป็นของเหลวที่ไม่แข็งตัวมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งมีน้อยลง ไอศกรีมดังกล่าวจึงมีความนุ่มกว่าไอศกรีมลดไขมันที่ใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว ทำให้ไอศกรีมตักได้ง่ายแม้เก็บไอศกรีมที่อุณหภูมิ – 18 องศาเซลเซียส แต่การใช้กลูโคสไซรัปซึ่งมีร้อยละ DE ต่างกันให้ความแข็งไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) การทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนด้วยกลูโคสไซรัปยังทำให้การละลายของไอศกรีมลดไขมันเปลี่ยนแปลงไป (ภาพที่ 30)



ภาพที่ 30 ผลของกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานต่อร้อยละการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

จากภาพที่ 30 พบว่าการเลือกใช้สารให้ความหวานมีผลต่อการละลายของไอศกรีมลดไขมัน เมื่อทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนด้วยกลูโคสไซรัปทำให้ไอศกรีมลดไขมันละลายเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับไอศกรีมลดไขมันที่ใช้น้ำตาลทรายอย่างเดียว ซึ่งเป็นผลจากคุณสมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายตามที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นจุดเยือกแข็งของสารละลายลดลง เช่นเดียวกับการทดแทนน้ำตาลทรายด้วยกลูโคสไซรัปทำให้สารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้จุดเยือกแข็งของไอศกรีมมิกซ์ลดลง ไอศกรีมมีแนวโน้มแฉะและเหนียวหนืดมาก การใช้กลูโคสไซรัป DE ต่ำไอศกรีมลดไขมันละลายเร็วกว่ากลูโคสไซรัป DE กลาง และสูงตามลำดับ เนื่องจากการใช้กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่ำต้องใช้ปริมาณมากกว่ากลูโคสไซรัปที่มีค่า

DE กลาง และสูงตามลำดับ จึงมีผลต่อคุณสมบัติคลอลิเกทีฟมากที่สุด จุดเยือกแข็งของไอศกรีมต่ำที่สุด เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ไอศกรีมละลายเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE กลาง และสูงตามลำดับ (ภาพที่ 31) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของอุษา (2541) ที่พบว่าการใช้กลูโคสไซรัปมีผลต่อการละลายของเชอร์เบท เมื่อปริมาณกลูโคสไซรัป (DE = 29) เพิ่มขึ้นการละลายของเชอร์เบทเร็วขึ้น



20 นาที

25 นาที

30 นาที

S + GS Low DE   S + GS Medium DE   S + GS High DE   S + No GS

เมื่อ S = Sugar หรือ Sucrose, GS = Glucose Syrup

ภาพที่ 31 ผลของกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานต่อลักษณะการละลายของไอศกรีมวานิลลาลดไขมัน

การเติมกลูโคสไซรัปทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับไอศกรีมที่ไม่เติมกลูโคสไซรัปหรือใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 31) ของเหลวที่ได้จากการละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 32) ทั้งนี้ลักษณะการละลายที่ปรากฏขึ้นอยู่กับ DE ของกลูโคสไซรัป การใช้กลูโคสไซรัป DE ต่ำ ทำให้ปริมาณของแข็งในสูตรไอศกรีมเพิ่มมากกว่าการใช้กลูโคสไซรัป DE กลาง และDE สูง จากเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ไอศกรีมที่ใช้กลูโคสไซรัป DE ต่ำ ละลายเร็วที่สุดและให้ลักษณะ

ปรากฏขณะไอศกรีมกำลังละลายไม่ดี ไอศกรีมมีความอ่อนตัว (weakness) และเสียรูปร่างง่ายเมื่อได้รับแรงกดอัด Goff and Hartel (2004) เมื่อวัดจุดเยือกแข็งของไอศกรีมโดย Osmolality พบว่าจุดเยือกแข็งลดลง ไอศกรีมมีส่วนของน้ำที่ไม่แข็งตัวมาก ละลายเร็ว และมีความแน่นเนื้อลดลง จึงกล่าวได้ว่านอกจากขนาดและปริมาณของอินูลิน ความเข้มข้นของสารให้ความคงตัว การเติมกลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่างกันเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของไอศกรีมลดไขมัน

ลักษณะของของเหลวที่ได้จากการละลายของไอศกรีมที่ใช้กลูโคสไซรัปทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนเป็นเนื้อเดียวกัน (ภาพที่ 32) ไม่พบการแยกชั้นของโปรตีนนมและไม่เกิดกลุ่มฟองอากาศหรือลักษณะที่เรียกว่า foaming เนื่องจากความเหนียวหนืดของไอศกรีมเหลวลดไขมันที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการเก็บอากาศน้อยลงหรือมีร้อยละการขึ้นฟูลดลง

ภาพที่ 32 ผลของกลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานต่อลักษณะของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ละลายแล้ว

จากการศึกษาข้างต้นกล่าวได้ว่าการใช้กลูโคสไซรัปทดแทนน้ำตาลทรายหรือซูโครสเพียงบางส่วนทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์ ร้อยละการขึ้นฟู ความแข็งของไอศกรีม และการละลายของไอศกรีมลดไขมันเปลี่ยนไปจากเดิมซึ่งใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว คุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนไปส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาแบบสเกลบอกระดับความเข้มจากผู้ทดสอบที่ได้รับการฝึกฝนและทดสอบการยอมรับด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาแสดงผลในตารางที่ 10 และ 11

ตารางที่ 10 ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาแบบสเกลบอกระดับความเข้ม*

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส **						
	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	การละลายในปาก	การรับรู้กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก	ความหวาน
S (No GS)	7.04 [a]	6.44 [a]	6.07 [a]	6.76 [b]	6.07 [a]	6.06 [a]	7.15 [a]
S + GS Low DE	9.07 [c]	9.00 [c]	8.54 [c]	5.96 [a]	8.61 [c]	9.04 [c]	6.67 [a]
S + GS Medium DE	8.32 [b]	8.14 [b]	7.80 [b]	6.26 [ab]	7.89 [b]	7.83 [b]	6.91 [a]
S + GS High DE	8.02 [b]	7.98 [b]	7.27 [b]	6.46 [ab]	7.65 [b]	7.59 [b]	6.82 [a]

เมื่อ S = Sugar หรือ Sucrose, GS = Glucose Syrup

* ใช้สเกลแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured line scale) ยาว 10 เซนติเมตร

** 1 = มีความเข้มน้อย ถึง 10 = มีความเข้มมาก

[a,b,c] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบเชิงพรรณนาแบบสเกลบอกระดับความเข้ม (ตารางที่ 10) แสดงให้เห็นว่าการทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนด้วยกลูโคสไซรัปทำให้ไอศกรีมลดไขมันมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่าทรีทเมนต์ที่ใช้ซูโครสเป็นสารให้ความหวานเพียงอย่างเดียว นั่นคือไอศกรีมมีความเรียบเนียน การโตของผลึกน้ำแข็งถูกจำกัดด้วยการเคลื่อนของน้ำที่มารวมกับผลึกน้ำแข็งและการเคลื่อนที่ของน้ำตาลที่เคลื่อนที่ออกจากผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นช่วยลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำ โมเลกุลน้ำตาลและโพลิเมอร์สายสั้น ๆ โดยเฉพาะพวก

โอลิโกแซคคาไรด์สามารถเกาะที่พื้นผิวผลึกน้ำแข็งและเป็นตัวขวางกั้นโมเลกุลน้ำไม่ให้มารวมกับผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่แล้ว Harper and Shoemaker (1983) และ Hagiwara and Hartel (1996) กล่าวว่าชนิดและความเข้มข้นของสารให้ความหวานมีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีมมิกซ์ ปริมาณน้ำที่แข็งตัว และอุณหภูมิของ glass transition Slade and Levine (1991) แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิของ glass transition สูงขึ้น การโตของผลึกน้ำแข็งลดลง Goff *et al.* (1993) และ Harper and Shoemaker (1983) พบว่าการเติมคอร์นไซรัป DE ต่ำทำให้อุณหภูมิของสภาวะ glass transition สูงขึ้น สภาวะนี้ทำให้โมเลกุลต่างหยุดการเคลื่อนที่ จึงลดอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งทำให้ไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก Hagiwara and Hartel (1996) พบว่าไอศกรีมที่ใช้คอร์นไซรัป และสารให้ความคงตัวให้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่าไอศกรีมที่ใช้น้ำตาลทรายและสารให้ความคงตัว นอกจากนี้ไอศกรีมมีความแน่นเนื้อ ความเคลือบมัน และความเหนียวหนืดในปากเพิ่มขึ้น แต่การละลายในปากช้าลง (ตารางที่ 10) ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองข้างต้นซึ่งละลายเร็ว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผู้ทดสอบอาจตัดสินใจจากความแน่นเนื้อ ความเคลือบมัน และความเหนียวหนืดในปากเพิ่มขึ้น และเมื่อนำคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสมาหาความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ (r) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวาน

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ความเรียบเนียน	ความแน่นเนื้อ	การละลายในปาก	การรับรู้กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความเหนียวหนืดในปาก	ความหวาน
ความเรียบเนียน	1.000	0.752*	0.801*	-0.465*	0.727*	0.798*	-0.033
ความแน่นเนื้อ	0.752*	1.000	0.816*	-0.461*	0.756*	0.781*	-0.202
การละลายในปาก	0.801*	0.816*	1.000	-0.352*	0.774*	0.722*	-0.046
การรับรู้กลิ่นรส	-0.465*	-0.461*	-0.352*	1.000	-0.251	-0.275	0.245
ความเคลือบมันในปาก	0.727*	0.756*	0.774*	-0.251	1.000	0.758*	-0.170
ความเหนียวหนืดในปาก	0.798*	0.781*	0.722*	-0.275	0.758*	1.000	-0.132
ความหวาน	-0.033	-0.202	-0.046	0.245	-0.170	-0.132	1.000

* แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของข้อมูลที่เปรียบเทียบ ณ เวลาเดียวกัน

(+) หมายถึง ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน, (-) หมายถึง ความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน

จากตารางที่ 11 พบว่าการละลายในปากมีความสัมพันธ์สูงในทิศเดียวกันกับความเรียบเนียน (r = 0.801), ความแน่นเนื้อ (r = 0.816) และมีความสัมพันธ์กับความเคลือบมันในปาก (r = 0.774) และความเหนียวหนืด (r = 0.722) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งน่าจะเป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้ทดสอบตัดสินว่าไอศกรีมลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปทดแทนน้ำตาลทรายบางส่วนละลายในปากช้าลง นอกจากนี้การรับรู้กลิ่นรสในปากมีความสัมพันธ์ปานกลางในทิศตรงข้ามกับความเรียบเนียน (r = –0.465), ความแน่นเนื้อ (r = –0.461) และการละลายในปาก (r = –0.352) แต่ความหวานมีความสัมพันธ์น้อยมากกับลักษณะอื่น

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสจึงกล่าวได้ว่าการใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมให้ดีขึ้น การทดแทนน้ำตาลทรายด้วยกลูโคสไซรัปบางส่วน ทำให้ความหวานของไอศกรีมลดไขมันลดลงเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) (ตารางที่ 10) เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสหรือเดกซ์โตรสซึ่งทำหน้า

เป็นสารให้ความหวานที่สำคัญในกลูโคสไซรัปมีค่าความหวานสัมพัทธ์เท่ากับ 0.8 ส่วนน้ำตาลทรายมีความหวานสัมพัทธ์เท่ากับ 1 ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน (Marshall *et al.*, 2003) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างทรีทเมนต์ที่ใช้กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE ต่ำ กลาง และสูง พบว่าความเรียบเนียบ ความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปาก และความเหนียวหนืดในปากเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ($p \geq 0.05$) ระหว่างทรีทเมนต์ที่ใช้กลูโคสไซรัปที่มีค่า DE กลาง และ สูง กลูโคสไซรัปช่วยให้ไอศกรีมเรียบเนียนและเนื้อแน่นขึ้นกว่าการใช้น้ำตาลทรายเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ไอศกรีมลดไขมันได้รับการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้น (ตารางที่12) แต่การใช้กลูโคสไซรัป DE ต่ำได้รับการยอมรับโดยรวมต่ำเนื่องจากไอศกรีมเมื่อละลายแล้วมีความเหนียวหนืดสูงและไอศกรีมมีผลึกน้ำแข็งน้อยเมื่อรับประทานไอศกรีมแล้วไม่รู้สึกเย็น ซึ่งมีผลต่อการรับรสหวานและการรับรู้กลิ่นรสของต่อมรับรสจึงทำให้การยอมรับความหวานน้อยกว่าทรีทเมนต์อื่น ๆ การใช้กลูโคสไซรัป DE กลางได้รับความชอบโดยรวมมากที่สุดเมื่อเทียบกับทรีทเมนต์อื่นๆ

<u>ตารางที่12</u> ผลทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นสารให้ความหวานโดยวิธี Hedonic scale

ทรีทเมนต์	ลักษณะทางประสาทสัมผัส *				
	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความเคลือบมันในปาก	ความหวาน	ความชอบโดยรวม
S + No GS	7.08 ^{a}	7.24 ^{ab}	7.36 ^{b}	7.52 ^{b}	7.40 ^{a}
S + GS Low DE	7.44 ^{a}	7.00 ^{a}	6.12 ^{a}	6.56 ^{a}	7.16 ^{a}
S + GS Meduim DE	8.28 ^{b}	7.68 ^{b}	7.40 ^{b}	7.68 ^{b}	8.08 ^{b}
S + GS High DE	7.56 ^{a}	7.44 ^{ab}	7.24 ^{b}	7.36 ^{b}	7.56 ^{a}

เมื่อ S = Sugar หรือ Sucrose, GS = Glucose Syrup

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

^{a,b,c} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

4. <u>การต้าน heat shock ของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ใช้อินูลินเป็นสารทดแทนไขมัน</u>

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค สาเหตุที่ทำให้คุณภาพของไอศกรีมเปลี่ยนไปคือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่ง Trgo *et al.* (1999) ใช้สมการ Arrhenius Kinetic อธิบายการโตของผลึกน้ำแข็งว่าต้องใช้พลังงานกระตุ้น 225 กิโลจูล/ โมล เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดพลังงานกระตุ้นระดับนี้ และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเกิดขึ้นระหว่างการละลายน้ำแข็งอัตโนมัติของตู้เย็น การแช่ของมากเกินไปทำให้ความเย็นไม่พอ หรือการวางไอศกรีมในตู้แช่ไอศกรีมที่ระดับสูงเกินกำหนดทำให้ได้รับความเย็นไม่พอ ถ้าอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาสูงขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงบ่อย ๆ จะเกิดปัญหาจากปรากฏการณ์ heat shock ทำให้น้ำแข็งในไอศกรีมละลายและแข็งตัวใหม่เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสหยาบซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้ทดสอบรับรู้ได้ดี (Goff, 1992; Sahagian and Goff, 1996) จากการศึกษาข้างต้นพบว่าความเรียบเนียนของไอศกรีมมีความสัมพันธ์ทิศทางเดียวกันกับความแน่นเนื้อ การละลายในปาก ความเคลือบมันในปาก และความเหนียวหนืดในปาก ปรากฏการณ์ heat shock อาจทำให้ไอศกรีมมีอายุการเก็บรักษาสั้นลง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยากดังนั้นไอศกรีมที่สามารถทนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดีจะทำให้คุณภาพของไอศกรีมเปลี่ยนแปลงน้อยและยืดอายุการเก็บรักษา เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไอศกรีมเปลี่ยนแปลงจาก – 25 $\pm$ 1 เป็น – 8 $\pm$ 1 องศาเซลเซียส ทำให้ความเรียบเนียนของไอศกรีมลดลง และเมื่ออุณหภูมิของไอศกรีมเพิ่มขึ้นหรือลดลงบ่อย ๆ ความเรียบเนียนของไอศกรีมลดลงตามลำดับดังตารางที่ 13 ซึ่งเปรียบเทียบความสามารถในการต้านการเกิด heat shock ของไอศกรีมไขมันร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) กับไอศกรีมลดไขมันเป็นร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) เมื่อผ่านการเกิด heat shock ตั้งแต่ 0 – 3 รอบ

ตารางที่ 13 ผลทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบเนียนของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันหลังผ่านการเกิด heat shock โดยวิธีทดสอบแบบสเกลบอกระดับความเข้ม*

ทรีทเมนต์	Heat shock /ความเรียบเนียน**			
	Cycle 0	Cycle 1	Cycle 2	Cycle3
Fat 9%	7.03 [cd]	6.43 [c]	5.45 [b]	4.53 [a]
Fat 3%+Inulin	7.34 [de]	6.81 [cd]	6.39 [c]	5.55 [b]
Fat 3%+Inulin+GS	8.40 [f]	8.14 [f]	7.78 [f]	7.44 [ed]

เมื่อ GS = Glucose Syrup

* ใช้สเกลแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured line scale) ยาว 10 เซนติเมตร

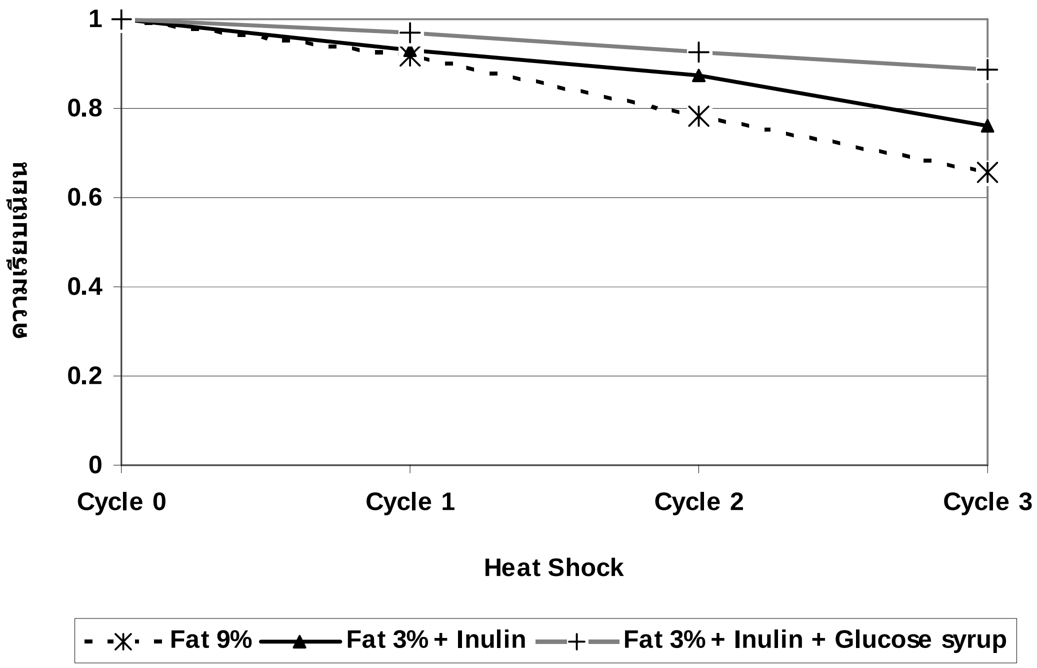
** 1 = มีความเข้มน้อย ถึง 10 = มีความเข้มมาก

[a, b, c, d, e, f] ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 13 พบว่าเมื่อไอศกรีมทั้ง 3 ทรีทเมนต์ถูกทำให้เกิด heat shock 1 รอบ ความเรียบเนียนของไอศกรีมลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p \geq$ 0.05) เมื่อเทียบกับไอศกรีมทั้ง 3 ทรีทเมนต์ที่ยังไม่ผ่านการ heat shock ความเรียบเนียนของไอศกรีมไขมันร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) และไอศกรีมลดไขมันเป็นร้อยละ 3 (โดยน้ำหนัก) ลดลง (p<0.05) เมื่อถูกทำให้เกิด heat shock 2 และ 3 รอบ เทียบกับทรีทเมนต์ที่ไม่เกิด heat shock แต่การเติมกลูโคสไซรัปช่วยให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันยังเรียบเนียนแม้ว่าถูกทำให้เกิด heat shock 2 และ 3 รอบ

ในกระบวนการผลิตไอศกรีมต้องการให้มีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมากและมีขนาดของผลึกน้ำแข็งใกล้เคียงกัน เพราะผู้บริโภคไม่สามารถรับรู้ความหยาบของผลึกน้ำแข็งได้เมื่อผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร (Marshall *et al.*, 2003) เมื่อเกิดปรากฏการณ์ heat shock ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านรูปร่าง ขนาด และจำนวนของผลึกน้ำแข็ง (Flores and Goff, 1999) เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กหลอมละลาย ทำให้มีปริมาณของเหลวที่ไม่แข็งตัวเพิ่มขึ้น เมื่อลดอุณหภูมิลงน้ำถูกแช่เยือกแข็งอีกครั้งแต่ไม่เกิดนิวคลีไอขึ้นใหม่ โมเลกุลน้ำเคลื่อนตัวไปรวมกับผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่แล้วทำให้ระบบเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่และมีจำนวนน้อยลง ถ้าผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตร ผู้บริโภครับรู้ถึงความหยาบของผลึกน้ำแข็ง (Donhowe *et al.*, 1991) ไอศกรีมที่เติมกลูโคสไซรัปเมื่อเกิดปรากฏการณ์ heat shock ส่วนที่เป็นของเหลวที่ไม่แข็งตัวมีความหนืดเพิ่มขึ้นจนเข้าใกล้สถานะ amorphous phase จึงลดการ

เคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำเพราะระบบมีความหนืดมากทำให้โมเลกุลน้ำและโมเลกุลอื่น ๆ เคลื่อนที่ได้ยาก Goff and Hartel (2004) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและร้อยละการแข็งตัวของน้ำแข็ง พบว่าการเติมน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลสูงมีปริมาณน้ำที่แข็งตัวมากกว่าการเติมน้ำตาลที่มีขนาดโมเลกุลต่ำกว่า จึงทำให้สามารถต้านการเกิด heat Shock ได้ ความสามารถในการต้าน heat shock ของไอศกรีมทั้ง 3 ทรีทเมนต์ถูกวัดออกมาเป็นอัตราส่วนความเรียบเนียนที่ลดลงหลังไอศกรีมผ่านการเกิด heat shock แต่ละรอบ (ภาพที่ 33)



<u>ภาพที่ 33</u> อัตราส่วนความเรียบเนียนที่ลดลงหลังไอศกรีมผ่านการเกิด heat shock แต่ละรอบ

จากภาพที่ 33 พบว่าเมื่อไอศกรีมผ่านการเกิด heat shock 1, 2 และ 3 รอบ ความเรียบเนียนของไอศกรีมลดลงตามลำดับ แต่การใช้อินูลินช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันและช่วยต้านการเกิด heat shock ได้และดีกว่าไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) เมื่อไอศกรีมถูกทำให้เกิด heat shock 2 และ3 รอบ และมีแนวโน้มว่าผลึกน้ำแข็งโตขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย ๆ ขณะที่การเติมกลูโคสไซรัปช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของไอศกรีมลดไขมันและช่วยต้านการเกิด heat shock ของไอศกรีมลดไขมันด้วย แม้ไอศกรีมถูกทำให้เกิด heat shock 2 และ 3 รอบ ดังนั้นการใช้อินูลินเป็นสารทดแทนไขมันและใช้กลูโคสไซรัปเป็นสารให้ความหวานในไอศกรีมร่วมกับน้ำตาลทรายเป็นแนวทางช่วยให้ไอศกรีมลดไขมันมีเนื้อสัมผัสที่ดีและรักษา

คุณภาพของไอศกรีมได้ระหว่างที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในการเก็บรักษาหรือการขนส่ง (Conforti, 1994)

เมื่อนำไอศกรีมที่ผ่านการ heat shock มาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลความชอบด้านเนื้อสัมผัสของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ผ่านการ heat shock โดย โดยวิธี Hedonic scale

ทรีทเมนต์	Heat shock *			
	Cycle 0	Cycle 1	Cycle 2	Cycle3
Fat 9%	7.74^{f}	6.66^{cd}	5.80^{b}	4.80^{a}
Fat 3%+Inulin	7.76^{f}	7.04^{de}	6.40^{c}	5.60^{b}
Fat 3%+Inulin+GS	7.80^{f}	7.64^{ef}	7.40^{ef}	7.04^{de}

เมื่อ GS = Glucose Syrup

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

^{a,b,c,d,e,f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

การเติมอินูลินช่วยลดการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ทำให้ไอศกรีมลดไขมันได้รับการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสมากกว่าไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 9 (โดยน้ำหนัก) เมื่อเกิด heat shock รอบแรก แต่ถ้าเกิด heat shock ขึ้นอีกจะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นและได้รับการยอมรับน้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกอินูลินสามารถอุ้มน้ำได้ดีทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก แต่เมื่อไอศกรีมผ่านการละลายหลาย ๆ ครั้ง เกิดการเปลี่ยนแปลงของแข็งในโครงสร้างไอศกรีมมีผลทำให้ประสิทธิภาพการอุ้มน้ำของอินูลินลดลงและมีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น (Conforti, 1994) ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นและได้รับความชอบด้านเนื้อสัมผัสจากผู้ทดสอบลดลง จากการศึกษาพบว่าทรีทเมนต์ที่เติมกลูโคสไซรัปช่วยลดผลึกน้ำแข็งมากแม้เกิด heat shock ขึ้นอีก 2 – 3 รอบ และมีแนวโน้มว่าถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอีกผลึกน้ำแข็งโตขึ้นอย่างช้า ๆ และได้รับการยอมรับสูงถึงแม้เกิด heat shock ขึ้นอีก 3 รอบ (ตารางที่ 14) การทดลองของ Schaller – Povolny and Smith (1999) พบว่าการเติมอินูลินร่วมกับคอร์นไซรัปสามารถเกิดโครงสร้างร่างแหแบบเสริมกัน (synergism) จึงช่วยต้านการเกิด heat shock ได้ดีกว่าการใช้อินูลินอย่างเดียวในขณะที่ Wittinger and Smith (1986)

พบว่าการเติมโลคัสบีนกัมกับคาราจีแนน ซึ่งเกิดเจลแบบเสริมกันช่วยต้านการโตของผลึกน้ำแข็งได้นานกว่า 10 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามแม้ไอศกรีมมีคุณภาพดีได้รับการยอมรับสูงแต่เมื่อไอศกรีมผ่าน heat shock หลายรอบทำให้คุณภาพด้อยลงได้ นอกจากผลึกน้ำแข็งใหญ่ขึ้นความเรียบเนียนลดลงแล้วยังทำให้ไอศกรีมเย็นขึ้น (cold eating) ความแน่นเนื้อของไอศกรีมลดลง ไอศกรีมละลายเร็วขึ้นจึงทำให้การยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยรวมด้อยลง ดังนั้นอุณหภูมิในการเก็บรักษาและการขนส่งไอศกรีมจึงมีความสำคัญต่อคุณภาพของไอศกรีม ต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากหรือบ่อย ๆ นอกจากนี้การปรับปรุงคุณภาพไอศกรีมลดไขมันควรคำนึงถึงความสามารถในการต้านการเกิด heat shock ด้วย จากการทดสอบการยอมรับโดยรวมของไอศกรีมทั้ง 3 ทรีทเมนต์ ซึ่งก่อนเกิด heat shock ได้รับการยอมรับสูง (7.76 – 8.20) (ตารางที่ 15) แต่เมื่อผ่าน heat shock 1 – 3 รอบ ไอศกรีมลดไขมันที่ใช้อินูลินเป็นสารทดแทนไขมันและเติมกลูโคสเป็นสารให้ความหวานสามารถต้าน heat shock ได้ดีที่สุด จึงเหมาะสมสำหรับใช้พัฒนาไอศกรีมลดไขมัน

ตารางที่ 15 ผลความชอบรวมของไอศกรีมวานิลลาลดไขมันที่ผ่านการ heat shock โดยวิธี Hedonic scale

ทรีทเมนต์	Heat shock *			
	Cycle 0	Cycle 1	Cycle 2	Cycle3
Fat 9%	7.76^{f}	7.00^{de}	6.00^{bc}	4.80^{a}
Fat 3%+Inulin	7.80^{f}	7.48^{ef}	6.48^{cd}	5.80^{b}
Fat 3%+Inulin+GS	8.20^{f}	8.00^{f}	7.60^{ef}	6.96^{de}

เมื่อ GS = Glucose Syrup

* 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด

^{a,b,c,d,e,f} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สรุป

1. การเติมอินูลินสายสั้นที่ความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 3 – 6 โดยน้ำหนัก) ทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้นแต่เมื่อความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมละลายช้าลง

2. อินูลินสายยาวให้ไอศกรีมมิกซ์ที่มีความหนืดสูงกว่า ไอศกรีมมีความแข็งมากกว่า การขึ้นฟูต่ำกว่าและละลายช้ากว่าอินูลินสายสั้น ส่วนอินูลินสายยาวและสายสั้นผสมกันอัตราส่วน 1: 1 (รวมเป็นร้อยละ 6) ช่วยปรับปรุงให้ได้คุณภาพไอศกรีมที่ดี ลดการละลายของไอศกรีมได้ดีกว่าการใช้อินูลินสายสั้นอย่างเดียวและให้ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับที่ใกล้เคียงกับไอศกรีมสูตรควบคุม

3. การเติมสารให้ความคงตัวร้อยละ 0.25 ทำให้ไอศกรีมมีความเรียบเนียนต่ำ ละลายเร็ว เมื่อความเข้มข้นเพิ่มเป็นร้อยละ 0.6 ไอศกรีมมิกซ์มีความหนืดสูงเกินไปทำให้ไอศกรีมละลายช้า เหนียวหนืดสูง จึงได้รับการยอมรับต่ำลง พบว่าความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ไอศกรีมมีความเรียบเนียน ความเหนียวหนืด การละลายได้ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมและได้รับการยอมรับมากที่สุด

4. การใช้กลูโคสไซรัป DE กลาง (38.1) ร่วมกับน้ำตาลทรายทำให้ไอศกรีมลดไขมันที่เติมอินูลินมีความเรียบเนียนความแน่นเนื้อ ความเคลือบมันในปากมากขึ้นได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสดีขึ้น

5. เมื่อใช้อินูลินทดแทนไขมันทำให้ไอศกรีมต้านการเกิดปรากฏการณ์ heat shock ดีกว่าไอศกรีมสูตรควบคุม (ไขมันร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก) แต่ต้านปรากฏการณ์ heat shock ได้ไม่ดีเท่าการเติมกลูโคสไซรัปร่วมกับอินูลินทดแทนไขมันซึ่งได้รับความชอบทางเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมที่ดี

ข้อเสนอแนะ

1. อินูลินสายยาวถูกไฮโดรไลซ์ได้กลายเป็นอินูลินสายสั้นได้เมื่อได้รับความร้อนสูงเป็นเวลา นานหรือในสภาวะที่เป็นกรด และอาจทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหไม่ดี ดังนั้นในกระบวนการผลิตไอศกรีมจึงต้องควบคุมอุณหภูมิระหว่างพาสเจอร์ไรซ์ไม่ให้สูงเกินไป นอกจากนั้นการเติมกรดในไอศกรีมเพิ่มปรับให้ไอศกรีมมีรสเปรี้ยวอาจทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมเปลี่ยนไป ไอศกรีมอาจละลายเร็วขึ้นได้

2. การดัดแปรโครงสร้างของอินูลินโดยวิธีเคมีเช่น ปรับให้มีประจุ อาจทำให้คุณสมบัติในการเกิดเจลเปลี่ยนไป เมื่อนำมาผลิตไอศกรีมอาจทำให้ไอศกรีมมีความหนืดเพิ่มขึ้นและละลายช้าลง

3. ข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับของคนไทย (Thai RDI) สำหรับใยอาหารคือ 25 กรัม / วัน ดังนั้นปริมาณอินูลินและใยอาหารอื่น ๆ ที่ได้รับแต่ละวันไม่ควรเกิน 25 กรัม