บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 องค์ประกอบเบื้องต้นทางเคมีและกายภาพของน้ำส้มเขียวหวานคั้น

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำส้มเขียวหวานคั้นมีรสหวานอมเปรี้ยวสังเกตจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่า 9.00 $\pm$ 0.82 °Brix, ความเป็นกรดด่าง 4.00 $\pm$ 0.25 และมีกรดซิตริก 0.57 $\pm$ 0.04 g/100ml เป็นแหล่งวิตามินซี (26.69 $\pm$ 0.99 mg/100ml) และเบต้าแคโรทีน (0.37 $\pm$ 0.04 μ g/ml) มีเอนไซม์ PME 2.25 $\pm$ 0.20 Units/ml ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำส้มคั้นสูญเสียเสถียรภาพความข่นและความหนืด มีสีเหลืองส้มออกเขียวเล็กน้อย (ค่า b เป็นบวกหมายถึงสีเหลือง และค่า a เป็นลบหมายถึงสีเขียว)

เมื่อนำน้ำส้มคั้นมาตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วแยกส่วนใสกับส่วนตะกอนมาเปรียบเทียบค่าความข่นและความหนืด พบว่าน้ำส้มส่วนใสมีเสถียรภาพความข่นและความหนืดน้อยกว่าน้ำส้มส่วนที่ตกตะกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเอนไซม์ PME สลายพันธะเอสเทอร์ของหมู่เมทิลในสายเพคตินเกิดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกอิสระเมื่อรวมตัวกับแคลเซียมเกิดเป็นแคลเซียมเพคเตท และโครงสร้างเพคตินถูกทำลายระหว่างการคั้นน้ำส้ม จึงทำให้น้ำส้มคั้นตกตะกอนและส่งผลให้น้ำส้มส่วนใสมีความข่นและความหนืดน้อยกว่าส่วนที่ตกตะกอนดังกล่าวข้างต้น ซึ่งส่วนของตะกอนนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเป็นสารประกอบเพคตินเชิงซ้อนต่างๆ ดังที่ Klavon และคณะ (1994) เคยรายงานว่าเพคตินมีร้อยละ 4.5 ของสารก่อความข่นในน้ำส้มคั้น โดยแบ่งออกเป็นเพคตินที่รวมตัวกันเองร้อยละ 60 เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตทร้อยละ 25 – 30 และเป็นโปรโตเพคตินร้อยละ 15 ของเพคตินทั้งหมด

5.2 สูตรน้ำส้มเขียวหวานคั้นเบื้องต้น

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสูตรที่มีเกลือ 0.1 %(w/v) และปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 14 องศาบริกซ์ เป็นสูตรที่มีคะแนนทางประสาทสัมผัสทุกๆ ด้านใกล้อุดมคติมากที่สุด อาจเนื่องมาจากสูตรอื่นมีปริมาณเกลือและปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากหรือน้อยเกินไป จึงทำให้รสชาติไม่กลมกล่อมซึ่งส่งผลต่อคะแนนการยอมรับรวมต่ำ ดั้งนั้นจึงนำสูตรดังกล่าวมาเป็นสูตรเพื่อศึกษาหาภาวะในการให้ความร้อนน้ำส้มคั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 กระบวนการผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ

เมื่อนำน้ำส้มคั้นมาเตรียมตามสูตรที่ได้จากข้อ 3.2 จากนั้นแปรอุณหภูมิในการให้ความร้อนเป็น 70, 80, 90 องศาเซลเซียส และแปรเวลาเป็น 30, 60, 90 วินาที

จากรูปที่ 4.4 พบว่าตัวอย่างควบคุมมีความขุ่นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นความขุ่นของตัวอย่างควบคุมเพิ่ม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะยีสต์และแบคทีเรีย เช่น Leuconostoc และ Lactobacillus ชนิดที่ทนน้ำตาลและกรด (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถสร้างสารเมือก เช่น เดกซ์แทรนจากน้ำตาลซูโครสได้ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2543) การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แสดงผล อย่างชัดเจนในรูปที่ 4.16

น้ำส้มคั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30, 60, 90 วินาที และ 80 °C เป็นเวลา 30, 60วินาที มีความขุ่นลดลงเมื่อเก็บไว้ 4 สัปดาห์ แต่ตัวอย่างน้ำส้มคั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 90 วินาที และ90 °C เป็นเวลา 30, 60, 90 วินาที สามารถรักษาความขุ่นได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Sadler และคณะ (1992) ที่ว่า Light pasteurization (LP: 66 °C, 10 วินาที) เพียงพอที่จะยับยั้งเอนไซม์ PME ส่วนใหญ่ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดแคลเซียมเพคเตท ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณเอนไซม์ตั้งต้น Klavons และคณะ (1992) กล่าวว่าความขุ่นของน้ำส้มคั้นที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากความร้อนทำให้โปรตีนและเพคตินรวมตัวกัน แต่อย่างไรก็ตามอาจสันนิษฐานอีกนัยหนึ่งได้ว่าความขุ่นในน้ำผลไม้ตระกูลส้มเป็นกรดเพคติกสายสั้นเพราะละลายน้ำได้ดี ซึ่งกรดเพคติกเกิดจากเอนไซม์ PME สลายพันธะเอสเทอร์ของหมู่เมทิลในสายเพคติน เกิดสายเพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์น้อย เมื่อทำปฏิกิริยากับเอนไซม์พอลิกาแลคทูโรเนสจะได้กรดเพคติกสายสั้นและละลายน้ำได้ดี ประกอบกับแคลเซียมในน้ำส้มมีจำนวนจำกัดจึงทำให้เกิดตะกอนของแคลเซียมเพคเตทเพียงบางส่วน ส่วนกรดเพคติกที่เหลือจึงทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยและก่อความขุ่นในน้ำส้มคั้น จากข้อมูลข้างต้นจึงเลือกการให้ความร้อนที่ระดับ 80 °C เป็นเวลา 90 วินาที สำหรับการศึกษาขั้นต่อไป ส่วนการให้ความร้อนที่ระดับ 90 °C เป็นเวลา 30 วินาที ที่ไม่นำมาศึกษา เนื่องจากคงเวลาไว้น้อยเกินไปทำให้ควบคุม treatment combination ทุกๆ ครั้งให้เท่ากันยากเพราะทำการทดลองแบบ batch

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ ง.2 ในภาคผนวก ง พบว่าตัวอย่างควบคุมมีเอนไซม์ PME (2.23 ± 0.08 Units/ml) สูงกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อนและค่อยๆ ลดลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มขึ้น สำหรับตัวอย่างที่ให้ความร้อนสามารถลดปริมาณเอนไซม์ลงได้ 60 – 70 % ของเอนไซม์ PME

ตั้งต้น (เหลือเพียง 1.04 – 0.66 Units/ml) ขึ้นกับระดับความร้อนที่ให้ และปริมาณเอนไซม์ค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) จึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PME ซึ่งเป็นโปรตีนได้ Kim, Tadini และ Singh (1999) รายงานว่าการพาสเจอร์ไรส์น้ำส้มในช่วง 80 °C, 33.27 วินาที ถึง 90 °C, 17.85 วินาที สามารถลดการทำงานของเอนไซม์ในน้ำส้มได้ถึง 90 % ของ PME ทั้งหมด จากการศึกษาของ Cameron และคณะ (1996, 1998) พบว่าเอนไซม์ PME ในเปลือกส้มสายพันธุ์วาเลนเซียสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูป คือ PME1, PME2, PME3 และ PME4 มีปริมาณ 6, 63.1, 7.9 และ 22.9 % ของ PME ทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งมีเพียง PME 3 เท่านั้นที่ทนความร้อน และเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพความขุ่นหลังการให้ความร้อน ส่วน PME 1, 2 และ 4 ไม่ทนความร้อน

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเสถียรภาพตะกอนของน้ำส้มคั้นที่ให้ความร้อนทุกตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์แรก ต่อจากนั้นมีเสถียรภาพตะกอนค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ซึ่งไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) อาจเป็นเพราะตัวอย่างควบคุมโครงสร้างของสารประกอบเพคตินถูกทำลายในระหว่างการคั้นน้ำและมีเอนไซม์ PME ที่ยังทำงานอยู่จึงทำให้ตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์แรก ส่วนตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ นั้นโครงสร้างของสารประกอบเพคตินบางส่วนถูกทำลายในระหว่างการคั้นน้ำและความร้อนอาจทำให้โครงสร้างถูกทำลายเพิ่มขึ้นจึงตกตะกอนอย่างรวดเร็วภายในสัปดาห์แรกเช่นกัน สอดคล้องกับผลการทดลองของ Yen และ Song (1998) ที่ว่าความร้อนสามารถทำลายโครงสร้างของน้ำฝรั่งได้โดยทำให้สูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำและเพคตินที่ละลายในด่าง อีกทั้งยังทำให้มีปริมาณเพคตินที่ละลายในออกซาเลทเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ Klavons และคณะ (1992) เคยรายงานว่าความร้อนทำให้โปรตีนและเพคตินในน้ำส้มคั้นรวมตัวกัน

จากรูปที่ 4.7-4.8 พบว่าปริมาณเบต้าแคโรทีนและปริมาณวิตามินซีลดลงตามเวลาเก็บที่เพิ่มขึ้น น้ำส้มคั้นที่ได้รับความร้อนสูงและเวลานานสูญเสียเบต้าแคโรทีนและวิตามินมากกว่าน้ำส้มคั้นที่ได้รับความร้อนต่ำและเวลาสั้น ระดับ 90 °C เวลา 90 วินาที สูญเสียเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีมากกว่าระดับอื่น เนื่องจากเบต้าแคโรทีนและวิตามินซีไม่ทนความร้อน ดังนั้นเมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจะสูญเสียเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.9 - 4.11 ความหนืด, ความเป็นกรดด่าง และปริมาณกรดซิตริกของน้ำส้มคั้นที่ให้ความร้อนทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ตลอด 4 สัปดาห์

ค่าสี Lab จากรูปที่ 4.12 - 4.14 พบว่าค่า L ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเก็บนานขึ้น โดยตัวอย่างควบคุมมีสีคล้ำกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อน ในขณะที่ค่า b และค่า - a มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลมาจากการเกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทั้งในลักษณะ oxidative และ non - oxidative reaction (Wong, 1989)

เมื่อนำน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนในระดับต่างๆ มาวัดการกระจายตัวของอนุภาคทันทีที่เตรียมเสร็จดังรูปที่ 4.15 พบว่าการให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อการกระจายตัวของอนุภาค กล่าวคือ ทุกตัวอย่างมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันโดยเฉพาะอนุภาคขนาดที่ต่ำกว่า 10 ไมครอน ไม่ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กนี้น่าจะเป็นอนุภาคของกรดเพคติกที่แขวนลอยและเป็นสารก่อความข่นในน้ำส้มคั้น ดังนั้นอาจจะสรุปได้ว่าการให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ ที่ศึกษานั้นไม่อาจทำให้ขนาดของอนุภาคเปลี่ยนแปลงได้

จากรูปที่ 4.16 พบว่าตัวอย่างควบคุมมีจุลินทรีย์มากกว่าตัวอย่างน้ำส้มคั้นที่ให้ความร้อนและเพิ่มขึ้นเป็น 6.30 log CFU ภายใน 4 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ (70,80, 90 $^{\circ}$C และ 30,60, 90 วินาที) ทุกตัวอย่างมีจุลินทรีย์ 0 log CFU แม้ว่าเวลาเก็บจะผ่านไป 4 สัปดาห์ อาจเป็นเพราะตัวอย่างน้ำส้มคั้นมีความเป็นกรดสูง (pH ≈ 4) และใช้ความร้อนร่วมด้วย อีกทั้งยังควบคุมให้การผลิตอยู่ภายใต้ภาวะปลอดเชื้อ จึงสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้หมด (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) และไม่มีการปนเปื้อนภายหลัง ให้ผลเช่นเดียวกับปริมาณเชื้อยีสต์และรา ซึ่งพบเฉพาะตัวอย่างควบคุมเท่านั้น มีปริมาณ 1.62, 1.76, 3.40, 3.65 และ 4.24 log CFU ในสัปดาห์ที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างน้ำส้มคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ทุกตัวอย่างตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา

สำหรับการประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุกตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนมีคะแนนไม่แตกต่างกันจึงไม่แสดงผลการทดลอง ส่วนตัวอย่างควบคุมมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตภายใน 2 สัปดาห์ จึงหยุดการประเมินผลทางประสาทสัมผัส

5.4 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารให้ความคงตัว

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพบางประการของสารให้ความคงตัว โดยนำเพคติน กลูโคแมนแนน กัวกัม และแซนแทนกัม ซึ่งเป็นสารให้ความคงตัวที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงสูตรการผลิต

5.4.1 ความหนืด (Viscosity)

การที่สารละลายแซนแทนกัม สารละลายกัวกัม และสารละลายกลูโคแมนแนน มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นดังรูปที่ 4.17 เมื่อความเข้มข้นต่ำสายพอลิเมอร์แต่ละสายอยู่ห่างกันจึงไม่สามารถเกิดพันธะของพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ที่แข็งแรงได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นให้สูงขึ้นสาย

พอลิเมอร์จะมาอยู่ใกล้กันมากขึ้นจึงเกิดพันธะที่แข็งแรงส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น (Einstein, 1906) สำหรับเพคตินอาจสันนิษฐานว่ามีปริมาณน้อยเกินไปที่จะเกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์จึงทำให้ความหนืดคงที่

5.4.2 ลักษณะการไหล (Rheological behavior)

เมื่อนำเพคติน กลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม ที่แปรความเข้มข้นเป็น 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 %(w/v) มาเปรียบเทียบความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ที่อัตราการเฉือนเป็น 1, 2, 5, 10 และ 20 วินาที$^{-1}$ เพื่อดูการไหลของสารให้ความคงตัวชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.18-4.21 พบว่าสารละลายเพคติน สารละลายกลูโคแมนแนน สารละลายกัวกัม และสารละลายแซนแทนกัม มีลักษณะการไหลแบบ Newtonian ที่ความเข้มข้นต่ำและแบบ pseudoplastic ที่ความเข้มข้นสูง (Einstein, 1906; Mitchell, 1997; Morris and Ross-Murphy, 1981; Whitcomb and Macosko, 1979)

5.4.3 ผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ต่อความหนืดของสารให้ความคงตัว

เปรียบเทียบสารให้ความคงตัวทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.3 %(w/v) โดยแปรปริมาณเกลือเป็น 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.50, 1.00 และ 2.00 %(w/v) ของสารละลาย จากนั้นนำมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ดังรูปที่ 4.22 พบว่าความหนืดของสารละลายแซนแทนกัม กัวกัมและกลูโคแมนแนน ลดลงเมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น ส่วนสารละลายเพคตินมีความหนืดคงที่ทุกปริมาณเกลือ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเพคตินมีความหนืดที่ต่ำอยู่แล้วจึงไม่ต่ำไปกว่านี้อีก

5.4.4 ผลของน้ำตาลซูโครสต่อความหนืดของสารให้ความคงตัว

เปรียบเทียบสารให้ความคงตัวทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.3 %(w/v) โดยแปรปริมาณน้ำตาลเป็น 0, 5, 8, 10, 12, 14, 16 และ 20 %(w/v) ของสารละลาย จากนั้นนำมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 จากรูปที่ 4.23 พบว่าความหนืดของสารละลายเพคติน กลูโคแมนแนน กัวกัม และแซนแทนกัม ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น

5.4.5 ผลของความเป็นกรดด่าง (pH) ต่อความหนืดของสารให้ความคงตัว

เปรียบเทียบสารให้ความคงตัวทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 0.3 %(w/v) โดยแปร pH เป็น 2, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6 และ 7 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ นำมาวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ดังรูปที่ 4.24 พบว่า pH ไม่มีผลต่อความหนืดของสารละลายเพคติน กลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม ซึ่งสังเกตจากความหนืดที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เปลี่ยนไป

5.5 กระบวนการผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว

นำน้ำส้มคั้นที่เตรียมตามสูตรจากข้อ 3.2 มาแปรปริมาณสารให้ความคงตัว : เพคติ น, กลูโคแมนแนน, กัวกัมและแซนแทนกัม เป็น 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 % (w/v) ให้ความร้อนระดับ 80 $^{\circ}$C, 90 วินาที ที่เลือกศึกษาจากข้อ 3.3

จากรูปที่ 4.25 พบว่าสารละลายเพคตินทุกความเข้มข้นมีความขุ่นต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเป็นเพราะเพคตินที่เติมไปรวมตัวกับสารประกอบเพคตินในน้ำส้มคั้นทำให้มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น จึงตกตะกอนได้ง่าย อีกทั้งยังมีเอนไซม์ PME ที่ทนความร้อนช่วยเร่งการตกตะกอนอีกทางหนึ่ง ส่วนกลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม มีความขุ่นมากกว่าตัวอย่างควบคุมทุกความเข้มข้น อาจสันนิษฐานได้ว่าสารดังกล่าวสามารถสร้างพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ (Einstein, 1906) แล้วเพคตินตกลงมาที่สารดังกล่าว จึงทำให้รักษาเสถียรภาพความขุ่นไว้ได้ ซึ่งขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นที่เติมลงไปด้วย เมื่อเรียงลำดับความขุ่นจากมากไปน้อยได้ ดังนี้คือ แซนแทนกัม กัวกัม กลูโคแมนแนนและเพคติน สารละลายทุกชนิดที่ความเข้มข้นสูงมีความขุ่นมากกว่าความเข้มข้นต่ำ

จากรูปที่ 4.26 พบว่าเสถียรภาพตะกอนให้ผลสอดคล้องกับความขุ่น กล่าวคือเสถียรภาพตะกอนนี้ขึ้นกับชนิดและความเข้มข้นที่เติมลงไป ซึ่งเรียงลำดับการรักษาเสถียรภาพตะกอนจากมากไปน้อยได้ดังนี้คือ แซนแทนกัม กัวกัม กลูโคแมนแนนและเพคติน ความเข้มข้นสูงมีเสถียรภาพตะกอนมากกว่าความเข้มข้นต่ำและสามารถรักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ สารละลายเพคตินทุกความเข้มข้นมีเสถียรภาพตะกอนไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมตัวอย่างควบคุมและไม่สามารถรักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ ส่วนกลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม มีเสถียรภาพตะกอนมากกว่าตัวอย่างควบคุมทุกความเข้มข้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับความหนืดในรูปที่ 4.27 โดยสารที่มีความหนืดสูงจะมีเสถียรภาพตะกอนสูง และสามารถรักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ดีกว่าสารที่มีความหนืดต่ำ

จากรูปที่ 4.28 พบว่าตัวอย่างควบคุมมีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงตามอายุการเก็บ ตัวอย่างที่เติมสารให้ความคงตัวส่วนใหญ่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนน้อยในสัปดาห์แรก เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และค่อยๆ ลดลงเมื่อถึง 4 สัปดาห์ อาจสันนิษฐานได้ว่าช่วงสัปดาห์แรกเบต้าแคโรทีนเข้าไปพันกับสายพอลิเมอร์ที่เติมลงไปจึงทำให้วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนได้น้อย การเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 อาจมาจากโครงสร้างของพอลิเมอร์อ่อนลงจึงสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากับน้ำทำให้วิเคราะห์ปริมาณได้สูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์พบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงอีกอาจมีสาเหตุมาจากเบต้าแคโรทีนที่ออกมากับน้ำนั้นสลายตัวหมดแล้วก็เป็นได้

จากรูปที่ 4.29 พบว่าปริมาณวิตามินซีทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงตามเวลาเก็บ โดยตัวอย่างควบคุมจะลดลงต่ำกว่าตัวอย่างอื่น ซึ่งตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของสารให้ความคงตัวสูงจะรักษาวิตามินซีได้ดีกว่า ทั้งนี้เพราะสารให้ความคงตัวไปห่อหุ้มวิตามินซีจึงป้องกันการสูญเสียจากภาวะต่างๆ ในการผลิตและการเก็บรักษาได้ เช่น ความร้อน แสง และออกซิเจน เป็นต้น

ค่าสี Lab จากรูปที่ 4.30-4.32 พบว่าค่า L และค่า -a ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงตามเวลาเก็บ ขณะที่ค่า b มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทำให้ตัวอย่างมีสีคล้ำลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ดทั้งในลักษณะ oxidative และ non- oxidative reaction (Wong, 1989)

จากรูปที่ 4.33 พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค โดยทุกตัวอย่างมีปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก (<10 ไมครอน) ใกล้เคียงกัน ดังนั้นแสดงว่าค่าความขุ่นที่มากกว่าตัวอย่างควบคุม อาจเนื่องมาจากอนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยอยู่บนโครงร่างตาข่ายของสารให้ความคงตัวก็เป็นได้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 4.2 พบว่าความขุ่นของเพคตินทุกระดับไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม และส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำไปด้วย ส่วนตัวอย่างที่เติมสารให้ความคงตัวชนิดอื่นๆ พบว่าที่ 0.3 %(w/v) มีคะแนนการยอมรับรวมมากที่สุด เพราะตัวอย่างที่ 0.5 % (w/v) มี mouth feel มากเกินไป กล่าวคือ มีสารที่เหลือเคลือบที่ลิ้นและปากมากเกินไปหรือมีความหนืดสูงนั่นเอง ทำให้ผู้ทดสอบไม่ยอมรับจึงส่งผลให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำไปด้วย ดังนั้นจึงเลือกกลูโคแมนแนน กัวกัมและแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) มาใช้เป็นสารให้ความคงตัวสำหรับการศึกษาในขั้นต่อไป

5.6 การใช้สารให้ความคงตัว 2 ชนิดร่วมกัน

เมื่อนำกลูโคแมนแนนผสมกับแซนแทนกัม กลูโคแมนแนนผสมกับกัวกัม กัวกัมผสมกับแซนแทนกัม ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0.3 % (w/v) โดยแปรอัตราส่วนของสารผสมเป็น 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 จากนั้นวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield Digital Viscometer รุ่น DV-II + version 3.2 ที่อัตราการเฉือนเป็น 1, 2, 4, 5, 8, 10, 20, 40 และ 100 วินาที$^{-1}$ และเปรียบเทียบกับสารละลายกลูโคแมนแนน กัวกัม และแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้นเดียวกัน เพื่อศึกษาลักษณะแนวโน้มการเสริมฤทธิ์กันของสารผสม

จากรูปที่ 4.34 พบว่าสารผสมระหว่างกลูโคแมนแนนกับแซนแทนกัมมีการเสริมฤทธิ์กันที่ทุกอัตราส่วน ซึ่งที่อัตราส่วน 50:50 และ 25:75 มีค่าใกล้เคียงกันและให้ค่าความหนืดสูงกว่าที่อัตราส่วน 75:25 อีกทั้งยังให้ความหนืดสูงกว่าสารละลายกลูโคแมนแนนและสารละลายแซนแทนกัมเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) ที่เป็นเช่นนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเกิดอันตรกิริยาระหว่างกลูโคแมนแนนกับแซนแทนกัม โดยแซนแทนกัมเกิดการจับตัวกันเป็น random coil ด้วยพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จากนั้นกลูโคแมนแนนส่วนที่ไม่มีกิ่งเข้าไปทำอันตรกิริยาด้วยจึงเกิดเป็นเจลที่แข็งแรงแม้ว่าความเข้มข้นต่ำ (Dea et at., 1972)

จากรูปที่ 4.35 พบว่าสารผสมระหว่างกลูโคแมนแนนกับกัวกัมไม่มีการเสริมฤทธิ์กันที่ทุกอัตราส่วน และมีความหนืดไม่แตกต่างกับสารละลายกลูโคแมนแนนและสารละลายกัวกัมเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ากลูโคแมนแนนและกัวกัมมีกิ่งในสายพอลิเมอร์มาก ส่งผลให้เกิดการผลักกันของสายกิ่งดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่เกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์-พอลิเมอร์

จากรูปที่ 4.36 พบว่าสารผสมระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัมมีการเสริมฤทธิ์กันที่อัตราส่วน 50:50 และ 25:75 ให้ความหนืดสูงกว่าสารละลายกัวกัมและสารละลายแซนแทนกัมเพียงอย่างเดียวที่ความเข้มข้น 0.3 % (w/v) ที่เป็นเช่นนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าเกิดอันตรกิริยาระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัม โดยแซนแทนกัมเกิดการจับตัวกันเป็น random coil ด้วยพันธะพอลิ เมอร์-พอลิเมอร์ จากนั้นกัวกัมส่วนที่ไม่มีกิ่งเข้าไปทำอันตรกิริยาด้วยจึงเกิดพันธะที่แข็งแรง (Dea et at., 1972) แต่สำหรับที่อัตราส่วน 75:25 สารผสมระหว่างกัวกัมกับแซนแทนกัมไม่มีการเสริมฤทธิ์กัน อาจเนื่องจากมีสัดส่วนของกัวกัมมากเกินไปซึ่งกัวกัมมีสายกิ่งมากจึงขัดขวางการเกิดพันธะระหว่างพอลิเมอร์ได้ ทำให้มีความหนืดอยู่ระหว่างความหนืดของสารละลายกัวกัมและสารละลายแซนแทนกัมเพียงอย่างเดียว

5.7 กระบวนการผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยให้ความร้อนที่ระดับต่างๆ ร่วมกับสารให้ความคงตัว 2 ชนิด

เมื่อนำน้ำส้มคั้นที่เตรียมตามสูตรจากข้อ 3.2 มาแปรปริมาณสารให้ความคงตัว 2 ชนิด ดังนี้ กลูโคแมนแนน (GM) ผสมกับแซนแทนกัม (XG) กลูโคแมนแนน (GM) ผสมกับ กัวกัม(GG) และ กัวกัม (GG) ผสมกับแซนแทนกัม (XG) ให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายเป็น 0.3 % (w/v) โดยแปรอัตราส่วนของสารผสมเป็น 25 : 75, 50 : 50 และ 75 : 25 จากนั้นให้ความร้อนระดับที่เลือกได้จากข้อ 3.3 ได้ผลการทดลองดังนี้

จากรูปที่ 4.37 พบว่าสารผสมระหว่าง GM:XG และ GG:XG ทุกอัตราส่วนและสารละลายละลาย XG สามารถรักษาเสถียรภาพความขุ่นได้ 4 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีค่าความขุ่นต่ำกว่า อาจสันนิษฐานได้ว่าสารดังกล่าวมีการเสริมฤทธิ์กันโดยสร้างพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จนเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Dea et at., 1972) แล้วสารก่อความขุ่นในน้ำส้มคั้นตกลงมาที่โครงร่างตาข่ายของสารดังกล่าว จึงทำให้รักษาเสถียรภาพความขุ่นไว้ได้ ซึ่งโครงร่างตาข่ายของสารแต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการรักษาเสถียรภาพความขุ่นแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.38 พบว่าเสถียรภาพตะกอนให้ผลสอดคล้องกับความขุ่น กล่าวคือ สารผสมระหว่าง GM:XG และ GG:XG ทุกอัตราส่วนและสารละลายละลาย XG สามารถทำให้เสถียรภาพตะกอนไม่ตกลงมีค่า 100 ml ได้ตลอด 4 สัปดาห์ อาจสันนิษฐานได้ว่าสารดังกล่าวมีการเสริมฤทธิ์กันโดยสร้างพันธะพอลิเมอร์-พอลิเมอร์ จนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายซึ่งโครงสร้างนี้สามารถอุ้มน้ำได้สูงจึงป้องกันการตกตะกอนได้อย่างน้อย 4 สัปดาห์ ส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีเสถียรภาพตะกอนลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

จากรูปที่ 4.39 พบว่า GM:XG ที่อัตราส่วน 50:50 มีความหนืดสูงที่สุด ส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีความหนืดใกล้เคียงกันและคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้เนื่องมาจากสารผสม GM:XG ที่อัตราส่วน 50:50 มีการเสริมฤทธิ์กันสูงที่สุด ซึ่งสังเกตจากค่าความหนืดเริ่มต้นของสารผสม GM:XG จากรูปที่ 4.33

จากรูปที่ 4.40 พบว่าทุกตัวอย่างมีปริมาณเบต้าแคโรทีนน้อยในสัปดาห์แรก เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 และค่อยๆ ลดลงเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 4 อาจสันนิษฐานได้ว่าช่วงสัปดาห์แรกเบต้าแคโรทีนเข้าไปพันกับสายพอลิเมอร์ที่เติมลงไปจึงทำให้วิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนได้น้อย การเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 2 อาจมาจากโครงสร้างของพอลิเมอร์อ่อนลงจึงสูญเสียเบต้าแคโรทีนมากับน้ำทำให้วิเคราะห์ปริมาณได้สูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์พบว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีนลดลงอีกอาจมีสาเหตุมาจากเบต้าแคโรทีนที่ออกมากับน้ำนั้นสลายตัวหมดแล้วก็เป็นได้

จากรูปที่ 4.41 ส่วนปริมาณวิตามินซีค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสารให้ความคงตัวไปห่อหุ้มวิตามินซี จึงป้องกันการสูญเสียจากภาวะต่างๆ ในการผลิตและการเก็บรักษาได้ เช่น ความร้อน แสง และออกซิเจน เป็นต้น

ค่าสี Lab จากรูปที่ 4.42 - 4.44 พบว่าค่า Lab ของทุกตัวอย่างค่อนข้างคงที่ตลอด 4 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากโครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้นสามารถบดบังปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดจากแสงหรือออกซิเจนได้

จากรูปที่ 4.45 พบว่าการเติมสารให้ความคงตัวที่ผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ไม่มีผลต่อขนาดอนุภาค ทุกตัวอย่างมีปริมาณอนุภาคขนาดเล็ก (<10 ไมครอน) ใกล้เคียงกัน ดังนั้นแสดงว่าค่าความข่นและปริมาณตะกอนที่สูง อาจเนื่องมาจากอนุภาคขนาดเล็กแขวนลอยอยู่บนโครงร่างตาข่ายของสารให้ความคงตัวก็เป็นได้

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากตารางที่ 4.3 พบว่าตัวอย่างที่เติมสารผสมระหว่าง GM : XG ทุกอัตราส่วน มีคะแนนการยอมรับรวมต่ำ ทั้งที่มีคะแนนความข่นสูง แต่เนื่องจากมีคะแนน mouth feel มากเกินไปจึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมต่ำ เพราะตัวอย่างดังกล่าวเกิดเป็นเจล ตัวอย่างที่เติมสารผสมระหว่าง GM : GG ทุกอัตราส่วน มีคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในระดับปานกลาง และมีคะแนน mouth feel น้อย แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างดังกล่าวมีคะแนนความข่นค่อนข้างต่ำ จึงทำให้คะแนนการยอมรับรวมอยู่ในระดับปานกลางเท่านั้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับสารละลาย GM, GG และ XG สำหรับตัวอย่างที่เติมสารผสม GG : XG ทุกอัตราส่วน มีคะแนนการยอมรับรวมสูง มีคะแนน mouth feel ต่ำและมีคะแนนความข่นสูง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปผลิตน้ำส้มเขียวหวานคั้นในภาชนะบรรจุปิดสนิทโดยใช้ความร้อนร่วมกับสารให้ความคงตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย