บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

5.1. วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำส้มเขียวหวานสด

น้ำส้มที่ได้จากการคั้นน้ำและนำมาผ่านความร้อน เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่ามีลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และวิตามินซี ปริมาณ 11.39 ส่วนในล้านส่วน 179.5 ส่วนในล้านส่วน 0.93 % และ 42.95 มก./100 มล. ตามลำดับ (ตารางที่ 4) กรณีที่ลิโมนินมีปริมาณสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของ Florida Department of Citrus ซึ่งกำหนดว่าน้ำคั้นเกรพฟรุตเกรดเอ มีปริมาณลิโมนิน 5.0 ส่วนในล้านส่วน เกรดบี มีปริมาณลิโมนิน 7.0 ส่วนในล้านส่วน ส่วนในน้ำส้มคั้นต้องมีปริมาณลิโมนินน้อยกว่า 9.0 ส่วนในล้านส่วน (Johnson and Chandler, 1982) นั้นเนื่องมาจากการคั้นน้ำส้มจะคั้น 3 ครั้งต่อส้ม 1 ซีก และในแต่ละครั้งจะใช้แรงกดจนถึงจุดที่เครื่องกำหนดไว้ ทำให้ช่องว่างระหว่างตะแกรงกับแผ่นที่ใช้กดเท่ากันทุกครั้ง มีผลทำให้เปลือก เนื้อเยื่อ และเมล็ดส้มถูกทำลาย ฉีกขาดหรือแตกออก จะปล่อย limonoic acid A-ring lactone และเมื่ออยู่ในน้ำส้มคั้นที่มีสภาพเป็นกรดจะทำให้ limonoic acid A-ring lactone ซึ่งเป็นสารตันตอของลิโมนินที่ไม่มีรสขม จะเปลี่ยนรูปเป็นลิโมนินซึ่งมีรสขม (Maier and Beverly, 1968) และเมื่อนำไปให้ความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น (Ting and Attaway, 1971)

ส่วนปริมาณนารินจินมีปริมาณมากในเนื้อเยื่อ และเปลือกชั้นใน เมื่อคั้นน้ำส้มจะทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลาย นารินจินจะแพร่กระจายอยู่ในน้ำส้มคั้น แต่การให้ความร้อนไม่มีผลต่อปริมาณนารินจิน (Atthapol Noomhorm and Nittaya Kasemsuksakul, 1992) ซึ่งปริมาณนารินจินในน้ำส้มระดับที่สามารถรับความรู้สึกได้ 700 ส่วนในล้านส่วน (Kefford and Chandler, 1970) แต่จากการวิเคราะห์น้ำส้มเขียวหวานคั้นมีปริมาณนารินจิน 179.5 ส่วนในล้านส่วน เมื่อเทียบกับปริมาณลิโมนินแล้ว ดังนั้นจัดได้ว่าลิโมนินเป็นสารก่อรสขมตัวที่สำคัญที่สุดในน้ำส้มเขียวหวาน

ในน้ำส้มคั้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดส่วนมากเป็นน้ำตาล มีค่าองศาบริกซ์ 11 องศาบริกซ์ มีกรดซิตริกและกรดแอสคอบิกค่อนข้างสูง ซึ่งค่าองศาบริกซ์มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดสามารถแสดงเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าองศาบริกซ์ต่อกรด จากการวิเคราะห์พบว่าค่าองศาบริกซ์ต่อกรดมีค่าเท่ากับ 11.83 แต่มาตรฐานของ US กำหนดว่า

น้ำส้มคั้นเกรดเอต้องมีอัตราส่วนค่าองศาบริกซ์ต่อกรดน้อยกว่า 9 ถึงแม้ว่าค่าองศาบริกซ์จะมากกว่า 11.5 ก็ตาม (Kimball, 1991) เมื่อพิจารณาค่า pH ในน้ำส้มคั้นเท่ากับ 3.5 ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณกรด ที่ความเป็นกรดสูงจะไปเร่งปฏิกิริยาการเพิ่มของปริมาณลิโมนิน ก่อให้เกิดรสขม จึงต้องทดลองศึกษาการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปต่อไป

5.2. เปรียบเทียบโครงสร้างของเปลือกไข่ธรรมชาติกับโครงสร้างเปลือกไข่ปลอดโปรตีน

จากการพิจารณาโครงสร้างของเปลือกไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบสแกน รูปที่ 8, 9 และ 10 ทำให้เห็นความแตกต่างของเปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน โดยเปลือกไข่ธรรมชาติที่ผนังด้านในของเปลือกไข่จะมีเยื่อเปลือกไข่เป็นเส้นใยเส้นเล็ก ๆ มารวมกันขนานไปกับเปลือกไข่และติดอยู่กับเปลือกชั้นใน เส้นใยนี้ประกอบด้วยโปรตีนซึ่งล้อมรอบด้วยมิวโคพอลีแซคคาไรด์ จะแยกออกจากปุ่มพื้นเปลือกตามรอยแยก (Tullett, 1987) ในขณะที่เปลือกไข่ปลอดโปรตีนพบว่าไม่มีเส้นใยโปรตีนติดอยู่กับเยื่อเปลือกไข่ เนื่องจากสารละลายด่างทำลายเยื่อเปลือกไข่และส่วนเคลือบผิวไข่ทำให้เห็นรูพื้นเปลือกจำนวนมาก ส่วนผนังด้านในจะเห็นปุ่มพื้นเปลือกเป็นปุ่มครึ่งทรงกลมมีลักษณะหยาบและขรุขระแสดงถึงเมทริกซ์ที่เป็นสารพวกโปรตีน ซึ่งจะละลายได้ในสารละลายด่าง จากความแตกต่างทางด้านกายภาพของเปลือกไข่น่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่าง ๆ จึงได้นำเปลือกไข่ทั้ง 2 ลักษณะมาใช้เพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพการดูดซับ ดังการทดลองต่อไป

5.3. ภาวะที่เหมาะสมในการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเชียวหวานอย่างต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ

จากผลการทดลองวัดการลดลงของลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก วิตามินซี สี และค่าองศาบริกซ์ในน้ำส้มเชียวหวาน 2 ซ้ำ โดยใช้เปลือกไข่ ขนาดอนุภาค 3 ระดับ คือ 20-40, 40-60 และ60-80 เมช สัดส่วนระหว่างความเร็วการไหลต่อปริมาตรของเบดเปลือกไข่ 2, 4 และ 6 นาที $^{-1}$ แสดงผลไว้ในตารางที่ 5 และตารางที่ 6 พบว่าขนาดอนุภาคและสัดส่วนระหว่างความเร็วการไหลต่อปริมาตรของเบดเปลือกไข่มีผลร่วมต่อการลดปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และสี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ไม่มีผลต่อวิตามินซี ค่าองศาบริกซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

พิจารณาจากค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณลิโมนินที่ลดลง รูปที่ 11 พบว่าเปลือกไข่ทุกขนาดอนุภาคและทุกสัดส่วนความเร็วการไหลต่อปริมาตรเบดเปลือกไข่ มีแนวโน้มเดียว

กันคือ ในขนาดปริมาตรเบดแรกของการไหลเวียนของน้ำส้ม (40 มล.) เปลือกไข่ธรรมชาติจะลดปริมาณลิโมนินได้ดี หลังจากนั้นเมื่อน้ำส้มไหลผ่านเปลือกไข่หลายๆครั้งจนถึงขนาดปริมาตรเบดของการไหลเวียนของน้ำส้มครั้งที่ 5 ความสามารถในการดูดซับลิโมนินจะลดลง เมื่อคำนวณความแตกต่างทางสถิติโดย Duncan's New Multiple Range Test พบว่าเมื่อรวมขนาดปริมาตรเบดการไหลเวียนของน้ำส้มทั้ง 5 ครั้ง ขนาดอนุภาค 60 - 80 เมช สัดส่วนความเร็วการไหลต่อปริมาตรเบดเปลือกไข่ 2 นาที $^{-1}$ จะสามารถลดปริมาณลิโมนินได้สูงสุดร้อยละ 33.05 ดังแสดงประกอบตามรูปที่ 12 คือ โครมาโทแกรมของลิโมนินที่ปรากฏในการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วย HPLC จะเห็นว่าปริมาณลิโมนินลดลงจากโครมาโทแกรม A เป็นโครมาโทแกรม B-F

จากค่าเฉลี่ยร้อยละปริมาณนารินจินที่ลดลง รูปที่ 13 อธิบายผลได้ทำนองเดียวกันกับการลดลงของปริมาณลิโมนิน นำข้อมูลวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่า เมื่อรวมขนาดปริมาตรเบดการไหลเวียนของน้ำส้มทั้ง 5 ครั้ง ขนาดอนุภาค 60 - 80 เมช สัดส่วนความเร็วการไหลของปริมาตรของเบดเปลือกไข่ 2 นาที $^{-1}$ จะสามารถลดปริมาณนารินจินได้สูงสุดร้อยละ 17.85 ดังตารางที่ 5 ซึ่งเป็นภาวะที่สามารถลดปริมาณลิโมนินได้สูงสุดเช่นกัน

ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณกรดซิตริกที่ลดลง รูปที่ 14 พบว่าเปลือกไข่ทั้ง 3 ขนาดอนุภาค และทั้ง 3 สัดส่วนความเร็วการไหลต่อปริมาตรเบดเปลือกไข่ สามารถดูดซับกรดได้ดีในทุกๆ ขนาดปริมาตรเบดของการไหลเวียนของน้ำส้ม เมื่อนำไปวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยนำทุกขนาดปริมาตรเบดของการไหลเวียนของน้ำส้มมารวมกันในแต่ละทรีตเมนต์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของกรดซิตริกใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือเปลือกไข่ธรรมชาติสามารถดูดซับกรดได้ดีตั้งแต่ร้อยละ 71.77 - 78.80 ดังตารางที่ 5

จากปรากฏการณ์การลดลงของสารประกอบในน้ำส้มที่ชี้แจงมานั้นจะเห็นว่าประเด็นสำคัญสืบเนื่องมาจากขนาดอนุภาคเปลือกไข่ กล่าวคือ**การที่เปลือกไข่ที่มีขนาดเล็กและมีสัดส่วนความเร็วการไหลต่อปริมาตรเบดเปลือกไข่ช้า ๆสามารถลดปริมาณลิโมนิน นารินจิน และกรดซิตริกได้ดี เป็นเพราะว่าเปลือกไข่ที่มีอนุภาคขนาดเล็กทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับสารต่าง ๆได้ดี และเมื่อให้น้ำส้มไหลผ่านเปลือกไข่โดยมีสัดส่วนความเร็วการไหลต่อปริมาตรเบดเปลือกไข่ช้า ๆ ทำให้เปลือกไข่มีเวลาสัมผัส (contact time) กับสารต่าง ๆได้นาน**

การที่เปลือกไข่มีประสิทธิภาพในการดูดซับลิโมนินได้นั้น จากโครงสร้างเปลือกไข่รูปที่ 9 ในขั้นต้นสันนิษฐานว่าอาจเป็นผลมาจากเส้นใยโปรตีนที่ติดกับเปลือกชั้นในมีกลุ่มอะมิโนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกลุ่มแลคโตนของลิโมนินเป็นพันธะระหว่างอะมิโน-ไฮโดรเจน เช่นเดียวกับโพลีอาไมด์ซึ่งมีกลุ่มอาไมด์ (Chandler et al., 1968) แต่อย่างไรก็ตาม

เปลือกไข่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถใช้เป็นตัวดูดซับสารต่างๆ ได้เช่นเดียวกับแมกนีเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมไตรซิลิเกต ฟูเลอร์เอิรธ์ (fuller's earth) น้ำตาล ถ่านไม้ (charcoal) และ แร่อ่อนซึ่งใช้ทำแป้ง (talc) (Strouts, Gilfillan and Wilson, 1977)

กรณีที่ดูดซับนารินจินได้น้อยกว่าลิโมนินอาจเนื่องมาจากโมเลกุลนารินจินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าโมเลกุลลิโมนินจึงเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าลิโมนิน (Johnson and Chandler, 1988) ประกอบกับในน้ำส้มมีปริมาณนารินจินสูงกว่าปริมาณลิโมนิน และจากงานวิจัยของ Hernandez และคณะ (1992) รายงานว่าโมเลกุลของนารินจินมีขั้ว(polar)มากกว่าโมเลกุลของลิโมนินมีแนวโน้มที่จะมีความสามารถในการดูดซับ (affinity) น้อยต่อตัวดูดซับที่เป็นไฮโดรโฟบิค เช่น Amberite XAD-16

เปลือกไข่สามารถลดกรดซิตริกได้ดีมากถึงร้อยละ 70 นั้นน่าจะเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิออน ดังปฏิกิริยา

$$6CaCO_3 + 4C_6H_8O_7 \longrightarrow 2\ Ca_3(C_6H_5O_7)_2 .5\ H_2O + 6CO_2 + H_2O$$

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3^-$$

ผลการทดลองพบว่าเมื่อกรดซิตริกทำปฏิกิริยากับแคลเซียมจะมีฟองก๊าซเมื่อทดสอบกับน้ำปูนใสพบว่าน้ำปูนใสจะขุ่นเล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเมื่อรวมกับน้ำจะกลายเป็นกรดคาร์บอนิก ส่วนแคลเซียมซิเทรตที่เกิดขึ้นละลายได้ในน้ำดังนั้นจะยังคงละลายอยู่ในน้ำส้ม และจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องการดูดกลืนโดยอะตอม (Atomic absorption) พบว่าในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับจะมีปริมาณแคลเซียมเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการดูดซับ และจากการวัดค่าองศาบริกซ์พบว่าไม่เปลี่ยนแปลงในทุกปริมาตรเบดการไหลเวียนของน้ำส้ม นอกจากนี้การดูดซับกรดซิตริกอาจเนื่องมาจากเส้นใยโปรตีนและพวกมิวโคพอลีแซคคาไรด์ที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเปลือกไข่สามารถแลกประจุกับสารอินทรีย์ได้ จากงานวิจัยของ Courture และ Rouseff (1992) ใช้ IRA-93 ซึ่งเป็นเรซิน ที่แลกเปลี่ยนประจุลบ (anion exchange resin) พบว่าสามารถดูดซับกรดซิตริกได้ร้อยละ 87

จากค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณวิตามินซีที่ลดลง จะพบว่าในทุกทรีตเมนต์นั้นขนาดปริมาตรเบดแรกของการไหลเวียนของน้ำส้มปริมาณวิตามินซีจะลดลงมาก แต่เมื่อรวมทุกปริมาตรเบดของการไหลเวียนของน้ำส้มในแต่ละทรีตเมนต์ จะเห็นว่าสูญเสียวิตามินซีเพียงร้อยละ 0.26 - 1.28 เท่านั้น ดังตารางที่ 5 การที่เป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากใน**กระบวนการต่อเนื่องมีการพ่นก๊าซไนโตรเจนไปแทนที่อากาศซึ่งมีปริมาณออกซิเจนสูงร้อยละ 21 ได้ และมีผลในการเพิ่มเสถียรภาพของวิตามินซี ซึ่งจะรักษาวิตามินซีไม่ให้สูญเสีย** จากรายงานการวิจัยของ Couture และ Rouseff (1992) ใช้ IRA 93 พบว่าสูญเสียวิตามินซี ร้อยละ 18-27

ส่วนเรซินพวกนิวทรัล (neutral resin) เช่น XAD-16 ทำให้สูญเสียวิตามินซีเล็กน้อย ส่วนงานวิจัยของ Chandler และคณะ (1968) ใช้โพลีอาไมด์ สูญเสียวิตามินซีร้อยละ 30

จากการคำนวณความแตกต่างของค่าความแตกต่างของสีในผลิตภัณฑ์ตารางที่ 6 พบว่าทุกทรีตเมนต์ของตัวอย่างมีค่า ΔE แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาค่า ΔE ของแต่ละตัวอย่างในทุกทรีตเมนต์จะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันมากคืออยู่ระหว่าง 0.68-1.38 สำหรับกรณีที่ค่า $\Delta E = 1 - 2$ แสดงว่าสีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามมาตรฐานการวัดสีของผลิตภัณฑ์ (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2539) อาจเกิดจาก**เปลือกไข่สามารถดูดซับสีซึ่งเป็นรงควัตถุเช่น β-cryptoxanthin ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในน้ำส้มและเป็นสารหลักที่ให้สีส้มแก่น้ำส้มได้บ้างแต่น้อย หรือเปลือกไข่ทุกขนาดอนุภาคและทุกปริมาณที่นำมาศึกษานั้นสามารถดูดซับรงควัตถุได้อย่างเต็มที่จนอิ่มตัว**

ส่วนค่าองศาบริกซ์จะลดลงเล็กน้อยในตอนเริ่มต้นการผ่านคอลัมน์ เนื่องมาจากมีน้ำทำให้เจือจาง แต่ในปริมาตรเบดการไหลเวียนของน้ำส้มต่อๆไป ค่าองศาบริกซ์จะไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าไม่มีการดูดซับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Johnson และ Chandler (1981) ที่ใช้เซลลูโลสอะซีเทตในกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยคอลัมน์ ไม่ทำให้ค่าองศาบริกซ์เปลี่ยนแปลง แต่ในรายงานการวิจัยของ Johnson และ Chandler (1982) ใช้ Amberite XAD-12 จะทำให้ค่าองศาบริกซ์เปลี่ยนแปลงร้อยละ 7 ซึ่งเห็นได้ว่าเปลือกไข่มีข้อได้เปรียบมากกว่าตัวดูดซับสังเคราะห์ จึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการลดรสขมและรสเปรี้ยวได้

5.4. ประเมินภาวะที่เหมาะสมในการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน

5.4.1.วิเคราะห์ภาวะที่เหมาะสมในการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ

จากการติดตามการลดลงของลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก วิตามินซี สี และค่าองศาบริกซ์ในน้ำส้มเขียวหวานเมื่อทดลอง 2 ซ้ำ โดยใช้เปลือกไข่ ขนาดอนุภาค 3 ระดับ คือ 20-40, 40-60 และ60-80 เมช ในปริมาณน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้มต่าง ๆ 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 กรัมต่อปริมาตรน้ำส้ม 100 มล. ทำปฏิกิริยาโดยเขย่าตลอดระยะเวลา 10, 30 และ 60 นาที พบว่าขนาดอนุภาค ปริมาณเปลือกไข่และระยะเวลาในการเขย่ามีผลร่วมต่ออัตราการลดลงของลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก วิตามินซี และสี อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามตารางที่ 7 ไม่มีผลต่อค่าองศาบริกซ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

เมื่อได้พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนินลดลง ต่อปริมาณเปลือกไข่และระยะเวลาต่างๆกัน ที่เปลือกไข่ขนาดอนุภาค (ก) 20-40, (ข) 40-60 และ (ค) 60-80เมช พบว่าเปลือกไข่ในขนาดอนุภาคเดียวกัน เมื่อปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาตรน้ำส้มเพิ่มมากขึ้น และเวลาเพิ่มขึ้น จะให้ผลในการลดปริมาณลิโมนินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขนาดอนุภาค 40-60 และ 60-80 เมช จะให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน คือปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาตรน้ำส้มเพิ่มขึ้น และเวลาเพิ่มขึ้น จะลดปริมาณลิโมนินได้มากขึ้น ตามรูปกราฟที่ 16 แต่จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดย **Duncan's New Multiple Range Test** พบว่าขนาดอนุภาคเปลือกไข่ 60-80 เมช จำนวนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้ม ในเวลา 1 ช.ม. หรือ 60 นาที จะสามารถลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้สูงสุดกล่าวคือจากเดิม 11.39 ส่วนในล้านส่วน ลดเหลือ 7.80 ส่วนในล้านส่วน คิดเป็นร้อยละ 31.56 ดังแสดงประกอบตาม รูปที่ 17 คือ โครมาโทแกรมของลิโมนินที่ปรากฏในการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินด้วย HPLC จะเห็นว่าปริมาณลิโมนินลดลงจาก โครมาโทแกรม A เป็น โครมาโทแกรม B

ในส่วนของการพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณนารินจินลดลง ต่อปริมาณเปลือกไข่และระยะเวลาต่าง ๆ กัน ที่เปลือกไข่ขนาดอนุภาค (ก) 20-40, (ข) 40-60 และ(ค) 60-80 เมช พบว่าในขนาดอนุภาคเดียวกัน เมื่อปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาตรน้ำส้มเพิ่มมากขึ้น และเวลาเพิ่มขึ้น จะลดปริมาณนารินจินได้มากขึ้น ซึ่งขนาดอนุภาค 40-60 และ 60-80 เมช ให้ผลในทำนองเดียวกัน ตามรูปที่ 18 เมื่อคำนวณความแตกต่างทางสถิติ พบว่าเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 60-80 เมช จำนวนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้ม เวลา 60 นาที จะลดปริมาณนารินจินในน้ำส้มได้สูงสุดเช่นกัน คิดเป็นลดลงได้ร้อยละ 24.02 ซึ่งเป็นภาวะการทดลองเดียวกันกับที่เปลือกไข่สามารถทำให้ปริมาณลิโมนินลดลงได้สูงสุด

นอกจากนี้จะพบว่าภายใต้ภาวะการทดลองดังกล่าว ปริมาณกรดซิตริกลดลงสูงสุดเช่นกัน กล่าวคือ กรดซิตริกลดลงจากเดิม 0.93% เป็น 0.25% ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 74.05 ดังรูปที่ 19

จากผลการทดลองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับอัตราการลดลงของลิโมนิน นารินจิน และกรดซิตริก **อธิบายได้ว่าอนุภาคเปลือกไข่ขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสโดยรวมของเปลือกไข่สามารถเรียงตัวกันและจับกับโมเลกุลของลิโมนิน นารินจินและกรดซิตริกได้มากกว่าอนุภาคเปลือกไข่ขนาดใหญ่ ประกอบกับเมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่น้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้มมากขึ้น ทำให้จำนวนรูพรุนของเปลือกไข่เพิ่มมาก และเวลาในการเขย่านานขึ้น เวลาสัมผัสกับสารต่างๆจะเพิ่มขึ้น จึงลดปริมาณสารเหล่านี้ได้มาก และมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารดังกล่าวได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน** และการที่เปลือกไข่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารต่างๆ ได้นั้นอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับข้อ 5.3

สำหรับกรณีประสิทธิภาพของเปลือกไข่ขนาดอนุภาคต่างๆกันในการดูดซับสารพวกวิตามินซีรงควัตถุและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ นั้นไม่แตกต่างกันมากนักกล่าวคือ ตามรูปที่ 20 เมื่อพิจารณาปริมาณวิตามินซีที่ลดลงพบว่ามีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก ในภาวะที่ปริมาณลิโมนินลดลงได้มากที่สุด วิตามินซีลดลงร้อยละ 17.30 จากเดิม 42.95 มก./100 มล. เป็น 35.52 มก./100 มล. ซึ่งการลดลงของปริมาณวิตามินซีส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในภาวะมีออกซิเจนเป็นไปได้มากกว่าเกิดมาจากผลของขนาดอนุภาคเปลือกไข่ และยังพบว่าค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกไข่ขนาดอนุภาคต่างๆ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าขนาดอนุภาคเปลือกไข่ ปริมาณเปลือกไข่และเวลาในภาวะที่ศึกษานั้นไม่มีผลต่อสี ความแตกต่างด้านประสิทธิภาพอธิบายได้เช่นเดียวกับในข้อ 5.3 สำหรับค่าองศาบริกซ์เปลือกไข่ธรรมชาติไม่มีผลต่อการเปลี่ยนค่าองศาบริกซ์ อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กล่าวคือเปลือกไข่ไม่เป็นตัวดูดซับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำส้มคั้น

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้เปลือกไข่ธรรมชาติในการดูดซับรสขมในกระบวนการไม่ต่อเนื่องและกระบวนการต่อเนื่อง ตามตารางที่ 9 โดยที่กระบวนการลดรสขมอย่างต่อเนื่องนั้นมีขนาดปริมาตรเบดการไหลเวียนของน้ำส้มเท่ากับ 40 มล. โดยสัดส่วนความเร็วการไหลต่อปริมาตรเบดเปลือกไข่ 2 นาที$^{-1}$ แสดงว่าอัตราส่วนของเปลือกไข่ที่ใช้ต่อน้ำส้มที่ผ่านการดูดซับคือ 1 ต่อ 10 ดังนั้นถ้าใช้น้ำส้ม 100 มล. จะใช้เปลือกไข่ 10 กรัม จึงจะลดปริมาณลิโมนินได้ร้อยละ 33.05 แต่กระบวนการลดรสขมแบบไม่ต่อเนื่องใช้เปลือกไข่ต่อน้ำส้ม 15 กรัมต่อน้ำส้ม 100 มล. เวลา 60 นาที ถึงจะลดปริมาณลิโมนินได้สูงสุดร้อยละ 31.56 จะเห็นได้ว่าการใช้เปลือกไข่ในระบบต่อเนื่องนั้นจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับลิโมนินได้ดีกว่าระบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Vermeuler, Klein และ Hiestner (1973) ที่สันนิษฐานว่ากระบวนการดูดซับควบคุมโดย adsorptive equilibrium ไม่ถูกควบคุมโดยการถ่ายโอนมวล (mass transfer) แต่ในทางตรงกันข้ามระบบต่อเนื่องมีผลทำให้ลดปริมาณนารินจินได้น้อยกว่าระบบไม่ต่อเนื่อง อาจเป็นเพราะโมเลกุลนารินจินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าโมเลกุลลิโมนินจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าดังนั้นการเขย่าจะช่วยทำให้โมเลกุลของนารินจินสัมผัสกับอนุภาคของเปลือกไข่ได้ดีขึ้น เพราะฉะนั้นในระบบต่อเนื่องมักจะทำแบบฟลูอิไดซ์โดยการพ่นก๊าซไนโตรเจนหรือใช้การเขย่า (Johnson and Chandler, 1988) นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารให้รสขมแบบต่อเนื่องยังขึ้นกับน้ำหนักของตัวอย่าง ชนิดและน้ำหนักของตัวดูดซับ ชนิดและองค์ประกอบของตัวทำละลาย และขนาดของคอลัมน์ที่ใช้ (Strouts et al., 1977) แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการดูดซับอย่างต่อเนื่องด้วยคอลัมน์แบบบรรจุแน่นดังในการทดลองนี้ต้องมีการปั่นแยกเนื้อออกจากน้ำส้มก่อนเพื่อป้องกันการอุดตัน ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้กระบวนการลดรสขมแบบไม่ต่อเนื่อง

5.4.2.ภาวะที่เหมาะสมในการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มเขียวหวานอย่างไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีน

จากรายงานการวิจัยของนักวิจัยหลายท่านที่ใช้ตัวดูดซับสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น เบต้าไซโคลเด็กทรินซ์ หรือ พวกเรซิน ได้แก่ IRA 93 เป็นตัวดูดซับจะต้องมีการทรีตตัวดูดซับด้วยสารละลายด่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทดลองทรีตเปลือกไข่ด้วยด่างเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเปลือกไข่ธรรมชาติ ซึ่งจะเป็นการช่วยลอกเยื่อไข่ด้วย จึงเรียกชื่อเปลือกไข่ที่ทรีตด่าง ว่าเปลือกไข่ปลอดโปรตีน

จากการทดลองนำน้ำส้มไปผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยว แบบไม่ต่อเนื่องด้วยเปลือกไข่ที่ผ่านสารละลายด่างโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 20 % เพื่อทำลายเยื่อโปรตีน ตามวิธีในข้อ 3.2.2.2 ใช้เปลือกไข่ขนาดอนุภาค 3 ระดับ คือ 20-40, 40-60 และ60-80 เมช ในปริมาณน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้มต่าง ๆ 2 ระดับคือ 10 และ 15 กรัมต่อปริมาตรน้ำส้ม 100 มล. ทำปฏิกิริยาโดยเขย่าตลอดระยะเวลา 30 และ 60 นาที นำมาวัดการลดลงของปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และวิตามินซี ในน้ำส้มเขียวหวาน 2 ซ้ำ เมื่อคำนวณความแตกต่างทางสถิติพบว่าขนาดอนุภาคเปลือกไข่ เวลาและปริมาณเปลือกไข่มีผลร่วมต่อการลดลงของปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก และวิตามินซี ในน้ำส้มได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ตามที่ได้แสดงผลแล้วในตารางที่ 10 และให้ผลปรากฏชัดเจนว่าค่าการเปลี่ยนสี และค่าองศาบริกซ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

พิจารณาจากค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณลิโมนินที่ลดลงต่อปริมาณเปลือกไข่และระยะเวลาต่างๆกันที่เปลือกไข่ขนาดอนุภาค (ก) 20-40, (ข) 40-60 และ (ค) 60-80 เมช พบว่าในเปลือกไข่ขนาดอนุภาคเดียวกัน เมื่อปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาตรน้ำส้มเพิ่มมากขึ้นและเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จะให้ผลในการลดปริมาณลิโมนินเพิ่มมากขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่ออนุภาคเปลือกไข่ปลอดโปรตีนยิ่งมีขนาดเล็กก็จะสามารถลดปริมาณลิโมนินได้เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน นั่นคือเปลือกไข่ขนาดอนุภาคเล็กลง ปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาตรน้ำส้มเพิ่มมากขึ้นและเวลาในการเขย่าเพิ่มขึ้น จะลดปริมาณลิโมนินได้มากขึ้น แสดงผลในรูปที่ 21 แต่จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดย Duncan's New Multiple Range Test พบว่าขนาดอนุภาค 60-80 เมช จำนวนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในเวลา 1 ช.ม.หรือ 60 นาที จะสามารถลดปริมาณลิโมนินได้สูงสุดจากเดิม 15.17 ส่วนในล้านส่วน ลดเหลือ 10.08 ส่วนในล้านส่วน คิดเป็นร้อยละ 33.55 ดังแสดงประกอบตามรูปที่ 22 คือโครมาโทแกรมของลิโมนินที่ปรากฏในการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนิน ด้วย HPLC จะเห็นว่าปริมาณลิโมนินลดลงจากโครมาโทแกรม A เป็น โครมาโทแกรม B เป็นที่สังเกตว่าภาวะการทดลองที่เปลือกไข่ปลอดโปรตีน

สามารถทำให้ปริมาณลิโมนินลดลงได้สูงสุด คือ **เปลือกไข่ขนาดอนุภาค 60-80 เมช จำนวนร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในเวลา 60 นาทีนั้นทำให้ปริมาณนารินจิน และกรดซิตริกลดลงได้สูงสุดเช่นกัน คือ ปริมาณนารินจินลดลงได้ร้อยละ 24.46 กรดซิตริกลดลงร้อยละ 30.73 ส่วนปริมาณวิตามินซีลดลงร้อยละ 7.98** ดังรูปที่ 23, 24 และ25 **นอกจากนี้เป็นภาวะเดียวกันกับกรณีของข้อ 5.4.1 ด้วย**

จากผลการทดลองอธิบายได้เช่นเดียวกันกับกระบวนการลดรสขมอย่างไม่ต่อเนื่องโดยการใช้เปลือกไข่ธรรมชาตินั่นคือ อนุภาคขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับโมเลกุลของลิโมนิน นารินจิน และกรดซิตริก ได้มากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ และเมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่โดยน้ำหนักต่อปริมาตรน้ำส้มปริมาณมากเป็นผลให้จำนวนรูพรุนของเปลือกไข่เพิ่มมากขึ้นประกอบกับเวลาในการเขย่านาน ทำให้เปลือกไข่มีเวลาสัมผัสกับสารต่างๆ เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ยังพบว่าเปลือกไข่ขนาดอนุภาค 20-40 เมช, 40-60 เมช และ 60-80 เมช ปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาตรน้ำส้ม 10 และ 15 กรัมต่อปริมาตรน้ำส้ม 100 มล. เวลาในการเขย่า 30 และ 60 นาที สามารถลดปริมาณวิตามินซีโดยเฉลี่ยได้ใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 1.01-9.97 แต่เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนตลอดการทดลอง ดังนั้นการสูญเสียของวิตามินซีจึงมิใช่มาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน น่าจะเนื่องมาจากบทบาทของเปลือกไข่ ส่วนเหตุผลของกรณีการเปลี่ยนแปลงสีและค่าองศาบริกซ์ ที่พบจากการทดลองเหมือนกับกรณีภาวะที่ผ่านมาทุกประการ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของปริมาณลิโมนิน นารินจิน กรดซิตริก วิตามินซี และสี ในกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวในน้ำส้มอย่างไม่ต่อเนื่อง โดยใช้เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ดังตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่า เปลือกไข่ปลอดโปรตีน และธรรมชาติ ขนาดอนุภาคเดียวกันคือ 60-80 เมช เมื่อใช้ปริมาณเปลือกไข่ต่อปริมาณน้ำส้มเท่ากันคือ 15 : 100 มีความสามารถในการลดปริมาณลิโมนิน นารินจิน ได้ใกล้เคียงกัน แต่เปลือกไข่ปลอดโปรตีนจะลดปริมาณกรดซิตริกได้เพียงร้อยละ 30.73 ซึ่งน้อยกว่าเปลือกไข่ธรรมชาติ การที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นส่วนประกอบหลัก และอาจเป็นผลมาจากเปลือกไข่ธรรมชาติ มีเส้นใยโปรตีน และพวกมิวโคพอลีแซคคาไรด์ต่างๆ เป็นสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) ที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกไข่ นี้สามารถแลกเปลี่ยนประจุกับสารอินทรีย์ได้ รวมทั้งโปรตีนจะมีทั้งประจุบวกและประจุลบจะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ด้วย จึงช่วยทำให้เปลือกไข่ธรรมชาติมีความสามารถในการลดปริมาณกรดซิตริกได้ดี แต่เปลือกไข่ปลอดโปรตีนนั้นสารละลายด่างโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์จะทำให้พวกโมเลกุลใหญ่เหล่านี้ละลายออกไปความสามารถในการลดปริมาณกรดซิตริกจึงน้อยกว่าเปลือกไข่ธรรมชาติ นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ปริมาณโปตัสเซียมด้วยเครื่องการดูดกลืนโดยอะตอมพบว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวน

การดูดซับดวยเปลือกไข่ปลอดโปรตีนจะมีปริมาณโปตัสเซียมมากกว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกไข่ธรรมชาติ ดังนั้นการที่เปลือกไข่ปลอดโปรตีนลดกรดซิตริกได้น้อยอาจจะเป็นผลมาจากโปตัสเซียมที่มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุกับสารอินทรีย์ได้น้อยกว่าแคลเซียม

ในกรณีของเปลือกไข่ปลอดโปรตีนสามารถดูดซับสารให้รสขมได้นั้น จากการพิจารณาโครงสร้างเปลือกไข่ในรูปที่ 10 การดูดซับน่าจะเนื่องจากการดูดซับทางกายภาพ กล่าวคือ **เปลือกไข่มีรูปร่างไข่ถึงกลมโดยที่รูมีขนาดตั้งแต่ 0.0038-0.029 มม. ถ้าพิจารณาขนาดโมเลกุลของลิโมนินมีขนาด 7×10×14 อังสตรอม (Arnott et al., 1960) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ารูเปลือกไข่ โดยโมเลกุลของลิโมนินเข้าไปอยู่ในรูพรุนของเปลือกไข่ หรืออาจเนื่องมาจากสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นส่วนประกอบหลักของเปลือกไข่สามารถดูดซับสารให้รสขมได้** คงมิใช่เป็นผลมาจากเยื่อโปรตีน จากข้อสันนิษฐานดังกล่าวสอดคล้องกับข้อสรุปของ Johnson และ Chandler (1988); Matthews และคณะ (1990) ซึ่งสรุปไว้ว่า ประสิทธิภาพของตัวดูดซับขึ้นกับ 1.ตัวดูดซับจะต้องมีความสามารถในการดูดซับต่อสารให้รสขม (ลิโมนิน และ/หรือ นารินจิน) 2. พื้นผิวสัมผัส จะเห็นได้จากเรซินที่แลกเปลี่ยนประจุลบ เช่น Duolite A 378 และ Amberite IRA 401 S เป็นต้น และเรซินที่แลกเปลี่ยนประจุบวกสามารถดูดซับสารให้รสขมได้นั้น เนื่องจากเรซินเหล่านี้เป็นอนุพันธ์ของสไตรีนจะมีความสามารถในการดูดซับต่อสารให้รสขมมากกว่าจะมีการแลกเปลี่ยนประจุ แต่ในทางตรงกันข้าม IRA 68 เป็นเรซินที่แลกเปลี่ยนประจุลบและก็เป็นอนุพันธ์ของสไตรีนเช่นเดียวกัน แต่ไม่ชอบดูดซับสารให้รสขม เนื่องมาจาก IRA 68 มีพื้นผิวสัมผัสไม่มากพอที่จะสัมผัสหรือเข้าถึงกับโมเลกุลของสารให้รสขมได้ 3. เส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน (pore diameter) เช่น Amberite XAD-4 มีพื้นผิวสัมผัสมากกว่า S 861 ซึ่งทั้งสองตัวนี้เป็นแอ็คซอร์แบนท์เรซิน แต่ S 861มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารให้รสขมได้ดีกว่า เนื่องจาก XAD-4 มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนโดยเฉลี่ย 40 อังสตรอม แต่ S 861 ซึ่งมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนโดยเฉลี่ย 75 อังสตรอม และมีพื้นผิวสัมผัสมากกว่า XAD-4 ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเล็กจะทำให้โมเลกุลสารให้รสขมแพร่ผ่านเข้าไปได้ช้า ทำให้ลดปริมาณสารให้รสขมได้น้อย เช่นในกรณีของ XAD -4 ดังนั้นโมเลกุลของสารให้รสขมจะเข้าถึงโมเลกุลของตัวดูดซับได้จะมีปัจจัยทางจลนพลศาสตร์ (kinetic factor) ควบคุมอัตราการแพร่ของโมเลกุลสารให้รสขมผ่านรูของอนุภาคตัวดูดซับ และ 4. ความมีขั้วของตัวดูดซับ (polarity)

5.5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนินและความขมในน้ำส้มโดยใช้การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นเทียบกับปริมาณลิโมนินในน้ำส้ม พบว่าระดับความขมของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มและในน้ำกลั่นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณลิโมนินที่เพิ่มขึ้น มีค่า r^2 =0.95 และ r^2 =0.93 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ทดสอบสามารถรับรสขมของปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) **โดยที่ผู้ทดสอบจะรับรสขมของปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่นได้ที่ระดับ 4 ส่วนในล้านส่วน** ส่วนในกรณีของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มผู้ทดสอบสามารถรับรสขมของปริมาณลิโมนินได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เช่นกัน แต่**ผู้ทดสอบจะรับรสขมของปริมาณลิโมนินในน้ำส้มได้ที่ระดับ 9.78 ส่วนในล้านส่วน** เมื่อเปรียบเทียบปริมาณลิโมนินในน้ำส้มกับปริมาณลิโมนินในน้ำกลั่น ผู้ทดสอบสามารถรับรสขมในน้ำกลั่นได้ที่ระดับปริมาณลิโมนินน้อยกว่าในน้ำส้มนั้น เนื่องจากในน้ำส้มมี น้ำตาล และกรดซิตริก ซึ่งสารเหล่านี้จะสามารถบดบังรสขมได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Guadagni (1973) พบว่าผู้ทดสอบสามารถรับรสขมในน้ำกลั่นได้ที่ 1 ส่วนในล้านส่วน และในน้ำส้มสามารถรับรสขมได้ที่ 6.4 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นระดับความขมที่ผู้ทดสอบสามารถรับความรู้สึกได้ต่างจากการทดลองนี้ ดังนั้นในการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะนำมาใช้เป็นดัชนี (index) ในการปฏิบัติการต่อไป

5.6. วิเคราะห์อายุการเก็บของน้ำส้มที่ผ่านขั้นตอนการลดรสขมโดยการดูดซับอย่างไม่ต่อเนื่องกับน้ำส้มที่ไม่ผ่านขั้นตอนการลดรสขม

จากผลการทดลองในข้อ 4.6 แสดงในตารางที่ 14, 15 และรูปประกอบที่ 30-34 พบว่าน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยว จะมีปริมาณลิโมนิน นาริงจิน กรดซิตริก วิตามินซี และสี สูงกว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวที่ใช้เปลือกไข่ธรรมชาติและเปลือกไข่ปลอดโปรตีน ตลอดในช่วงอายุการเก็บแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับสาเหตุนั้นได้กล่าวไว้แล้วในข้อ 5.4.1 และ5.4.2 นอกจากนี้การเก็บในระยะแรกพบว่าน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการลดรสขมมีปริมาณลิโมนินเพิ่มน้อยกว่าน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการลดรสขม อธิบายได้ว่าน้ำส้มที่ไม่ผ่านกระบวนการลดรสขมและรสเปรี้ยวมีปริมาณกรดซิตริก ซึ่งจะไปเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนสารตันตอของลิโมนิน (limonoic acid A-ring lactone) ไปเป็นลิโมนิน แต่เมื่ออายุการเก็บผ่านไปประมาณ 1 เดือนปริมาณลิโมนินในน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับมีอัตราการเพิ่มปริมาณลิโมนินมากเป็นเพราะว่าในน้ำส้มจะมีสารตันตอของลิโมนิน 2 ชนิด คือ limonoic acid A-ring lactone และ limonoic acid D-ring lactone โดยที่ limonoic acid A- ring lactone จะเปลี่ยนไปเป็นลิโมนินที่ pH 3.2 แต่ limonoic acid D-ring lactone จะเปลี่ยนเป็นลิโมนินที่ pH ประมาณ 5.6 ดังนั้นน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกไข่จะทำ

ให้ pH เพิ่มขึ้นความเป็นกรดลดลง ทำให้ limonoic acid D-ring lactone เปลี่ยนไปเป็นลิโมนิน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าเฉลี่ยปริมาณลิโมนินของน้ำส้มทั้ง 3 กลุ่มทดลองในช่วงระยะการเก็บ 3 เดือนไปเปรียบเทียบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนินและความขม จะเห็นว่าระดับความขมของน้ำส้มที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกไข่ปลอดโปรตีนและเปลือกไข่ธรรมชาติ มีระดับความขมเล็กน้อยและต่ำกว่าระดับขีดสูงสุด(upper limit) ที่9.78 ส่วนในล้านส่วน ที่ผู้ทดสอบสามารถรับลดขมได้ ตามรายงานของ Fellers และคณะ (1986) พบว่าน้ำเกรพฟรุตชนิด single-strength บรรจุกระป๋องมีอายุการเก็บประมาณ 8 เดือน และยังเป็นที่ยอมรับ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Maier และคณะ (1977) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับลิโมนิน และเปอร์เซนต์ที่ผู้ทดสอบรับรู้รสขมได้ กล่าวคือ ระดับลิโมนินที่ 6 และ 10 ส่วนในล้านส่วน จะมีค่าเปอร์เซนต์ที่ผู้ทดสอบรับรสได้ และยังยอมรับเท่ากับ 75 และ 91 เปอร์เซนต์ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มให้หมดไปหรือมีค่าเท่ากับ 0 เพราะการลดปริมาณลิโมนินให้เหลือในระดับดังกล่าว อาจมีผลกระทบต่อรสชาติและอาจเกิดกลิ่นรสแปลกปลอมของน้ำส้มได้ ส่วนอายุการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณนารินจินพบว่าน้ำส้มทั้ง 3 กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยปริมาณนารินจินค่อนข้างคงที่ตลอดอายุการเก็บ การที่เป็นเช่นนี้เพราะว่านารินจิน และเฮสเปอริดิน จะตกตะกอนออกจากน้ำส้มในช่วงระยะการเก็บ (Rouseff, 1980) นอกจากนี้น้ำส้มที่ผ่านการดูดซับด้วยเปลือกไข่จะมีปริมาณนารินจินน้อยกว่าน้ำส้มกลุ่มควบคุมเป็นเพราะเปลือกไข่ได้ดูดซับนารินจินออกจากน้ำส้ม

ส่วนปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มทั้ง 3 กลุ่มทดลอง มีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เก็บเช่นเดียวกับรายงานของอัจฉรา ปิติปัญญากุล และคณะ (2532) เนื่องจากการสลายตัวจากการเกิดออกซิเดชันและไฮโดรไลซิส ถึงแม้ว่าวิตามินซีจะเป็นสารอาหารที่มีปริมาณมากในน้ำส้มและมักจะพิจารณาว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของน้ำส้ม แต่ในอุตสาหกรรมปริมาณวิตามินซีนั้นไม่ใช่เป็นปัจจัยสำคัญ (Kimball, 1991) ส่วนค่าความแตกต่างของสี (ΔE) พบว่าอายุการเก็บมีผลทำให้สีของน้ำส้มทั้ง 3 กลุ่มทดลองเปลี่ยนแปลง เพราะว่าในน้ำส้มจะมีวิตามินซีเป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดสารประกอบที่มีสีในน้ำผลไม้ นอกจากนี้ในน้ำส้มจะมีกรดอะมิโนปริมาณมากเป็นผลทำให้น้ำผลไม้ตระกูลส้มเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อะมิโนของกรดอะมิโนและหมู่อัลดีไฮด์ของน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (nonenzymic) เรียกว่า Maillard reaction นอกจากนี้กรดอินทรีย์ที่มีในน้ำส้มจะไปเร่งและช่วยให้คาร์โบไฮเดรตสลายโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส มากไปกว่านั้นอาจเกิดจาก Schiff base รวมทั้งปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation) และ Strecker degradation ส่วนปริมาณกรดซิตริก pH และค่าองศาบริกซ์ มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาที่เก็บ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอัจฉรา ปิติปัญญากุล และคณะ (2532)