b. 114505

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติทางกายภาพ-เคมี และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ระหว่างการเจริญเติบโตและระยะความบริบูรณ์

Physico-chemical Properties and Antioxidant Capacity of Pummelo cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during Growth and Maturation

โดย

อาจารย์เสาวภา ไชยวงศ์ และอาจารย์ ดร. ธีรพงษ์ เทพกรณ์
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ประจำปี พ.ศ.2552

มหาวิทยาลัย
แม่ฟ้าหลวง

สัญญาเลขที่ 26/ 2552
รหัสโครงการวิจัย 52105010026

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติทางกายภาพ-เคมี และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ระหว่างการเจริญเติบโตและระยะความบริบูรณ์

Physico-chemical Properties and Antioxidant Capacity of Pummelo cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during Growth and Maturation

โดย

อาจารย์เสาวภา ไชยวงศ์ และอาจารย์ ดร. ธีรพงษ์ เทพกรณ์
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ประจำปี พ.ศ.2552

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ประจำปีงบประมาณ 2552 และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ประจำปีงบประมาณ 2551 ที่ให้งบประมาณสนับสนุนในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยประเมินและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ที่ดีเพื่อการแก้ไขงานวิจัย ทำให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคุณอัสนี สันติวรพิพัฒน์ และคุณสมศักดิ์ บุญยวงที่ให้ความอนุเคราะห์สวนส้มโอในการทดลอง นักศึกษาจากสำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร นักวิทยาศาสตร์จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่มีส่วนร่วมในการทำงานและมีส่วนสำคัญให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2555

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

การวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ที่อายุผล 8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน (weeks after full bloom; WAFB) และการศึกษาชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพในส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ระยะความบริบูรณ์

1. การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์

ในช่วงระยะ 8-16 WAFB เป็นระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาของเปลือกส้มโอทั้งสองพันธุ์มากกว่าเนื้อผล และที่ระยะบริบูรณ์ตั้งแต่ 28 WAFB พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีน้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก ความหนาเปลือก เส้นรอบวงผลและความสูง มากกว่าพันธุ์ทองดี โดยเฉพาะตั้งแต่ 24 WAFB สีเนื้อของพันธุ์แชนเลอร์แดง (ค่า +a*) มากกว่าพันธุ์ทองดี สำหรับสมบัติทางด้านเคมีนั้นพบว่า เมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ 28 WAFB ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids; TSS) ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์เพิ่มขึ้นมีค่า 8.0% และ 8.4% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณ TSS จากการทดลองนี้มีปริมาณมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกเพียงเล็กน้อย แสดงว่าส้มโอมีรสชาติหวานค่อนข้างน้อย ดังนั้นส้มโอที่ปลูกใน อ.เวียงแก่นจึงควรได้รับการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของผลส้มโอเช่น การจัดการระบบน้ำและธาตุอาหารเพื่อเพิ่มคุณภาพด้านรสชาติ (ความหวานของส้มโอ (ปริมาณ TSS)) ให้เป็นไปตามมาตรฐานเพื่อการส่งออกต่อไปในอนาคต

ในปัจจุบันเกษตรกรที่ปลูกส้มโอ อ.เวียงแก่น ได้กำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวและการแบ่งเกรดส้มโอ 2 แบบได้แก่ การวัดความยาวของเส้นรอบวงผล (นิ้ว) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด และการชั่งน้ำหนักผล (กิโลกรัม) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกายภาพและเคมีเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาดัชนีการเก็บเกี่ยวในส้มโอพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงผลและน้ำหนักเนื้อ (r=0.7930) มีความสัมพันธ์น้อยกว่าน้ำหนักผลกับน้ำหนักเนื้อ (r=0.9304) อีกทั้งน้ำหนักผลมีความสัมพันธ์กับปริมาณ TSS (r=0.8444) แสดงให้เห็นว่าการชั่งผลส้มโอมีความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อส้มโอมากกว่าการวัดความยาวเส้นรอบวง ดังนั้นในเบื้องต้นการประยุกต์ใช้วิธีการชั่งน้ำหนักผลส้มโอเพื่อการใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวและการแบ่งเกรดส้มโอน่าจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ความยาวของเส้นรอบวง หากในอนาคตจะมีการนำข้อมูลจากการทดลองนี้ไปพัฒนางานวิจัย ควรจะมีการทดลองซ้ำเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และยืนยันผล

การทดลอง รวมทั้งอาจจะมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบความแก่-อ่อนของส้มโอด้วยวิธีการไม่ทำลาย (non-destructive method) หรือพัฒนาวิธีการคัดขนาดผลส้มโอต่อไปในอนาคต

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ระยะความบริบูรณ์

การวิเคราะห์สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิค high-performance liquid chromatography (HPLC) แสดงให้เห็นว่าสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญและพบมากที่สุดในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ โดยส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24 WAFB มีปริมาณสาร niringin มากที่สุด (72.89 mg/100 gFW) และน้อยที่สุดในพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 28 และ 32 WAFB (~17 mg/100 gFW) นอกจากนี้ทั้งปัจจัยของพันธุ์และอายุผล (ความบริบูรณ์) มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสาร naringin ทั้งนี้ไม่พบสารฟลาโวนอยด์ชนิด RUT (rutin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin) KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) นอกจากนี้ส้มโอทั้งสองพันธุ์นั้นมีสารสำคัญอื่นๆ ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ไม่สามารถระบุ (unknown) ได้อย่างน้อย 6 ชนิด มากถึง 28-58% ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไปในอนาคต ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อไปโดยอาจใช้เทคนิคขั้นสูงหรือเพิ่มชนิดของสารมาตรฐานโดยเฉพาะสารกลุ่มฟลาโวน (flavone) เพื่อระบุชนิดและปริมาณของสาร unknown ซึ่งอาจเป็นการค้นพบสารใหม่ที่แตกต่างจากส้มโอต่างประเทศหรือเป็นสารชนิดเดียวกับส้มโอต่างประเทศแต่มีปริมาณที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ส้มโอยังประกอบด้วยสารอื่นๆ ที่มีผลต่อรสชาติความขม นอกเหนือจากสาร naringin โดยเฉพาะสารในกลุ่ม limonoids ที่มีคุณสมบัติในด้านสุขภาพได้แก่ ฤทธิ์การต้านมะเร็ง ต้านไวรัส HIV และลดคลอเรสเตอรอล เป็นต้น

สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในส้มโอพันธุ์ทองดี (~ 75 mg/100 gFW) มากกว่าในพันธุ์แชนเลอร์เช่นกัน (54-62 mg/100 g FW) เช่นเดียวกับปริมาณวิตามินซีของส้มโอพันธุ์ทองดี (~ 44 mg/100 ml) มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ (~ 32 mg/100 ml) อย่างไรก็ตามปริมาณสารไลโคพีนในส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 8 MAFB มีปริมาณมากที่สุด (1.67 mg/100 g FW) และน้อยที่สุดในพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24-32 MAFB (0.29-0.40 mg/100 gFW) เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (DPPH-assay) กับสารออกฤทธิ์สำคัญได้แก่ วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด สาร naringin และสารไลโคพีนในส้มโอทั้งสองพันธุ์ที่อายุผล 24-32 MAFB พบว่า ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและค่า r มีค่าระหว่าง 0.6928 ถึง 0.7805 ($p \leq 0.01$) ยกเว้นสารไลโคพีนที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม (r=-0.7524)

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ปลูกในพื้นที่เขต อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย ในช่วงอายุ 8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน ในปี พ.ศ. 2551-2552 พบว่า ในระยะ 8-16 สัปดาห์หลังดอกบาน เป็นระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาของเปลือกส้มโอทั้งสองพันธุ์มากกว่าเนื้อผล และที่ระยะบริบูรณ์ตั้งแต่ 28 สัปดาห์หลังดอกบาน พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีน้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก ความหนาเปลือก เส้นรอบวงผลและความสูงมากกว่าพันธุ์ทองดี โดยเฉพาะตั้งแต่ 24 สัปดาห์หลังดอกบาน ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีสีเนื้อแดง (+a*) มากกว่าพันธุ์ทองดี การศึกษาสมบัติทางเคมีพบว่า เมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ 28 สัปดาห์หลังดอกบาน ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์มีค่าร้อยละ 8.0 และ 8.4 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์พบว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามส้มโอพันธุ์ทองดีมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงสูงกว่าพันธุ์แชนเลอร์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างเส้นรอบวงผลและน้ำหนักเนื้อ (r=0.7930) น้อยกว่าน้ำหนักผลกับน้ำหนักเนื้อ (r=0.9304) รวมทั้งน้ำหนักผลมีความสัมพันธ์มากกับปริมาณ TSS (r=0.8444) สำหรับการศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญในส้มโอที่อายุผล 24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่าส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์มีฟลาโวนอยด์ชนิดนารินจินมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50-58 และ 28-36 ของฟลาโวนอยด์ทั้งหมดตามลำดับ โดยส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24 สัปดาห์หลังดอกบานมีปริมาณสารนารินจินมากที่สุด (72.89 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ) และน้อยที่สุดในพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 28 และ 32 สัปดาห์หลังดอกบาน (~17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ) ทั้งนี้ไม่พบสารฟลาโวนอยด์ชนิด รูติน เฮสเพอริดิน นีโอเฮสเพอริดิน เดอวซิติน อะพิจินิน แคมฟีรอล และนารินจีนิน ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในส้มโอพันธุ์ทองดี (~75 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อ100 กรัมน้ำหนักเนื้อ) และปริมาณวิตามินซี (~44 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) มีปริมาณสูงกว่าพันธุ์แชนเลอร์ซึ่งมีค่า 54-62 มิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิกต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ และ~32 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณสารไลโคพีนในส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 32 สัปดาห์หลังดอกบาน มีปริมาณมากที่สุด (1.67 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ) และน้อยที่สุดในพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน (0.29-0.40 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเนื้อ) นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างสารออกฤทธิ์สำคัญกับการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (DPPH-assay) ได้แก่ สารนารินจิน สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิตามินซี และสารไลโคพีน มีค่าระหว่าง 0.6928 ถึง 0.7805 ($p \leq 0.01$) ยกเว้นสารไลโคพีน (r=-0.7524)

คำสำคัญ: ส้มโอ การเจริญเติบโต ความบริบูรณ์ ฟลาโวนอยด์ ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

Abstract

The growth and development of pummelo cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 weeks after full bloom (WAFB) at Wieng Kean district, Chiang Rai province was studied during 2008-2009. It was found that the growth and development of the peel during 8-16 WAFB were mainly found and were faster than those of the flesh. The "Chandler" cultivar had fruit weight, flesh weight, peel weight, peel thickness, fruit circumference and fruit height more than "Thong Dee" cultivar after 28 WAFB. At 24 WAFB, the +a* value of "Chandler" cultivar was also higher than the other cultivar. In addition, the chemical properties, total soluble solids (TSS) level at maturation (28 WAFB) of "Thong Dee" and "Chandler" cultivars increased dramatically with 8.0% and 8.4%, respectively. There were no significant difference in total sugar and non-reducing sugar levels. However, the reducing sugar content of "Thong Dee" cultivar was higher than "Chandler" cultivar. Furthermore, the coefficient correlation (r) between fruit circumference and fruit weight (r=0.7930) was less correlation when compared with fruit weight and flesh weight (r=0.9304). The fruit weight also highly correlated to TSS level (r=0.8444). The bioactive compounds including flavonoids, vitamin C, carotenoids, total phenolic compounds of pummelos during 24-32 WAFB in 2009 were evaluated The results showed that naringin was the major flavonoids in "Thong Dee" and "Chandler" cultivars which were found in 50-58% and 28-36% of total flavonoids, respectively. The "Thong Dee" pummelo at 24 WAFB had the highest naringin content (72.89 mg/100 gFW) while the lowest naringin content was found in "Chandler" pummelo at 28 and 32 WAFB (~17 mg/100 gFW). However, seven flavonoids including hasperidin, neohesperidin, kaempferol, rutin, apigenin, quercitin and naringenin were not found in in both pummelos. The "Thong Dee" pummelo also had the highest contents of total phenolic compounds (94.93 mgGAE/100 gFW) and vitamin C (~44 mg/100 ml). Their contents of "Chandler" pummelo were 54-62 mgGAE/100 g FW and vitamin C (~44 mg/100 ml), respectively. On the other hand, the highest lycopene content was found in "Chandler" pummelo at 32 WAFB (1.67 mg/100 gFW) and the lowest content was "Thong Dee" pummelo during 24-32 WAFB (0.29-0.40 mg/100 gFW). In addition, naringin, total phenolic compounds, vitamin C were highly correlated to DPPH-assay ($p \leq 0.01$) which correlation coefficient values were r=0.6928 to r=0.7805, excepted lycopene (r=-0.7524).

Keywords: Pummelo, Growth, Maturity, Flavonoids, Antioxidant capacity

สารบัญ

		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	i
	บทสรุปผู้บริหาร	ii
	บทคัดย่อภาษาไทย	iv
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	v
	สารบัญ	vi
	สารบัญตาราง	x
	สารบัญภาพ	xii
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	3
	1.3 แนวทางการวิจัย	3
	1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
	1.5 ผลลัพธ์ที่ได้ของการดำเนินโครงการ	4
	1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	4
	1.7 งบประมาณทั้งหมด	5
	1.8 คณะผู้วิจัย	5
บทที่ 2	**ตรวจเอกสาร**	**6**
	2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้มโอ	6
	2.2 การแบ่งกลุ่มส้มโอตามแหล่งปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม	6
	2.3 พันธุ์ส้มโอ	7
	2.4 การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและกายวิภาคของผลส้ม	9
	2.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของส้มในระหว่างการเจริญเติบโต	10
	2.6 ดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอ	11
	2.7 คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอ	13
	2.8 ชนิดและประเภทของสารฟลาโวนอยด์	14
	2.9 สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอและเกรฟฟรุท	18
	2.10 สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์	22

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.11 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์ต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ	23
	2.12 วิตามินซีในส้มโอและเกรฟฟรุท	24
	2.13 ประโยชน์ของวิตามินซีต่อร่างกาย	25
	2.14 แคโรทีนอยด์ในส้มโอและเกรฟฟรุท	26
	2.15 ประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ต่อร่างกาย	27
	2.16 ฟีนอลลิคในส้มโอและเกรฟฟรุท	28
	2.17 ประโยชน์ของฟีนอลิกต่อร่างกาย	28
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินงานวิจัย**	**30**
	3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์	30
	3.1.1 สมบัติทางกายภาพ	30
	3.1.2 สมบัติทางเคมี	31
	3.1.3 สมการถดถอยเชิงเส้น (Liner regression equation) ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	33
	3.1.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	33
	3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ระยะความบริบูรณ์	34
	3.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (TSS)	34
	3.2.2 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (TA)	34
	3.2.3 อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA	34
	3.2.4 การสกัดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ	34
	3.2.5 การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC	34
	3.2.6 ปริมาณวิตามินซี	36
	3.2.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด	36
	3.2.8 ปริมาณสารไลโคพีน	36
	3.2.9 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี Ferric reducing power activity (FRAP-assay)	37

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	3.2.10 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical scavenging activity (DPPH-assay)	37
	3.2.11 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	37
บทที่ 4	**ผลและวิจารณ์ผล**	**39**
	4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์	39
	4.1.1.1 น้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก และความหนาเปลือก	39
	4.1.1.2 เส้นผ่าศูนย์กลางผล ความสูงผล และค่า mean geometrical diameter	41
	4.1.1.3 เส้นรอบวงผลและเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อ	42
	4.1.1.4 สีผิวเปลือกและสีเนื้อส้มโอ (L*, a*, b* value)	44
	4.1.1.5 ปริมาณน้ำคั้น (%)	48
	4.1.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids ; TSS) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) และอัตราส่วน TSS:TA	49
	4.1.2.2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง และน้ำตาลรีดิวซ์ซิง	51
	4.1.2.3 ปริมาณวิตามินซี	53
	4.1.3 สมการถดถอยเชิงเส้น (Liner regression equation) ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	53
	4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ระยะความบริบูรณ์	56
	4.2.1 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์มาตรฐาน	56
	4.2.2 ชนิดของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์	59
	4.2.3 ปริมาณ TSS อัตราส่วน TSS:TA และสาร naringin	62
	4.2.4 ปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารไลโคพีน	64
	4.2.5 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP-assay และ DPPH-assay	66

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง		71
ภาคผนวก		77
ประวัตินักวิจัยและคณะ		85

สารบัญตาราง

Table		หน้า
1.1	แผนการดำเนินการตลอดโครงการวิจัย	5
2.1	The maturity index of pummelo is evaluated by the physical property	11
2.2	Thai pummelo grading by weight	12
2.3	Thai pummelo grading by diameter and circumference	12
2.4	The maturity index of pummelo is evaluated by the chemical property	13
2.5	The nutrition value of pummelo cv. "Thong Dee"	14
2.6	The flavanones in grapefruit	19
2.7	The type and content of flavonoids in Taiwan pummelo cvs. "Wendun" and "Peiyou"	20
2.8	The flavonoids in pummelo fruits from Thailand, Taiwan, China and Japan	21
2.9	The content of vitamin C in edible parts of pummelos and grapefruits	25
2.10	The content of carotenoids (mg/L)in juice of pummelos and grapefruits	27
2.11	The content of lycopene and β-carotene in pummelos and grapefruits	27
2.12	Phenolic compounds found in edible parts of pummelos and grapefruits	29
3.1	Elution profiles for determination of flavonoids by HPLC	35
4.1	Regression equations and coefficient of correlation between fruit weight and physical properties in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	54
4.2	Regression equations and coefficient of correlation between circumference and flesh weight in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	55
4.3	Regression equations and coefficient of correlation between fruit weight and chemical properties in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	56
4.4	Regression equations and coefficient of correlation between fruit age and TSS in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

Table		หน้า
4.5	Retention time and λmax of eight flavonoid standards	58
4.6	The % area of flavonoids in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" cultivars during 24-32 WAFB	63
4.7	The %TSS, TSS:TA ratio and naringin contents of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	64
4.8	The vitamin C, total phenolics, and lycopene content of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	66
4.9	The antioxidant capacity (FRAP and DPPH assays) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	68
4.10	Correlation coefficient (r) of antioxidant capacity (FRAP and DPPH assays) and bioactive compounds (vitamin C, total phenolics, naringin and lycopene) pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" at during 24-32 WAFB	68

สารบัญภาพ

Figure		หน้า
2.1	Diagrammatic equatorial cross-section through pummelo fruit	6
2.2	Pummelo cv. "Thong Dee"	8
2.3	Pummelo cv. "Chandler"	8
2.4	Fruit weight, peel weight, flesh weight and peel thickness of pummelo "Kao Nam Phueng" during 2-30 WAFB	10
2.5	The basic structure of flavoniods	16
2.6	The pathway of flavonoid syntheis	17
2.7	The basic stucture of flavonoid compounds includes flavanones, flavanols, flavones, isoflavone, and anthocynidin	18
2.8	The structure of naringin and naringenin	22
2.9	The structure of vitamin C	24
2.10	The structure of lycopene and β-carotene	26
2.11	The structures of phenolic compounds in pummelos and grapefruits	29
4.1	Fruit weight, flesh weight, peel weight and peel thickness of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 weeks after full bloom (WAFB)	40
4.2	Fruit diameter (A), height (B) and mean geometrical diameter (C) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB	42
4.3	Fruit circumference (A) and flesh diameter (B) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB	44
4.4	The L* (A), a* (B) and b* (C) values of pummelo peels cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB	46
4.5	The L* (A), a* (B) and b* (C) values of pummelo fleshes cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB	47
4.6	Growth and development pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB, 8 WAFB (A,A1), 12 WAFB (B,B1), 16 WAFB (C,C1), 20 WAFB (D,D1), 24 WAFB (E,E1), 28 WAFB (F,F1), 32 WAFB (G,G1)	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

Figure		หน้า
4.7	Juice content (%) of pummlos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24– 32 WAFB	49
4.8	TSS (%) (A), TA (%) (B) and TSS:TA ratio (C) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24 – 32 WAFB	51
4.9	Total sugar (A), reducing sugar (B) and non-reducing sugar (C) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24 – 32 WAFB	53
4.10	Vitamin C content of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24– 32 WAFB	54
4.11	HPLC chromatogram of seven flavonoid standards	57
4.12	HPLC chromatogram of naringenin standard	58
4.13	Spectrum of eight flavonoid standards by UV-visible scanning	60
4.14	HPLC Chormatogram of naringin standard (A), pummelos cvs. "Thong Dee" (B) and "Chandler" (C) at 28 WAFB	62
4.15	The growth and development of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB	65

บทที่ 1

คำนำ

1. 1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ส้มโอ (*Citrus maxima* Merr. [syn. *C grandis* (L.) Osbeck] เป็นไม้ผลที่มีศักยภาพในการส่งออกของประเทศไทย เนื่องจากเป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว ขึ้นอยู่กับพันธุ์และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ อีกทั้งส้มโอเป็นผลไม้ที่มีเปลือกหนาทำให้เก็บรักษาได้นานโดยไม่เสียคุณภาพ ทนทานต่อการกระทบกระเทือนระหว่างการขนส่งได้ในระยะทางไกลโดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ จากข้อมูลการส่งออกส้มโอในปี 2553 ประเทศไทยสามารถส่งออกส้มโอเป็นมูลค่าถึง 129.46 ล้านบาท โดยประเทศที่นำเข้าส้มโอจากประเทศไทยมากที่สุดได้แก่ ประเทศจีน (68.08 ล้านบาท) รองลงมาได้แก่ ฮ่องกง (37.56 ล้านบาท) ลาว (6.13 ล้านบาท) สิงคโปร์ (5.63 ล้านบาท) และแคนนาดา (4.67 ล้านบาท) ตามลำดับ (กรมศุลกากร, 2554) อีกทั้งส้มโอยังเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันในประเทศ และมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาคของประเทศไทย จากสถานการณ์การผลิตส้มโอปี 2547 พบว่าพื้นที่ปลูกส้มโอที่สำคัญของประเทศไทยได้แก่ จังหวัดเชียงราย (22,190 ไร่) รองลงมาได้แก่ จังหวัดนครศรีธรรมราช (18,034 ไร่) จังหวัดพิจิตร (15,485 ไร่) และจังหวัดชุมพร (12,169 ไร่) ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) โดยพันธุ์ส้มโอที่นิยมปลูกมากในจังหวัดเชียงรายได้แก่ พันธุ์ทองดี พันธุ์แชนเลอร์ และพันธุ์ขาวใหญ่ ตามลำดับ

จากการกำหนดมาตรฐานส้มโอของประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ปี 2550 ได้กำหนดมาตรฐานของส้มโอที่ทำการส่งออกต้องมีปริมาณ TSS ไม่น้อยกว่า 8% (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550) และหากกำหนดความบริบูรณ์ (ความแก่) จากการนับอายุดอกหลังดอกบานควรเก็บผลส้มโอที่ระยะ 8 เดือน สำหรับการบริโภคภายในประเทศ (ทวีศักดิ์, 2549) จากรายงานของเสาวภาและธีรพงษ์ (2552) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีระหว่างการเจริญเติบโต 14-35 สัปดาห์ (3-8 เดือน) หลังดอกบาน ใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย ปริมาณ TSS ของส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุ 30 สัปดาห์หลังดอกบาน (7.5 เดือน) มีปริมาณเท่ากับ TSS 8% แต่อย่างไรปริมาณ TSS ของส้มโอในการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานขั้นต่ำของคุณภาพส้มโอส่งออก อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาการเจริญและพัฒนาส้มโอพันธุ์ทองดีในปีต่อไปในการกำหนดความบริบูรณ์ที่เหมะสมเพื่อการส่งออกและการบริโภคภายในประเทศของส้มโอ ที่ปลูก อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย

ในปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจต่อสุขภาพมากขึ้น การรับประทานผักและผลไม้สดเป็นทางเลือกหนึ่งที่ผู้บริโภคเพื่อสุขภาพที่ดี ส้มโอเป็นผลไม้ทางเลือกหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีความโดดเด่นไม่แพ้ผลไม้อื่น เนื่องจากพืชตระกูลส้มเป็นแหล่งของสารต่างๆ ที่มีประโยชน์ของร่างกาย โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ วิตามินซี และแคโรทีนอยด์ ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบและสามารถลดการเกิดโรคเรื้อรังเช่น โรคมะเร็ง และโรคหลอดเลือดหัวใจ (Tripoli et al., 2007) โดยปัจจัยต่างๆ ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยวนั้นมีผลต่อคุณภาพและสารออกฤทธิ์สำคัญในผักและผลไม้สดอาทิเช่น พันธุ์ ความบริบูรณ์ (ความแก่) สภาพสิ่งแวดล้อม ความเครียด การเก็บรักษาและการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะส้มโอไทยมีความหลากหลายของพันธุ์ตามลักษณะสีเนื้อที่แตกต่างกัน เช่น เนื้อสีขาว สีชมพู และสีแดง ซึ่งสารสีที่ให้สีชมพูหรือสีแดงในส้มโอและเกรฟฟรุท (grapefruit) ประกอบด้วยสารไลโคพีนซึ่งพบมากและเป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Tsai et al., 2007) สำหรับปัจจัยความบริบูรณ์ของผลไม้มีอิทธิพลต่อปริมาณสารสำคัญเช่นเดียวกัน ดังตัวอย่างการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญในส้มโอพันธุ์ "Hoyou" ของประเทศจีน ได้แก่ สาร naringin และ neohesperidin พบว่าในระยะผลอ่อนมีปริมาณสารทั้งสองชนิดมากที่สุดและลดลงเมื่อผลส้มโอแก่มากขึ้น (Xu et al., 2009) โดยเฉพาะจากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบสาระสำคัญในกลุ่มฟลาโวนอยด์ในผลเกรฟฟรุทหรือส้มโอในต่างประเทศอาทิเช่น ประเทศจีน ไต้หวัน และญี่ปุ่น ที่พบสาร naringin ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาวาโนน (flavanones) มากที่สุดในส้มทั้งสองชนิดนี้

เนื่องจากวิธีการประเมินและกำหนดดัชนีความบริบูรณ์ของส้มโอให้เป็นไปตามมาตรฐานต้องมีการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ในพื้นที่จังหวัดเชียงรายซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากเป็นอันดับที่ 2 รองจากพันธุ์ทองดี เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโตเพื่อประยุกต์ใช้ในการกำหนดความบริบูรณ์ของส้มโอในพื้นที่ อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย นอกจากนี้ยังขาดวิจัยอย่างจริงจังของการศึกษาสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์และไลโคพีนในส้มโอของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะบริบูรณ์ (24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน) เพื่อทำให้ได้ข้อมูลและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถใช้ยืนยันคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอไทย เพื่อส่งเสริมให้ผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ อีกทั้งเพื่อเพิ่มศักยภาพในการส่งออกการขยายโอกาสและเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกในระดับสากล

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่าง8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน เพื่อประเมินความบริบูรณ์ของส้มโอ

1.2.2 เพื่อศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์ (24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน)

1.3 แนวทางการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่าง 8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพและเคมีในการประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดความบริบูรณ์ของส้มโอ

1.3.3 ศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญได้แก่ วิตามินซี ฟลาโวนอยด์ ไลโคพีน และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH-assay และ FRAP-assay ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์ (24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ-เคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโตอายุ 8-32 สัปดาห์หลังจากดอกบาน ใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย เพื่อประยุกต์ใช้ในการกำหนดความบริบูรณ์ส้มโอ

1.4.2 ทราบชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH-assay และ FRAP-assay ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์ (24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน)

1.4.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการเกษตร โภชนาการ เภสัชวิทยา และการแพทย์

1.4.4 เสนอผลงานในงานประชุมวิชาการหรือตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการในระดับชาติ

1.5 ผลลัพธ์ที่ได้ของการดำเนินโครงการ

1.5.1 ทราบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโตอายุ 8-32 สัปดาห์หลังจากดอกบานใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย เพื่อประยุกต์ใช้ในการกำหนดความบริบูรณ์ส้มโอ

1.5.2 ทราบความแตกต่างของชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์สำคัญ และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH-assay และ FRAP-assay ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์ (24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน)

1.5.3 ได้เผยแพร่ข้อมูลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติหรือตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการในระดับชาติ ได้แก่

1.5.3.1 ภาวิณี พิทักษ์วงศ์ และเสาวภา ไชยวงศ์. 2552. สมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโต. ว.วิทย์. กษ. 40(3): 396-399.

1.5.3.2 รางวัลการนำเสนอผลงาน ภาคโปสเตอร์ สาขาไม้ผล/ไม้ยืนต้น ระดับดี

พรศิริ ศิลปศร ธีรพงศ์ เทพกรณ์ และเสาวภา ไชยวงศ์. 2553. สารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์. ในการประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติครั้งที่ 9 วันที่ 11-14 พฤษภาคม 2553. โรงแรมกรุงศรีริเวอร์, จ.พระนครศรีอยุธยา

1.6 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย 1 ปี (1 มิถุนายน 2552-30 พฤษภาคม 2553)

Table 1.1: แผนการดำเนินการตลอดโครงการวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือนที่)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ทำการสำรวจแปลงปลูกและทำเครื่องหมายบนผลส้มโอ	←	→										
2. การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์อายุ 8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน		←	—	—	—	—	—	—	→			
3. การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์ (24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน)						←	—	—	—	—	→	
4. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์											←	→

1.7 งบประมาณทั้งหมด

วงเงิน 100,000 (หนึ่งแสนบาทถ้วน)

1.8 คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย อาจารย์เสาวภา ไชยวงศ์
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
333 หมู่ 1 ต.ท่าสุด อ.เมือง จ.เชียงราย 57100
โทรศัพท์ 0-5391-6766 โทรสาร 0-5391-6739
E-mail : saowapa_c@yahoo.com, saowapa@mfu.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย อาจารย์ ดร. ธีรพงษ์ เทพกรณ์
สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
333 หมู่ 1 ต.ท่าสุด อ.เมือง จ.เชียงราย 57100
โทรศัพท์ 0-5391-6766 โทรสาร 0-5391-6739
E-mail : peawic@hotmail.com, theerapongt@mfu.ac.th

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของผลส้มโอ

ส้มโอ (*Citrus maxima* Merr. [syn. *C. grandis* (L.) Osbeck)] เป็นพืชในสกุล *Citrus* ผลส้มโอเป็นแบบ berry ที่มีชื่อพิเศษเรียกว่า hesperidium ผลมีเนื้อเยื่อแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ชั้นนอกสุด (exocarp) มีชื่อพิเศษว่า flavedo เป็นชั้นนอกสุดผลมีสีเขียว มีต่อมน้ำมันเล็กๆ มากมาย เมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอ่อน ชั้นที่ 2 คือ mesocarp เป็นเนื้อเยื่ออ่อนนุ่มมีสีขาวมีชื่อพิเศษที่เรียกว่า albedo เป็นชั้นถัดเข้ามาจากชั้นแรกและหนากว่าชั้นแรก ชั้นที่ 3 คือ endocarp เป็นเนื้อเยื่อของพูส้มโอมีสีขาวหรือสีชมพูขึ้นอยู่กับพันธุ์ส้มโอ (Figure 2.1) (รวี, 2523)

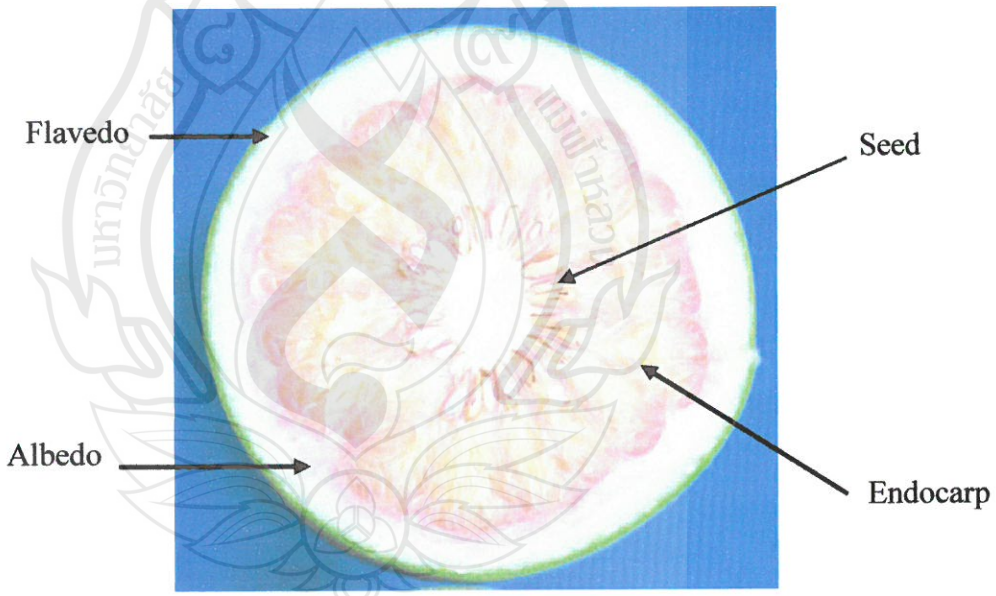


Figure 2.1: Diagrammatic equatorial cross-section through pummelo fruit

2.2 การแบ่งกลุ่มส้มโอตามแหล่งปลูกสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

1. กลุ่มไทย (Thailand group) มีแหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม ราชบุรี สมุทรสาคร ชัยนาท พิจิตร ปราจีนบุรี ตราด ชุมพร และสงขลา ได้แก่พันธุ์ขาวแป้น ขาวพวง ขาวหอม ขาวทองดี ขาวใหญ่ ขาวแตงกวา หอมหาดใหญ่ ท่าข่อย ปัตตาเวีย เป็นต้น

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและกายวิภาคของผลส้ม

การเจริญเติบโตของผลส้มโดยทั่วไปเป็นแบบ Simple sigmoid curve ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 เป็นระยะการแบ่งเซลล์ การเพิ่มน้ำหนักและขนาดของผลส้มในระยะนี้ส่วนใหญ่เป็นการเจริญของเปลือกจากการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ในบางส่วน เรียกระยะนี้ว่า lag phase หลังจากการแบ่งเซลล์จะมีสารพวก pectin compounds มาสะสมอยู่ในเซลล์ (Bain, 1958) สำหรับการวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในประเทศไทยนั้น พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตช่วง 1-5 สัปดาห์หลังดอกบานน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทั้งนี้อาจจะเป็นระยะที่ผลส้มโอตรงกับช่วงของการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างส่วนต่างๆ ภายในผล (Figure 2.3) (เยาวรัตน์, 2545)

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่ผลส้มมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เป็นระยะการขยายขนาดของเซลล์ การเพิ่มขนาดของผล เรียกระยะนี้ว่า log phase ประกอบด้วย การแบ่งตัวและขยายขนาดเซลล์ชั้น albedo ต่อมน้ำมันเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น juice sac ขยายขนาดและมีน้ำคั้นเพิ่มขึ้น (Bain, 1958) เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง น้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 5-25 สัปดาห์ ระยะนี้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เนื่องจากเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น juice sac, albedo และ flavedo และภายหลัง 21 สัปดาห์หลังดอกบาน น้ำหนักเนื้อมีค่ามากกว่าเปลือกและน้ำหนักเนื้อสูงสุดเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 30 (Figure 2.3) (เยาวรัตน์, 2545)

ระยะที่ 3 เป็นระยะของการแก่ของส้ม เรียกระยะนี้ว่า stationary phase ซึ่ง juice sac มีขนาดเพิ่มขึ้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและขนาดผลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เกิดในอัตราที่ลดลง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเพิ่มของเนื้อและไส้กลาง (Bain, 1958) เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ผลตั้งแต่อายุ 25 สัปดาห์ขึ้นไป น้ำหนักผลมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ไม่มีการเพิ่มน้ำหนักเปลือกและความหนาเปลือกคงที่เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 30 (Figure 2.4) (เยาวรัตน์, 2545)

TSS: TA เท่ากับ 12.06: 1 (เยาวรัตน์, 2545) เป็นส้มโอที่ทนทานต่อโรคแคงเกอร์ โดยเฉพาะที่ผิวผล แทบไม่พบแต่อาจมีการทำลายของเพลี้ยไฟ (พานิชย์, 2545) (Figure 2.2)

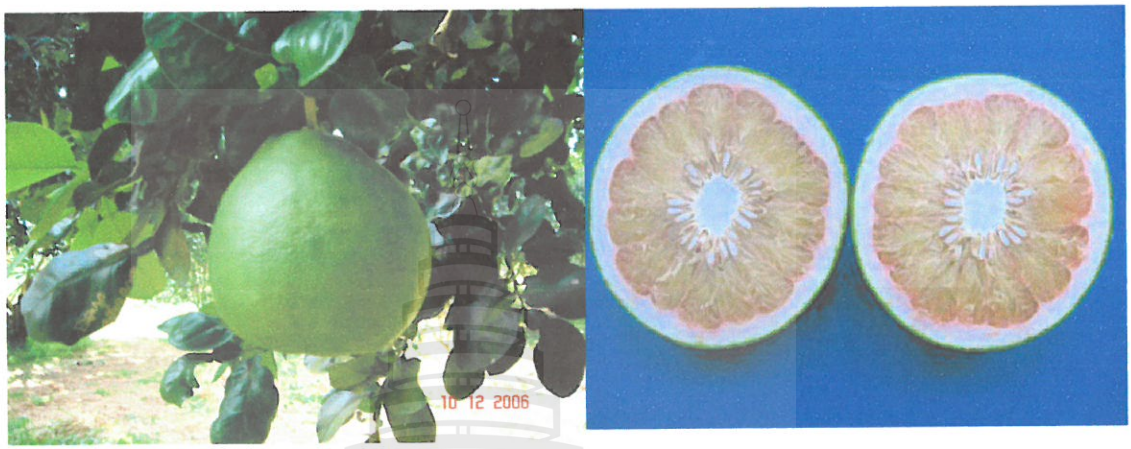


Figure 2.2: Pummelo cv. "Thong Dee"

2.3.2 ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์

ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ 'Siamese Sweet' (สีขาว-ไม่เปรี้ยว) และ 'Siamese Pink' (รสเปรี้ยว) ซึ่งได้รับการพัฒนาพันธุ์และปลูกที่เมือง Indio รัฐแคลิฟอร์เนียในปี 1961 ลักษณะรูปทรงผลเป็นไข่ (Oblate) ถึงกลม (globose) ขนาดผลปานกลาง ผิวเรียบ เปลือกหนาปานกลาง ผนังกลีบมีสีชมพูและบาง กุ้งมีสีชมพูเบียดกันแน่น ค่อนข้างฉ่ำน้ำ รสชาติเปรี้ยวปานกลาง มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ 12% (College of Natural and Agricultural Sciences, 2008) ในระยะผลแก่พบปริมาณ %TSS %TA และวิตามินซี มีค่า 8%, 0.6% และ 30 mg/100g FW ตามลำดับ (Morton, 1987) (Figure 2.3)

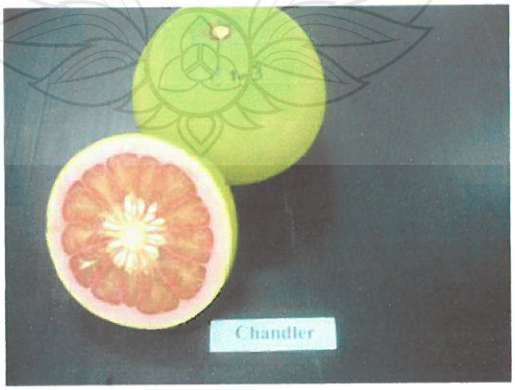


Figure 2.3: Pummelo cv. "Chandler"

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานและกายวิภาคของผลส้ม

การเจริญเติบโตของผลส้มโดยทั่วไปเป็นแบบ Simple sigmoid curve ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ

ระยะที่ 1 เป็นระยะการแบ่งเซลล์ การเพิ่มน้ำหนักและขนาดของผลส้มในระยะนี้ส่วนใหญ่เป็นการเจริญของเปลือกจากการแบ่งเซลล์และการขยายขนาดของเซลล์ในบางส่วน เรียกระยะนี้ว่า lag phase หลังจากการแบ่งเซลล์จะมีสารพวก pectin compounds มาสะสมอยู่ในเซลล์ (Bain, 1958) สำหรับการวิจัยเรื่องการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งในประเทศไทยนั้น พบว่า ในช่วงแรกของการเจริญเติบโตช่วง 1-5 สัปดาห์หลังดอกบานน้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ทั้งนี้อาจจะเป็นระยะที่ผลส้มโอตรงกับช่วงของการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างส่วนต่างๆ ภายในผล (Figure 2.3) (เยาวรัตน์, 2545)

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่ผลส้มมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เป็นระยะการขยายขนาดของเซลล์ การเพิ่มขนาดของผล เรียกระยะนี้ว่า log phase ประกอบด้วย การแบ่งตัวและขยายขนาดเซลล์ชั้น albedo ต่อมน้ำมันเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้น juice sac ขยายขนาดและมีน้ำคั้นเพิ่มขึ้น (Bain, 1958) เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง น้ำหนักผลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่อายุ 5-25 สัปดาห์ ระยะนี้มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด เนื่องจากเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น juice sac, albedo และ flavedo และภายหลัง 21 สัปดาห์หลังดอกบาน น้ำหนักเนื้อมีค่ามากกว่าเปลือกและน้ำหนักเนื้อสูงสุดเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 30 (Figure 2.3) (เยาวรัตน์, 2545)

ระยะที่ 3 เป็นระยะของการแก่ของส้ม เรียกระยะนี้ว่า stationary phase ซึ่ง juice sac มีขนาดเพิ่มขึ้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งและขนาดผลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เกิดในอัตราที่ลดลง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเพิ่มของเนื้อและไส้กลาง (Bain, 1958) เช่นเดียวกับการเจริญเติบโตส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ผลตั้งแต่อายุ 25 สัปดาห์ขึ้นไป น้ำหนักผลมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ไม่มีการเพิ่มน้ำหนักเปลือกและความหนาเปลือกคงที่เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 30 (Figure 2.4) (เยาวรัตน์, 2545)

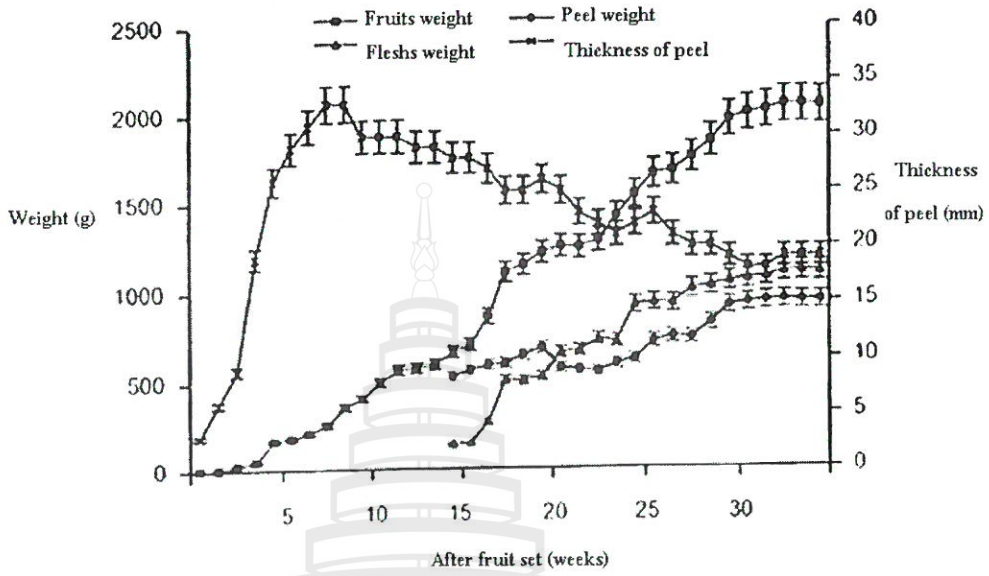


Figure 2.4: Fruit weight, peel weight, flesh weight and peel thickness of pummel "Kao Nam Phueng" during 2-30 weeks after full bloom. (เยาวรัตน์, 2545)

2.5 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของส้มในระหว่างการเจริญเติบโต

2.5.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) และอัตราส่วน TSS:TA

ปริมาณ TSS เพิ่มขึ้นเมื่อผลส้มมีขนาดใหญ่ขึ้น หลังจากนั้นปริมาณ TSS เริ่มคงที่ หรืออาจเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ ตรงกันข้ามกับปริมาณ TA ที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงแรกของการเจริญเติบโต หลังจากการนั้นเมื่อผลโตขึ้นพบว่า ปริมาณน้ำคั้นเพิ่มขึ้นแต่ปริมาณ TA ลดลงเนื่องจากมีการเจือจางของกรด และปริมาณ TSS:TA ค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ (Ladaniya, 2008) สำหรับการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS, TA และ TSS:TA ในส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเริ่มคงที่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 25 ทำให้อัตราส่วนของ TSS:TA เพิ่มขึ้น 14:1 ในสัปดาห์ที่ 26 เป็น 17:1 ในสัปดาห์ที่ 28 เนื่องจากปริมาณ TA ลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 26 และลดลงตามลำดับจนค่อนข้างคงที่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 28 เป็นต้นไป ซึ่งแนะนำให้เก็บเกี่ยวผลส้มโอในช่วงสัปดาห์ที่ 28-30 หลังดอกบาน (เยาวรัตน์, 2545)

2.5.2 น้ำตาล

การเปลี่ยนแปลงน้ำตาลในระหว่างการเจริญเติบโตส่วนใหญ่ 75%-85% ของปริมาณ TSS มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ซิง น้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง และปริมาณ

น้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ โดยปริมาณน้ำตาลในเกรฟฟรุทซึ่งอยู่กลุ่มเดียวกันกับส้มโอนั้นมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ 2-5% และน้ำตาลนอนรีดิวซ์ 2-3% (Baldwin, 1993)

2.5.3 วิตามินซี

โดยปกติปริมาณวิตามินซีมีมากในส้มผลอ่อนและมีปริมาณลดลงเมื่อเข้าสู้ระยะบริบูรณ์ (Ladaniya, 2008) สอดคล้องกับรายงานของพรศิริ (2552) ที่พบว่า เมื่อผลส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุ 5 เดือนหลังดอกบานมีปริมาณวิตามินซีมากที่สุด (56.68 mg/100ml) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลส้มโออายุ 6 เดือน (39.55 mg/100ml) และเมื่อผลอายุมากขึ้นปริมาณวิตามินซีคงที่

2.6 ดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอ

การกำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอสำหรับการส่งออกนั้นแบ่งได้ตามสมบัติทางกายภาพและเคมีดังต่อไปนี้

2.6.1 สมบัติทางกายภาพของส้มโอ

จากการกำหนดมาตรฐานส้มโอของสำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ปี 2550 ได้กำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวส้มโอจากสีผิวผลส้มโอซึ่งควรจางลงอย่างน้อยสองส่วนในสามส่วนของผิวผล สำหรับส้มโอประเทศฟิลิปปินส์ได้ใช้เปอร์เซ็นต์น้ำคั้นระบุไว้ว่าควรมีปริมาณน้ำคั้นอย่างน้อย 50% (นิธิยาและคนัย, 2548) (Table 2.1)

Table 2.1: The maturity index of pummelo is evaluated by the physical property

ดัชนีการเก็บเกี่ยว	ข้อกำหนดมาตรฐาน	เอกสารอ้างอิง
สีเปลือก	สีผิวผลส้มโอควรจางลงอย่างน้อยสองส่วนในสามส่วนของผิวผล	(สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)
% น้ำคั้น	50%	(นิธิยาและคนัย, 2548)

นอกจากนี้สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช.) ได้มีการกำหนดความบริบูรณ์และการแบ่งเกรดผลส้มโอ โดยใช้สมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้ น้ำหนักผล เส้นผ่าศูนย์กลางผล เส้นรอบวงผล (Table 2.2-2.3)

Table 2.2: Thai pummelo grading by weight (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)

Size	Weight/fruits (g)
1	>1900
2	>1700-1900
3	>1500-1700
4	>1300-1500
5	>1100-1300
6	>900-1100
7	>700-900
8	>400-700

Table 2.3: Thai pummelo grading by diameter and circumference (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)

Size	Diameter (inch)	Diameter (mm)	Circumference (inch)	Circumference (mm)
1	>7.00	>170	>21.1	>536
2	>6.20-7.00	>159-170	>19.4-21.1	>493-536
3	>5.90-6.20	>151-159	>18.5-19.4	>470-493
4	>5.60-5.90	>143-151	>17.5-18.5	>445-470
5	>5.30-5.60	>135-143	>16.6-17.5	>422-445
6	>4.90-5.30	>126-135	>15.0-16.6	>396-422
7	>4.60-4.90	>117-126	>14.5-15.0	>368-396
8	3.90-4.60	100-117	12.3-14.5	313-368

2.6.2 สมบัติทางเคมีของส้มโอ

จากการกำหนดมาตรฐานส้มโอของ มกอช. ปี 2550 นั้นได้กำหนดปริมาณ TSS ของส้มโอของประเทศไทยเพื่อการส่งออกควรมีปริมาณ TSS อย่างน้อย 8% สำหรับส้มโอของประเทศฟิลิปปินส์ควรมีปริมาณ TSS อย่างน้อย 9% (นิธิยาและคนัย, 2548) (Table 2.4)

Table 2.4: The maturity index of pummelo is evaluated by the chemical property

ดัชนีการเก็บเกี่ยว	ข้อกำหนดมาตรฐาน	เอกสารอ้างอิง
TSS (%) ประเทศไทย	8%	(สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2550)
TSS (%) ฟิลิปปินส์	9%	
TA (%)	0.6%	(นิธิยาและดนัย, 2548)
อัตราส่วน TSS:TA	10:1	

2.7 คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอ

Table 2.5 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอพันธุ์ทองดี พบว่าส้มโอพันธุ์ทองดีเป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงและมีปริมาณ 60 mg/100g edible portion (กองโภชนาการ, 2544) ซึ่งมากกว่าผลเกรฟฟรุทที่มีปริมาณวิตามินซี 20-50 mg/100g โดยความต้องการปริมาณวิตามินซีสำหรับการบริโภคต่อวันเท่ากับ 30-60 มิลลิกรัม/คน/วัน (Ladaniya, 2008)

Table 2.5: The nutrition value of pummelo cv. "Thong Dee".

Constitution	Value	Unit
Proximate composition		
Energy	44	Kcal
Water	89.2	g/100g
Protein	0.5	g/100g
Fat	0.4	g/100g
Carbohydrate	9.5	g/100g
Diet fiber (Crude fiber)	0.7	g/100g
Ash	0.4	g/100g
Minerals		
Calcium	9	mg/100g
Phosphorous	21	mg/100g
Iron	Tr.	mg/100g
Vitamins		
Retinol	-	µg/100g
β-carotene	26	µg/100g
Total vitamin A	4	µg/100g
Vitamin E	-	mg/100g
Thiamine	0.07	mg/100g
Riboflavin	0.02	mg/100g
Niacin	0.4	mg/100g
Vitamin C	60	mg/100g

Remark: 100g edible portion

2.8 ชนิดและประเภทของสารฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นสารกลุ่มหลักในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกที่พบได้ทั่วไปในผักและผลไม้ และเป็นสารที่มีผู้นิยมศึกษากันมากในกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก มีโครงสร้างหลักเป็นไดฟีนิลโพรเพน (diphenylpropane) ประกอบด้วยคาร์บอนทั้งหมด 15 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นวงเบนซีน 2 วง และเชื่อมต่อกันด้วย ออกซิเจน 1 อะตอมและคาร์บอน 3 อะตอม กลายเป็นวงแหวน

3 วงเรียงต่อกัน (C6-C3-C6) ชื่อว่า วงแหวน A, วงแหวน B, และวงแหวน C (Figure 2.5) ซึ่งเกิดจากสารตั้งต้น 2 ชนิดคือ malonyl-CoA และ *p*-cumaroyl-CoA วงแหวน A เกิดจากการส่วนของโมเลกุล malonyl-CoA ส่งผลให้ในฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่มีหมู่ฟังก์ชัน เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนวงแหวน A เกาะแบบ meta-dihydroxylated วงแหวน B พัฒนามาจาก *p*-cumaroyl-CoA หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลสามารถกะได้ทั้งแบบหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลสามารถเกาะได้ทั้งแบบ *mono*-hydroxylated, *ortho*-dihydroxylated หรือ *vic*-trihydroxylated นอกจากนี้ยังสามารถจับกับหมู่ฟังก์ชันอื่นอีก เช่น methylethers (Vermerris and Nicholson, 2006) วงแหวน C เกิดการทำงานของเอนไซม์และจากแรงของอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair electron) ของอะตอมออกซิเจนจากระหว่างวงแหวน A และ B ทำให้อะตอมคาร์บอน 3 อะตอม ของโครงสร้างในวงแหวน C เกิดการโค้งเข้ามาเป็นวง heterocyclic เรียกโครงสร้างพื้นฐานนี้ว่า ฟลาวานนิวเคลียส (flavan nucleus) (Häkkinen, 2000)

Figure 2.6 แสดงสาร naringenin chalcone เป็นโครงสร้างเริ่มต้นที่จะพัฒนาไปสู่ฟลาโวนอยด์ ซึ่งเกิดจากสาร 4-Coumaroyl-CoA เกิดปฏิกิริยา decaboxylation รวมกับสาร malonyl-CoA จำนวน 3 โมเลกุล เกิดปฏิกิริยา condensation ร่วมกัน เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ CHS (chalcone synthase) จากนั้นเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) เกิดวง six atom-heterocycle ที่มีอะตอมออกซิเจนเป็นองค์ประกอบโดยการทำงานของเอนไซม์ CHI (chalcone isomeras) ได้สารกลุ่ม ฟลาวาโนน (flavanone) ซึ่งเป็นโครงสร้างสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ชนิดแรก นอกจากนี้ naringenin chalcone ยังสามารถเปลี่ยนเป็นสารกลุ่ม aurone จากการทำงานของเอนไซม์ AUS (aureusidin synthase) ฟลาวาโนนสามารถเปลี่ยนไปเป็นสารกลุ่มฟลาโวน (flavone) ด้วยการทำงานของเอนไซม์ FNSI หรือ FNSII (flavone syntase I, flavone syntase II) โดยจะสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่ง C_2 และ C_3 บนวงแหวน C หรือเปลี่ยนเป็นสาร dihydrohaempferol โดยเติมหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C_3 บนวงแหวน C จากการกระตุ้นของเอนไซม์ F3H (flavanone 3β-hydroxylase) และเปลี่ยนเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอล (flavonol) โดยการสร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่ง C_2 และ C_3 บนวงแหวน C จากการทำงานของเอนไซม์ FLS (flavonoid syntase) เมื่อ dihydrohaempferol ถูกกระตุ้นด้วยเอนไซม์ DFR (dihydroflavonol 4-reductase) จะเปลี่ยนเป็นสาร leucopelagonidin ก่อนจะเปลี่ยนสารกลุ่มแอนโทไซยานิดิน (anthocyanidin) ด้วยเอนไซม์ ANS (anthocyanin syntase) และสุดท้ายเปลี่ยนเป็นสารแอนโทไซยานิน ด้วยเอนไซม์ 3-O-glucosyltransferase (Anderson and Markham, 2006)

โครงสร้างของฟลาโวนอยด์จะแตกต่างกันไปตามรูปแบบของพันธะคู่ และหมู่แทนที่ ทำให้ได้ฟลาโวนอยด์ชนิดต่างๆ หลายชนิด ฟลาโวนอยด์กลุ่มที่พบได้ทั่วไปและพบในปริมาณ

ค่อนข้างมากในผักและผลไม้จำแนกได้ประมาณ 5,000 ชนิด (Kris-Etherton et al., 2002) ฟลาโวนอยด์ ที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษากันมากมีด้วยกัน 6 กลุ่ม (Figure 2.7) สารฟลาโวนอยด์ในแต่ละกลุ่มนั้นสามารถพบได้ในผักและผลไม้ต่างชนิดกัน โดยส่วนมากตามธรรมชาติที่พบจะพบในรูปที่มีน้ำตาลมาเกาะอยู่ด้วย (glycosylated derivatives) ฟลาโวนอยด์ทั้ง 6 กลุ่มที่นิยมศึกษาได้แก่

1. ฟลาโวน (flavones) ได้แก่ luteolin และ apigenin สามารถพบได้มากในพวกเมล็ดพืช และพืชสมุนไพรต่างๆ เช่น parsley, celery, rosemary และ thyme เป็นต้น นอกจากนั้นยังพบในผลไม้ตระกูลส้ม เช่น พบได้ในน้ำมันผิวส้ม
2. ฟลาโวนอล (flavonols) ได้แก่ quercetin, kaempferol และ myricetin กลุ่มนี้เป็นสารที่สามารถพบได้ทั่วไป และพบได้ในปริมาณมากในผักและผลไม้หลายชนิด เช่น แอปเปิ้ล บร็อคโคลี่ กระเทียมต้น หัวหอมใหญ่ แครนเบอร์รี่ เป็นต้น
3. ฟลาวานอล หรือ ฟลาวาน-3-ออล (flavanols or flavan-3ols) ได้แก่ (+)-catechin, (-)-epicatechin และ (-)-epigallocatechin สามารถพบได้มากที่สุดในใบชา ในผลไม้เช่น องุ่น แอปเปิ้ล และสาลี่ รวมทั้งไวน์แดง
4. ฟลาวาโนน (flavanones) ได้แก่ hesperetin และ naringenin สามารถพบได้มากในพืชตระกูลส้ม ทั้งในผลส้มและผิวส้ม และพบได้ในมะเขือเทศเช่นกัน
5. แอนโทไซยานิดิน (anthocyanidins) ได้แก่ anthocyanin สามารถพบมากในผลไม้ที่มีสีแดง เช่น แอปเปิ้ล องุ่นแดง และในเบอร์รี่ชนิดต่างๆ ได้แก่ สตรอเบอร์รี่ ราสเบอร์รี่ และเชอร์รี่ เป็นต้น
6. ไอโซฟลาโวน (isofalvones) ได้แก่ genistein, genistin, daidzein และ daidzin สามารถพบได้มากใน alfalfa, clover ผักตระกูล Brassica เช่น บร็อคโคลี่ นอกจากนั้นเมล็ดพืชต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง และถั่วเขียว ยังเป็นแหล่งสำคัญที่สามารถพบสารในกลุ่มนี้ได้อีกด้วย (Pietta, 2000)

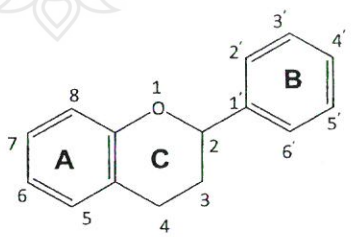


Figure 2.5: The basic structure of flavoniods

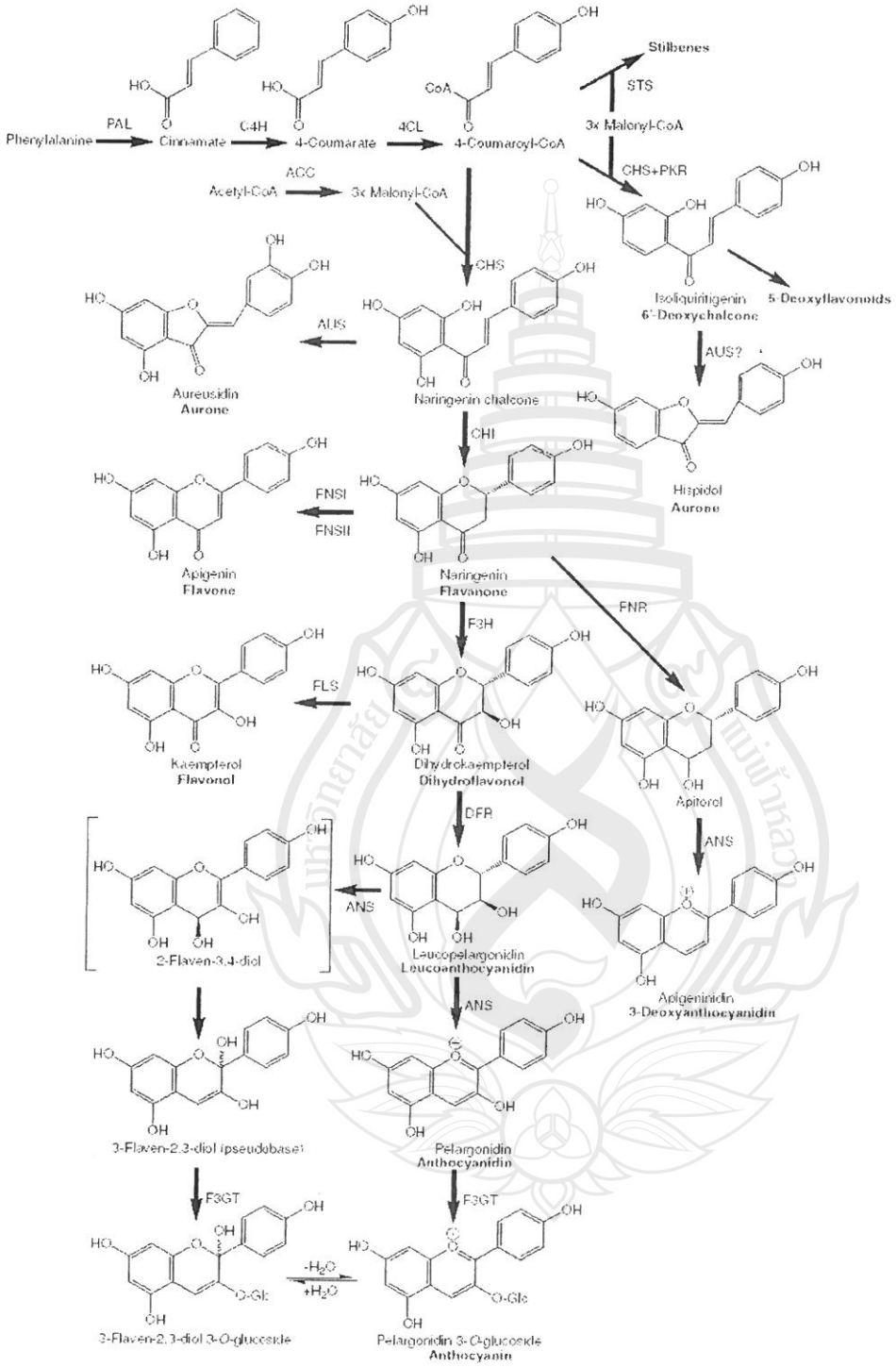


Figure 2.6: The pathway of flavonoid syntheis (Vermerris and Nicholso, 2006)

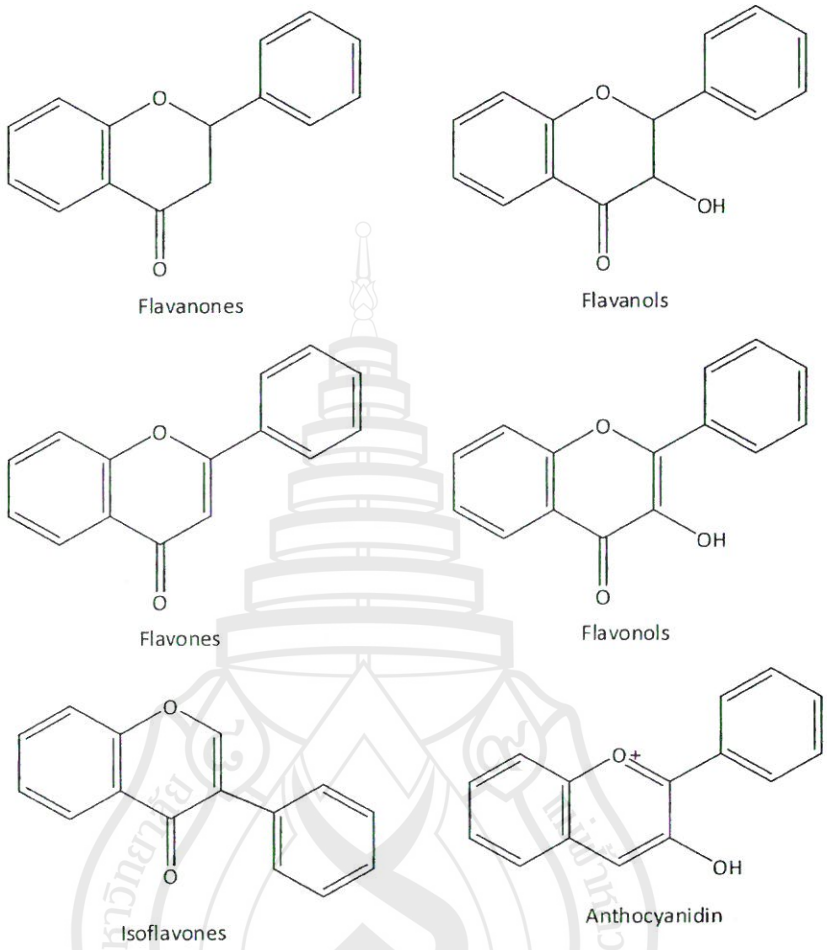


Figure 2.7: The basic stucture of flavonoid compounds includes flavanones, flavanols, flavones, isoflavone, and anthocynidin (Pietta, 2000)

2.9 สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอและเกรฟฟรุท

ประเภทของสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในผลเกรฟฟรุทได้แก่ สารในกลุ่มฟลาวาโนน (flavanones) ประกอบด้วยสาร naringin, hesperidin, narirutin และ neohesperidin (Xu et al., 2009) หากพิจารณาปัจจัยของพันธุ์แบ่งตามประเภทสีเนื้อผล ดังตัวอย่างการศึกษาในการศึกษาในผลเกรฟฟรุทได้แก่ พันธุ์เนื้อสีแดง ชมพู และขาว ตามปริมาณไลโคพีนที่มีในเนื้อผล ปริมาณฟลาวาโนนทั้งหมดที่พบในเนื้อผลเกรฟฟรุท ~27 mg/100g fresh weight (FW) ซึ่งชนิดของฟลาวาโนนที่พบมากที่สุดคือสาร naringin (16.60±9.6 mg/100g FW) รองลงมาคือสาร narirutin (4.90±3.41 mg/100g FW) และ hesperidin (2.78±5.37 mg/100g FW) ส่วนเกรฟฟรุทสายพันธุ์

สีชมพูและสีแดงมีปริมาณฟลาวาโนนทั้งหมดน้อยกว่าเกรฟฟรุทพันธุ์สีขาว และปริมาณสารแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างเกรฟฟรุทสีต่างๆ (Table 2.6) (Peterson et al., 2006)

Table 2.6: The flavanones in grapefruit (Peterson et al., 2006)

Citrus type	Compound	Mean	SD
Grapefruit	Didymin	0.07	0.21
	Eriocitrin	0.45	1.30
	Hesperidin	2.78	5.37
	Naringin	16.60	9.61
	Narirutin	4.90	3.41
	Neoeriocitrin	0.35	1.39
	Neohesperidin	1.4	5.87
	Poncirin	0.17	0.22
	Total	26.72	
Grapefruit White	Didymin	0.09	0.23
	Eriocitrin	0.16	0.39
	Hesperidin	3.95	6.46
	Naringin	16.90	8.26
	Narirutin	5.36	3.47
	Neoeriocitrin	0.05	0.10
	Neohesperidin	0.25	0.20
	Poncirin	0.20	0.22
	Total	26.96	
Grapefruit Red and Pink	Didymin	0.00	0.00
	Eriocitrin	0.00	0.00
	Hesperidin	0.27	0.26
	Naringin	13.87	17.42
	Narirutin	3.34	3.26
	Neoeriocitrin	0.00	0.00
	Neohesperidin	0.42	0.47
	Poncirin	0.00	0.00
	Total	17.90	

สำหรับการศึกษาสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอนั้นได้มีรายงานการศึกษาในหลายประเทศ อาทิเช่น ประเทศจีน ไต้หวัน ญี่ปุ่น และไทย จากงานวิจัยของ Xu et al. (2008) ได้ศึกษาปริมาณสารในกลุ่มฟลาโวโนนในส้มโอของประเทศจีน พันธุ์ "Miyou" และ "Sijiyou" พบว่า มีปริมาณสาร naringin มากที่สุด (108-125 mg/l) รองลงมาได้แก่ สาร hesperidin (21-42 mg/l) และมีสาร neohesperidin น้อยที่สุด เช่นเดียวกับส้มโอของไต้หวันพันธุ์ "Wendun" และ "Peiyou" ที่พบสาร naringin มากที่สุด (2205-1250 μg/g dried basis (db)) เช่นกัน แต่กลับพบสาร neohesperidin (6.15-17.3 μg/g db) มากกว่าสาร hesperidin (0.695-0.964 μg/g db) อีกทั้งพบสารในกลุ่มฟลาโวน เช่น sinensitin (24.6-42.8 μg/g db) ซึ่งมากกว่าสาร neohesperidin ประมาณ 2-4 เท่า แต่ยังพบสารฟลาโวนอยด์ชนิดอื่นๆ ที่ในปริมาณที่น้อยมาก (Table 2.7) (Wang et al., 2007) ส่วนส้มโอประเทศญี่ปุ่นพันธุ์ "Hirado buntan" และ "Shaten yu" พบปริมาณสาร naringin มากที่สุดเช่นกัน (78.5- 184 mg/100g FW) และพบสาร hesperidin และ neohesperidin ในปริมาณน้อย (1.5-1.7 mg/100g FW) (Nogota et al., 2006)

Table 2.7: The type and content of flavonoids in Taiwan pummelo cvs. "Wendun" and "Peiyou" (Wang et al., 2007)

	Cultivars	
Flavonoids (μg/g db[a])[b]	Wendo	Peiyou
Flavanone		
Naringin	1250 ±0.28	2250±11.07
Hesperidin	0.696±0.006	0.964±0.018
Neohesperidin	17.3±2.47	6.15±1.23
Flavone		
Diosmin	0.132±0.002	0.087±0.002
Luteolin	ND[c]	ND[c]
Sinensetin	42.8±0.82	24.6±0.37
Flavovol		
Rutin	0.090±0.004	0.073±0.001
Quercetin	0.061±0.001	0.087±0.007
Kampferol	0.012±0.001	0.009±0.001

[a] Dried basis, [b] Data persented are in are means ± standard deviation (n=3), [c] Not detectable

โดยเฉพาะการศึกษาสารฟลาโวนอยด์ในพันธุ์ส้มโอของประเทศไทยเบื้องต้น ไม่พบสาร hesperidin และ neohesperidin ในส้มโอพันธุ์ทองดี (Rouseff et al., 1987) สอดคล้องกับรายงานของลัดดาและคณะ (2548) ที่ไม่พบสาร hesperidin และ neohesperidin ในส้มโอไทยเช่นกัน โดยตรวจพบปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ทองดี (26.10 mg/100g FW) ขาวใหญ่ (34.96 mg/100g FW) ขาวน้ำผึ้ง (44.37 mg/100g FW) และขาวแตงกวา (24.08 mg/100g FW) จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบว่าปัจจัยของพันธุ์มีผลต่อปริมาณและชนิดของสารฟลาโวนอยด์ที่พบในส้มโอและเบื้องต้นทำให้ทราบว่าสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่พบมากที่สุดในส้มโอ (Figure 2.8)

Table 2.8 สรุปชนิดของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบในส้มโอไทยและต่างประเทศ เห็นได้ชัดเจนว่าในต่างประเทศมีการศึกษาชนิดของสารฟลาโวนอยด์และพบสารในกลุ่มดังกล่าวมากกว่าประเทศไทย

Table 2.8: The flavonoids in pummelo fruits from Thailand, Taiwan, China and Japan

Flavonoids	Thailand	Taiwan	China	Japan
	Wattanasiritham et al. (2005)	Wang et al. (2007)	Xu et al. (2008)	Nogata et al. (2006)
Flavanone				
Naringin	√	√	√	√
Hesperidin	X	√	√	√
Neohesperidin	X	√	√	√
Flavone				
Rhoifolin	ND	ND	ND	√
Diosmin	ND	√	ND	√
Neodiosmin	ND	ND	ND	√
Luetolin	ND	X	ND	ND
Sinessetin	ND	√	ND	ND
Flavonol				
Rutin	ND	√	ND	√
Quercetin	ND	√	ND	ND
Kaempferol	ND	√	ND	ND

√ = detectable, X = not detectable, ND = not determined

นอกจากนี้ปัจจัยของความบริบูรณ์ของผล (ความแก่) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณสาร naringin ในส้มโอหรือเกรฟฟรุท ดังตัวอย่างการศึกษาปริมาณสาร naringin ของเกรฟฟรุทพันธุ์ "Star Ruby" พบว่าในระยะผลอ่อน (12102 mg/100 g FW) มีปริมาณสาร naringin มากกว่าระยะผลแก่ (2195 mg/100 g FW) ถึง 6 เท่า (Ortuno et al., 1995) เช่นเดียวกับเกรฟฟรุทพันธุ์ "Huyou" ที่พบปริมาณสาร naringin มากที่สุดเมื่อผลอ่อน (849.01 mg/100g FW) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลแก่มากขึ้น (62.43 mg/100 g FW) (Xu et al., 2009) อีกทั้งมีการศึกษาปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์ "Chandler" เมื่อผลแก่พบว่า ปริมาณสาร naringin ลดลงเกือบ 3 เท่า (Ortuno et al., 1995) ซึ่งแตกต่างกับส้ม Yuzu (*Citrus junos* Sieb *ex* Tanka) ที่ความแก่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยพิจารณาจากสีของเปลือกส้ม ได้แก่ เปลือกสีเขียว สีเหลือง และสีเหลืองเข้ม พบว่า ปริมาณสาร hesperidin และ naringin ไม่แตกต่างกัน (Yoo et al., 2004)

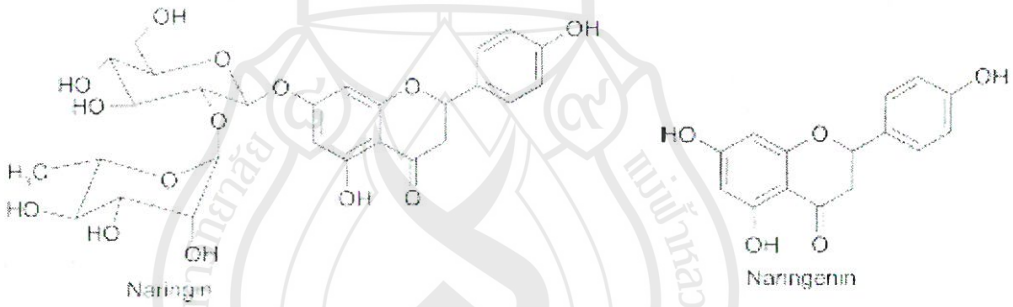


Figure 2.8: The structure of naringin and naringenin.

2.10 สมบัติการต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์

คุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์เกิดจากการที่โครงสร้างประกอบไปด้วยวง benzene และมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่สามารถให้ไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ แล้วเกิดโครงสร้างที่เสถียรเนื่องจากเกิด delocalization ฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชันแตกต่างกันเนื่องจากมีพันธะบนวงแหวน C แ ละตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่แตกต่างกัน ดังแสดงในงานวิจัยของ Rice-evan et al. (1995) ซึ่งทดสอบคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชัน โดยให้ฟลาโวนอยด์ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ (ABTS•+) และวัด total antioxidant activity (TAA) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันขึ้นอยู่กับชนิดของฟลาโวนอยด์ ซึ่งฟลาโวนอยด์ต่างชนิดกันจะมีจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ ตำแหน่ง และจำนวนพันธะคู่ในโครงสร้างแตกต่างกัน โดย quercetin จะเป็นโครงสร้างที่มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันสูงสุดซึ่งประกอบไปด้วย

หมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง 3, 5, 7 บนวงแหวน A และ B และตำแหน่ง 3' และ 4' บนวงแหวน B ซึ่งตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่เรียกว่า *o*-diphenol และพันธะคู่กับออกซิเจนที่ตำแหน่ง 4 บนวงแหวน C ตำแหน่งเหล่านี้จะช่วยในเรื่องของการเกิด delocalization ทำให้โครงสร้างมีความเสถียรมากขึ้น เมื่อสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมให้แก่อนุมูลอิสระ การสูญเสียหมู่ไฮดรอกซิลและพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 2,3 บนวงแหวน C ในการเกิดโครงสร้างไกลโคซายด์กับน้ำตาลทำให้คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชันลดลงเนื่องจากขาดไฮโดรเจนอะตอมในการจับกับอนุมูลอิสระ 1 ตำแหน่ง และการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลจาก 1 หมู่เป็น 2 หมู่ แบบ *o*-diphenol บนวงแหวน B มีผลทำให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเป็น 3 หมู่จะมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันลดลงเนื่องมาจากโครงสร้างขัดขวางการเกิด delocalization

จากการศึกษาของ Amić et al. (2003) ทดสอบคุณสมบัติของการเป็นสารต้านออกซิเดชันโดยให้ฟลาโวนอยด์ทำปฏิกิริยากับสารอนุมูลอิสระ (DPPH) และวัด radical scavenging activity (%) พบว่าคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชันขึ้นของสารฟลาโวนอยด์ขึ้นอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลวงแหวน B ตำแหน่งที่ 3' และ 4' รองลงมาได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิลตำแหน่ง 3 บนวงแหวน C และการมีพันธะคู่ของวงแหวน C ตรงตำแหน่งที่ C_2 และ C_3 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสาร taxifolin kaempferol rutin และ quercetin มีคุณสมบัติดังกล่าวมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสารชนิดอื่นๆ อีกทั้งมีรายงานเพิ่มเติมซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับของ Yu et al. (2005) ที่ทดสอบสารต้านออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์ที่สำคัญในพืชตระกูล *Citrus* กับสารอนุมูลอิสระ DPPH พบว่าสาร scutellarein kaempferol และ rutin มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมากถึง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับสารอื่นๆ เช่น naringin naringenin neohesperidin ซึ่งมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันน้อยกว่าถึง 5 เท่า (ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน 10%)

2.11 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์ต่อสุขภาพและคุณค่าทางโภชนาการ

การที่ฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านการเกิดออกซิเดชันส่งผลให้มีประโยชน์ทางเภสัชวิทยาต่อร่างกายดังนี้ คือ

1. สมบัติป้องกันมะเร็ง (Anti-cancer properties) ฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติในการต้านการเกิดมะเร็ง โดยมีหน้าที่หลักคือ ทำลายอนุมูลอิสระ ยับยั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของเนื้องอก และทำหน้าที่ยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง พบว่า สารฟลาโวนอยด์ ชนิด hesperidin และ naringenin สามารถยับยั้งการแบ่งตัวและการเติบโตของมะเร็ง (Hertog et al., 1992) เนื่องจากในผลส้มโอและเกรฟฟรุทมีสาร naringin เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ ซึ่งลักษณะโครงสร้างของสาร naringin (naringenin-7-rhamnoglucoside) คล้ายกับสาร naringenin ตรงที่สาร naringin มีน้ำตาล

โมเลกุลของน้ำตาลไกลโคไซด์อยู่ตรงตำแหน่งที่ 7 บนวงแหวน A (Figure 2.8) ซึ่งเมื่อรับประทานสาร naringin ทำให้เกิดการ hydrolyzed ของเชื้อจุลินทรีย์ในลำไส้ได้สาร naringenin ที่อยู่ในรูปที่สามารถดูดซึมได้ (Ameer et al., 1996) นอกจากนี้ได้มีการทดลองป้อนน้ำส้มและน้ำเกรฟฟรุทเข้มข้นให้หนูที่เป็นมะเร็งเต้านมกิน จะป้องกันมะเร็งเต้านมได้ดี รวมทั้งทำให้ก้อนมะเร็งเล็กลงได้ และพบว่าหากใช้น้ำส้มกับ naringin ให้ผลดีที่สุด (ปริชาติ, 2543)

2. สมบัติป้องกันโรคหลอดเลือดหัวใจ (Anti-candiovascular properties) มีความสามารถในการป้องกันการแตกของเส้นเลือดและป้องกันการแข็งตัวของเส้นเลือด

3. Metal cation chelators ทำหน้าที่ในการจับไอออนของโลหะไว้ เนื่องจากไอออนของโลหะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้เกิดการทำลายเซลล์ร่างกาย

4. สมบัติต้านอาการอักเสบ (Anti-inflammatory properties) ทำหน้าที่ยับยั้งการอักเสบเนื่องจากเมื่อเกิดอาการอักเสบจะเป็นการเพิ่มอนุมูลอิสระ และเร่งการพัฒนาอนุมูลอิสระซึ่งสารที่มีคุณสมบัตินี้มากคือ สารในกลุ่มฟลาโวนอล

5. ลดปริมาณ LDL cholesterol (Low-Density Lipoprotein Cholesterol) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่เป็นผลเสียต่อร่างกาย ซึ่งหากร่างกายมีปริมาณ LDL cholesterol มาก จะส่งผลให้เกิดอาการหลอดเลือดแดงตีบตัน (Davies et al., 2003)

2.12 วิตามินซีในส้มโอและเกรฟฟรุท

วิตามินซี (Vitamin C) หรือ กรดแอล-แอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) (Figure 2.9) เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ร่างกายไม่สามารถที่จะสร้างขึ้นเองได้ จึงจำเป็นต้องได้รับจากการรับประทานเข้าไป วิตามินซีมีคุณสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย วิตามินซีไม่คงตัวต่อความร้อน และสภาวะพีเอชเป็นกลางหรือด่าง อีกทั้งยังไม่คงตัวในอากาศ หรือสภาวะที่มีออกซิเจนสูง (นิธิยา, 2545)

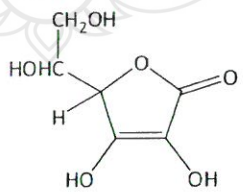


Figure 2.9: The structure of vitamin C

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณวิตามินซีในส้มโอและเกรฟฟรุทโดยทั่วไปพบว่าส้มโอเป็นผลไม้ที่มีปริมาณวิตามินซีสูง (60 mg/100g) ปริมาณวิตามินซีในส้มโอมีมากกว่าเกรฟฟรุทถึง 2 เท่า ทั้งนี้

ลักษณะของสีเนื้อของส้มโอและเกรฟฟรุทพบว่าลักษณะสีเนื้อที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณวิตามินซี (Table 2.9)

Table 2.9: The content of vitamin C in edible parts of pummelos and grapefruits

Fruits	วิตามินซี (mg/100g)	เอกสารอ้างอิง
Pummelo	61	USDA Nutrient database (2010)
Red pummelo (cv. Thong Dee)	60	กองโภชนาการ (2544)
Red grapefruit	31.2	USDA Nutrient database (2010)
White grapefruit	33.3	USDA Nutrient database (2010)

2.13 ประโยชน์ของวิตามินซีต่อร่างกาย

วิตามินซีมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์คอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นโปรตีนที่จำเป็นสำหรับสร้างเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน คอลลาเจนประกอบด้วยไฮดรอกซีโพรลีนซึ่งได้จากการเปลี่ยนโพรลีน การขาดวิตามินซีจะทำให้ไม่มีการเปลี่ยนโพรลีนเป็นไฮดรอกซีโพรลีน ทำให้มีอาการของโรคลักปิดลักเปิด (scurvy) เกิดความผิดปกติของกระดูกและฟัน วิตามินซีมีส่วนช่วยให้ผนังเส้นเลือดแข็งแรง การขาดวิตามินซีเป็นเหตุให้มีการเปราะแตกง่ายของผนังเส้นเลือด ทำให้เลือดออกง่าย วิตามินซีช่วยเสริมความต้านทานต่อการติดเชื้อทั้งไวรัสและแบคทีเรียจากภายนอกร่างกาย วิตามินซีช่วยรักษาผิวของเซลล์เม็ดเลือดขาวไม่ให้ถูกทำลาย ช่วยลดอาการแพ้ต่าง ๆ รวมทั้งโรคภูมิแพ้ เป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายที่อาจก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็งโดยเฉพาะบริเวณปาก หลอดอาหารและหลอดคอ โดยวิตามินซีจะไปห้ามการสร้างสารก่อมะเร็งในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้วิตามินซียังช่วยเพิ่มการดูดซึมของธาตุเหล็ก โดยจะเปลี่ยนเหล็กในอาหารซึ่งอยู่ในรูปเฟอร์ริกไอออน (ferric ions) ให้เป็นเฟอรัสไอออน (ferrous ions) และยังรวมกับเหล็กเป็นสารอณูเล็กทำให้ดูดซึมได้ดีขึ้น ปริมาณวิตามินซีที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย อายุ 19 ถึง 71 ปี เพศชาย และหญิง คือ 90 และ 75 มิลลิกรัมต่อวัน ตามลำดับ การขาดวิตามินซีอาจทำให้เกิดผลต่อระบบบางอย่างของร่างกายที่วิตามินซีมีส่วนเกี่ยวข้อง (Sizer and Whitney, 2008)

2.14 แคโรทีนอยด์ในส้มโอและเกรฟฟรุท

ส้มโอและเกรฟฟรุทเป็นผลไม้ที่มีเนื้อผลสีขาวและสีชมพู หรือสีแดง โดยสีชมพูและสีแดงเกิดจากรงควัตถุที่สำคัญคือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งแคโรทีนอยด์สำคัญที่พบมากที่สุดในส้มโอและเกรฟฟรุทคือ ไลโคพีน (lycopene) รองลงมาคือ เบตาแคโรทีน (β-carotene) (Figure 2.10) จากการศึกษาพบว่าสารไลโคพีนในปริมาณที่มากว่าสารเบตาแคโรทีนถึง 1-6 เท่า (Table 2.10 และ 2.11) (Fanciullino et al., 2006; Xu et al., 2006) สารทั้งสองชนิดเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) เชื่อมต่อกันด้วยไอโซพรีนยูนิต มีพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว เป็นสารไม่มีขั้ว ละลายได้ดีในไขมัน ลักษณะโมเลกุลของไลโคพีนเป็นเส้นตรง ส่วนเบตาแคโรทีนเป็นเส้นตรงมีวงแหวน (ring) ที่ปลายโซ่ของโมเลกุล เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไลโคพีนเป็นเส้นตรงและเป็นสารไม่มีขั้วจึงดูดซึมได้ไม่ดี แต่ถ้าผ่านการปรุงด้วยความร้อนแล้วจะดูดซึมได้ดีขึ้น เนื่องจากความร้อนจะทำให้ไลโคพีนในรูป *trans*-lycopene เปลี่ยนเป็น *cis*-lycopene ซึ่งอยู่ในรูปที่ดูดซึมได้ดีกว่า *trans*-lycopene (Weerasak, 2005)

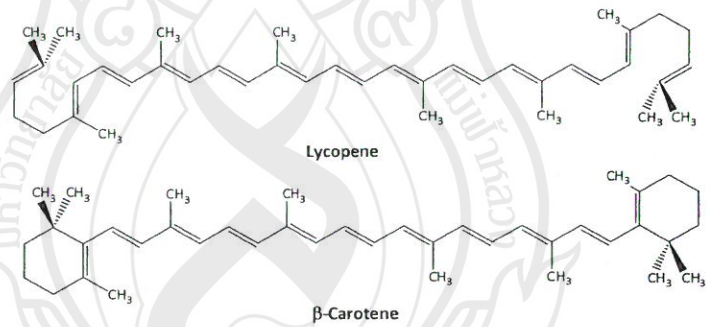


Figure 2.10: The structure of lycopene and β-carotene

อย่างไรก็ตามพบว่าส้มโอมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดน้อยกว่าเกรฟฟรุทถึง 4-8 เท่า โดยเฉพาะสารไลโคพีนและเบตาแคโรทีนที่พบในเกรฟฟรุทมากกว่าส้มโออย่างชัดเจน (Fanciullino et al., 2006; Xu et al., 2006) อีกทั้งเกรฟฟรุทเป็นผลไม้ที่มีไลโคพีนอยู่ในปริมาณปานกลางและใกล้เคียงกับมะเขือเทศที่มีสารไลโคพีนเป็นองค์ประกอบถึง 60-64% ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Roldán-Gutiérrez, 2007)

Table 2.10: The content of carotenoids (mg/L)in juice of pummelos and grapefruits (Fanciullino et al., 2006)

Content (mg/IL	Pummelo		Grapefruit	
	cv. "Chandler"	cv. "Deep Red"	cv. "Star Ruby"	cv. "Ray Ruby"
cis-neoxanthin	0.099	X	X	X
neochrome	0.074	X	X	X
cis-violaxanthin	0.819	X	X	X
lutein	0.086	X	X	X
cis-isolutein	0.150	X	X	X
α-crptoxanthin	0.083	0.138	2.130	0.581
phytofluene	X	0.014	1.711	0.510
ξ-carotene	X	X	0.369	0.293
β-carotene	0.360	0.943	2.826	1.142
cis- β-carotene	X	X	0.171	X
lycopene	0.495	1.536	10.072	6.855
Ratio of pigment (lycopene/β-carotene)	1.375	1.628	3.564	6.002
Total carotenoids	**2.165**	**2.697**	**17.566**	**9.381**

X = not detectable

Table 2.11: The content of lycopene and β-carotene in pummelos and grapefruits (Xu et al., 2006)

Fruits	lycopene (μg/g)	β-carotene (μg/g)	Ratio of pigement (lycopene/ β-carotene)
Red pummelo cv. "Fengdu"	92.15	27.33	3.37
Pummelo cv. "Hirado Buntan"	1.79	1.54	1.16
Grapefruit cv. "Star Ruby"	283.57	93.03	3.05

2.15 ประโยชน์ของแคโรทีนอยด์ต่อร่างกาย

แคโรทีนอยด์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงโดยเฉพาะ เบตาแคโรทีน ไลโคพีน และลูทีน อีกทั้งสามารถหารับประทานได้ง่ายและราคาไม่แพง มีสมบัติป้องการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง ชะลอความแก่และป้องกันความผิดปกติของผิวหนังอันเนื่องมาจากแสงแดด

มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ เพื่อการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายและเพิ่มภูมิต้านทาน โดยทั่วไปร่างกายควรได้รับแคโรทีนอยด์แต่ละชนิดประมาณ 5-20 มิลลิกรัมต่อวัน สารไลโคพีนมีสมบัติสามารถยับยั้งออกซิเจนพลังงานสูง (singlet state, O^*_2) ได้มากที่สุดในบรรดาสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ด้วยกันและยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งได้ดีกว่าแอลฟาแคโรทีนและเบตาแคโรทีน และคาดว่าไลโคพีนสามารถยังยั้งการโรคหัวใจและโรคมะเร็ง ลดอัตราเสี่ยงในการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งปอด และมะเร็งกระเพาะอาหาร สำหรับสารเบตาแคโรทีนเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการมองเห็น การสร้างสเปิร์ม การสร้างกระดูกและฟัน การซ่อมแซมเนื้อเยื่อ และสุขภาพของผิวพรรณ เบตาแคโรทีนรักษาโรคบางชนิด เช่น โรคกระดูก ความผิดปกติของผิวหนังเนื่องมาจากความไวต่อแสง ป้องกันโรคหัวใจโดยการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ LDL (Weerasak, 2005)

2.16 ฟีนอลิกในส้มโอและเกรฟฟรุท

สารประกอบฟีนอลิค (phenolic compound) เป็นสารพฤกษเคมี (phytochemicals) ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนอะโรมาติกที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) รวมอยู่ในโมเลกุล สารฟีนอลิกที่สำคัญในส้มโอและเกรฟฟรุทได้แก่ Chlorogenic acid, Ferulic acid, Sinapic acid, *p*-Coumaric acid และ Caffeic acid (Figure 2.11) โดยปริมาณสารฟีนอลิกที่สำคัญของส้มโอและเกรฟฟุทมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-6.9 mg/100g FW อย่างไรก็ตามสารฟีนอลิกอื่นๆ ยกเว้น chlorogenic ในส้มโอและเกรฟฟรุทมีค่าใกล้เคียงกัน (Table 2.12) (Wang et al., 2007; Xu et al., 2008) ทั้งนี้การวิจัยชนิดสารฟีนอลิกในส้มโอและเกรฟฟรุทยังมีน้อย อาจเนื่องจากปริมาณสารฟีนอลิกในผลไม้ดังกล่าวมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารฟลาโวนอยด์

2.17 ประโยชน์ของฟีนอลิกต่อร่างกาย

สารประกอบฟีนอลิคมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน สามารถจับอนุมูลอิสระที่เป็นต้นเหตุของการก่อโรคต่างๆ ในร่างกาย โดย chlorogenic acid และ caffeic acid มีส่วนช่วยในการป้องกันโรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 Diabetes Mellitus) (Paynter et al., 2006) โรคหัวใจ (Morton et al., 2000) นอกจากนี้มีคุณสมบัติในการต้านเชื้อไวรัส (Jassim and Naji, 2003) เชื้อแบคทีเรีย (Sotillo et al., 1998) และเชื้อราแบคทีเรีย (Bowles and Miller, 1994) สารferulic acid ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็งจากสารก่อมะเร็งพวก benzopyren (Lesca, 1983) และ 4-nitroquinoline 1-oxide (Mori et al., 1999) สำหรับ *p*-Coumaric acid มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่

สามารถลดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในช่องท้อง (Ferguson et al., 2005) โดยช่วยยับยั้งการเกิดสารก่อมะเร็งพวกไนโตรซามีน (nitrosamine) (Kikugawa et al., 1983)

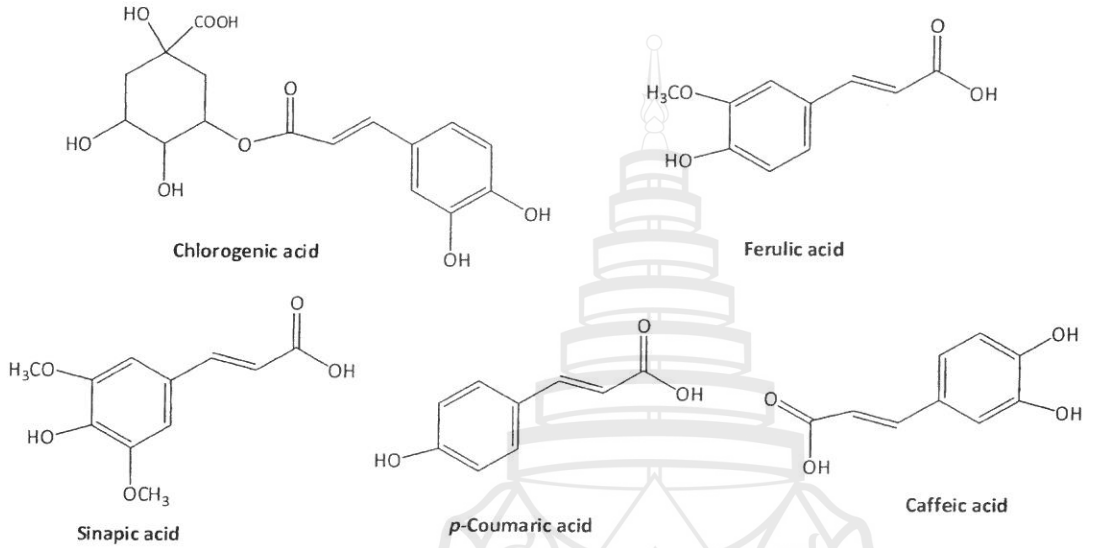


Figure 2.11: The structures of phenolic compounds in pummelos and grapefruits

Table 2.12: Phenolic compounds found in edible parts of pummelos and grapefruits (mg/100g FW)

Phenolic acid	Pummelo				Grapefruit
	cv. "Miyou"	cv. "Sijiyou"	cv. "Wendun"	cv. "Peiyou"	cv. "Huyou"
	Xu et al. (2008)		Wang et al. (2007)		Xu et al. (2008)
Caffeic	0.056	0.195	0.173	0.185	0.102
p-Coumaric	0.103	0.237	0.309	0.240	0.104
Ferulic	0.045	0.183	0.569	1.016	0.445
Sinapic	0.155	0.102	0.333	0.203	0.155
Chlorogenic	ND	ND	1.545	0.794	ND
Total	0.385	0.792	6.930	6.765	0.992

ND = not determined

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์

ทำเครื่องหมายบนก้านช่อผลส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ในแปลงเดียวกัน จากสวนเกษตรกร (คุณอัสนี สันติวรพิพัฒน์) อายุต้น 7 ปี ที่ปลูกในอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย ในปี พ.ศ. 2551-2552 พันธุ์ละ 12 ต้น หลังจากนั้นเก็บเกี่ยวส้มโอทั้งสองพันธุ์ที่อายุผล 2-8 เดือน (8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน; WAFB) จำนวน 12 ผล (1 ผล/ซ้ำ) ทุก ๆ 4 สัปดาห์จนอายุครบ 32 สัปดาห์ ทำการขนส่งผลส้มโอไปยังห้องปฏิบัติเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอทั้งสองพันธุ์ในระหว่างการเจริญเติบโต

3.1.1 สมบัติทางกายภาพ

3.1.1.1 น้ำหนักผล (กรัม)

3.1.1.2 น้ำหนักเปลือก (กรัม)

3.1.1.3 น้ำหนักเนื้อ (กรัม)

3.1.1.4 เส้นรอบวงผล (ซม.)

3.1.1.5 เส้นผ่าศูนย์กลางผลและเนื้อ (ซม.)ใช้มีดผ่ากลางผลส้มโอในส่วนที่กว้างที่สุดแล้ววัดเส้นผ่าศูนย์กลาง

3.1.1.6 ความสูงผล (ซม.)

3.1.1.7 ค่า mean geometrical diameter

$$GM = (ac^2)^{1/3}$$

GM = mean geometrical diameter (ซม.)

a = the main (longest) diameter (ซม.)

c = the longest diameter perpendicular to a and b) (ซม.)

3.1.1.8 ความหนาเปลือก (ซม.)

3.1.1.9 สีผิวของเปลือกและเนื้อ (juice sac) โดยใช้เครื่องวัดสี Miniscan (Color Quest XE, Hunter lab brand, USA) แสดงผลเป็นค่า L* a* b* CIE Chromaticity values โดยค่า L* (ค่าความสว่าง) มีค่าตั้งแต่ 0 (black) ถึง 100 (white) ค่า a* ประกอบด้วย +a = สีแดง (red) –a = เขียว (green) และ b* ประกอบด้วย +b = สีเหลือง (yellow) –b = น้ำเงิน (blue)

3.1.1.10 ปริมาณน้ำคั้น (%)

3.1.2 สมบัติทางเคมี

3.1.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids; TSS) ของน้ำคั้นมีหน่วยเป็น % ซึ่งวัดด้วยเครื่อง hand refractometer (ATAGO, Japan)

3.1.2.2 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) โดยนำน้ำคั้น 2 มิลลิลิตร เติม phenolphthalein 1% 1-2 หยด เป็น indicator แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งถึง end points นำค่าปริมาตรสาร NaOH แล้วมาคำนวณหาค่า % citric acid จากสูตร

$$\% \text{ TA} = \frac{(\text{ml NaOH})) (\text{N NaOH}) (\text{meq.wt. acid})}{\text{ml. of sample}} \times 100$$

N base คือ normality ของสารละลาย NaOH

meq.wt. acid (Citric acid) = 0.006404

3.1.2.3 อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA

3.1.2.4 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar)

3.1.2.5 ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง (non-reducing sugar)

3.1.2.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar)

ตามวิธีของ Lane และ Eynon (AOAC, 2000)

การเตรียมตัวอย่าง

นำเนื้อส้มโอ 80 กรัมนำมาปั่นให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างประมาณ 5-10 กรัมใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรประมาณ 2/3 ของขวดวัดปริมาตร เติม Carrez I และ Carrez II อย่างละ 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร (V_1 = 250) กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง สารละลายที่กรองได้ทั้งหมดคือ sample solution A จากนั้นปิเปต sample solution A 50 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติม 5 มิลลิลิตรกรดไฮโดรคลอลิค นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำให้เป็นกลางด้วย 40%w/v โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร (V_2 = 100) สารละลายที่ได้เรียกว่า sample solution B

การหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง

Preliminary titration

ปิเปต 10 มิลลิลิตรของ Fehling's solution (A+B) นำไปต้มจนเดือดจากนั้นเติม 2-3 หยด ของ methylene blue indicator นำไปไตเตรทขณะร้อนกับ sample solution A จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดงอิฐ บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรท (V_p, ml)

Accurate titration

ปิเปต 10 มิลลิลิตรของ Fehling's solution (A+B) นำไปต้มจนเดือดจากนั้นเติม 2-3 หยด ของ methylene blue indicator เติม sample solution A ปริมาตร $V_p - 1$ มิลลิลิตร นำไปไตเตรทขณะร้อนกับ sample solution A จนสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดงอิฐ บันทึกปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรท (V_a, ml)

การคำนวณ

$$\text{Reducing sugar (\%w/w)} = \frac{F \times V_1 \times 100}{V_a \times 1000 \times W}$$

F = Invert sugar factor for 10 ml of Fehling's solution

V_1 = 250

100 = Conversion factor from 1 g to 100 g

V_a = Accurate volume of sample solution A used for titration (ml)

1000 = Conversion factor from mg to g

W = Weight of sample (g)

การหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ทำเช่นเดียวกับการหาน้ำตาลรีดิวซ์ซิง แต่ใช้ sample solution B แทน sample solution A

การคำนวณ

$$\text{Total sugar (\%w/w)} = \frac{F \times V_2 \times V_1 \times 100}{V_a \times 50 \times 1000 \times W}$$

F = Invert sugar factor for 10 ml of Fehling's solution (mg)

V_1 = 250

V_2 = 100

100 = Conversion factor from 1 g to 100 g

V_a = Accurate volume of sample solution B used for titration (ml)

1000 = Conversion factor from mg to g

W = Weight of sample (g)

50 = Volume of sample solution A used to prepare sample solution B (ml)

การหาปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง

หาปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงจาก

Non-reducing sugar (%w/w) = Total sugar (%w/w) – Reducing sugar (%w/w)

3.1.2.7 ปริมาณวิตามินซี โดยนำน้ำคั้นส้มโอ 2 ml และทำการไทเทรตด้วยสาร 2–6 dichlorophenol-indophenol (AOAC, 1990) รายงานผลในหน่วย (mg/100 ml)

3.1.3 สมการถดถอยเชิงเส้น (Liner regression equation) ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

วิเคราะห์หาค่าสมการถดถอยเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างน้ำหนักผลส้มโอและสมบัติทางกายภาพได้แก่น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงผล และ%น้ำคั้น กับสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณ TSS และอัตราส่วน TSS:TA รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงผลและน้ำหนักเนื้อ

3.1.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติจากโปรแกรม SAS (version 8.1) ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05% โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์

3.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ระยะความบริบูรณ์

ทำเครื่องหมายบนก้านช่อผลของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ที่อายุผล 12 สัปดาห์หลังดอกบาน โดยต้นส้มโอที่ใช้ในการทดลองมีอายุต้นประมาณ 6 ปี จำนวน 6 ต้น/พันธุ์ จากสวนเกษตรกร (คุณสมศักดิ์ บุญยวง) ที่ได้รับการรับรอง Global GAP ใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย หลังจากนั้นสุ่มเก็บเกี่ยวผลส้มโอทั้งสองพันธุ์ตั้งแต่อายุ 24-32 สัปดาห์หลังดอกบาน จำนวน 4 ซ้ำ

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) จัดสิ่งทดลองแบบ factorial ปัจจัยแรกได้แก่ พันธุ์ส้มโอ (พันธุ์ทองดี พันธุ์แชนเลอร์) และปัจจัยที่ 2 ได้แก่ ความบริบูรณ์ (อายุ 24 28 และ 32 สัปดาห์หลังดอกบาน) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ (3 ผล/ซ้ำ) หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างส้มโอเพื่อประเมินความแก่และหาปริมาณสารฟลาโวนอยด์ โดยแช่แข็งตัวอย่างส้มโอด้วยไนโตรเจนเหลว นำไปเก็บไว้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์สำคัญและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในส้มโอต่อไป

3.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids; TSS) ของน้ำคั้นมีหน่วยเป็น % ซึ่งวัดด้วยเครื่อง hand refractometer (ATAGO, Japan)

3.2.2 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Titratable acidity; TA) มีหน่วยเป็น %

3.2.3 อัตราส่วนระหว่าง TSS:TA

3.2.4 การสกัดสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอ

ชั่งเนื้อส้มโอที่แช่แข็ง 10 กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน เติมไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (dimethylformamide; DMF) 20 มิลลิลิตร โฮโมจิไนซ์ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที วัดปริมาตรสารละลายทั้งหมด นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แยกสารละลายส่วนใส นำไปกรองผ่าน syringe filter (PTFE, 0.40 µm) ใส่ใน vial 2.0 มิลลิลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่องHPLC (High-performance liquid chromatography)

3.2.5 การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC

การวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ด้วยวิธี HPLC ดัดแปลงจากวิธีของ Mouly et al. (1998) เตรียมสารละลายมาตรฐานฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดได้แก่ neohesperidin (hesperitin 7-neohesperidoside, NEH), kaempferol (3,5,7,4´-tetrahydroxyflavone, KAP), rutin trihydrate (RUT), apigenin (5,7,4´-trihydroxyflavone, APG) และ quercetin dihydrate (3,5,7,3´,4´-pentahydroxyflavone dihydrate, QUE) อย่างละ 140 µg/ml naringin (naringenine-7-rhamnosidoglucoside, NAR) ความเข้มข้น 1,400 µg/ml hesperidin (hesperetin-7-rutinoside, HES) ความเข้มข้น 700 µg/ml และ naringenin ความเข้มข้น 200 µg/ml ใน 30%v/v DMF บันทึกน้ำหนักและความบริสุทธิ์ของสารมาตรฐาน คำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารมาตรฐานแต่ละ

ชนิด ผสมสารละลายมาตรฐานฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด จะได้สารละลายผสมของสารมาตรฐานเข้มข้น เตรียมสารละลายผสมของสารมาตรฐานให้มีความเข้มข้นต่างๆ โดยเจือจางจาก stock 1, 1.5, 2, 4, 10 และ 15 เท่า ด้วย 30%v/v DMF นำไปกรอง syringe filter (PTFE, 0.40 μm) ใส่ใน vial 2.0 มิลลิลิตร นำไปฉีดเข้าเครื่อง HPLC (Water 2695) ใช้คอลัมน์ Altima C-18 column (Alltech Associates; 250 mm x 4.6 mm) ทำการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 35°C ใช้อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ 1.0 ml/min เฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยอะซิโตไนไตรด์ (A) และกรดอะซิติก 4%v/v (B) ปรับอัตราการไหลแบบ gradient ดังแสดงในตารางที่ 3.1 เวลาในการ run 70 นาที/ตัวอย่าง ตรวจวัดด้วย PDA-detector ที่ความยาวคลื่น 280 nm วิเคราะห์ชนิดของสารกับสารมาตรฐานโดยเทียบ retention time และ spectrum ของสารมาตรฐานกับตัวอย่าง ซึ่งทดสอบการดูดกลืนคลื่นแสง UV-Visible ที่ความยาวคลื่น 220-380 nm หาปริมาณโดยวิธี external standard method ควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยฉีดสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน และทำ spiked sample ในทุกๆ 10 ตัวอย่าง

Table 3.1: Elution profiles for determination of flavonoids by HPLC (Mouly et al., 1998)

Time (min)	อัตราส่วน A:B					
	0	12	43	44	65	70
%A (Acetonitrile)	0	8	34	70	70	0
%B (4%acetic acid)	100	92	66	30	30	100

วิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดโดยวิธี external standard method สร้างกราฟมาตรฐานฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดระหว่างความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์และพื้นที่ใต้พีค คำนวณปริมาณฟลาโวนอยด์แต่ละชนิด ดังนี้

$$\text{Flavonoid content (mg/100g fresh weight)} = \frac{C \times V \times 100}{W \times 1000}$$

C = ความเข้มข้นของฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดจากกราฟมาตรฐาน (μg/ml)

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่สกัดได้ (ml)

W = น้ำหนักตัวอย่างส้มโอที่ชั่งมา (g)

3.2.6 ปริมาณวิตามินซี

โดยนำน้ำคั้นส้มโอ 2 ml และทำการไทเทรตด้วยสาร 2–6 dichlorophenol-indophenol (AOAC, 1990) รายงานผลในหน่วย (mg/100 ml)

3.2.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolics) ในน้ำคั้นส้มโอตามวิธีการของ Singleton and Rossi (1965) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่วัดได้มีหน่วยเป็น mg/100g น้ำหนักสด

ชั่งน้ำหนักส้มโอประมาณ 50-60 g ทำการคั้นน้ำและวัดปริมาตรน้ำคั้นส้มโอ (ml) ดูดน้ำคั้นมา 1 ml นำไปเจือจาง 10 เท่า หลังจากนั้นดูดตัวอย่างมา 1 ml เติม Folin-Ciocalteu phenol reagent (10% v/v) 5 ml ทิ้งไว้นาน 5 นาที เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex mixer และเติม Sodium carbonate 7.5% (w/v) 4 ml ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Biochrom / Libra s21 & s22, England) ที่ความยาวคลื่น 765 nm โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ gallic acid ที่ระดับความข้มข้น 10-100 µg/ml

3.2.8 ปริมาณสารไลโคพีน

วิเคราะห์ปริมาณสารไลโคพีนดัดแปลงจากวิธีของ Ravelo-Perez et.al (2007) ทำการชั่งน้ำหนักเนื้อส้มโอ 0.5g เติมสารละลาย 0.5% Butylated hydroxytoluene (BHT) ที่ละลายในสารละลายacetone จำนวน 5 ml หลังจากนั้นเติม ethanol 5 ml และ hexane 10 ml ทำการปั่นด้วยเครื่อง homogenizer คนสารละลายในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำ deionized 3 ml และคนอีกครั้งในอ่างน้ำแข็งนาน 5 นาที ทิ้งสารละลายตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสารละลาย ดูดสารละลายชั้นบนมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 503 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Biochrom/ Libra s21 & s22, England) และใช้สารละลาย hexane เป็น blank

$$\text{Lycopene (mg/100g FW)} = \frac{(A_{503} \times 3.121)}{\text{g tissue}}$$

3.2.9 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี Ferric reducing power activity (FRAP-assay)

ทดสอบความสามารถในการรีดิวซ์ของ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ตามวิธีของ Yen & Duh (1995) โดยชั่งน้ำหนักส้มโอประมาณ 50-60g ทำการคั้นน้ำและวัดปริมาตรน้ำคั้นส้มโอ (ml) ดูดน้ำคั้นมา 1 ml เติม phosphate buffer (0.2 M, pH 6.6) 2.5 ml และ 1% aqueous potassium hexacyanoferrate

$[K_3Fe(CN)_6]$ 2.5 ml หลังจากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 50°C นาน 30 นาที และเติม 10% trichloroacetic acid 2.5 ml ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer ทิ้งไว้นาน 10 นาที จะเกิดการแยกชั้นของสารละลาย หลังจากนั้นเติมน้ำ 5 ml และ 0.1% aqueous $FeCl_3$ 0.5 ml วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 700 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Biochrom/ Libra s21 & s22, England) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Ascorbic acid ที่ระดับความข้มข้น 0-1000 μM และรายงานผลการทดลองความสามารถในการรีดิวซ์มีหน่วยเป็น μmol AA/100g น้ำหนักสด

$$\text{Ascorbic acid (μmol)/100g FW} = \frac{\text{Ascorbic acid (μmol)} \times 100}{\text{Weight of sample}}$$

3.2.10 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical scavenging activity (DPPH-assay)

ทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ตามวิธีของ Yen and Duh (1994) โดยชั่งน้ำหนักส้มโอประมาณ 50-60g ทำการคั้นน้ำและวัดปริมาตรน้ำคั้นส้มโอ (ml) ดูดน้ำคั้นมา 1 ml เจือจางน้ำส้มโอตัวอย่าง 5 เท่า ดูดน้ำส้มโอตัวอย่างเจือจาง 50 μl ผสมกับสารละลาย DPPH ที่ละลายใน methanol ทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที วัดค่าดูดกลืนแสงที่ 517 nm ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Biochrom/ Libra s21 & s22, England) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Trolox ที่ระดับความเข้มข้น 0-1000 μM และรายงานผลเป็นหน่วย μmol TE/100g น้ำหนักสด

$$\text{\% inhibition} = \frac{(A_c - A_s) \times 100}{A_c}$$

$$\text{Trolox (μmol)/100g FW} = \frac{\text{Trolox (μmol)} \times 100}{\text{Weight of sample}}$$

3.2.11 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

โดยวิเคราะห์ผลทางสถิติจากโปรแกรม SAS (version 8.1) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05% และหาค่า Pearson Correlation Coefficients (r) ระหว่างสารออกฤทธิ์สำคัญ (วิตามินซี สาร naringin สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารไลโคพีน) กับฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP-assay และ DPPH-assay

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

4.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์

ส้มโอพันธุ์ทองดีเป็นพันธุ์ที่มีการปลูกมากที่สุดของประเทศไทยคิดเป็น 50% ของพื้นที่การปลูกส้มโอทั้งหมด โดยเฉพาะจังหวัดเชียงรายมีการปลูกส้มโอพันธุ์ทองดีมากที่สุดของประเทศคิดเป็น 44% ของพื้นที่ปลูกพันธุ์ทองดี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2552) อย่างไรก็ตามส้มโอพันธุ์แชนเลอร์เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกและผลิตเพื่อตลาดการส่งออก ทั้งนี้ยังไม่มีรายงานวิจัยส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ที่ปลูกในประเทศไทย อีกทั้งพื้นที่ปลูกเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของส้มโอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการศึกษาการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ในเขต อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย ระหว่าง 8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน เพื่อประเมินความบริบูรณ์ของส้มโอ จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดังต่อไปนี้ 1) สมบัติทางกายภาพได้แก่ น้ำหนักผล น้ำหนักเปลือก น้ำหนักเนื้อ ความหนาเปลือก เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อ เส้นผ่าศูนย์กลางผล ความสูงผล ค่า mean geometrical diameter สีผิวเปลือกและเนื้อ และปริมาณน้ำคั้น(%) 2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณ TSS ปริมาณ TA อัตราส่วน TSS:TA ปริมาณวิตามินซี ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar) ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง (non-reducing sugar) ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar)

4.1.1 สมบัติทางกายภาพ

4.1.1.1 น้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก และความหนาเปลือก

การเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์มีรูปแบบการเจริญเติบโตเป็น simple sigmoid curve โดยการเจริญเติบโตในช่วงที่สอง (8-16 WAFB) ของส้มโอทั้งสองพันธุ์เป็นการเจริญเติบโตของเปลือกส้มโอ หลังจากนั้นส้มโอมีการสร้างเนื้ออย่างรวดเร็ว (Figure 1) สอดคล้องกับรายงานของปนัดดา (2551) พบว่าการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีในจังหวัดเชียงรายที่อายุผล 16 WAFB ส่วนใหญ่เป็นการเจริญเติบโตของเปลือก และตั้งแต่ระยะ 22-35 WAFB (ระยะที่สาม) ส้มโอมีการพัฒนาของเนื้อผลอย่างรวดเร็วสอดคล้องกับการลดลงของน้ำหนักเปลือกและความหนาเปลือก หลังจากนั้นความหนาเปลือกลดลง ตามลำดับ สำหรับการศึกษานี้พบว่า ส้มโอทั้งสองพันธุ์เริ่มสู่ระยะบริบูรณ์ที่อายุผล 28 WAFB เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส้มโอสองพันธุ์จากสมบัติดังกล่าว พบว่า ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีน้ำหนักผลและ

น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก และความหนาเปลือก มากกว่าพันธุ์ทองดี ซึ่งน้ำหนักผลของส้มโอพันธุ์แชนเลอร์และทองดีเมื่ออายุผล 32 WAFB มีค่า 1,270 กรัม และ 1,110 กรัม ตามลำดับ (Figure 1) ซึ่งส้มโอพันธุ์ทองดีส่วนใหญ่มีน้ำหนักผล 940-1,060 กรัม น้ำหนักเปลือก 320-400 กรัม น้ำหนักเนื้อ 520-670 กรัม (ปัญญา, 2541) ในปัจจุบันการคัดขนาดผลส้มโอตามน้ำหนักเป็นหนึ่งในข้อกำหนดการผลิตส้มโอทั่วไปตามมาตรฐานการส่งออก ดังตารางที่ 2.2 แสดงการแบ่งเกรดส้มโอตามน้ำหนักผลตั้งแต่ size 8 (400-700 กรัม) ถึง size 1 (>1900 กรัม) จากผลการทดลองนี้พบว่าส้มโอทั้งสองพันธุ์น้ำหนักอยู่ในช่วง 1,100 -1,300 กรัม อยู่ระหว่าง size 4 (>1,300-1,500 กรัม) และ size 5 (>1,100-1,300 กรัม) (Table 2.2)

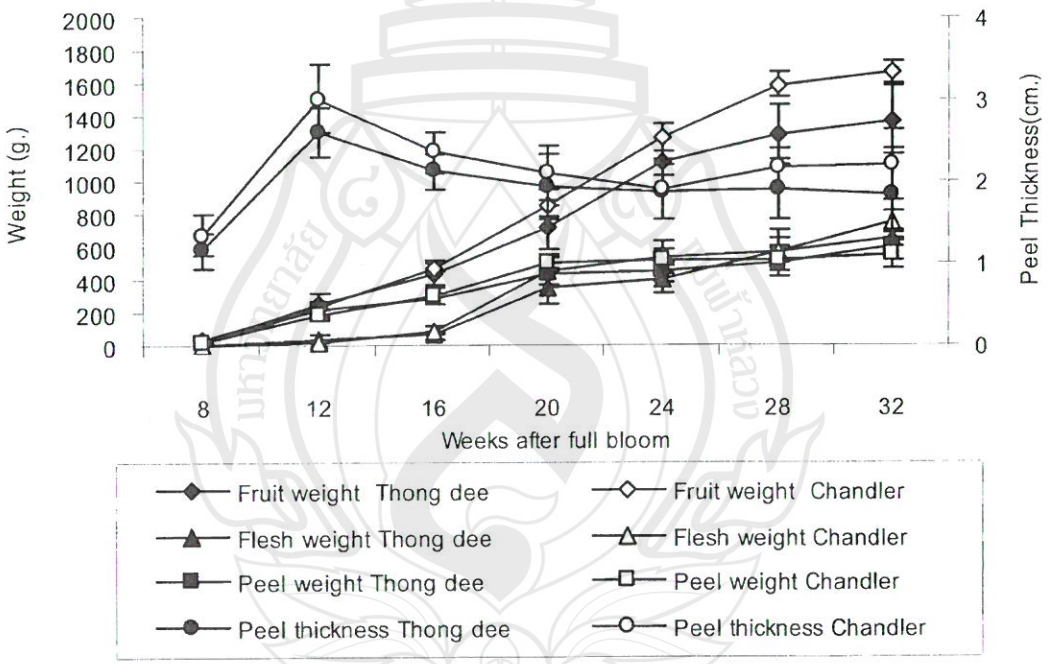


Figure 4.1: Fruit weight, flesh weight, peel weight and peel thickness of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 weeks after full bloom (WAFB)

4.1.1.2 เส้นผ่าศูนย์กลางผล ความสูงผล และค่า mean geometrical diameter

การเปลี่ยนแปลงขนาดผลส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลางผล ความสูงผล และค่า mean geometrical diameter พบว่าการเจริญช่วง 8-20 WAFB เส้นผ่าศูนย์กลางผล ความสูง และค่า mean geometrical diameter ของส้มโอเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Figure 4.2) ซึ่งเป็นการเจริญเติบโตของเปลือกส้มโอ หลังจากนั้นในช่วง 22-35 WAFB เป็นการพัฒนาของเนื้อผล (Figure 4.1) โดยลักษณะส้มโอพันธุ์ทองดีคือ ผลมีขนาดโตปานกลางทรงกลมแป้นไม่มีจุก (ปัญญา, 2541) ส่วนพันธุ์แชนเลอร์ลักษณะรูปทรงผลเป็นไข่ (Oblate) ถึงกลม (globose) ขนาดผลปานกลาง ผิวเรียบ (The College of Natural and Agricultural Sciences, 2010) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส้มโอทั้งสองพันธุ์โดยเฉพาะอายุผล 24-32 WAFB พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีเส้นรอบวงผลและความสูงผลมากกว่าพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งจากผลการทดลองนี้เส้นผ่าศูนย์กลางส้มโอทั้งสองพันธุ์ 140-160 มม. (Figure 4.2) เมื่อเปรียบเทียบกับส้มโอตามมาตรฐานของ มกอช. 2550 พบว่าสอดคล้องกับ size 3 และ 4 (Table 2.3)

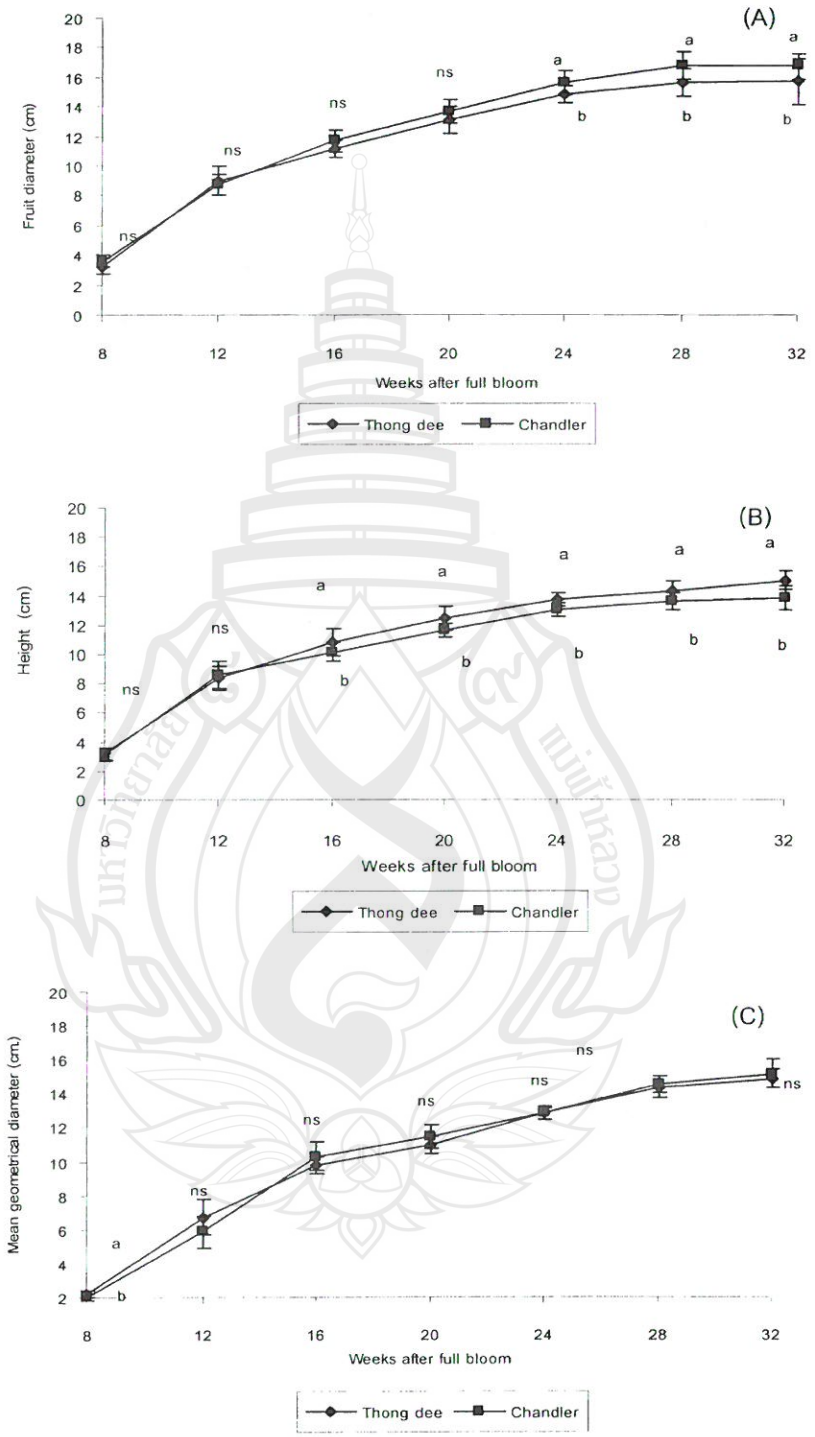


Figure 4.2: Fruit diameter (A), height (B) and mean geometrical diameter (C) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

4.1.1.3 เส้นรอบวงผลและเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อ

Figure 4.3 แสดงเส้นรอบวงและเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อพบว่า ส้มโอพันธุ์เชนเลอร์มีขนาดเส้นรอบวงผลมากกว่าพันธุ์ทองดีที่อายุผล 20-32 WAFB ($P \leq 0.05$) แต่พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางเนื้อของส้มโอทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน โดยเส้นรอบวงของส้มโอทั้งสองพันธุ์นั้นประมาณ 490-540 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับ size 1 (> 536 มม.) และ size 2 (>493-536 มม.) (Table 2.3) ทั้งนี้ในปัจจุบันการเก็บเกี่ยวส้มโอของเกษตรของ อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย กำหนดจากขนาดของเส้นรอบวงผลส้มโอ นิยมเก็บเกี่ยวและคัดขนาดผลที่เส้นรอบวงตั้งแต่ 18 นิ้ว ซึ่งตรงกับ size 4 (>445-470 มม.) ถึงแม้ว่าขนาดเส้นรอบวงของส้มโอทั้งสองพันธุ์จะมีขนาดยาวกว่าเส้นรอบวงเฉลี่ยที่นิยมเก็บเกี่ยว เป็นที่สังเกตว่าการใช้เส้นรอบวงส้มโอเป็นเกณฑ์ของดัชนีการเก็บเกี่ยวนั้นก่อให้เกิดปัญหาการเก็บเกี่ยวส้มโออ่อน ทั้งนี้พบว่าเส้นรอบวงผลส้มโอทั้งสองพันธุ์ค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ 24 WAFB (6 เดือน) ซึ่งระยะเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของส้มโอทั่วไปคือ 28 WAFB (7 เดือน) อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการเก็บเกี่ยวส้มโอ

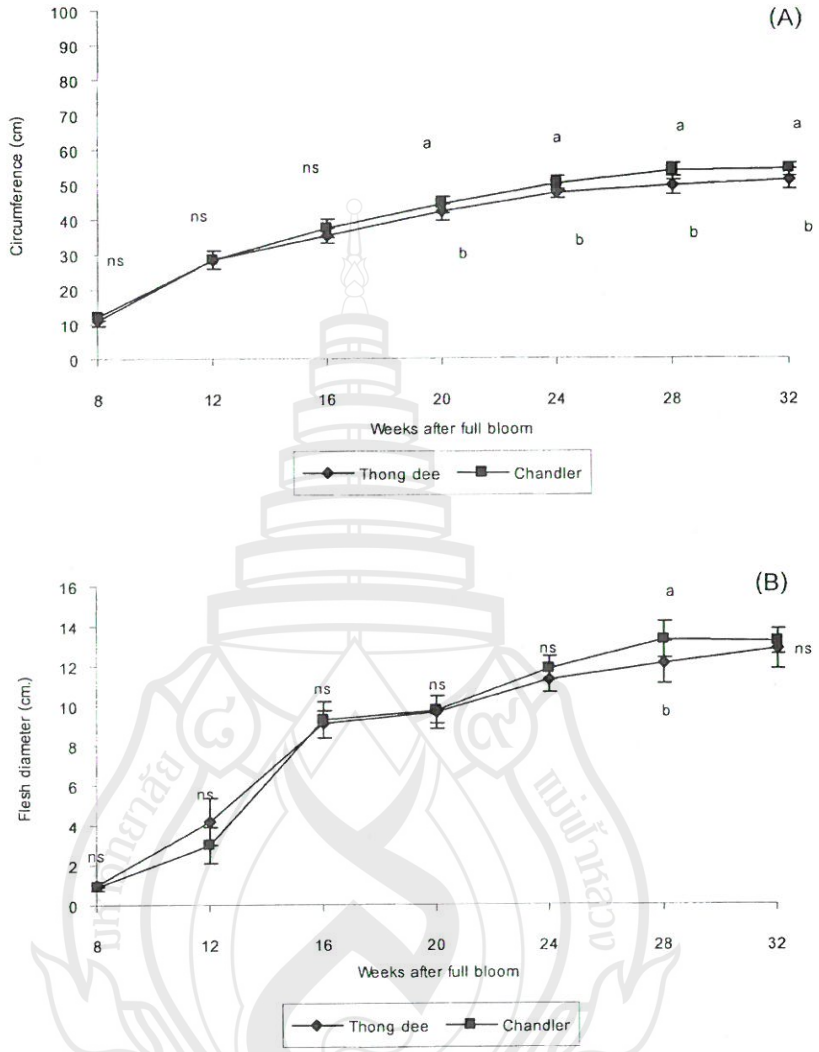


Figure 4.3: Fruit circumference (A) and flesh diameter (B) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

4.1.14 สีผิวเปลือกและสีเนื้อส้มโอ (L*, a*, b* value)

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกส้มโอพบว่าค่า L* (ความสว่าง) เพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ (Figure 4.4A) ค่า -a* (สีเขียว) เพิ่มขึ้น แสดงว่าสีเขียวเปลี่ยนจากเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน (Figure 4.4B) และค่า +b* (สีเหลือง) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นซึ่งหมายถึงมีสีเหลืองมากขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของเปลือกส้มโอจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ (Figure 4.4C)โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase เพิ่มขึ้น คลอโรฟิลล์เกิดการสลายตัวทำให้สีเหลืองของคาโรทีนอยด์ปรากฏให้เห็น โดยที่ปริมาณคาโรทีนอยด์ไม่ได้เพิ่มขึ้น (จริงแท้, 2541) เมื่อเปรียบเทียบสีเปลือกของส้มโอทั้งสอง

พันธุ์พบว่า พันธุ์แซนเลอร์มีสีเปลือกเขียวอ่อนและเหลืองมากกว่าพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ส้มโอทั้งพันธุ์ทองดีและแซนเลอร์อยู่ในกลุ่มส้มโอที่มีเนื้อสีแดงหรือสีชมพู โดยสีเนื้อของพันธุ์แซนเลอร์มีค่า +a* (สีแดง) มากกว่าพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเฉพาะตั้งแต่ 24 WAFB (Figure 4.5C) สอดคล้องกับพัฒนาของสีเนื้อส้มโอที่ได้จากการสังเกตพบว่าส้มโอพันธุ์แซนเลอร์มีเนื้อสีแดงเข้มกว่าพันธุ์ทองดีอย่างชัดเจน (Figure 4.6) ทั้งนี้สีชมพูและสีแดงในเนื้อส้มโอเกิดจากรงควัตถุที่สำคัญคือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งแคโรทีนอยด์สำคัญที่พบมากที่สุดในส้มโอและเกรฟฟรุทได้แก่ ไลโคพีน (lycopene) รองลงมาคือ เบตาแคโรทีน (β-carotene) จากการศึกษาพบว่า สารไลโคพีนในปริมาณที่มากกว่าสารเบตาแคโรทีนถึง 1-6 เท่า (Table 2.10 และ 2.11) (Fanciullino et al., 2006; Xu et al., 2006)

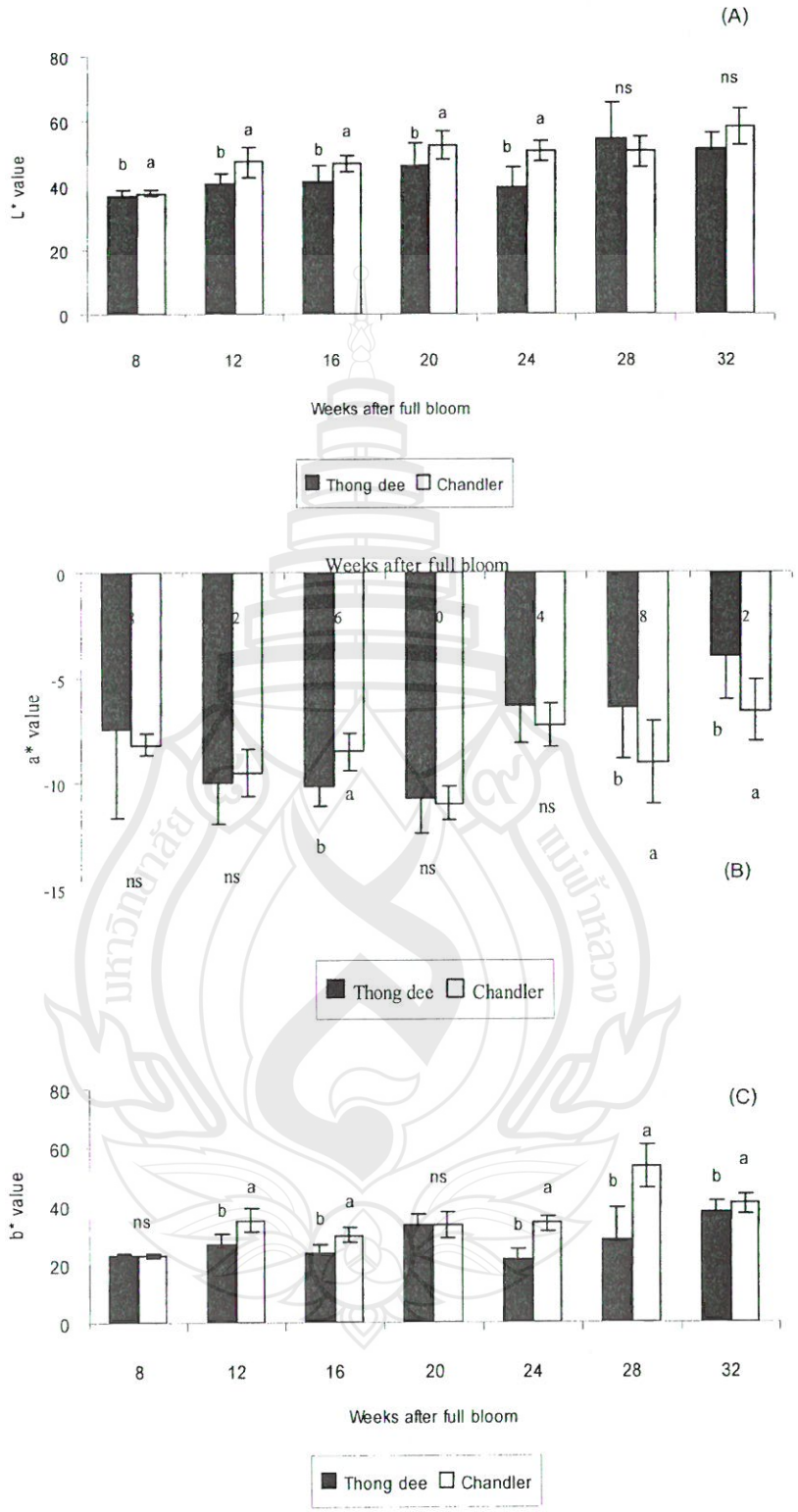


Figure 4.4: The L* (A), a* (B) and b* (C) values of pummelo peels cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

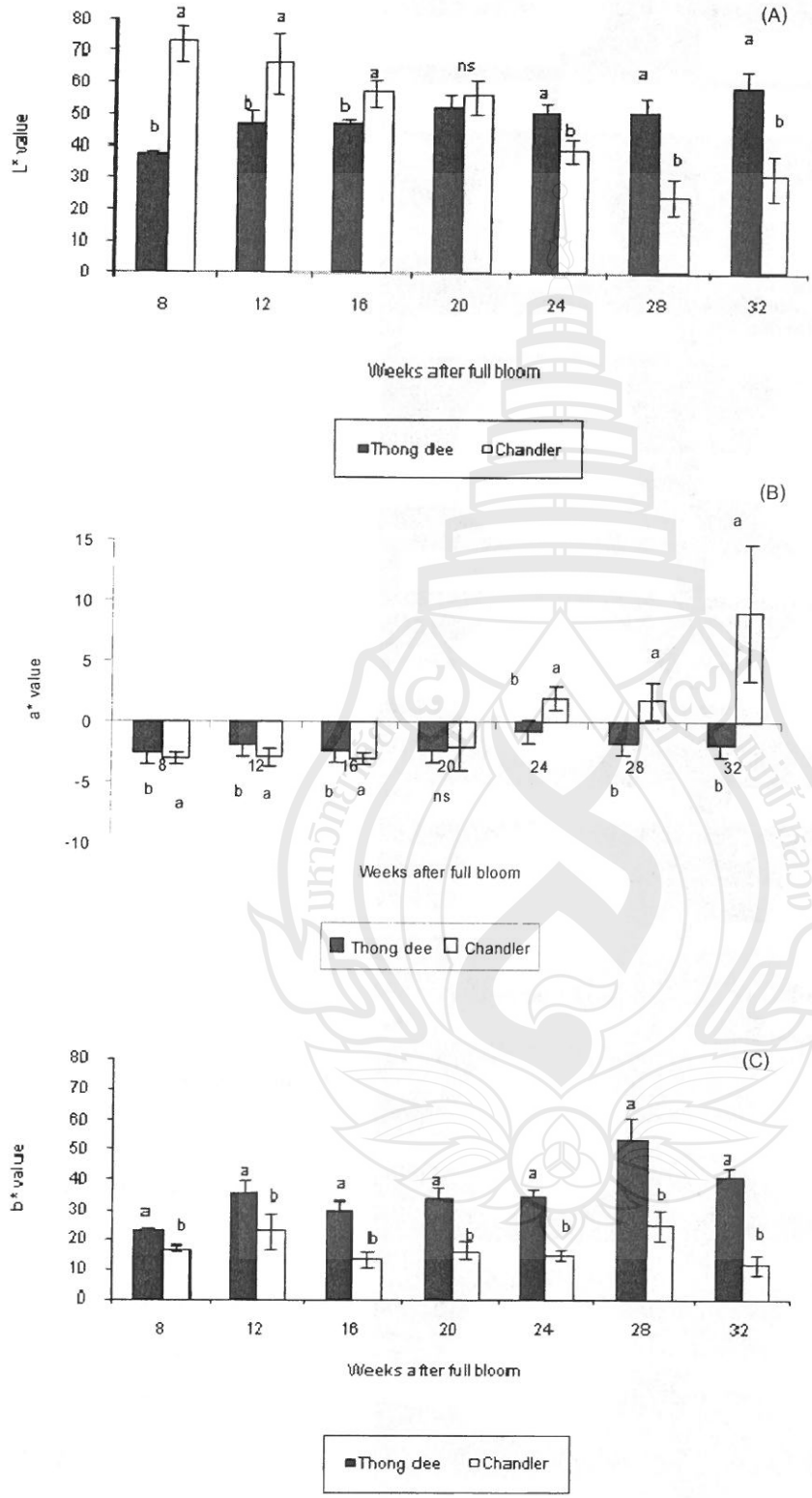
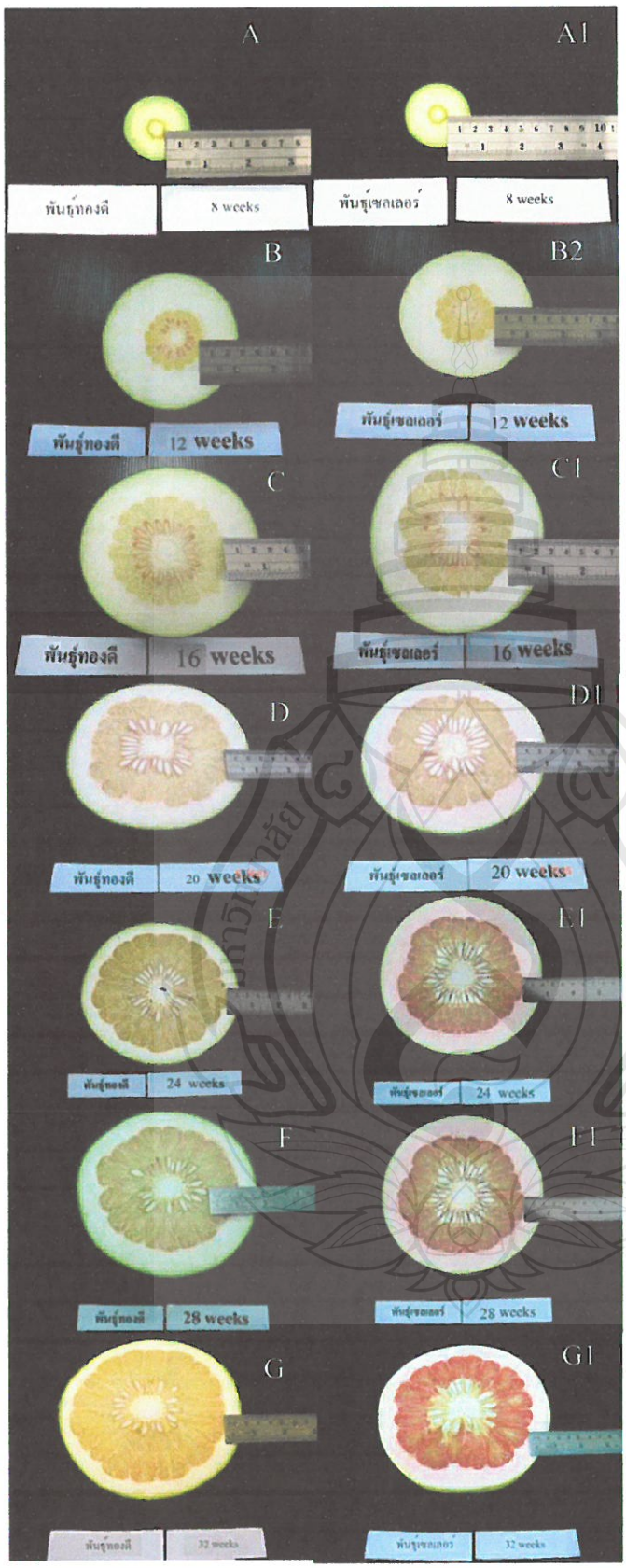


Figure 4.5: The L* (A), a* (B) and b* (C) values of pummelo fleshes cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB



Thong Dee Chandler

Figure 4.6: Growth and development pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB, 8 WAFB (A,A1), 12 WAFB (B,B1), 16 WAFB (C,C1), 20 WAFB (D,D1), 24 WAFB (E,E1), 28 WAFB (F,F1), 32 WAFB (G,G1)

4.1.1.5 ปริมาณน้ำคั้น(%)

ส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์เมื่อเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ตั้งแต่ 24 WAFB พบว่า ปริมาณน้ำคั้น (%) เพิ่มขึ้นตามลำดับซึ่งพบปริมาณมากที่สุดใน 32 WAFB เท่ากับ 38% และ 42% ตามลำดับ (Figure 4.7) อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำคั้น (%) ของส้มโอทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณน้ำคั้นที่ได้น้อยกว่าการทดลองของเสาวภาและธีรพงษ์ (2552) พบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดีที่ระยะผล 35 WAFB มีปริมาณน้ำคั้นมากถึง 65% ทั้งนี้การประเมินความบริบูรณ์ของส้มโอสามารถกำหนดได้จากปริมาณน้ำคั้น (%) ยกตัวอย่างเช่นในประเทศฟิลิปปินส์ที่กำหนปริมาณน้ำคั้นต่ำสุดของส้มโอควรมีค่าอย่างน้อย 50% (นิธิยาและดนัย, 2548) อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการประยุกต์ใช้ปริมาณน้ำคั้น (%) เป็นดัชนีชี้วัดความบริบูรณ์ของส้มโอของประเทศไทย อีกทั้งหากจะพัฒนาวิธีการดังกล่าวเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความบริบูรณ์นั้นควรมีการทดลองซ้ำหลายๆ ครั้งเพื่อยืนยันผลการทดลอง

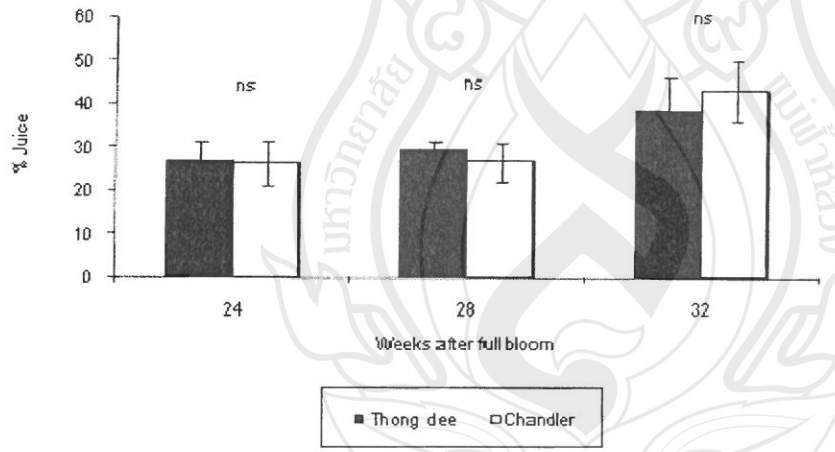


Figure 4.7: Juice content (%) of pummlos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24– 32 WAFB

4.1.2 สมบัติทางเคมี

4.1.2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solids ; TSS) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable Acidity; TA) และอัตราส่วน TSS:TA

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS ของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์เพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ (28 WAFB) 8.0% และ 8.4% ตามลำดับ (Figure 4.8A) โดยทั่วไปองค์ประกอบหลักของน้ำคั้นในพืชตระกูลส้มเป็นน้ำตาล 75-85% (Ladaniya, 2008) สอดคล้องกับรายงานเสาวภาและธีรพงษ์ (2551) เมื่อผลส้มโอพันธุ์ทองดีเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ (30-35 WAFB) ปริมาณ TSS มีค่า 8%-8.7% อย่างไรก็ตาม การกำหนดมาตรฐานส้มโอเพื่อการส่งออกของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร (มกอช.) ปี 2550 กำหนดปริมาณ TSS ของส้มโอควรมีปริมาณน้อยที่สุด 8% (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร, 2550) ดังนั้น จากผลการทดลองนี้และในรายงานก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่าส้มโอพันธุ์ทองดีที่ปลูกใน อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย มีคุณภาพในด้านสมบัติทางเคมีเป็นไปตามกับมาตรฐานของ (มกอช.) แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณ TSS ที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่ามากกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย แสดงว่าส้มโอมีรสชาติหวานค่อนข้างน้อย ดังนั้น ส้มโอที่ปลูกใน อ.เวียงแก่น จึงควรได้รับการพัฒนาและปรับปรุงด้านรสชาติส้มโอ โดยเฉพาะความหวานของส้มโอ (ปริมาณ TSS) เช่น การจัดการระบบน้ำและธาตุอาหาร

สำหรับปริมาณ TA ในส้มโอลดลงอย่างช้า ๆ ทั้งนี้ ส้มโอพันธุ์ทองดีมีปริมาณ TA มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ เมื่อผลอายุ 28 และ 32 WAFB (Figure 4.8B) กรด citric เป็นกรดที่พบมากที่สุดในพืชตระกูลส้ม โดยทั่วไปผลเกรฟฟรุทพบปริมาณกรด citric 1.0-2.0 g/100ml คิดเป็น 82-96% ของปริมาณกรดทั้งหมด (Baldwin, 1993) จากปริมาณ TA ในส้มโอพันธุ์ทองดีที่มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ทำให้อัตราส่วน TSS:TA พันธุ์ทองดีน้อยกว่าพันธุ์แชนเลอร์ โดยปริมาณ TSS:TA ที่อายุผล 28 WAFB ในพันธุ์แชนเลอร์และทองดีเท่ากับ 12:1 และ 9:1 ตามลำดับ (Figure 4.8C)

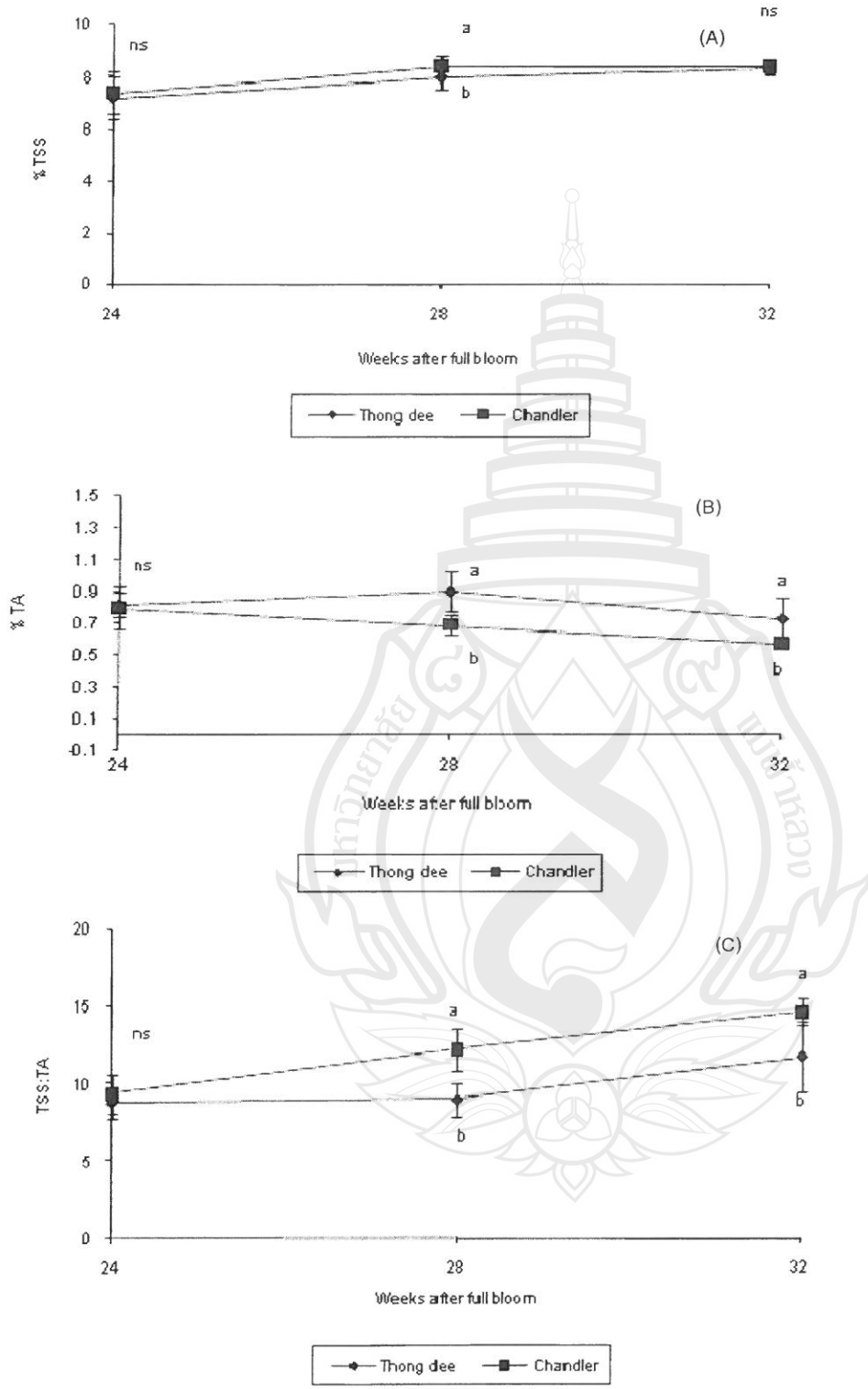


Figure 4.8: TSS (%) (A), TA (%) (B) and TSS:TA ratio (C) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24 – 32 WAFB

4.1.2.2 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง และน้ำตาลรีดิวซ์ซิง

การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมด น้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง และน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ในส้มโอที่อายุ 24-32 WAFB พบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Figure 4.9A and C) เช่นเดียวกับรายงานของ Ladaniya (2008) รายงานว่าน้ำตาลนอนรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ TSS ที่เพิ่มขึ้น (Figure 4.8A) โดยการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลในระหว่างการเจริญเติบโตส่วนใหญ่ 75%-85% ของปริมาณ TSS มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ซิง น้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ (Baldwin, 1993)

การทดลองนี้พบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงไม่แตกต่างกัน (Figure 4.9A and C) ยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในพันธุ์ทองดีมากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ ($P \leq 0.05$) (Figure 4.9B) โดยน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงมีค่ามากกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ซิงถึง 4-5 เท่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในส้มโอทั้งสองพันธุ์ ~6% ประกอบด้วยน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิง ~5% และน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ~1% (Figure 4.9B and C) ซึ่งแตกต่างจากปริมาณน้ำตาลในเกรฟฟรุทที่มีปริมาณน้ำตาลซูโคส (นอนรีดิวซ์ซิง) 2-3% และน้ำตาลรีดิวซ์ซิง 2-5% (Baldwin, 1993)

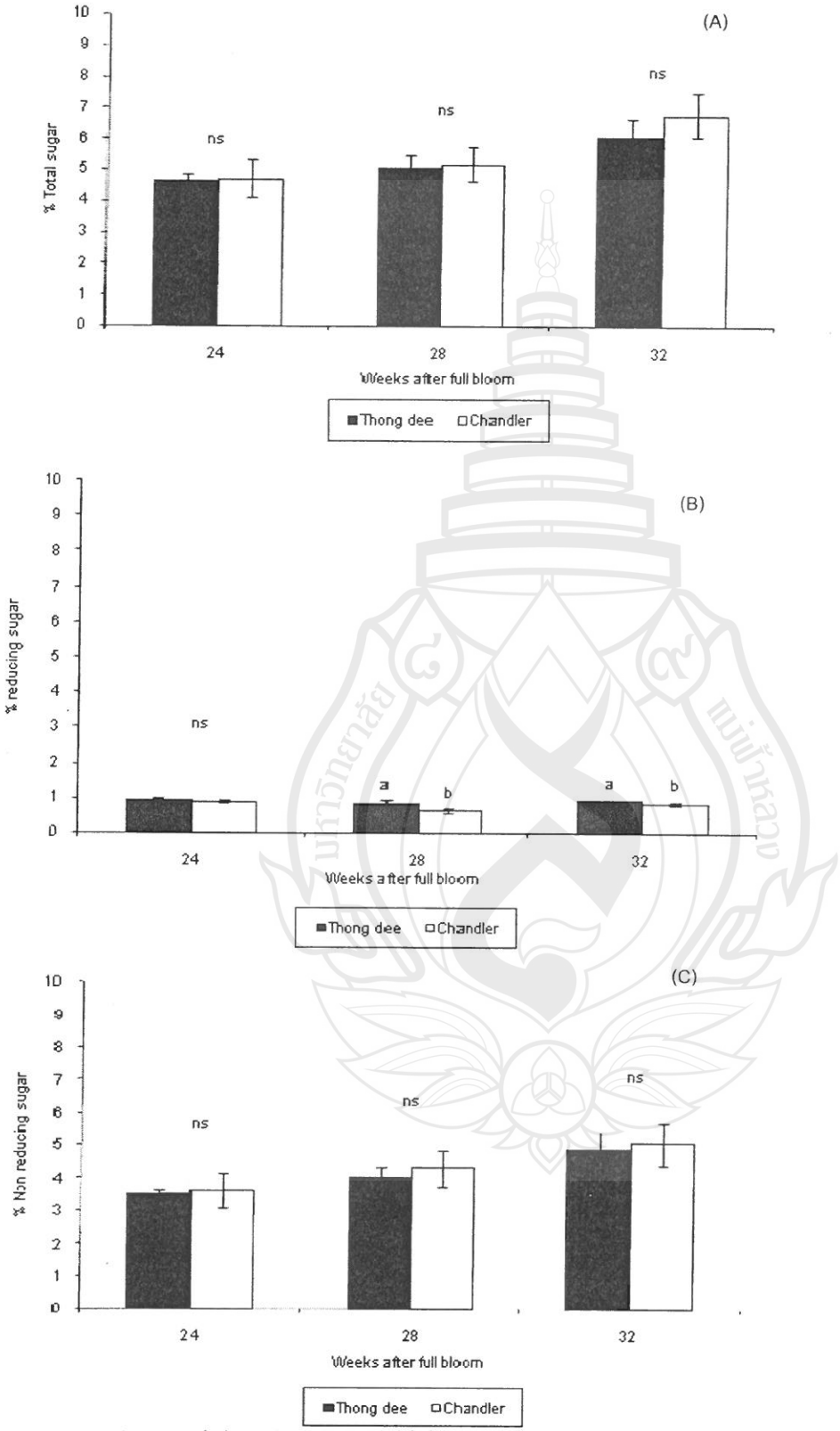


Figure 4.9: Total sugar (A), reducing sugar (B) and non-reducing sugar (C) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24 – 32 WAFB

4.1.2.3 ปริมาณวิตามินซี

ปริมาณวิตามินซีในส้มโอลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ (24-32 WAFB) จาก ~46 mg/100 ml เป็น ~33 mg/100 ml (Figure 4.10) สอดคล้องกับรายงานของเสาวภาและธีรพงษ์ (2552) พบว่าส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุผล 30-35 WAFB มีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 50 mg/100ml เป็น 40 mg/100ml โดยวิตามินซีของพืชตระกูลส้มลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ (Lee and Kader, 2000) โดยทั่วไป ส้มโอมีปริมาณวิตามินซีสูง (60 mg/100g) และมีปริมาณมากกว่าเกรฟฟรุทถึง 2 เท่า (USDA Nutrient database, 2010; กองโภชนาการ, 2544)

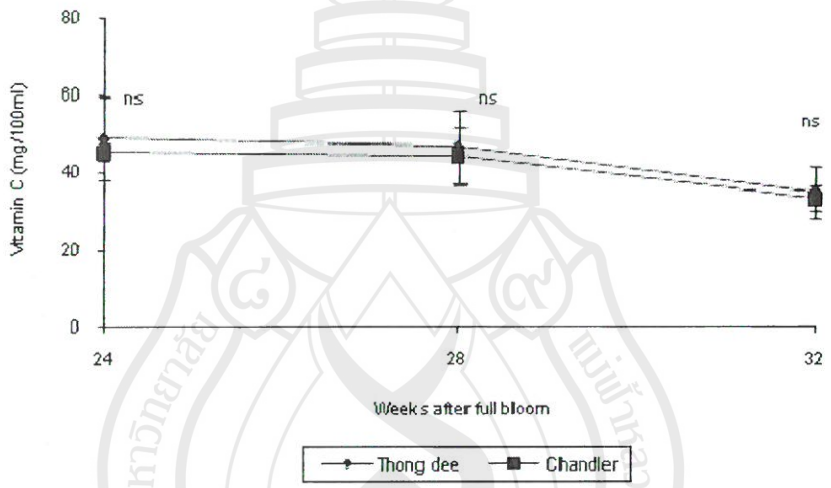


Figure 4.10: Vitamin C content of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24– 32 WAFB

4.1.3 สมการถดถอยเชิงเส้น (Liner regression equation) ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

Table 4.1 แสดงสมการถดถอยเชิงเส้น ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (r^2) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างน้ำหนักผลและสมบัติทางกายภาพได้แก่ น้ำหนักเนื้อ เส้นรอบวงผล และปริมาณน้ำคั้น(%)พบว่าน้ำหนักผลกับน้ำหนักเนื้อมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด (r=0.9304) รองลงมาได้แก่ เส้นรอบวงผล (r=0.8606) และ % น้ำคั้น (r=0.5774) ตามลำดับ ซึ่งในปัจจุบัน เกษตรกรได้กำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวและการแบ่งเกรดส้มโอด้วยวิธีการ 2 แบบได้แก่ การวัดความยาวของเส้นรอบวงผล (นิ้ว) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด และการชั่งน้ำหนักผล (กิโลกรัม) และหากเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงผลและน้ำหนักเนื้อ (r=0.8905) พบว่า มีความสัมพันธ์

น้อยกว่าน้ำหนักผลกับน้ำหนักเนื้อ (r=0.9304) (Table 4.1-4.2) จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการชั่งผลส้มโอมีความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อส้มโอมากกว่าการวัดความยาวเส้นรอบวง ดังนั้นในเบื้องต้นการประยุกต์ใช้วิธีการชั่งน้ำหนักผลส้มโอเพื่อการใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวและการแบ่งเกรดส้มโอน่าจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ความยาวของเส้นรอบวง นอกจากนี้หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักผลและปริมาณ TSS และอัตราส่วน TSS:TA พบว่ามีความสัมพันธ์มากมีค่า r=0.8444 และ r=0.8657 ตามลำดับ (Table 4.3) แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักผลส้มโอสอดคล้องกับรสชาติหวานหรือเปรี้ยวมาก หากในอนาคตจะมีการนำข้อมูลจากการทดลองนี้ไปพัฒนางานวิจัยควรจะมีการทดลองซ้ำเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และยืนยันผลการทดลอง รวมทั้งอาจจะมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบความแก่-อ่อนของส้มโอด้วยวิธีการไม่ทำลาย (non destructive method) หรือพัฒนาวิธีการคัดขนาดผลส้มโอต่อไปในอนาคต

ทั้งนี้ หากประเมินความสัมพันธ์ระหว่างอายุผลและค่า TSS พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์มีค่า r=0.9663 และ 0.8572 ตามลำดับ และเมื่อกำหนดปริมาณ TSS เท่ากับ 8% พบว่า ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์เก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าพันธุ์ทองดีประมาณ 2 สัปดาห์ (Table 4.4)

Table 4.1: Regression equations and coefficient of correlation between fruit weight and physical properties in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Physical properties	Regression equation	Coefficient of correlation (r)	r^2
Flesh weight	y= 0.0103x – 3.2053	0.9304	0.8657
Fruit circumference	y= 0.0022x + 4.9096	0.8606	0.7407
% juice	y= 0.0196x – 4.6668	0.5774	0.3334

Table 4.2: Regression equations and coefficient of correlation between circumference and flesh weight in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Fruit circumference	Regression equation	Coefficient of correlation (r)	r^2
Flesh weight	y= 17.010x – 3.4183	0.8905	0.7930

Table 4.3: Regression equations and coefficient of correlation between fruit weight and chemical properties in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Chemical properties	Regression equation	Coefficient of correlation (r)	r^2
TSS	y= 0.1x + 4.2285	0.9189	0.8444
TSS:TA	y= 0.0103x – 3.2053	0.9304	0.8657

Table 4.4: Regression equations and coefficient of correlation between fruit age and TSS in pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Cultivar	Regression equation	Coefficient of correlation (r)	Fruit age
Thong Dee	y= 0.1391x+3.9369	0.9663	29 WAFB
Chandler	y= 0.128x+4.4694	0.8572	27 WAFB

4.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ที่ระยะความบริบูรณ์

4.2.1 สมบัติของสารฟลาโวนอยด์มาตรฐาน

จากการวิเคราะห์สารมาตรฐานฟลาโวนอยด์จำนวน 7 ชนิดในครั้งแรก ได้แก่ rutin trihydrate (RUT), naringin (naringenine-7-rhamnosidoglucoside, NAR), hesperidin (hesperetin-7-rutinoside, HES), neohesperidin (hesperitin 7-neohesperidoside, NEH), quercetin dihydrate (3, 5, 7, 3′, 4′-pentahydroxyflavone dihydrate, QUE), apigenin (5, 7, 4′-trihydroxyflavone, APG), kaempferol (3, 5, 7, 4′-tetrahydroxyflavone, KAP) ได้โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานดังแสดงใน Figure 4.11 และได้วิเคราะห์สารมาตรฐานเพิ่มเติมคือ naringenin (NGN) ดัง Figure 4.12 ซึ่งมีค่า retention time และค่าการดูดกลืนแสงของฟลาโวนอยด์ต่างๆ (Table 4.5) และสเปรกตรัมของสารมาตรฐานแต่ละชนิด (Figure 4.13)

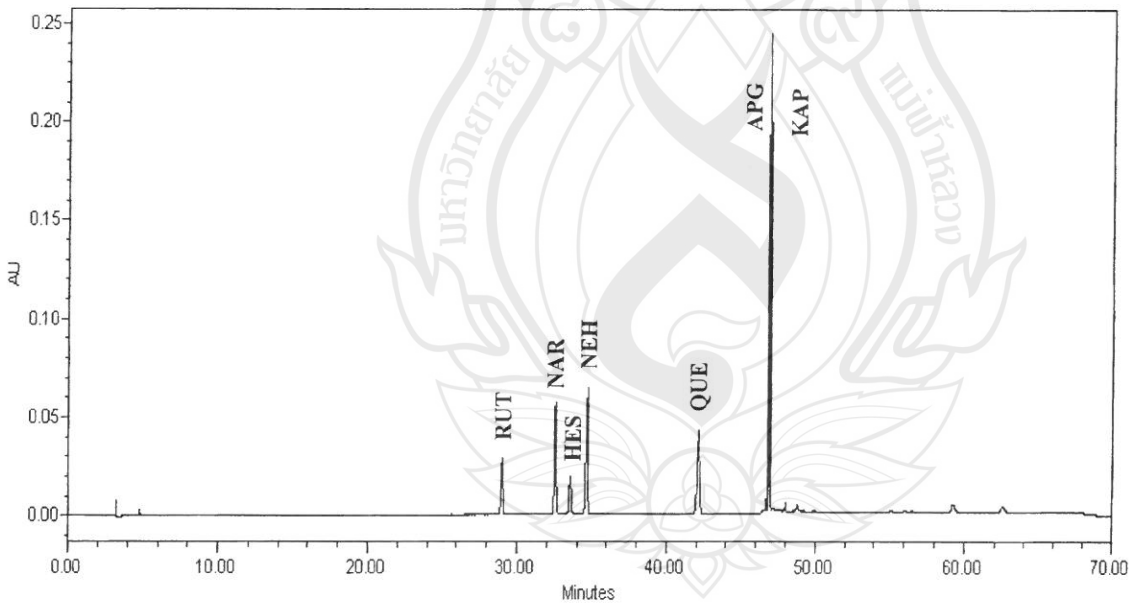


Figure 4.11: HPLC chromatogram of seven flavonoid standards

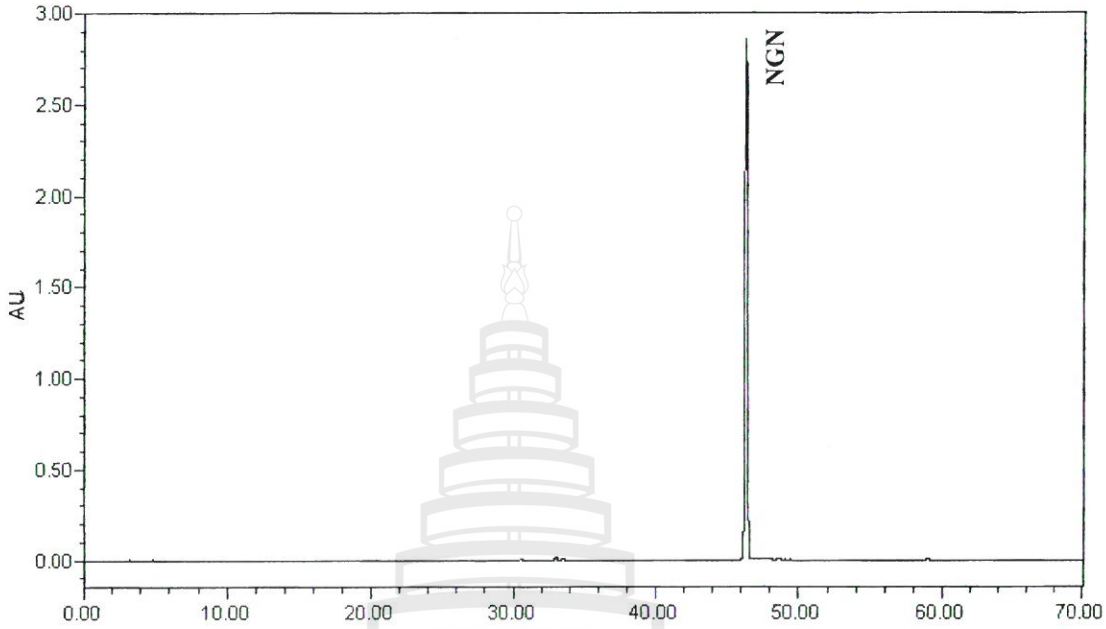
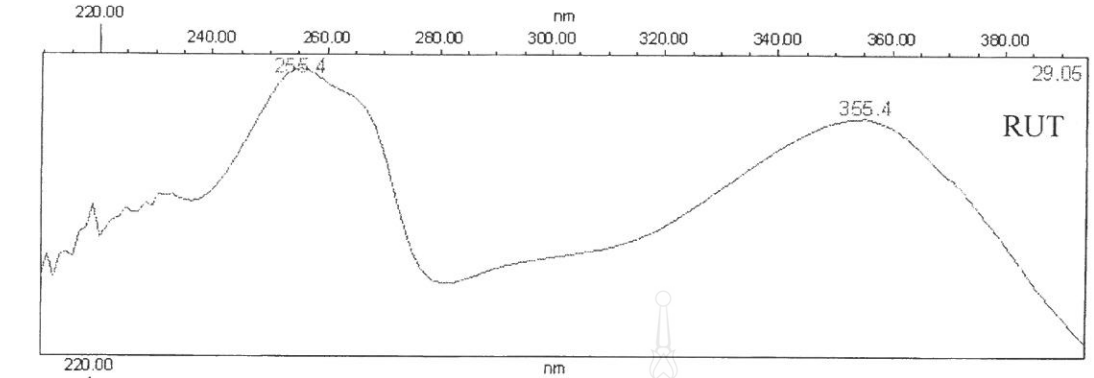
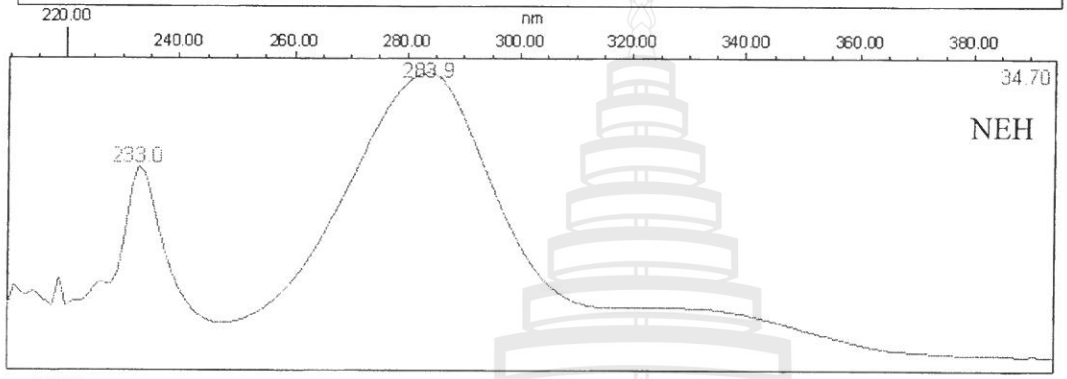


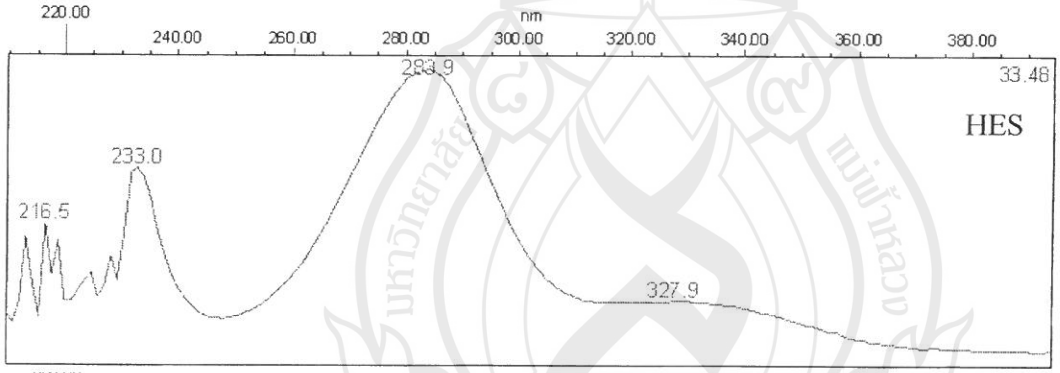
Figure 4.12: HPLC chromatogram of Naringenin standard

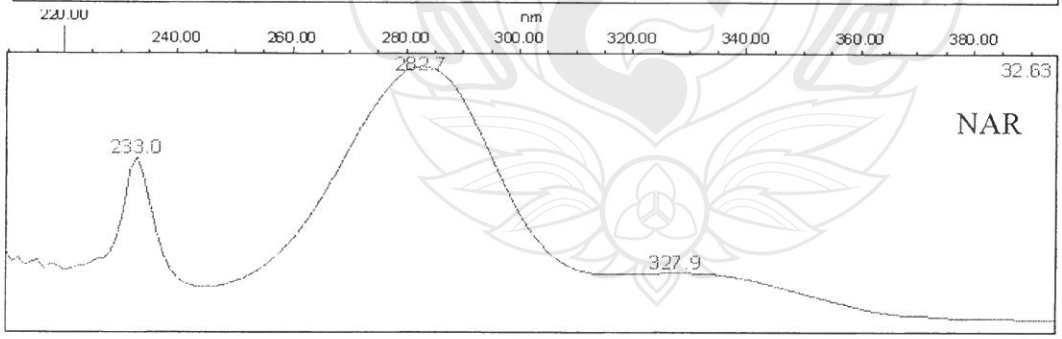
Table 4.5: Retention time and λmax of eight flavonoid standards

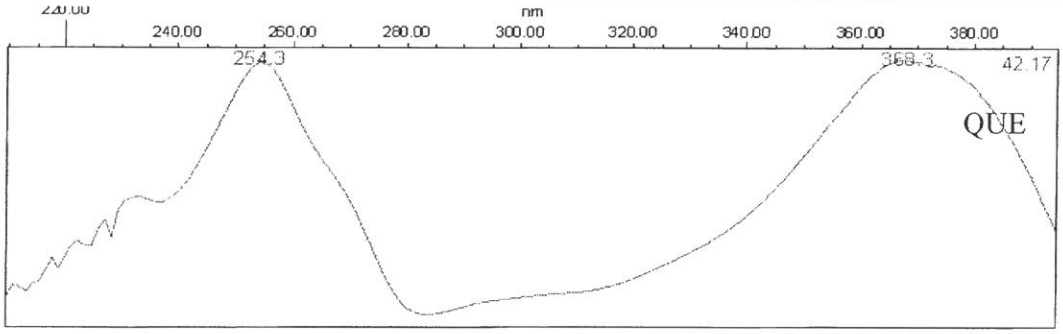
Peak	Flavonoid standards	RT (min)	λmax (nm)		
1	RUT (rutin)	29.05	255.4	355.4	
2	NAR (naringin)	32.63	233.0	282.7	327.9
3	HES (hesperidin)	33.48	233.0	283.9	327.9
4	NEH (neohesperidin)	34.70	233.0	283.9	
5	QUE (quercetin)	42.17	254.3	368.3	
6	NGN (naringenin)	46.37	237.7	296.9	
7	APG (apigenin)	46.82	236.6	266.1	341.1
8	KAP (kaempferol)	46.92	264.9	367.1	


220.00
240.00
260.00
280.00
300.00
320.00
340.00
360.00
380.00
nm
254.4
355.4
29.05
RUT


220.00
240.00
260.00
280.00
300.00
320.00
340.00
360.00
380.00
nm
283.9
233.0
34.70
NEH


220.00
240.00
260.00
280.00
300.00
320.00
340.00
360.00
380.00
nm
283.9
233.0
216.5
327.9
33.46
HES


220.00
240.00
260.00
280.00
300.00
320.00
340.00
360.00
380.00
nm
282.7
233.0
327.9
32.63
NAR


220.00
240.00
260.00
280.00
300.00
320.00
340.00
360.00
380.00
nm
254.3
368.3
42.17
QUE

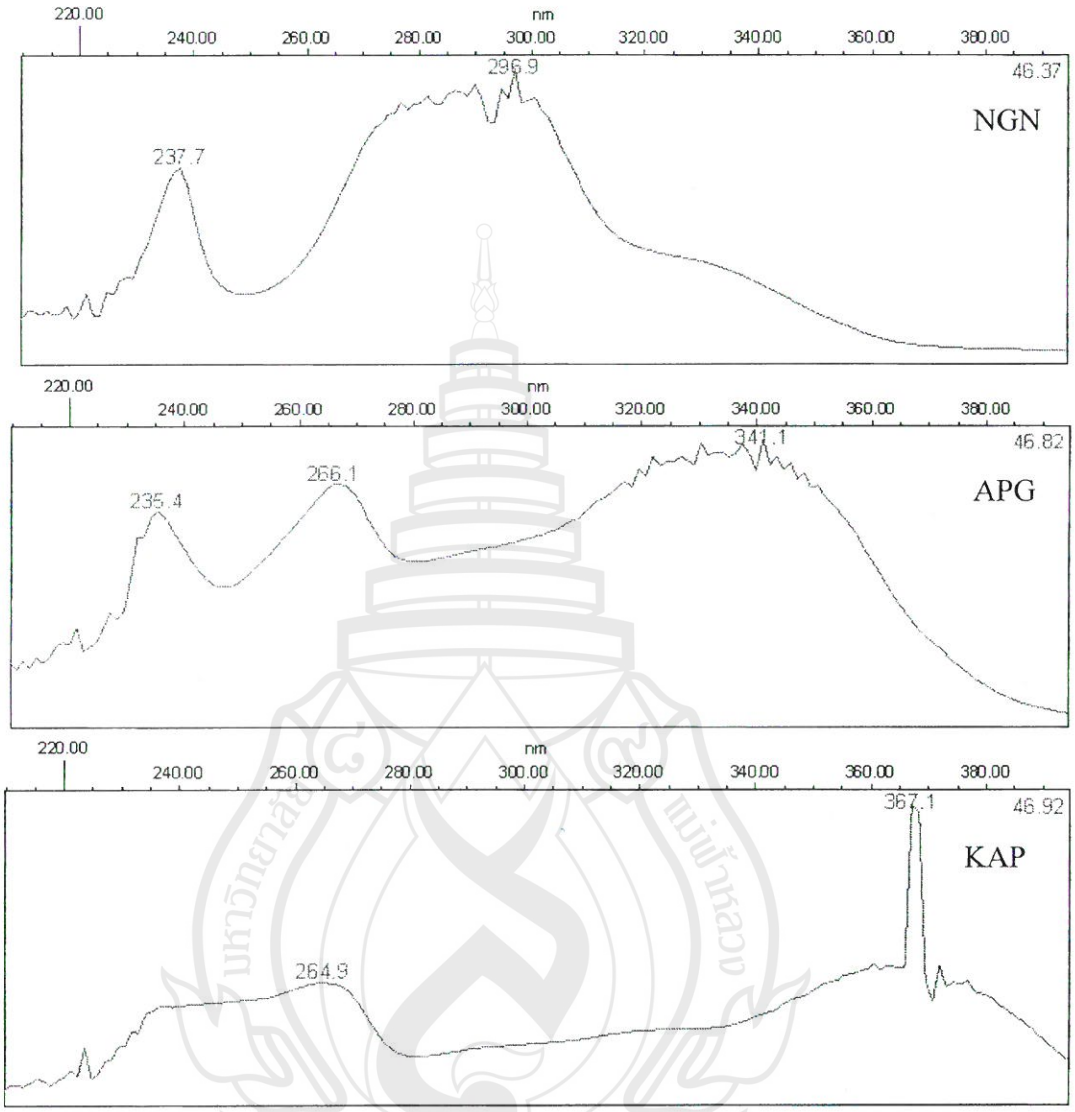


Figure 4.13: Spectrum of eight flavonoid standards by UV-visible scanning

4.2.2 ชนิดของสารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์

Figure 4.14 แสดงโครมาโตแกรมและสเปรกตรัมของตัวอย่างส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโต 28 WAFB เมื่อเปรียบเทียบค่า retention time และสเปรกตรัมของสารมาตรฐาน 8 ชนิดได้แก่ RUT (rutin), NAR (naringin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin), KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) พบโครมาโตแกรมของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ประกอบด้วยพีคหลัก ๆ 7 พีค โดยเฉพาะพบฟลาโวนอยด์ที่เด่นชัดและมีปริมาณมากที่สุดในส้มโอทั้งสองพันธุ์ คือ NAR (naringin)

สอดคล้องกับสารมาตรฐานที่มีค่า retention time, λmax (Table 4.4) และสเปรกตรัม (Figure 4.13) และให้ผลเช่นเดียวกับรายงานก่อนหน้านี้พบว่าค่า λmax ของสาร naringin เท่ากับ 281, 328 nm (Sakakibara et al., 2003) แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบสารฟลาโวนอยด์ชนิด RUT (rutin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin) KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) สอดคล้องกับรายงานของลัดดาและคณะ (2548) ที่ไม่พบสาร hesperidin และ neohesperidin ในส้มโอพันธุ์ทองดี

สำหรับในตัวอย่างส้มโอที่เหลืออีก 6 พีคนั้นเป็นพีคที่ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าเป็นสารสำคัญตัวใด (unknown) ดังแสดงใน Table 4.6 รายงานชื่อสารประกอบค่า retention time และ % area ของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ 24-32 WAFB อย่างไรก็ตามส้มโอพันธุ์ทองดีพบชนิดสาร unknown ที่แตกต่างจากพันธุ์แชนเลอร์ โดยพบสาร UN3 (RT 23.2) ในพันธุ์ทองดีแต่พบสาร UN2.1 (RT 23.1) ในพันธุ์แชนเลอร์ และพบสาร unknown ที่เหมือนกันได้แก่สาร UN1 (RT 19.1), UN4 (RT 25.1), UN5 (RT 33.5), UN6 (RT 36.5), UN7 (RT 52.8) โดยปริมาณสาร naringin ที่พบมากที่สุดในพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ คิดเป็น 50-58% และ 28-36% ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ UN1 คิดเป็น 11-14% และ 24% ตามลำดับ

จากผลการทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าในส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยนั้นมีสารสำคัญอื่นๆ ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อไปในอนาคต จากผลการทดลองดังกล่าวแตกต่างกับส้มโอของประเทศไต้หวันและประเทศจีน โดยที่ส้มโอของไต้หวันพันธุ์ "Wendo" และ "Peiyou" พบสาร naringin, hesperidin, rutin, quercetin, neohesperidin และ kaempferol (Wang et al., 2007) เช่นเดียวส้มโอของจีนพันธุ์ "Miyou" และ "Sijiyou" ที่พบสาร naringin, hesperidin, neohesperidin (Xu et al., 2008)

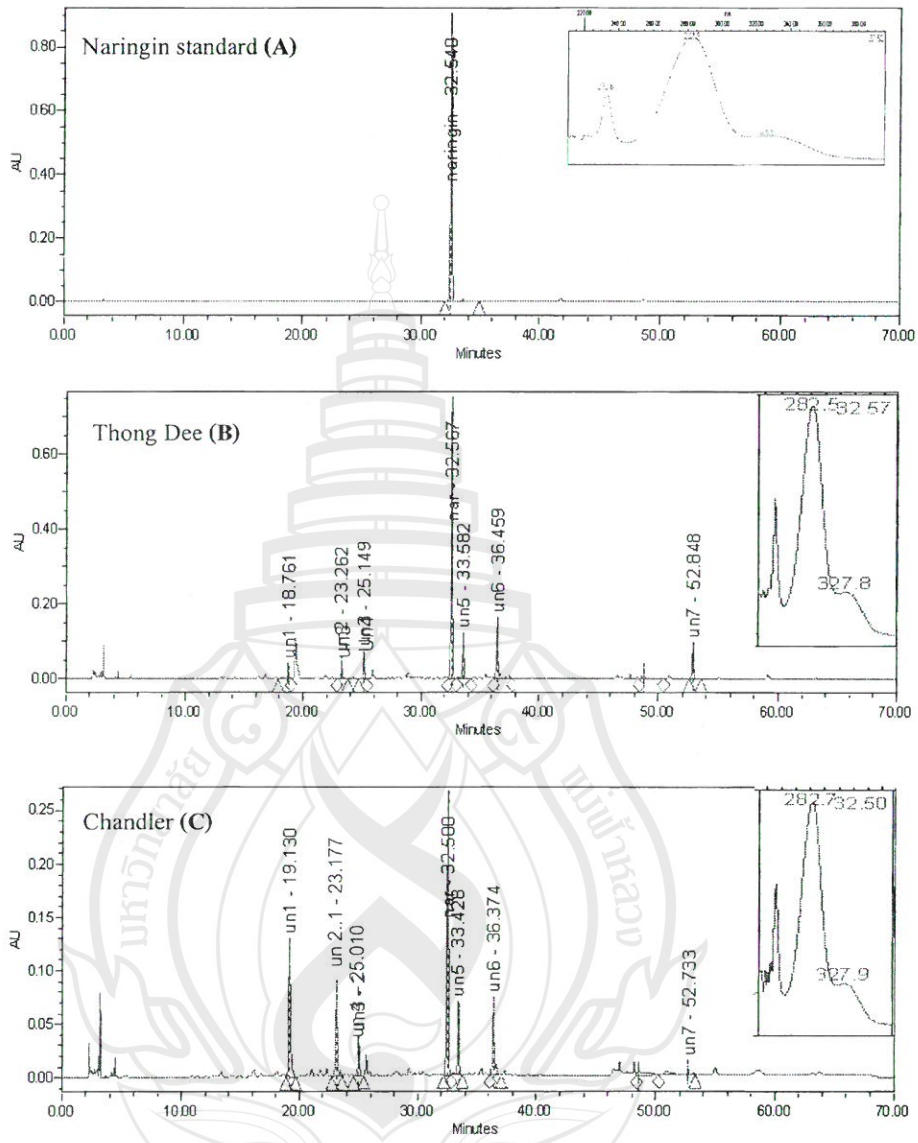


Figure 4.14: HPLC Chormatogram of naringin standard (A), pummelos cvs. "Thong Dee" (B) and "Chandler" (C) at 28 weeks after full bloom

Table 4.6: The % area of flavonoids in pummelos cvx. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Cultivar	WAFB	%Area/RT (min)							
		UN1/19.1	UN 2.1/23.1	UN3/23.2	UN3/25.1	NAR/32.5	UN5/33.5	UN6/36.5	UN7/52.8
Thong Dee	24	11.11	nd	3.54	3.22	58.61	10.37	7.31	5.83
	28	9.95	nd	3.66	5.43	56.82	6.78	12.21	5.15
	32	14.32	nd	4.65	4.48	50.10	11.26	10.32	4.88
Chandler	24	23.60	14.45	nd	4.17	36.07	10.03	9.13	2.55
	28	24.20	15.84	nd	4.40	31.77	9.27	11.31	3.20
	32	24.00	15.29	nd	5.16	28.02	8.25	15.50	3.77

UN, unidentified

nd, not detectable, S/N<3

4.2.3 ปริมาณ TSS อัตราส่วน TSS:TA และสาร naringin

จาก Table 4.7 แสดงให้เห็นว่า เมื่อผลส้มโอมีอายุมากขึ้นปริมาณ TSS และอัตราส่วน TSS:TA มากขึ้น ซึ่งปริมาณ TSS ของส้มโอทั้งสองพันธุ์มากกว่า 8% ตั้งแต่ผลส้มโอมีอายุ 24 WAFB ในทางตรงกันข้ามปริมาณสาร naringin กลับลดลงเมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ โดยส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24 WAFB มีปริมาณสาร niringin มากที่สุด (72.89 mg/100g FW) รองลงมาที่อายุผล 28 WAFB และน้อยที่สุดในพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 28 และ 32 WAFB (17 mg/100g FW) ($P \leq 0.05$) เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยพันธุ์ส้มโอพบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดี (37-72 mg/100g FW) มีปริมาณสาร naringin มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ (17-25 mg/100g FW) ($p \leq 0.05$) ปริมาณสารดังกล่าวที่พบต่างจากรายงานของลัดดาและคณะ (2548) ได้ทำการเก็บตัวอย่างของส้มโอพันธุ์ทองดีอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม ซึ่งไม่ได้กำหนดอายุผลส้มโอพบปริมาณสาร naringin 26.10 mg/100g FW ส่วนส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ในประเทศสเปนพบปริมาณสาร naringin (56.9 mg/100g FW) (Ortuno et al., 1995) ทั้งนี้ยังไม่มีการรายงานวิจัยสาร naringin ของพันธุ์แชนเลอร์ในประเทศไทย

นอกจากนี้ ปัจจัยของอายุผลส้มโอที่มากขึ้นมีผลต่อปริมาณสาร naringin ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (Table 4.7) สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณสาร naringin ของเกรฟฟรุทพันธุ์ "Star Ruby" พบว่าในระยะผลอ่อน (12,102 mg/100g FW) มีปริมาณสารมากกว่าระยะผลแก่ (2,195 mg/100 g FW) ถึง 6 เท่า (Ortuno et al., 1995) เช่นเดียวกับเกรฟฟรุทพันธุ์ "Huyou" ที่พบปริมาณ

สาร naringin มากที่สุดเมื่อผลอ่อน (849.01 mg/100g FW) และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผลแก่มากขึ้น (62.43 mg/100g FW) (Xu et al., 2009) สำหรับการศึกษาปริมาณสาร naringin ในส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ในระยะผลแก่พบว่า ปริมาณสาร naringin ลดลงเกือบ 3 เท่าเช่นกัน (Ortuno et al., 1995) อีกทั้งปัจจัยของพันธุ์และอายุผลส้มโอมีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสาร naringin ($P \leq 0.05$) ดังนั้นแสดงว่าปริมาณสาร naringin ขึ้นอยู่กับทั้งปัจจัยของพันธุ์และอายุผล (ความบริบูรณ์) ของส้มโอ (Table 4.7)

Table 4.7: The %TSS, TSS:TA ratio and naringin contents of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Cultivar	Maturity (WAFB)	TSS (%)	TSS:TA	Naringin (mg/100 gFW)
Thong Dee	24	9.85±0.09^{a}	8.80±0.13^{c}	72.89±6.51^{a}
	28	9.80±0.18^{a}	10.53±0.32^{cd}	51.64±4.15^{b}
	32	9.35±0.05^{bc}	13.18±0.51^{a}	37.75±2.17^{c}
Chandler	24	9.05±0.05^{c}	12.10±0.65^{bc}	25.11±3.30^{dc}
	28	9.50±0.17^{ab}	16.48±1.15^{a}	17.03±2.29^{d}
	32	9.25±0.09^{bc}	16.89±1.24^{a}	17.33±2.18^{d}
Significance				
Cultivar (C)		*	*	*
Maturity (M)		*	*	*
C x M		*	ns	*

Different letters in the same column for DMRT test indicate significant differences ($p \leq 0.05$)

Mean ± SE obtain from analysis of four replicates

จากผลการทดลองนี้เห็นได้ชัดเจนว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีเนื้อสีแดงมากกว่าพันธุ์ทองดี (Figure 4.15) ซึ่งจากลักษณะสีเนื้อที่แตกต่างกันของส้มโอหรือเกรฟฟรุทอาจจะไม่สอดคล้องกับปริมาณสาร naringin อย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น จากลักษณะสีเนื้อผลที่ต่างกัน Peterson et al. (2006) รายงานว่า เกรฟฟรุทสายพันธุ์สีชมพูและแดงมีปริมาณสาร naringin (13.87 mg aglycone/100g FW) น้อยกว่าเกรฟฟรุทสีขาวเพียงเล็กน้อย (16.90 mg aglycone/100g FW) แต่อย่างไรก็ตาม สารที่

ให้รสชาติขมในผลเกรฟฟรุทซึ่งเป็นผลไม้กลุ่มเดียวกับส้มโอนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณสาร naringin เพียงอย่างเดียว ยังรวมถึงสารในกลุ่ม limonin ซึ่งมีรสชาติขมมากกว่า naringin ด้วย (Hasegawa et al., 1986)

Figure 4.15: The growth and development of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

4.2.4 ปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารไลโคพีน

ส้มโอทั่วไปมีปริมาณวิตามินซี 30-43 mg/100g FW (Gardner, 2000) จากการทดลองครั้งนี้ พบว่าในระยะบริบูรณ์ส้มโอพันธุ์ทองดี (~44 mg/100 ml) มีปริมาณวิตามินซีมากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ (~32 mg/100 ml) สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 พบว่าปริมาณวิตามินซีของส้มโอพันธุ์ทองดี (46 mg/100 ml) มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์เล็กน้อย (44 mg/100 ml) และเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ปริมาณวิตามินซีในส้มโอทั้งสองพันธุ์ที่อายุผล 24-32 WAFB ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) (Table 4.8)

สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในส้มโอพันธุ์ทองดี (~75 mg/100 gFW) มากกว่าในพันธุ์แชนเลอร์เช่นกัน (54-62 mg/100 gFW) (Table 4.8) ตรงกันข้ามกับการศึกษา Xu et al. (2008) พบว่า ส้มโอพันธุ์ "Miyou" มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 86.34 mg/100 ml ซึ่งมากกว่าส้มโอเนื้อสีขาวเลือกพันธุ์ "Sijiyou" (80.14 mg/100 ml)

โดยปริมาณสารฟีนอลิกที่สำคัญของส้มโอและเกรฟฟรุทมีค่าอยู่ในช่วง 0.3-6.9 mg/100g FW อย่างไรก็ตาม สารฟีนอลิกลิกอื่นๆ ยกเว้น chlorogenic ในส้มโอและเกรฟฟรุทมีค่าใกล้เคียงกัน (Wang et al., 2007; Xu et al., 2008) ทั้งนี้การวิจัยชนิดสารฟีนอลิกในส้มโอยังมีน้อย อาจเนื่องจากปริมาณสารฟีนอลิกในผลไม้ดังกล่าวมีปริมาณที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารฟลาโวนอยด์

สำหรับแคโรทีนอยด์สำคัญที่พบมากที่สุดในส้มโอและเกรฟฟรุทคือ ไลโคพีน (lycopene) รองลงมาคือ เบตาแคโรทีน (β-carotene) (Figure 2.10) จากการศึกษาพบว่า สารไลโคพีนในปริมาณที่มากกว่า สารเบตาแคโรทีนถึง 1-6 เท่า (Fanciullino et al., 2006; Xu et al., 2006) จากการทดลองนี้พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 8 MAFB มีปริมาณสารไลโคพีนมากที่สุด (1.67 mg/100 g FW) และน้อยที่สุดในพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24-28 WAFB (0.29-0.40 mg/100 gFW) และพบว่า พันธุ์ส้มโอและความบริบูรณ์มีอิทธิพลต่อปริมาณสารไลโคพีน ($P \leq 0.05$) (Table 4.8)

Table 4.8: The vitamin C, total phenolics, and lycopene content of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Cultivar	Maturity (WAFB)	Vitamin C (mg/100ml)	Total phenolics (mgGAE/100g FW)	Lycopene (mg/100g FW)
Thong Dee	24	45.22±1.40^{a}	76.89±4.89^{a}	0.29±0.06^{c}
	28	44.68±1.97^{a}	75.59±2.96^{a}	0.40±0.03^{c}
	32	43.26±1.03^{a}	76.04±7.33^{a}	0.38±0.08^{c}
Chandler	24	32.38±0.87^{b}	54.41±2.77^{b}	1.06±0.14^{b}
	28	33.57±0.69^{b}	58.87±0.66^{b}	0.85±0.22^{b}
	32	31.23±1.91^{b}	62.50±4.09^{b}	1.67±0.05^{a}
Significance				
Cultivar (C)		*	*	*
Maturity (M)		ns	ns	*
C x M		ns	ns	*

Different letters in the same column for DMRT test indicate significant differences ($P \leq 0.05$)

Mean ± SE obtained from analysis of four replicates

4.2.5 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP-assay และ DPPH-assay

สาร naringin วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารไลโคฟีนในส้มโอมีคุณสมบัติสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน จากการทดลองนี้ได้ทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP-assay และ DPPH-assay พบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์เชนเลอร์ที่อายุ 32 WAFB มีฤทธิ์การต้านรีดิวซ์ (FRAP) 601.31±15.41 และ 533.05±8.93 μmolAA /100 gFW ตามลำดับ และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) 289.35±10.36 และ182.30±7.88 μmolTE /100 gFW รวมทั้งปัจจัยของพันธุ์ส้มโอและความบริบูรณ์มีอิทธิพลร่วมกันต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH) ($P \leq 0.05$) โดยฤทธิ์การต้านรีดิวซ์ (FRAP) เพิ่มขึ้นเมื่ออายุผลส้มโอมากขึ้น สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสารไลโคพีนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Table 4.8-4.9) โดยสารฟีนอลิกที่สำคัญในส้มโอของประเทศจีนได้แก่ Chlorogenic acid, Ferulic acid, Sinapic acid, *p*-Coumaric acid และ Caffeic acid (Wang et al., 2007; Xu et al., 2008)

จาก Table 4.10 แสดงค่าสหสัมพันธ์ของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (FRAP-assay และ DPPH-assay) และสารออกฤทธิ์สำคัญ ได้แก่ สาร naringin วิตามินซี สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสารไลโคพีน พบว่า สารออกฤทธิ์สำคัญทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (DPPH-assay) อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P \leq 0.01$) ส่วนสารไลโคพีนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ดังมีรายงานก่อนหน้านี้ในส้มชนิดอื่นๆ พบว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสัมพันธ์อย่างมากกับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP-assay และ DPPH-assay พบว่า มีค่า $r=0.845$ และ $r=0.904$ ตามลำดับ เช่นเดียวกับวิตามินซีที่มีมีความสัมพันธ์อย่างมากทั้งวิธี DPPH-assay ($r=0.992$) และ FRAP-assay ($r=0.961$) (Xu et al., 2008) นอกจากนี้ Lee (2001) รายงานว่าสารไลโคพีนมีความสัมพันธ์อย่างมากกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในน้ำส้ม Red navel (Cara Cara) ($r=0.946$) แต่ผลการทดลองนี้กลับตรงกันข้ามกับรายงานก่อนนี้ว่าสาร naringin ในส้ม Yuzu (*Citrus junos* Sieb *ex* Tannaka) มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ($ABTS^{+}$-assay) ในทิศทางตรงกันข้ามและน้อย ($r=-0.3512$) (Yoo et al. ,2004)

Table 4.9: The antioxidant capacity (FRAP and DPPH assays) of pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 WAFB

Cultivar	Maturity (WAFB)	FRAP μmol AA /100 gFW	DPPH μmol TE /100 gFW
Thong Dee	24	284.74±13.90^{d}	300.98±9.06^{a}
	28	351.73±6.57^{c}	236.32±14.71^{b}
	32	601.31±15.41^{a}	289.35±10.36^{a}
Chandler	24	260.07±12.95^{d}	224.47±2.93^{bc}
	28	328.44±7.02^{c}	204.19±12.93^{cd}
	32	533.05±8.93^{b}	182.30±7.88^{d}
Significance			
Cultivar (C)		*	*
Maturity (M)		*	*
C x M		ns	*

Different letters in the same column for DMRT test indicate significant differences (P≤0.05)

Mean ± SE obtained from analysis of four replicates

Table 4.10: Correlation coefficient (r) of antioxidant capacity (FRAP and DPPH assays) and bioactive compounds (vitamin C, total phenolics, naringin and lycopene) pummelos cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during 24-32 MAFB

	FRAP assay	DPPH assay	Vitamin C	Total phenolics	Naringin
DPPH assay	-0.0043				
Vitamin C	0.0881	0.7805**			
Total phenolics	0.1875	0.6928**	0.7288**		
Naringin	-0.2205	0.7423**	0.7587**	0.4686	
Lycopene	0.1434	-0.7524**	-0.8415**	-0.5420**	-0.6916**

** Correlation is significant different (P≤0.01).

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์

การศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ระหว่าง 8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน (weeks after full bloom; WAFB) ในเขต อ.เวียงแก่น จ.เชียงราย ในปี พ.ศ. 2551 ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ พบว่า ในระยะ 8-16 WAFB เป็นระยะการเจริญเติบโตและพัฒนาของเปลือกส้มโอทั้งสองพันธุ์มากกว่าเนื้อผล และที่ระยะบริบูรณ์ตั้งแต่ 28 WAFB พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีน้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก ความหนาเปลือก เส้นรอบวงผลและความสูงมากกว่าพันธุ์ทองดี โดยเฉพาะตั้งแต่ 24 WAFB สีเนื้อของพันธุ์แชนเลอร์มีค่า +a* (สีแดง) มากกว่าพันธุ์ทองดี สำหรับสมบัติทางด้านเคมีนั้นพบว่า เมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ 28 WAFB ปริมาณ TSS ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์เพิ่มขึ้นมีค่า 8.0% และ 8.4% ตามลำดับ โดยส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ซิงไม่แตกต่างกัน ยกเว้นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงในพันธุ์ทองดีมากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ อย่างไรก็ตามปริมาณ TSS ที่วิเคราะห์ได้นั้นมีค่ามากกว่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย แสดงว่าส้มโอมีรสชาติหวานค่อนข้างน้อย ดังนั้นส้มโอที่ปลูกใน อ.เวียงแก่นจึงควรได้รับการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของผลส้มโอเช่น การจัดการน้ำและธาตุอาหารเพื่อเพิ่มคุณภาพด้านรสชาติโดยเฉพาะความหวานของส้มโอ (ปริมาณ TSS) ให้เป็นไปตามมาตรฐานเพื่อการส่งออกต่อไปในอนาคต

ในปัจจุบัน เกษตรกรที่ปลูกส้มโอ อ.เวียงแก่น ได้กำหนดดัชนีการเก็บเกี่ยวและการแบ่งเกรดส้มโอด้วยวิธีการ 2 แบบได้แก่ การวัดความยาวของเส้นรอบวงผล (นิ้ว) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด และการชั่งน้ำหนักผล (กิโลกรัม) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติกายภาพและเคมีเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาดัชนีการเก็บเกี่ยวในส้มโอพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นรอบวงผลและน้ำหนักเนื้อ (r=0.7930) มีความสัมพันธ์น้อยกว่าน้ำหนักผลกับน้ำหนักเนื้อ (r=0.9304) รวมทั้งน้ำหนักผลมีความสัมพันธ์มากกับปริมาณ TSS (r=0.8444) แสดงให้เห็นว่าการชั่งผลส้มโอมีความสัมพันธ์กับปริมาณเนื้อส้มโอมากกว่าการวัดความยาวเส้นรอบวง ดังนั้นในเบื้องต้นการประยุกต์ใช้วิธีการชั่งน้ำหนักผลส้มโอเพื่อการใช้เป็นดัชนีการเก็บเกี่ยวและการแบ่งเกรดส้มโอน่าจะมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ความยาวของเส้นรอบวง หากในอนาคตจะมีการนำข้อมูลจากการทดลองนี้ไปพัฒนางานวิจัย ควรจะมีการทดลองซ้ำเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และ

ยืนยันผลการทดลอง รวมทั้งอาจจะมีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบความแก่-อ่อนของส้มโอด้วยวิธีการไม่ทำลาย (non-destructive method) หรือพัฒนาวิธีการคัดขนาดผลส้มโอต่อไปในอนาคต

5.2 การทดลองที่ 2 การศึกษาสารออกฤทธิ์สำคัญของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโต

สารออกฤทธิ์สำคัญในส้มโอที่ศึกษาในการทดลองนี้ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ วิตามินซี แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH-assay และ FRAP-assay จากการวิเคราะห์สารฟลาโวนอยด์ในส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ที่อายุผล 24-32 WAFB ในปี พ.ศ. 2552 พบว่าสาร naringin (NAR) เป็นสารฟลาโวนอยด์ที่สำคัญและพบมากที่สุดคิดเป็น 50-58% และ 28-36% ตามลำดับ โดยส้มโอพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24 WAFB มีปริมาณสาร niringin มากที่สุด (72.89 mg/100g FW) และน้อยที่สุดในพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 28 และ 32 WAFB (~17 mg/100g FW) โดยปัจจัยของพันธุ์และอายุผล (ความบริบูรณ์) มีอิทธิพลร่วมกันต่อปริมาณสาร naringin ทั้งนี้ไม่พบสารฟลาโวนอยด์ชนิด RUT (rutin), HES (hesperidin), NEH (neohesperidin), QUE (quercetin), APG (apigenin) KAP (kaempferol) และ NGN (naringenin) นอกจากนี้ ส้มโอทั้งสองพันธุ์นั้นมีสารสำคัญอื่นๆ ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ไม่สามารถระบุได้อย่างน้อย 6 ชนิด อย่างไรก็ตามยังพบสาร unknown มากถึง 28-58% ดังนั้น ควรมีการศึกษาต่อไปโดยอาจใช้เทคนิคขั้นสูงหรือเพิ่มชนิดของสารมาตรฐานโดยเฉพาะสารกลุ่มฟลาโวน (flavone) เพื่อระบุชนิดและปริมาณของสาร unknown ซึ่งอาจเป็นการค้นพบสารใหม่ที่แตกต่างจากส้มโอต่างประเทศหรือเป็นสารชนิดเดียวกับส้มโอต่างประเทศแต่มีปริมาณที่แตกต่างกัน

สำหรับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในส้มโอพันธุ์ทองดี (~75 mg/100 gFW) มากกว่าในพันธุ์แชนเลอร์เช่นกัน (54-62 mg/100 g FW) เช่นเดียวกับปริมาณวิตามินซีของส้มโอพันธุ์ทองดี (~44 mg/100 ml) มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์ (~32 mg/100 ml) อย่างไรก็ตามปริมาณสารไลโคพีนในส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ที่อายุผล 8 MAFB มีปริมาณมากที่สุด (1.67 mg/100 g FW) และน้อยที่สุดในพันธุ์ทองดีที่อายุผล 24-32 WAFB (0.29-0.40 mg/100 gFW) เมื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน (DPPH-assay) กับสารออกฤทธิ์สำคัญได้แก่ สาร naringin สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด วิตามินซี และสารไลโคพีน ของส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ที่อายุผล 24-32 WAFB พบว่า ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและค่า r มีค่าระหว่าง 0.6928 ถึง 0.7805 ($P \leq 0.01$) ยกเว้นสารไลโคพีนที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ($r=-0.7524$)

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2552. สถิติการปลูกส้มโอปี 2547.

กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2544. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. โรงพิมพ์องค์การทหารผ่าศึก, กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมแห่งชาติ สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 396 น .

ณัฐวดี ทองจันทร์ และภาวินี พิทักษ์วงศ์. 2551. การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ-เคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชั่นในส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์เชนเลอร์. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 76 หน้า.

ทวีศักดิ์ ด้วงทอง. 2549. การปลูกส้มโอ. แหล่งที่มา: http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/fruit.html. (26 พฤศจิกายน, 2549).

นิธิยา รัตนปนนท์ และดนัย บุณยเกียรติ. 2548. การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 5 โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ. 236 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร (Food Chemistry). โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพฯ

ปนัดดา จินะสาม. 2551. ผลของฟิล์มพลาสติกต่อคุณภาพของส้มโอปอกเปลือกพันธุ์ทองดี. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 69 หน้า.

ปัญญา ธยามานนท์. 2541. เอกสารวิชาการที่ 21 เรื่อง ส้มโอ. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ปาริชาติ สักกะทำนุ. 2543. ส้มเม็ด ฟลาโวนอยด์และวิตามินซีเสริมสุขภาพ. สำนักพิมพ์รวมทรรศน์. กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

พรศิริ ศิลปศร. 2552. อิทธิพลของพันธุ์ต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของส้มโอสามสายพันธุ์ในระยะความบริบูรณ์. ปัญหาพิเศษ. มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 53 หน้า.

พานิชย์ ยศปัญญา. 2545. ส้มโอ ไม้ผลอมตะ. สำนักพิมพ์มติชน, กรุงเทพฯ. 136 หน้า.

เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว. 2545. การเจริญเติบโตพัฒนาของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและลักษณะสำคัญของผลพันธุ์อื่นๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 54 หน้า.

รวี เสรฐภักดี. 2523. เอกสารประกอบการสอนวิชาพืชสวน 542. ภาควิชาพืชสวน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 180 หน้า.

รวี เสรฐภักดี. 2542. The pummelos and grapefruits, น. 24-25. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตร "วิทยาการส้ม: ทางเลือกปัจจุบันสู่อนาคต" 7-11 กรกฎาคม 2540. โรงแรมมารวยการ์เด้น. กรุงเทพฯ.

ลัดดา วัฒนศิริธรรม, กาญจนารัตน์ ทวีสุข และเบญจมาศ รัตนชินกร. 2548. ลิโมนินและนารินจินในส้มโอพันธุ์ต่างๆ. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31(วทท. 31) วันที่ 18-20 ตุลาคม 2548. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2550. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ส้มโอ. แหล่งที่มา: http://www.acfs.go.th/standard/download/std_pomelo.pdf (3 มีนาคม 2551).

เสาวภา ไชยวงศ์ และธีรพงษ์ เทพกรณ์. 2552. ผลของการเก็บรักษาในสภาพบรรยากาศดัดแปลงต่อคุณภาพส้มโอพันธุ์ทองดีในระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อการส่งออก. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

Ameer, B., Weintraub, R.A., Johnson, J.V., Yost, R.A., Rouseff, R.L., Rouseff, R.L. 1996. Flavonone absorption after naringin, hrsperidin, and citrus administration. Clinical Pharmacology & Therapeutics. 60: 34-40.

AmiĆ, D., DavidiviĆ-AmiĆ, D., Bešlo, D. and TrianajstiĆ, N. 2003. Structure-Radical scavenging activity relationships of flavonoids. Croatica Chemica Acta. 76 (1): 55-61. Hertog, M. G. L., P. C. H. Hollman and D. P. Venema. 1992. Optimization of a quantitative HPLC determination of potentially anticarcinogenic flavonoids in vegetables and fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 40: 1591-1598.

Andersen., O. M. and K. R. Markham. 2006. Flavonoids. CRC Press Taylor & Francis Group, United States of America.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. (15th ed). Arlington: Association of Official analytical Chemists.

Baldwin, E.A. 1993. Biochemistry of fruit Ripening. London: Chapman.115-126.

Bowels, B. L. and A. J. Miller. 1994. Caffeic acid activity against *Clostridium botulinum* spores. Journal of Food Science. 59 (4): 905-908.

College of Natural and Agricultural Sciences. University of California, Riverside. 2001. Chandler pummelo. Retrieve April 10, 2008, from http:// www.citrusvariety.ucr.edu/citrus/chandler.html Morton, J. 1987. Pummelo. In: *Fruits of warm climates*. Julia F. Morton, Miami, FL. pp. 147-151.

Davies, M.J., Judd J.T., Baer, D.J., Clevidence B. A., Paul D.R., Edwards, A.J., Wiseman S.A., Muesing, R.A. and Chen S.C. 2003. Black tea consumption reduces total and LDL cholesterol in mildly hypercholesterolemic adults. Journal of Nutrition 133(10): 3298s-3302s.

Fanciullino, A. L., C. Dhuique-Mayer, F. Luro, J. Casanova, R. Morillon and P. Ollitrault. 2006. Carotenoid diversity in cultivated citrus is highly influenced by genetic factors. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 54: 4397-4406.

Ferguson L. R., S. T. Zhu and R. J. Harris. 2005. Antioxidant and antigenotoxic effects of plant cell wall hydroxycinnamic acids in cultured HT-29. Molecular Nutrition & Food Research. 49 (6): 585–693.

Häkkinen, S. 2000. Flavonols and phenolic acids in berries and berry product. Ph.D thesis. Kuopio university.

Hasagewa, S., Herman, Z., Orme, E. and Ou, P. 1986. Biosynthesis of limonoids in citrus: site and translocation. Phytochemistry. 25: 2783-2785.

Jassim, S..A .A. and M. A. Naji. 2003. Novel antiviral agents: a medicinal plant perspective. Journal of Applied Microbiology. 95 (3): 412–427.

Kikugawa, K, T. Hakamada, M. Hasunuma and T. Kurechi. 1983. Reaction of *p*-hydroxycinnamic acid derivatives with nitrite and its relevance to nitrosamine formation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1 (4): 780–785.

Kris-Etherton, P.M., Hecker, K.D., Bonanome, A., Coval, S.M., Binkoski, A.E., Hilpert, K.F., Griel, A.E., and Etherton, T.D. 2002. Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. American Journal of Medicine. 113: 71-88.

Ladaniya, M.S. 2008. Citrus fruit, 1st ed., USA: Academic press, pp. 340.

AOAC. 2000. Method 923.09. Invert sugar in sugars and syrups; Lane and Eynon general volumetric method.

Lee, H.S. 2001. Characterization of Carotenoids in juice of red navel orange (Cara Cara). Journal of Agricultural and Food Chemistry0 49: 2563-2568.

Lesca, P. 1983. Protective effects of ellagic acid and other plant phenols on benzo[a]pyrene-induced neoplasia in mice. Carcinogenesis. 4(12): 1651-3.

Mori, H., K. Kawabata, N. Yoshimi, T. Tanaka, T. Murakami, T. Okada and H. Murai. 1999. Chemopreventive effects of ferulic acid on oral and rice germ on large bowel carcinogenesis. Anticancer Research. 19 (5A): 3775-8.

Morton L. W., R. A. A. Caccettah, I. B. Puddey and K. D. Croft. 2000. Chemistry and biological effects of dietary phenolic compounds: relevance to cardiovascular disease. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 27 (3): 152–159.

Mouly, P., Gaydou, E.M., and Auffray, A. 1998. Simultaneous separation of flavanone glycosides and polymethoxylated flavones in citrus juices using liquid chromatography. Journal of Chromatography A. 800: 171–179.

Nogata, Y., Sakamoto, K., Shiratsuchi, H., Ishii, T., Yano, M. and Ohta, H. 2006. Flavonoid composition of fruit tissue of Citrus species. Bioscience Biotechnology and Biochemistry. 70(1): 178-192.

Ortuno, A., García-Puig, D., Fuster, M.D., Pérez, M.L., Sabater, F., Porras, I., García, Lindón, A., Del Río, J.A. 1995. Flavonone and nootkatone levels in different varieties of grapefruit and pummelo. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 43 (1): 1-5.

Paynter, N. P., H. C. Yeh, S. Voutilainen, M. I. Schmidt, G. Heiss, A. R. Folsom, F. L. Brancati, W. H. L. Kao. 2006. Coffee and sweetened beverage consumption and the risk of type 2 diabetes mellitus. American Journal of Epidemiology. 164 (11): 1075–1084

Peterson, J.J., Beecher, G.R., Bhagwat, S.A., Dwyer, J.T., Gebhardt, S.E., Haytowitz, D.B. and Holden J.M. 2006. Flavanones in grapefruit, lemons and limes: A compilation and review of the data from the analytical literature. Journal of Food Composition and Analysis. 19: S74-S80.

Pietta, P. G. 2000. Flavonoids as antioxidants. Journal of National Products. 63: 1035-1042.

Ravelo-Perez, L.M., Hernandez-Borges, J., Rodriguez-Delgado, M.A., & Borges-Miquel, T. 2008. Spectrophotometric Analysis of Lycopene in Tomatoes and Watermelons: A Practical Class. Analytical Chemistry.13: 11-13.

Rice-evans, C. A., Miller, N. J. and Paganga, G.. 1995. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. Free Radical Biology & Medicine. 20: 933-956.

Roldán-Gutiérrez, J. M., M. D. L. de Castro. 2007. Lycopene: The need for better methods for characterization and determination. Trends in Analytical Chemistry. 26(2): 163-170.

Rouseff, R., Martin, S.F. and Youtsey, C.O. 1987. Quantitative survey of aarirutin, naringin, hesperidin, and neoheperidin in *Citrus*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 35: 1027-1030.

Sakakibara, H., Honda Yoshinori, Nakagawa, S. Ashida, H. and Kanazawa, K. 2003. Simultaneous determination of all polyphenols in vegetables, fruits, and teas. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51: 571-581.

Singleton, V. L., and Rossi, J. A. Jr. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture. 16: 144-158.

Sizer F. and E. Whitney. 2008. Nutrition: Concepts and Controversies. 11th edition. Thompson Wadsworth. Belmont, CA.

Sotillo, D. R. de, M. Hadley and C. Wolf-Hall. 1998. Potato peel extract a nonmutagenic antioxidant with potential antimicrobial activity. Journal of Food Science .63 (5): 907-910.

Tripoli, E., Guardia, M. L., Giammanco, S., Majo, D.D. and Giammanco, M. 2007. *Citrus* flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. Food Chemistry. 104: 466-479.

Tsai, H.L., Chang S.K.C. and Chang, S-J. 2007. Antioxidant content and free radical scavenging ability of fresh Red pummelo [*Citrus grandis* (L.) Osbeck] juice and freeze-dried products. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55: 2867-2872.

USDA Nutrient database. 2010. Grapefruit juice (Pink, Raw). Pummelo. [online] Available from http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. (accessed on 27/9/2010)

USDA Nutrient database. 2010. Grapefruit juice (White, Raw). Pummelo. [online] Available from http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. (accessed on 27/9/2010)

USDA Nutrient database. 2010. Pummelo (Raw). Pummelo. [online] Available from http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. (accessed on 27/9/2010)

Vermerris, W. and Niicholson, R.. 2006. Phenolic compound biochemistry. Springer, Netherlands.

Wang, Y-C., Chuang, Y-C. and Ku, Y-H. 2007. Quantitaion of bioactive compounds in Citrus fruits cultivated in Taiwan. Food Chemistry. 102: 1163-1171.

Weerasak, S. 2005. Caroteniods: Structures and Potential Mechanism in Biological Functions. Srinakharinwirot Journal of Pharmaceutical Sciences. 10 (1): 58-66.

Xu, G, Liu, D, Chen, J. Ye, X. and Shi, J. 2009. Composition of major flavonone glycosides and antioxidant capacity of three citrus varieties. Journal of Food Biochemistry. 33: 453-469.

Xu, G, Liu, D, Chen, J. Ye, X. and Shi, J. 2009. Composition of major flavonone glycosides and antioxidant capacity of three citrus varieties. Journal of Food Biochemistry. 33: 453-469.

Xu, G., Liu, D, Chen, J. Ye, X., Ma, Y. and Shi, J. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. Food Chemistry. 106: 545-551.

Xu, J., N. Tao, Q. Liu and X. Deng. 2006. Presence of diverse ratio of lycopene/β-carotene in five pink or red. Scientia Horticulturae. 108: 181-184.

Yen, G. C., and Duh, P. D. 1994. Scavenging effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active oxygen species. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42 : 629-632.

Yen, G. H., and Chen, H. Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 43: 27-32.

Yoo, K.M., Lee, K.M., Park, J.B., Lee, H.J., & Hwang, I.K. 2004. Variation in major antioxidants and total antioxidants activity of Yusu (*Citrus junos* Sieb *ex* Tanaka) during nutrition and between cultivars. Journal of Agricultural Food Chemistry. 52: 5907-5913.

Yu, J., Wang, L., Walzem, R.L., Miller, E.G., Pike, L.M., and Patil, B.S. 2005. Antioxidant activity of citrus limonoids, flavonoids, and coumarins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53: 2009-2014.

ภาคผนวก

Agricultural Sci. J. 40(3) (Suppl.): 396-399 (2009) *ว. วิทย. กษ. 40(3) (พิเศษ): 396-399 (2552)*

สมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโต

Physico-chemical Properties of Pummelos cv. Thong Dee and Chandler during Growth and Development

ภาวิณี พิทักษ์วงศ์[1] และเสาวภา ไชยวงศ์[1*]

Pawinee Pitukwong[1] and Saowapa Chaiwong[1*]

Abstract

The growth and development of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 2-8 months (8-32 weeks after full bloom) were evaluated and compared by physico-chemical properties. The physical properties were fruit weight, flesh weight, peel weight, fruit circumference, diameter of fruits and flesh, mean geometrical diameter, fruit height, peel thickness, a* value of flesh color, L* and a* values of peel color. In addition, the chemical properties were total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), and TSS:TA ratio, total sugar, reducing and non-reducing sugars. The results showed that pummelo cv. "Chandler" had physical properties higher than "Thong Dee", especially fruit weight, flesh weight, and a* value of flesh during 20-32 weeks after full bloom. In addition, TSS, TA contents of "Chandler" cultivar (14.7) were higher than "Thong Dee" cultivar (11.7) at 32 weeks after full bloom. On the contrary, TA and non-reducing contents of "Thong Dee" cultivar was significantly higher than Chandler cultivar at maturity stage. Therefore, pummelo cv. "Chandler" harvest is earlier than "Thong Dee" about 2 weeks as pummelo maturity index is indicated by 8% of TSS content.

Keywords: pummelo, physico-chemical properties, maturity

บทคัดย่อ

การศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ในระหว่างการเจริญเติบโต 2-8 เดือน (8-32 สัปดาห์หลังดอกบาน) ซึ่งสมบัติทางกายภาพได้แก่ น้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก เส้นรอบวง เส้นผ่านศูนย์กลางผลและเนื้อ ค่า mean geometrical diameter ความสูงของผล ความหนาเปลือก ค่า a* ของเนื้อ และค่า L* b* ของเปลือก สำหรับสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids, TSS) ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity, TA) และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์และน้ำตาลรีดิวซ์ ผลการทดลองพบว่า ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีสมบัติทางกายภาพมากกว่าส้มโอพันธุ์ทองดีโดยเฉพาะน้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ และค่า a* ของเนื้อในระหว่าง 20-32 สัปดาห์หลังดอกบาน นอกจากนี้พันธุ์แชนเลอร์มีปริมาณ TSS:TA (14.7) มากกว่าพันธุ์ทองดี (11.7) ที่ระยะ 32 สัปดาห์หลังจากดอกบาน ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่า พันธุ์ทองดีมีปริมาณ TA และปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์มากกว่าพันธุ์แชนเลอร์เมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ ดังนั้นเมื่อกำหนดความบริบูรณ์ที่ระดับ TSS เท่ากับ 8% พบว่า ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าพันธุ์ทองดีประมาณ 2 สัปดาห์

คำสำคัญ: ส้มโอ สมบัติทางกายภาพ-เคมี ความบริบูรณ์

คำนำ

ส้มโอเป็นผลไม้เศรษฐกิจของไทยที่มีศักยภาพในการส่งออก จากข้อมูลการส่งออกส้มโอในปี 2551 มูลค่าการส่งออกส้มโอคิดเป็น 109 ล้านบาท (www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex2551.jsp) สำหรับพันธุ์ส้มโอที่ปลูกมากของ จ.เชียงราย ได้แก่ พันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ ซึ่งพันธุ์แชนเลอร์เป็นพันธุ์ที่ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ Siamese Pink ซึ่งเป็นเมล็ดที่ได้จากพันธุ์ทองดีและพันธุ์ Siamese Sweet พันธุ์แชนเลอร์มีต้นกำเนิดพันธุ์จาก UC Riverside (Hadgson,1967) จากรายงานรูปแบบการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งมี 3 ระยะ ได้แก่ ระยะการแบ่งเซลล์เป็นการเจริญของเปลือก ระยะการขยายขนาดเซลล์เป็นระยะที่ผลมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดและมีการสร้างเนื้อส้มโอ และระยะความบริบูรณ์ของผลเป็นระยะที่เพิ่มเนื้อส้มโอ (เยาวรัตน์, 2545) อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการศึกษาการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ดังกล่าวในประเทศไทย อีกทั้งการส่งออกส้มโอนั้นได้ประสบปัญหาการเก็บเกี่ยวส้มโอซ่อนทำให้คุณภาพไม่ตรงกับความต้องการของตลาดต่างประเทศ

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการผลิตผลเกษตรและการบรรจุ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100

[1] Technology Management of Agricultural Products and Packaging, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand 57100

* Corresponding author: saowapa_ch@yahoo.com

ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาและการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ-เคมีในระหว่างการเจริญเติบโตส้มโอและระยะความบริบูรณ์เพื่อการส่งออกของส้มโอทั้งสองพันธุ์

อุปกรณ์และวิธีการ

ทำเครื่องหมายส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์ในแปลงเดียวกันอายุต้น 7 ปี จากอำเภอเวียงแก่น พันธุ์ละ 12 ต้น จังหวัดเชียงรายหลังจากนั้นเก็บเกี่ยวส้มโอทั้ง 2 พันธุ์ ที่อายุ 2-8 เดือน (8-32 สัปดาห์ หลังจากดอกบาน; WAFB) ทุกๆ เดือน ทำการขนส่งผลส้มโอไปยังมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงรายเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอทั้งสองพันธุ์ในระหว่างการเจริญเติบโต โดยแบ่งการทดลองเป็น 12 ซ้ำ/พันธุ์ (1 ผล/ซ้ำ) และตรวจสอบข้อมูลทุกๆ 4 สัปดาห์จนอายุครบ 32 สัปดาห์ โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพต่อไปนี้ น้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือก เส้นรอบวง เส้นผ่าศูนย์กลางผลและเนื้อ ค่า mean geometrical diameter ความสูงของผล ความหนาเปลือก ค่า a* ของเนื้อและค่า L* b* ของเปลือก สำหรับสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solids; TSS) โดยใช้ Hand refractometer ยี่ห้อ ATAGO, ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity; TA) และอัตราส่วนระหว่าง TSS:TA ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) ปริมาณน้ำตาลนอนรีดิวซ์ (Non-reducing sugar) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) ด้วยวิธีของ Lane และ Eynon (AOAC, 2000) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอายุผลและค่า %TSS ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม Statistical Analysis System (SAS) 6.02 ซึ่งทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลและวิจารณ์ผล

การเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีและพันธุ์แชนเลอร์มีรูปแบบการเจริญเติบโตเป็น simple sigmoid curve ซึ่งการเจริญช่วงแรก (8-16 WAFB) เป็นการเจริญเติบโตของเปลือกส้มโอ หลังจากนั้นส้มโอมีการสร้างเนื้ออย่างรวดเร็ว (Figure 1) สอดคล้องกับรายงานของปนัดดา (2551) พบว่าการเจริญเติบโตของส้มโอพันธุ์ทองดีในจังหวัดเชียงรายที่อายุผล 16 WAFB ส่วนใหญ่เป็นการเจริญเติบโตของเปลือก เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของส้มโอสองพันธุ์จากสมบัติกายภาพ พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีน้ำหนักผลและน้ำหนักเนื้อ น้ำหนักเปลือกและความหนาเปลือก มากกว่าพันธุ์ทองดี ซึ่งน้ำหนักผลของส้มโอพันธุ์แชนเลอร์และทองดีเมื่ออายุ 32 WAFB มีค่า 1,270 กรัม และ 1,110 กรัม ตามลำดับ (Figure 1) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางผล ค่า mean geometrical diameter เส้นผ่านศูนย์กลางเนื้อ ความสูงผล และเส้นรอบวงของส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มากกว่าพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเฉพาะอายุผลที่ 20 WAFB (Figure 2A-E) สำหรับการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกและสีเนื้อส้มโอนั้นพบว่าค่า L* (ความสว่าง) และ b* (ค่าสีเหลือง) ของเปลือกเพิ่มขึ้นเมื่อผลเข้าสู่ระยะบริบูรณ์และค่า a* (ค่าสีแดง) ที่เปลี่ยนแปลงเป็นสีแดงเมื่อผลอายุ 24 WAFB และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผลอายุ 32 WAFB เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวในส้มโอสองพันธุ์พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีค่า L* และ b* ของเปลือกมากกว่าพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อสังเกตสีเปลือกของส้มโอพบว่า เปลือกพันธุ์แชนเลอร์มีสีเขียว-เหลืองซึ่งพันธุ์ทองดีมีสีเหลืองน้อยกว่า เช่นเดียวกับสีเนื้อของพันธุ์แชนเลอร์ที่สีแดงเข้มกว่าพันธุ์ทองดีอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ตลอดการเจริญเติบโต 8-32 WAFB (Figure 3A-C)

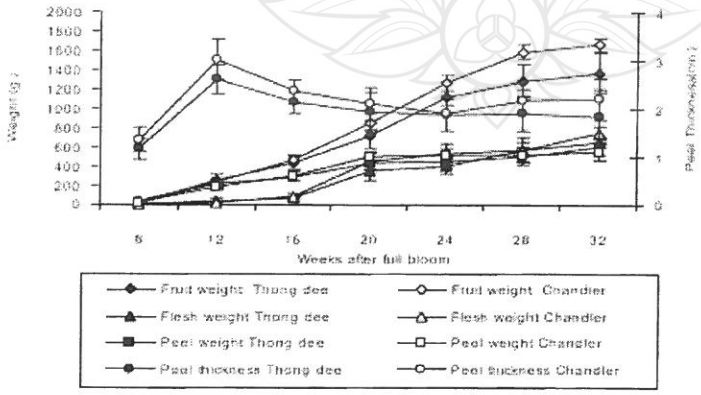


Figure 1 Fruit weight, flesh weight, peel weight and peel thickness of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 weeks after full bloom (WAFB)

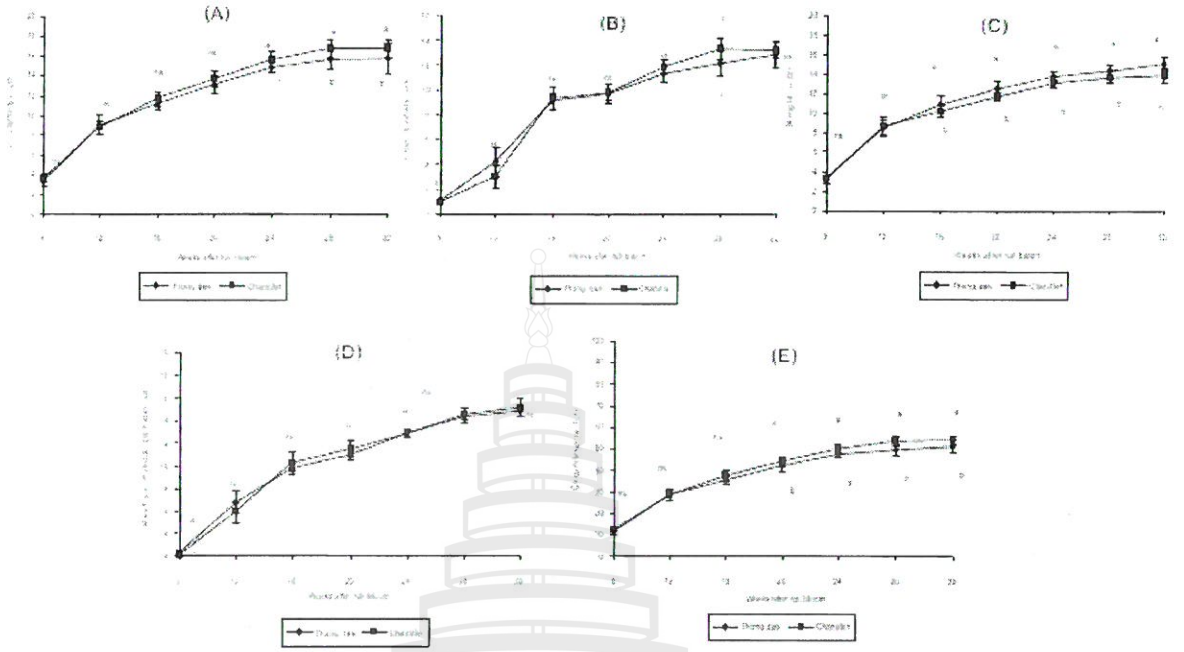


Figure 2 Fruit diameter (A), flesh diameter (B), fruit height (C), mean geometrical diameter (D) and fruit circumference (E) of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

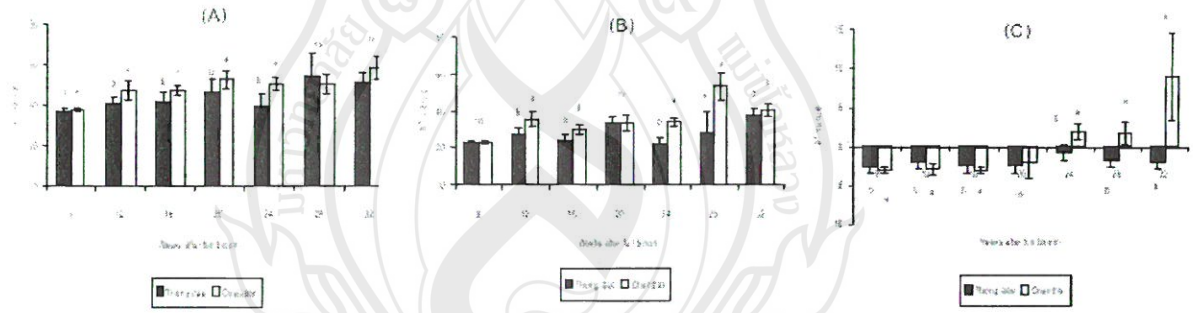


Figure 3 L*value of peel (A), b* value of peel (B), a* value of flesh (C) of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

สำหรับการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีนั้นพบว่าส้มโอทั้งสองพันธุ์ปริมาณ TSS และ TSS/TA เพิ่มขึ้น ค่า TA ลดลง เมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ 24-32 WAFB มีค่า TSS เท่ากับ 7-8% ค่า TA เท่ากับ 0.9-0.7% และ ค่า TSS/TA เท่ากับ 9-12 ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับรายงานของ Ladaniya (2008) รายงานว่าน้ำตาลนอนรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ระยะบริบูรณ์ จากการทดลองนี้พบว่าน้ำตาลนอนรีดิวซ์มีค่ามากกว่าน้ำตาลรีดิวซ์ถึง 3-4 เท่า (Figure 5A-C) เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีของส้มโอสองพันธุ์ พบว่าส้มโอทองดีมีปริมาณ TA และสัดส่วน TSS/TA น้อยกว่าพันธุ์แชนเลอร์อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ซึ่งค่า TSS/TA ของพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ที่อายุผล 32 WAFB มีค่า 9 และ 12.3 ตามลำดับ (Figure 4A-C)

เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอายุผลและค่า TSS พบว่าค่า coefficient of correlation (r) ของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์มีค่า 0.9663 และ 0.8572 ตามลำดับ และเมื่อกำหนดค่า TSS เท่ากับ 8% ตามมาตรฐานส้มโอ มกอช. ปี 2550 (www.acfs.go.th/standard/download/std-pomelo.pdf) พบว่า ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าส้มโอพันธุ์ทองดีประมาณ 2 สัปดาห์ (Table 1)

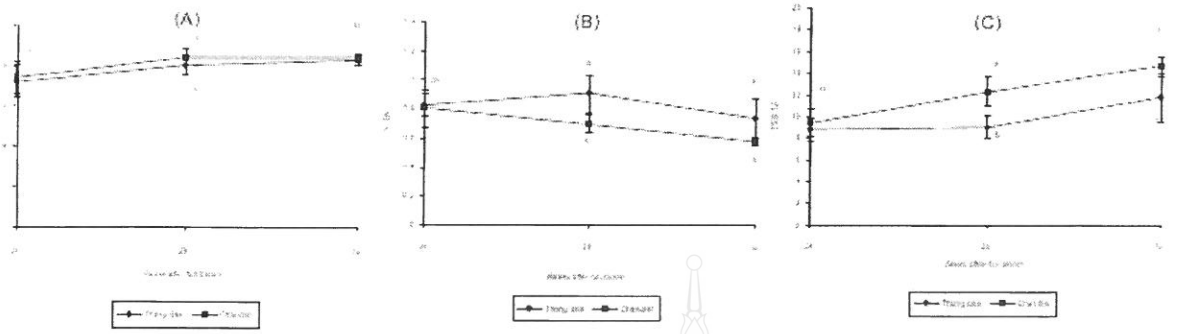


Figure 4 %TSS (A),% TA (B), TSS/TA ratio (C) of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

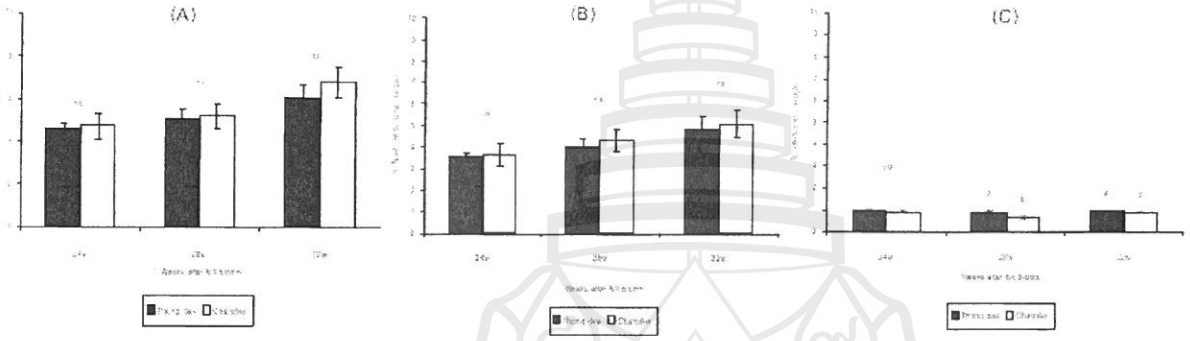


Figure 5 Total sugar (A), non-reducing sugar (B), reducing sugar (C) of pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during 8-32 WAFB

Table 1 Regression equations and coefficient of correlation between fruit age and TSS in pummelos "Thong Dee" and "Chandler" cultivars at 24-32 WAFB

Cultivars	Regression equation	Coefficient of correlation (r)	Fruit age at TSS 8%
Thong Dee	y=0.1391x+3.9369	0.9663	29 WAFB
Chandler	y=0.128x+4.4694	0.8572	27 WAFB

สรุป

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ-เคมีของส้มโอในระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนา 8-32 สัปดาห์หลังจากดอกบาน พบว่าส้มโอพันธุ์แชนเลอร์มีการเจริญเติบโตทางกายภาพและเคมีมากกว่าพันธุ์ทองดีโดยเฉพาะน้ำหนักผล น้ำหนักเนื้อ ค่า a* ของเนื้อ และปริมาณ TSS:TA ซึ่งทำให้ส้มโอพันธุ์แชนเลอร์สามารถเก็บเกี่ยวได้เร็วกว่าพันธุ์ทองดีประมาณ 2 สัปดาห์เมื่อกำหนดค่า TSS 8% ตามมาตรฐาน มกอช ของส้มโอเพื่อการส่งออก

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. ข้อมูลการส่งออก. 29 มีนาคม 2552. http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex2551.jsp.

ปนัดดา จีนะสาร. 2551. ผลของพีลัมพลาสติกต่อคุณภาพของส้มโอปอกเปลือกพันธุ์ทองดี. ปัญหาพิเศษ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 69 น.

เยาวรัตน์ วงศ์ศรีสกุลแก้ว. 2545. การเสื่อมโทรมและพัฒนาการของผลส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้งและลักษณะผลพันธุ์อื่น ๆ. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 54 น.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. ส้มโอ. 9 กุมภาพันธ์ 2551. Available:http://www.acfs.go.th/standard/download/std-pomelo.pdf.

AOAC. 1990. Official methods of analysis. (15th ed). Arlington: Association of Official analytical Chemists.

Haugson, R.W. 1967. Horticultural varieties of Citrus. p. 431-591. In: W. Reuther, H.J. Webber & L.D. Batchelor (eds.). The Citrus Industry Vol. I. Univ. of Calif. , Div. of Agr. Sc.

Lacaniya, M. S. 2008. Citrus Fruit, 1st ed., USA: Academic Press. pp. 340.

Abstracts

การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติครั้งที่ ๙

The 9th National Horticultural Congress 2010

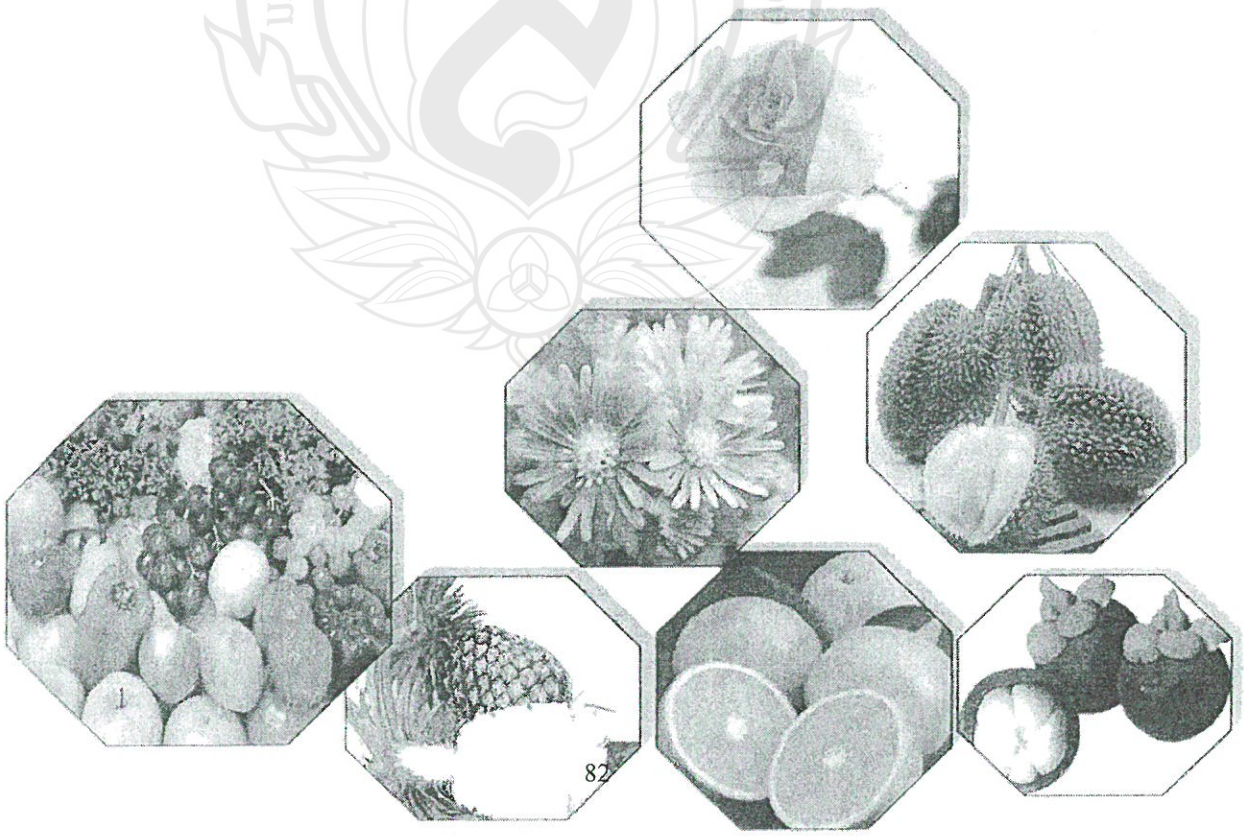
พัฒนาพืชสวนไทยเพื่อไทยเข้มแข็ง

11 – 14 พฤษภาคม 2553

ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา

จัดโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ



สารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเลอร์ในระยะความบริบูรณ์

Major Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during Maturation

พรศิริ ศิลปศร[1] ธีรพงษ์ เทพกรณ์[2] และ เสาวภา ไชยวงศ์[1]
Phonsiri Sinlapason[1] Theerapong Theppakorn[2] and Saowapa Chalwong[1]

Abstract

The aim of this study was to determine the composition of major bioactive compounds and antioxidant capacity of two pummelo cultivars (*Citrus grandis* (L) Osbeck) during maturation. The pummelos cv. "Thong Dee" (light pink pulp) and "Chandler" (pink pulp) were harvested during 5-8 months after full bloom (MAFB). The chemical properties were determined mainly on the ratio of total soluble solids (TSS) to titratable acidity (TA), vitamin C, total phenolics, nariginin, lycopene, and antioxidant capacities (Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) assay and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) assay). "Thong Dee" pummelo at 5 MAFB had the highest contents of vitamin C, total phenolics and naringin. In addition, "Thong Dee" pummelo had the highest antioxidant capacities in both FRAP and DPPH assays. However, the highest lycopene content and TSS:TA ratio were detected in "Chandler" pummelo. Furthermore, vitamin C and naringin contents in immature pummelos were significantly higher than in mature fruits. Correlation coefficients of both antioxidant capacity assays and all bioactive compounds indicated that total phenolics played an important role in pummelo pulp.

Key words: Pummelo, Antioxidant capacity, Bioactive compound

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อศึกษาองค์ประกอบหลักของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของส้มโอสองพันธุ์เมื่อผลเข้าสู่ระยะความบริบูรณ์ได้แก่ ส้มโอพันธุ์ทองดี (เนื้อสีชมพูอ่อน) และพันธุ์แชนเลอร์ (เนื้อสีชมพู) อายุผล 5-8 เดือนหลังจากดอกบาน (MAFB) โดยวิเคราะห์สมบัติทางเคมีได้แก่ อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TSS:TA) วิตามินซี สารฟีนอลลิคทั้งหมด สารนารินจิน สารไลโคพีน และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ Ferric reducing/antioxidant power (FRAP) พบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดีที่ระยะ 5 เดือนหลังจากดอกบานมีปริมาณวิตามินซี สารฟีนอลลิคทั้งหมด และสารนารินจินมากที่สุด อีกทั้งส้มโอพันธุ์ทองดีมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมากที่สุดเช่นกัน อย่างไรก็ตามปริมาณสารไลโคพีนและอัตราส่วนปริมาณ TSS:TA พบมากที่สุดในส้มโอพันธุ์แชนเลอร์ นอกจากนี้ในส้มโอระยะผลอ่อนมีปริมาณวิตามีนซีและสารนารินจินมากกว่าในผลส้มโอที่มีความบริบูรณ์ เมื่อวิเคราะห์สัมประสิทธิสหสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์การต้านออกซิเดชันทั้งสองวิธี กับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด ระบุได้ว่าสารฟีนอลลิคทั้งหมดเป็นสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพในเนื้อส้มโอ

คำสำคัญ: ส้มโอ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการผลิตเกษตรและการบรรจุ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100
[1] Technology Management of Agricultural Produces and Packaging Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai 57100
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย 57100
[2] Food Technology Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai 57100

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ขอมอบใบประกาศเกียรติคุณระดับ ดี

ในการนำเสนอผลงาน ภาคโปสเตอร์ สาขาไม้ผล/ไม้ยืนต้น

เรื่อง สารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านออกซิเดชั่นของส้มโอพันธุ์ทองดีและแชนเดอร์ ในระยะความบริบูรณ์

ให้แก่

พรศิริ ศิลปศร, ธีรพงษ์ เทพกรณ์ และเสาวภา ไชยวงศ์

เนื่องในการประชุมวิชาการฟิชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 9

THE 9th NATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS 2010

วันที่ 11-14 พฤษภาคม พ.ศ. 2553

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จริยา หาสีตพานิชกุล)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

CURRICULUM VITAE

NAME: SAOWAPA CHAIWONG

SEX: Female

DATE OF BIRTH: February 4, 1978

PLACE OF BIRTH: Chiang Mai, Thailand

NATIONALITY: Thai

MARITIAL STATUS: Married

HOME ADDRESS: 19/2, Moo 13 Sankhumpaeng, Chiang Mai, 50130 THAILAND

Home Phone: +66-5333-2552

OFFICE ADDRESS: Technology Management of Agricultural Produces and Packaging Program

School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University

Meung, Chiangrai, 57100 THAILAND

Phone: +66 -5391-6737 Fax: +66-5391-6739

E-mail address: saowapa_c@yahoo.com/ saowapa@mfu.ac.th

EDUCATION:

2000-2004 M.Sc. (Agriculture)

Kasetsart University, Bangkok, THAILAND

Thesis : Postharvest Physiology and Quality Differences between 'Nam Dok Mai' and 'Nam Dok Mai See Thong' Mangoes during storage

1996-2000 B.Sc. (Agriculture) (Second Class Honor)

Chiang Mai University, Chiang Mai, THAILAND

EMPLOYMENT RECORD

2006-present Lecturer, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiangrai, THAILAND

Students under supervision

2 students (Master Program), 17 students (Bachelor Program)

2004-2006 Research Assistant, National Metal and Materials Technology Center (MTEC) , Pathumthani, THAILAND

TEACHING EXPERIENCE

2006-present Lecturer, Program of Technology Management of Agricultural Produces and Packaging, Mae Fah Luang University

Bachelor Program

- Postharvest Technology and Handling of Plant (1407343)
- Postharvest Biology of Plant (1407212)
- Minimally Processed Fruit and Vegetables (1407343)
- Packaging for Fresh produces (1408343)
- Special Problem Proposal (1405497)

Master Program

- Postharvest Biology and Technology (1407740)

2002-2003 Teaching Assistant, Department of Horticulture, Kasetsart University

- Postharvest Technology of Horticultural Commodity (007482)

OUTSTANDING AWARD

2010 Oral presentation (Second Class : Fruit/Tree section) , "Variartion of Bioactive Flavonoids in Thai Pummelos", (The 9th National Horticulture Congress 2010)

	Poster presentation (Third Class: Fruit/Tree section), (The 9th National Horticulture Congress 2010) 1) "Major Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during Maturation" 2) "Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Three Pummelo Peels" 3) "Preliminary Study of Fruit Scarring on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Tangerine cv."Sai Nam Pheung"
2005	Outstanding Technologist Awards from Foundation for the Promotion of Science and Technology under the Patronage of H.M. the King
2004	Silver Medal Invention Award in Packaging and Storage, Brussels Eureka, "Freshness preserving film for tropical" (53rd World Exhibition of Innovation, Research and New Technology)
2000	Second Class Honor in B.Sc. (Agriculture), Chiang Mai University
1997-2000	Outstanding Student Awards, Chiang Mai University

COMPLETE RESEARCH PROJECT

1. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Pummelo cv. "Thong Dee" during Low Temperature Storage for Export

Head of project, Granted by Mae Fah Luang University (5005020034, 2006-2007)

2. Evaluation of Bioactive compounds in groups of flavonoids and anthocyanins of pummel cv. "Tong Dee", "Kao Nam Phung", "Kao Tang Gwa", "Kao Yai" and "Tub Tim Siam" cultivated in Thailand Head of project, Granted by Thailand Research Fund (TRF) (RDG5120073, 2008-2009)

PUBLICATIONS

*Theppakorn, T. and **Chaiwong, S.** 2011. Review: Bioactive Compounds in Pummelo and Grapefruit. King Mongkut's Agricultural Journal. 29(2): 90-99.

Traisee, W., Kamhangwong, D., **Chaiwong, S.** and Setha, S. 2010. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Quality during Low Temperature Storage Agricultural Sci. J. 41:2 (Suppl.) 145-148.

***Chaiwong, S.** and T. Theppakorn. 2010. Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Pink Pummelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) cv. "Thong Dee" in Thailand. Journal of the International Society for SoutheastAsian Agricultural Sciences (ISSAAS). 16 (2): 10-16.

* **Chaiwong, S.** and Theppakorn, T. 2010. Review: Flavonoids in Thai Pummelo. The Journal of Applied Science. 9(2): 79-89.

* Theppakorn, T., and **Chaiwong, S.** "Evaluation of Bioactive Compounds and Antioxidant Capacities of Pomelo cv. "Thong Dee for Export", 35th Congress on Science and Technology of Thailand, Thailand, 2009.

* Chonhenchob, V., Chinsirikul, W., Fuongfuchat, A., **Chaiwong, S.**, Boonruang, K., and, Kerdddonfag, N. 2009. "High Permeable Film Used for Modified Atmosphere Packaging Improve Quality and Shelf life of Baby Corn", Journal of Applied Packaging Research, 3:2.

Pitukwong, P.,and **Chaiwong, S.** 2009. "Physico-chemical Properties of Pummelo cv. Thong Dee and Chandler during Growth and Development", Agricultural Sci. J. 40:3 (Suppl.) 396-399.

Kufoh, P., and **Chaiwong, S.** 2009. "Comparison of Nutritive Values and Chemical Composition of Three Mandarins cv. "Special Honey", "Thanathon No.1" and "Ocean Honey" during Storage", Agricultural Sci. J. 40:3 (Suppl.) 626-629.

Chaiwong, S., and Theppakorn, T. 2008. "Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Pummelo cv. "Thong Dee" during Storage", Agricultural Sci. J. 39:3 (Suppl.) 287-290.

Fuongfuchat, A., Chinsirikul, W., Kerdddonfag, N., Trongsattikul, T., Phiboonkulsumrit, S., **Chaiwong, S.,** and Chonhenchob, V. 2006. "The Utilization of Simple Mathematical Model in Developing Equilibrium Modified Atmosphere inside The Package of Fresh Produce" , Agricultural Sci. J. 37:5 (Suppl.) 62-65.

Chaiwong, S., Leelaphiwat, P., Tipayatum, P., Chonhenchob, V., Chinsirikul, W., Fuongfuchat, A., Kerdddonfag, N., Trongsattikul, T., and Pattarapong, W. 2005. "Effect of Active Films on Quality and Shelf-life of Musa (AA Group) "Kluai Kai", Agricultural Sci. J. 36:2 (Suppl.) 497-500.

Chaiwong, S., and Siriphanich, J. 2003. "Quality Differences between "Nam Dok Mai" and "Nam Dok Mai See Thong" during Storage", Agricultural Sci. J. 34:1 (Suppl.) 271-274.

Remark : * Publication with peer review

PRESENTATIONS

Raiputta, J., Setha, S., **Chaiwong, S.** and Suthiluk, P. 2011. Effect of Packaging on Quality of Fresh-cut 'Phulae' pineapple, The 9th National Postharvest Technology Conference, Chonburi, Thailand, June 23-24, 2011.

Buakli, P., Setha, S., Theppakorn, T., and **Chaiwong, S**. 2010. Antioxidant Capacity in Tangerine Peel as Affected by Fruit Scarring and Storage Humidity Conditioning. International Conference on Agricultural and Agro-Industry 2010 (ICAAI 2010) "Food Heath and Trade", Chiang Rai, Thailand November 19-20, 2010

Chaiwong, S., Theeppakorn, T.,Sucharit Suanphairoch, Chanjirakul, K. 2010. "Bioactive Flavonoids in Thai Pummelo for Export", International Conference "Thai fruits-Functional fruits", Thaifex World of Food Asia 2010, IMPACT Challenger Hall, Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand, July 1-2, 2010.

Chaiwong, S., Theeppakorn, T.,Chanjirakul, K. 2010. "Variation of Bioactive Flavonoids in Thai Pummelos", The 9th National Horticultural Congress 2010, Autthaya, Thailand, May 11-14, 2010.

Boonruang, P., Theeppakorn, T., and **Chaiwong, S**. 2010. "Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Three Pummelo Peels", The 9th National Horticultural Congress 2010, Autthaya, Thailand, May 11-14, 2010.

Sinlapason, P., Theeppakorn, T., and **Chaiwong, S**. 2010. "Major Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during Maturation", The 9th National Horticultural Congress 2010, Autthaya, Thailand, May 11-14, 2010.

Bergban, T., Theeppakorn, T., and **Chaiwong, S**. 2010. "Preliminary Study of Fruit Scarring on Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Tangerine cv."Sai Nam Pheung", The 9th National Horticultural Congress 2010, Autthaya, Thailand, May 11-14, 2010.

Chaiwong, S., Theppakorn, T. "Bioactive Compounds and Antioxidant Capacity of Pink Pummelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) cv."Thong Dee" in Thailand", The International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences Congress (Agricultural for Better Living and Global Economy), Pattaya, Thailand, January 11-15, 2010

Thongjun, N., and **Chaiwong, S**. "Determination of Antioxidant Capacity of Pummelos cv. "Thong Dee" and "Chandler" during Storage at Low Temperature", The 8th National Horticultural Congress 2009, Chiang Mai, Thailand, May 6-9, 2009.

Chaiwong, S., and Theppakorn, T. "Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Pummelo cv. 'Thong Dee' during Storage", 6th National Technical Seminar on Postharvest Technology, Khon Kaen, Thailand, August 14-15, 2008.

Itahchot, S., and **Chaiwong, S**. "Effects of Calcium lactate and Heat-Shock Treatments on Quality of Fresh-cut Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus* spp.), The 7th National Horticultural Congress 2008, Nakhon Sawan, Thailand, May 26-30, 2008.

Onsomkrit, J., SriJanthuek, B., **Chaiwong, S.,** and Sunthipabvivattana, N. "Effect of NaOCl Solution on Microbial Population and Quality of Fresh-cut Pineapple cv. "Poo Lae" , The 6th National Horticultural Congress, Chaing Mai, Thailand, November 7-10, 2006.

Chaiwong, S., Chonhenchob V., Chinsirikul, W., Fuongfuchat, A., Kerdddonfag, N., Trongsattikul, T., Phiboonkulsumrit, and Pattarapong, W. "Effect of Active Film on Quality and Shelf-life of Baby Corn "Zeba SG17", Postharvest & Postharvest Production Technology Conference 2005, Petchburi, Thailand, October 10-11, 2005.

Chinsirikul, W., Fuongfuchat, A., Kerdddonfag, N., Trongsattikul, T., Phiboonkulsumrit, S., **Chaiwong, S.**, Chonhenchob, V.,and Pattarapong, W. "Equilibrium Modified Atmosphere (EMA) Packaging for Tropical Fresh Produce" , PROPAK Asia 2005, The 13th International Food Processing & Packaging Technology, Bangkok, Thailand, June 22-25, 2005.

TRAINING

International

2007 Research & Development in Postharvest Practices (Israel)
(19th February-15th March, 2007)
- The Center of International Agriculture Development Cooperation (CINADCOO) and Ministry of Foreign Affairs Center for International Cooperation

National

2008 -Global GAP Requirement and Interpretation (Thailand) (25-26th February, 2008)
Postharvest Technology Institute, Chiangmai University
- ISO/IEC 17025 :2005 (Thailand) (10-11th March, 2008)
Mae Fah Luang University and Thailand Institute of Scientific and Technological Research
- Techniques in Scientific Manuscript Preparation for International Publication in Postharvest
Technology (Thailand) (18-22th August, 2008)
Postharvest Technology Institute, Chiangmai University

2009 GMP and HACCP (Thailand)
(4-6th July, 2009)
- Mae Fah Luang University and National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards

CURRICULUM VITAE

Name Mr. Theerapong Theppakorn

Address School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University

333 Moo. 1, Tasud, Muang, Chiang Rai, Thailand 57100

Telephone Office : 053-916750 (+66 53 91 6750)

Mobile : 081- 5954272 (+66 81 595 4272)

E-mail theerapong@mfu.ac.th ; peawic@hotmail.com

PERSONAL DATA

Date of birth 23 March 1977

Place of birth Chainat, Thailand

Weight/height 63 kilograms/172 centimeters

Nationality Thai

Marital status Single

Health Very Good

EDUCATIONAL BACKGROUND

1999-2003 Doctor of Philosophy in Biotechnology

Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.

Thesis title

- Production, Stability and Behavior in Non-Conventional Media of Cysteine Proteases From Papaya (*Carica papaya* L.) Latex

1995-1998 Bachelor of Science in Industrial Chemistry (1st Class Honors)

Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.

ACHIEVEMENT, AWARDS AND FELLOWSHIPS

1999	Top score award of Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University, awarded by Prof. Tab's Foundation, Faculty of Science, Chulalongkorn University.
1999	Ph.D. student scholarship from the Royal Golden Jubilee (RGJ) Project, supported by Thailand Research Fund

WORKING EXPERIENCE

2007-present	*Lecturer* Food Technology Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
2005-2006	*Head of Chemistry Laboratory* The Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. Chiang Mai Branch, Chiang Mai, Thailand
2004	*Lecturer* Food Technology Program, School of Agro-Industry, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand
2002	*Visiting Scientist* Department of Pure and Applied Science, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK
2000-2001	*Teaching Assistant (Biochemistry)* Department of Chemistry, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand

TEACHING EXPERIENCE

Undergraduate

No.	Course name	Content
1	Food Analysis	Sampling, sample preparation, Data evaluation, Classical methods, Instrumental methods
2	Food Chemistry	Browning reactions, Pigments, Vitamins, Minerals, Flavors
3	Beverage Technology	Water treatment, Bottled water, Beverage composition, Fruit juices, Concentrated fruit juices, Carbonated and Non-carbonated beverage
4	Process Engineering	Unit and dimension, Thermodynamic, Mass balance, Energy balance
5	Quality characteristic of agricultural materials	Ash, Minerals, Vitamins, Pigments, Acidity, Toxin contamination

Graduate

No.	Course name	Content
1	Advanced Enzymes in Food Technology	Activity, Enzyme immobilization, Plant enzymes, Enzyme application in foods

SKILL AND SPECIALIST

- Complete knowledge of Chemistry, Food Chemistry, Analytical Chemistry, Biochemistry and Enzymology
- Experience in the instrumental laboratory such as HPLC (FLD, DAD, RI detector), LC-MS, GC (FID, ECD, NPD detector), GC-MS, Spectrophotometer, Auto titration, Karl Fisher, AAS (flame, graphite furnace)
- Methods of analysis such as proximate analysis, nutrition, food additive/preservative, mineral, heavy metal, mycotoxins, bioactive compiounds and residue analysis (antibiotic and pesticide).

- Skills in method validation, uncertainty measurement, ISO/IEC 17025, laboratory quality control and laboratory management.
- Research and development of methods/techniques for chemical and biochemical analysis

RESEARCH INTERESTS

- Antioxidant compounds and application in foods
- Chemical analysis of bioactive compounds from plants
- Tea

CURRENT RESEARCH PROJECT

1. Technology Transfer project : Production Development of Nam-Miang Powder (2010)
   Head of project, Granted by National Research Council of Thailand (NRCT)

COMPLETE RESEARCH PROJECT

1. Comparison of Yields and Properties of Cysteine Proteases Separated from Peel and Latex of Papaya (2004)
   Head of project, Granted by Thailand's National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
2. Rapid analysis of gallic acid, caffeine and catechins in tea (2004-2006)
   Head of project, Granted by Mae Fah Luang University (MFU)
3. Collection and specification on tea variety grown in the northern Thailand (2006-2008)
   Collaborator, Granted by Thailand's National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
4. Effect of modified atmosphere packaging on quality of pummelo cv. "Thong Dee" during low temperature storage for export (5005020034, 2006-2007)
   Collaborator, Granted by Mae Fah Luang University (MFU)
5. A study on the current status of tea in Thailand (PDG5020004 , 2007-2008)
   Collaborator, Granted by Thailand Research Fund (TRF)

6. Test kit for total polyphenol in tea (RDG5020068, 2008-2009)

   Head of project, Granted by Thailand Research Fund (TRF)

7. A Study on Changes of Kind and Quantity of Antioxidants (Polyphenols) during Green and Oolong Tea Processing in Chiang Rai (5005020018, 2007-2009)

   Head of project, Granted by Mae Fah Luang University (MFU)

8. Product development of Nam-miang powder (I351D03026, 2008-2009)

   Head of project, Granted by Industrial Projects for Undergraduate Students (IRPUS) from Thailand Research Fund (TRF)

9. Product development of miang extracts and evaluation of antioxidant capacity (I351D03027, 2008-2009)

   Head of project, Granted by Industrial Projects for Undergraduate Students (IRPUS) from Thailand Research Fund (TRF)

10. Composition and product development for safety level of sugar palm seed (*Arenga westerhoutii* Griff) (2008-2009)

    Collaborator, Granted by National Research Council of Thailand (NRCT)

11. Evaluation of bioactive compounds in groups of flavonoids and anthocyanins of pummel cv. "Tong Dee", "Kao Nam Phung", "Kao Tang Gwa", "Kao Yai" and "Tub Tim Siam" cultivated in Thailand (RDG5120073, 2008-2009)

    Collaborator, Granted by Thailand Research Fund (TRF)

12. Bioactive Compounds in Commercial Cultivated Cultivar of Pineapple in Thailand (RDG5120085 , 2008-2009)

    Collaborator, Granted by Thailand Research Fund (TRF)

13. Evaluation of the feasibility of using by-product from nam-miang processing in Chiang Rai (UNRN-P/51, 2008-2009)

    Collaborator, Granted by Upper Northern Research Network Administration (UNRN)

14. Development of total polyphenol test kit in teas for commercialization (5310501004, 2009-2010)

    Head of project, Granted by Mae Fah Luang University (MFU)

PUBLICATIONS, PRESENTATION AND ABSTRACTS

Peer reviewed publications

1. Chaiwong, S. and Theoppakorn, T. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacity of pink pummel (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) cv."Thong Dee" from Thailand. *J. ISSAAS, 16:* 10-16.
2. Wati, R. K, Theppakorn, T., Benjakul, S., and Rawdkuen, S. (2010). Trypsin Inhibitor from 3 Legume Seeds: Fractionation and Proteolytic Inhibition Study, *Journal of Food science*, 75(3), 223-228.
3. Kongsuwan,A., Suthiluk, P., Theppakorn, T., Srilaong V., and Setha, S. (2009). Bioactive compounds and antioxidant capacities of *phulae* and *nanglae* pineapple, *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, Special Issue, S44-S50.
4. Kusumawati, R., Theppakorn, T., Benjakul, S., and Rawdkuen, S. (2009) Extraction of trypsin inhibitor from three legume seeds of the Royal Project Foundation, *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2(03), 245-254.
5. Wati, R. K., Theppakorn, T., Benjakul, S. and Rawdkuen, S. (2009). "Three-phase partitioning of trypsin inhibitor from legume seeds." Process Biochemistry 44 (12): 1307-1314.
6. Ketnawa, S., Sai-Ut,S., Theppakorn, Chaiwut, T., and Rawdkuen, S. (2009) Partitioning of bromelain from pineapple peel (*Nang Lae* cultv.) by aqueous two phase system, *Asian Journal of Food and Agro-Industry* 2(04), 457-468
7. Chaiwong, S. and Theppakorn, T. (2008) Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Pummelo cv. 'Thong Dee' during Storage, Agricultural Science Journal 39 : 3 (Suppl.) : 287-290.

Conference presentation

1. **Theppakorn, T** (2010) Development of test kit for total polyphnols in teas, International conference on Agriculture and Agro-Industry: Food, Health and Trade, November 2010, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand. (poster)
2. **Theppakorn, T** and Rattanasopha, N. (2009) Product development of Nam-miang powder at household level, 1st National Conference on Industrial and Research Projects

for Undergraduate Students IRPUSCON-01, March 27-29, Siam Paragon, Bangkok, Thailand. (oral)

3. **Theppakorn, T.** and Yamee, K. (2008) Chemical Qualities of Green Teas Produced in Chiang Rai, Thailand, International Conference on Tea production and Tea Products, November 26-28, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand. (poster)
4. **Theppakorn, T.,** Arna, J. and Kantasorn, R. (2008) Effect of Microwave Heating on Catechins and Antioxidant Activity of Green Tea, Food Innovation Asia 2008 , The 10th Agro-Industrial Conference. 12-13 June, BITEC Bangkok, Thailand. (poster)
5. **Theppakorn, T.** (2007) Rapid and Simple Systems for Simultaneous Analysis of Gallic acid, Caffeine, and 5 Catechins in Green Tea using HPLC, The 9th Agro -Industrial Conference, 14-15 June, BITEC Bangkok, Thailand. (poster).

Proceedings

1. Richa kusuma Wati, **Theerapong Theppakorn** and Saroat Rawdkuen (2009) Extraction of trypsin inhibitor from tree legume seeds from the royal project foundation, การประชุมวิชาการการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 2 เมษายน 23-24 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 615-622.
2. Richa kusuma Wati, **Theerapong Theppakorn** and Saroat Rawdkuen (2009) Trypsin inhibitor from three legume seeds: Fractionation and proteolytic inhibition study, การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา ปี 2552 โรงแรมทวินโลตัส อ.เมือง จ. นครศรีธรรมราช : 154-162.
3. **Theppakorn, T.** and Yamee, K. (2008) Chemical Qualities of Green Teas Produced in Chiang Rai, Thailand, Proceedings of the International Conference on Tea production and Tea Products, November 26-28, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand: 151-158.
4. **Theppakorn, T.,** Arna, J. and Kantasorn, R. (2008) Effect of Microwave Heating on Catechins and Antioxidant Activity of Green Tea, Proceedings of Food Innovation Asia 2008 , The 10th Agro-Industrial Conference, June12-13, BITEC Bangkok, Thailand.

PATENT AND PETTY PATENT (INVENTOR)

1. ธีรพงษ์ เทพกรณ์ (2544) อุปกรณ์เก็บรวบน้ำยางมะละกอ อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 512 ออกให้ ณ วันที่ 7 ธันวาคม 2544
2. ธีรพงษ์ เทพกรณ์ (2546) ผงเนื้อนุ่ม อนุสิทธิบัตรไทย เลขที่ 1111 ออกให้ ณ วันที่ 26 สิงหาคม 2546
3. ธีรพงษ์ เทพกรณ์ มานพ ปาลิวนิช และ ภาวิณี คณาสวัสดิ์ (2546) วิธีการทำแห้งน้ำยางมะละกอด้วยกระแสลมร้อนในแนวราบเพื่อการผลิตปาเปน สิทธิบัตรไทย เลขที่ 15664 ออกให้ ณ วันที่ 15 ตุลาคม 2546

มหาวิทยาลัย
แม่ฟ้าหลวง