

คุณภาพผลและปริมาณธาตุอาหารในใบของส้มโอพันธุ์ทองดี และแชนด์เลอร์ที่ผลิตนอกฤดูและในฤดู

Fruit Quality and Leaf Nutrient Content of Pummelo cv.Thong Dee and Chandler Bearing Off-season and In-season

สาวิกา กอนแสง และ เพ็ญญา จักรสมศักดิ์
Sawika Konsaeng and Pennapa Jaksomsak^{*}

สาขาวิชาเกษตรเคมี คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

Program in Agricultural Chemistry, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

^{*}Corresponding author: Email: pen_jak11@hotmail.com

(Received: 16 April 2020; Accepted: 21 September 2020)

Abstract: The objective of this research was to evaluate the difference of fruit quality and nutrient in leaf of pummelo cv. Thong Dee and Chandler bearing off-season and in-season. Samples of fruits and leaf bearing off-season and in-season were collected to measure fruit size, fruit qualities (pulp color; L^* , a^* , and b^*), total soluble solid content (TSS), titratable acidity content (TA), and ratio between TSS : TA and analyze nutrients in leaf. It was found that longitudinal and transverse circumference of fruit in-season production were higher than off-season 13.6 % and 11.5 %, respectively. Similarly, fruit qualities; a^* , TSS, and TSS:TA bearing in-season were higher than off-season 164.0 %, 7.5 % and 49.2 %, respectively, excepting TA that off-season production was higher approximately 40.8 %. Moreover, pummelo bearing in-season had leaf nutrients, N, Mg, B and Cu higher than off-season 8.3 %, 54.5 %, 12.5 % and 82.5 %, respectively. The positive correlation was found between a^* and leaf nutrients which were Mg, Zn, Cu, and Fe. Likewise, TSS : TA correlated positively with Mg, Zn, Cu, Mn, and Fe in leaf. This information could be benefit to apply for suitable nutrient management to produce the quality pummelo constantly in all season.

Keywords: Fruit quality, pummelo, leaf nutrient, production season, carotenoid

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแตกต่างของคุณภาพผลส้มโอ และปริมาณธาตุอาหารในใบของ ส้มโอพันธุ์ทองดีและแซนด์เลอร์ที่ผลิตนอกและในฤดู จากอำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงราย โดยทำการวัดขนาดผล คุณภาพผล (สีของเนื้อผล (L^* , a^* และ b^*) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) และอัตราส่วนของปริมาณ TSS : TA) รวมทั้งวิเคราะห์ธาตุอาหารในส่วนใบ พบว่า ส้มโอทั้งสองพันธุ์ที่ผลิตในฤดูมีเส้นรอบวงตามแนวตั้ง และเส้นรอบวงตามแนวขวางมากกว่านอกฤดู 13.6 % และ 11.5 % ตามลำดับ ค่า a^* , TSS และ TSS : TA ที่ผลิตในฤดู มีค่ามากกว่านอกฤดู 164.0 %, 7.5 % และ 49.2 % ตามลำดับ ยกเว้น ค่า TA ของส้มโอที่ผลิตนอกฤดูมีค่ามากกว่าในฤดู 40.8 % สำหรับธาตุอาหารในใบ พบว่า ในฤดูมีปริมาณธาตุ N, Mg, B และ Cu มากกว่านอกฤดู 8.3 %, 54.5 %, 12.5 % และ 82.5 % ตามลำดับ ค่า a^* ของผลส้มโอ มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับปริมาณธาตุ Mg, Zn, Cu และ Fe ในใบ อัตราส่วน TSS : TA มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกับปริมาณธาตุ Mg, Zn, Cu, Mn และ Fe ในใบ ข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไป ประยุกต์ใช้สำหรับการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม เพื่อการผลิตส้มโอทั้งสองพันธุ์นี้ให้มีคุณภาพผลที่มีความสม่ำเสมอ ทั้งนอก และในฤดู

คำสำคัญ: คุณภาพผล ส้มโอ ธาตุอาหารในใบ ฤดูผลิต แครทีนอยด์

คำนำ

อำเภอเวียงแก่น จังหวัดเชียงรายเป็นพื้นที่ปลูก ส้มโอที่มีศักยภาพในการส่งออกต่างประเทศ โดยมี ตลาดใหญ่คือประเทศจีน และฮ่องกง นอกจากนี้ยังเป็น แหล่งปลูกที่สามารถส่งออกไปยังประเทศกลุ่มยุโรป โดยในปีเพาะปลูก พ.ศ. 2562 มีพื้นที่ปลูกส้มโอรวมทั้งหมด 6,100 ไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต 5,018 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 5,071.34 กิโลกรัมต่อไร่ (Department of Agricultural Extension, 2020) พันธุ์ส้มโอที่ปลูกมากที่สุด คือ พันธุ์ ทองดี รองลงมาคือพันธุ์แซนด์เลอร์ (Santasup *et al.*, 2013) ส้มโอพันธุ์ทองดี และแซนด์เลอร์จัดอยู่ในกลุ่มส้มโอ ที่มีเนื้อสีแดง มีสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มแคโรทีนอยด์ ในปริมาณสูง มีคุณสมบัติในด้านโภชนาการและต้าน อนุมูลอิสระ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งต่าง ๆ โรคหัวใจและ หลอดเลือด และเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์วิตามินเอ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค (Edge *et al.*, 1997) และ เป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ แต่จากการสำรวจและ สัมภาษณ์เกษตรกรเบื้องต้น พบว่า ส้มโอพันธุ์ทองดี และแซนด์เลอร์ที่ให้ผลผลิตนอกฤดูมีความเข้มสีจาง หรือแทบไม่มีสีเมื่อเทียบกับส้มโอในฤดู ซึ่งในทางการค้า ความเข้มสีแดงมีผลต่อความต้องการของตลาด ทำให้ผล ผลิตที่ออกนอกฤดูเป็นที่ต้องการของตลาดน้อยลง อีกทั้งส่งผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการ

แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุหลักในส่วน ของ เปลือก และเนื้อผล ที่ทำให้พืชวงศ์ส้มมีสีแดง เหลือง และ ส้มแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช พืชวงศ์ส้มแต่ละ ชนิดมีปริมาณแคโรทีนอยด์ และความเข้มข้นในส่วน ของ เปลือก และเนื้อผลแตกต่างกัน รวมทั้งในสายพันธุ์ที่ แตกต่างกัน ปริมาณและองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ ในส่วนเปลือกและเนื้อผลมีความสัมพันธ์กับความเข้มสี ในส่วนเปลือกและเนื้อผลด้วย (Abdelaali *et al.*, 2018) ชนิดสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่พบมากที่สุด ในส้มโอ พันธุ์เนื้อสีแดง ได้แก่ ไลโคพิน (Alquézar *et al.*, 2008; Promkaew *et al.*, 2020) นอกจากพันธุ์กรรมที่มีอิทธิพล ต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ สภาพแวดล้อมก็ส่งผล ต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ด้วย โดยกระบวนการทาง สรีรวิทยาที่ควบคุมการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ คือ การเปลี่ยนคลอโรพลาสต์ไปเป็นโครโมพลาสต์ที่อยู่ใน พลาสติด ถูกควบคุมด้วยปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง และธาตุอาหาร (Alquézar *et al.*, 2008) Zhang *et al.* (2015) รายงานว่าความเข้มแสง สีน้ำเงินที่แตกต่างกันมีผลต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ ในเนื้อผลส้มแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน การสังเคราะห์ แคโรทีนอยด์ของส้มพันธุ์ขัทขูมาจะสูงขึ้นที่ความเข้ม แสงสีฟ้าเท่ากับ 100 $\mu\text{mol m}^{-2}/\text{s}$ ขณะที่ส้มพันธุ์เวเลนเซีย มีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มมากขึ้นที่ความเข้มแสงสี ฟ้าเท่ากับ 50 $\mu\text{mol m}^{-2}/\text{s}$ สถานที่ปลูกที่มีสภาพ

ภูมิอากาศแตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์แตกต่างกันด้วย ส้มที่ปลูกในเขตเมดิเตอร์เรเนียนที่มีภูมิอากาศแบบเขตร้อนมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าส้มที่ปลูกที่ตาดิที่มีภูมิอากาศแบบเขตร้อน นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงบทบาทของการจัดการธาตุอาหารที่มีผลต่อความเข้มข้น และปริมาณแคโรทีนอยด์ในเนื้อผลของพืชวงศ์ส้ม โดยการให้ปุ๋ยไนโตรเจนทางดินในอัตราที่ต่ำมีผลทำให้มีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากธาตุไนโตรเจนในอัตราสูงมีผลยับยั้งการเปลี่ยนรูปของคลอโรพลาสต์ไปเป็นโครโมพลาสต์ในส่วนของผล (Iglesias *et al.*, 2001) นอกจากนี้รสชาติส้มโอ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งลักษณะที่มีความสำคัญของการผลิตส้มโอคุณภาพ พบว่า สภาพแวดล้อม โดยเฉพาะธาตุอาหารก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อลักษณะนี้อย่างมาก ในพืชวงศ์ส้ม (Khurshid *et al.*, 2008) แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุอาหารในส่วนใบซึ่งมีความแปรผันตามฤดูกาลที่มีผลต่อคุณภาพผลส้มโอ โดยเฉพาะด้านที่เกี่ยวกับความเข้มข้นของเนื้อผล และรสชาติ ยังมีอยู่น้อยมาก ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้ จึงได้ทำการทดลองเพื่อประเมินความแตกต่างของความเข้มข้นของเนื้อผล และรสชาติ รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารในส่วนใบ และความเข้มข้นในเนื้อผล และรสชาติของส้มโอพันธุ์ทองดีและแซนด์เลอร์ที่ผลิตนอกฤดูและในฤดู ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการจัดการธาตุอาหารในการผลิตส้มโอในแต่ละฤดูให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตามความต้องการ

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการที่สวนส้มโอของเกษตรกรในตำบลม่วงยาย อำเภอเวียงแก่น จังหวัด

เชียงราย โดยเก็บข้อมูลในส่วนส้มโอของเกษตรกรที่มีการปลูกส้มโอที่มีลักษณะเนื้อผลสีแดง ได้แก่ พันธุ์ทองดีและพันธุ์แซนด์เลอร์ ที่ผลิตนอกฤดู และในฤดู (ส้มโอนอกฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนพฤษภาคม และส้มโอในฤดูเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนกันยายน) จัดสิ่งทดลองแบบ factorial 2 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยที่ 1 ได้แก่ พันธุ์ส้มโอจำนวน 2 พันธุ์ (พันธุ์ทองดี และพันธุ์แซนด์เลอร์) และปัจจัยที่ 2 ได้แก่ ฤดูกาลผลิต 2 ฤดู (นอกฤดู และในฤดู) รวมมี 4 กรรมวิธี ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design) จำนวน 6 ซ้ำ สำหรับการเก็บตัวอย่างใบในทั้งสองฤดูการผลิต สุ่มเก็บตัวอย่างใบอ่อนที่สุดที่ขยายตัวเต็มที่ (youngest fully expanded leaves) ที่อยู่นอกทรงพุ่ม 20 ใบต่อดัน และผลส้มโอ 5 ผลต่อดัน รวมทั้งสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแปลงในทั้งสองฤดูเก็บเกี่ยวเพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดิน (Table 1) วัดลักษณะทางสัณฐานของผล ได้แก่ เส้นรอบวงตามแนวตั้ง และแนวขวาง วัดความเข้มข้นของเนื้อผลโดยใช้เครื่อง colorimeter (Konica Minolta) รายงานผลเป็นค่า L^* a^* และ b^* ค่า L^* แสดงถึงความสว่างจากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ ค่า a^* แสดงถึงสีเขียว $-a^*$ ไปจนถึง แดง $+a^*$ ส่วน b^* แสดงถึงสีน้ำเงิน $-b^*$ ไปเหลือง $+b^*$ นำตัวอย่างเนื้อผลส้มโอมาคั้นน้ำเพื่อวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) จากน้ำคั้นส้มโอด้วย hand refractometer ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ และปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) โดยใช้น้ำคั้นส้มโอมาไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH 0.1 N นำค่าที่ได้มาคำนวณอัตราส่วน TSS : TA ตัวอย่างใบของส้มโอนำมาอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บดตัวอย่างใบ เพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน (N) ด้วยวิธี Kjeldahl method ฟอสฟอรัส (P) ด้วยวิธี

Table 1. pH, organic matter (OM), and nutrients in soil of pummelo orchard bearing off-season and in-season

Time	pH	OM (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (%)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Off-season	6.0	1.6	5.0	55.0	2,090	0.4	20.3	37.3	129.4	12.3
In-season	6.3	2.3	250.0	277.1	2,032	0.6	7.7	53.1	120.1	16.5

yellow method โบรอน (B) ด้วยวิธี azomethine - H โพแทสเซียม (K) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) และทองแดง (Cu) อ่านค่าด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer (Puranapong, 2005)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlation analysis) ระหว่างคุณภาพส้มโอและธาตุอาหารในใบ

ผลการศึกษา

ขนาดและคุณภาพผลส้มโอพันธุ์แฮนด์เลอร์ และทองดีที่ผลิตนอก และในฤดู

จากการเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ พบว่า ขนาดเส้นรอบวงตามแนวขวางของผลส้มโอทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกัน แต่เส้นรอบวงตามแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกัน (Table 2) โดยผลของพันธุ์ทองดีมีเส้นรอบวงตามแนวขวางมากกว่าพันธุ์แฮนด์เลอร์ 6.1 % สำหรับการผลิติด้านนอกฤดูและในฤดูมีผลต่อเส้นรอบวง

ของผลส้มโอทั้งตามแนวตั้ง และตามแนวขวาง (Table 2) ผลส้มโอที่ได้จากการเก็บเกี่ยวในฤดูมีเส้นรอบวงตามแนวตั้ง และตามแนวขวางมากกว่าที่เก็บเกี่ยวนอกฤดู 13.6 % และ 11.5 % ตามลำดับ โดยไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยที่มีต่อขนาดผลของส้มโอ เช่นเดียวกันกับลักษณะสีของเนื้อผลที่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย แต่พบว่า มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ และช่วงระยะเวลาการผลิติด้านส้มโอ (Table 3) จะเห็นได้ว่าพันธุ์แฮนด์เลอร์ มีความเข้มสีแดงของเนื้อผลมากกว่าพันธุ์ทองดีในทั้งสองฤดูการผลิต (Figure 1) การผลิติด้านส้มโอในฤดูของส้มโอทั้งสองพันธุ์มีความเข้มสีแดงในเนื้อผลมากกว่านอกฤดูอย่างชัดเจน โดยพบว่ามีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในค่า L^* และ a^* แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในค่า b^* พันธุ์ทองดีมีค่า L^* มากกว่าพันธุ์แฮนด์เลอร์ 5.5 % แต่กลับมีค่า a^* น้อยกว่า 103.3 % เนื้อผลส้มโอที่ผลิตนอกฤดูมีค่า L^* และ b^* มากกว่าในฤดู 22.0 และ 19.0 % ตามลำดับ ขณะที่ค่า a^* ของส้มโอที่มีการผลิตในฤดูมีค่ามากกว่านอกฤดูถึง 164.0 % (Table 3) จากผลการศึกษาจึงพบว่า ค่า TA และอัตราส่วน TSS : TA มีความแตกต่างระหว่างพันธุ์ขณะที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ในค่า TSS สำหรับค่า TA พบว่า พันธุ์ทองดีมีค่ามากกว่าแฮนด์เลอร์

Table 2. Fruit size (Longitudinal and transverse circumference) of pummelo cultivar Chandler and Thong Dee bearing off-season and in - season

Cultivar	Time of production		
	Off - season	In - season	Mean
Longitudinal circumference (cm)			
Chandler	45.5	51.1	48.3
Thong Dee	45.8	52.6	49.2
Mean	45.6b	51.8a	
P - value	Cultivar ns _{0.05}	Time*** (LSD _{0.05} = 2.2)	Cultivar x Time ns _{0.05}
Transverse circumference (cm)			
Chandler	45.7	50.8	48.2b
Thong Dee	48.3	54.0	51.2a
Mean	47.0b	52.4a	
P - value	Cultivar*	Time*** (LSD _{0.05} = 2.2)	Cultivar x Time ns _{0.05}

Different lower - case letters designate a significant difference between means for cultivars or time with LSD at $P < 0.05$

ns means non - significant different at $P < 0.05$, * and *** means significant different at $P < 0.05$ and 0.001, respectively

51.1 % แต่มีอัตราส่วน TSS : TA น้อยกว่า 55.5 %
สำหรับฤดูการผลิตระหว่างนอกและในฤดูมีผลต่อ
คุณภาพส้มโอทุกลักษณะ อีกทั้งการผลิตในฤดูมีค่า TSS

และอัตราส่วน TSS : TA มากกว่านอกฤดู 7.5 และ 49.2 %
ตามลำดับ ส่วนการผลิตนอกฤดูนั้นมีค่า TA มากกว่า
ในฤดู 40.8 % (Table 4)

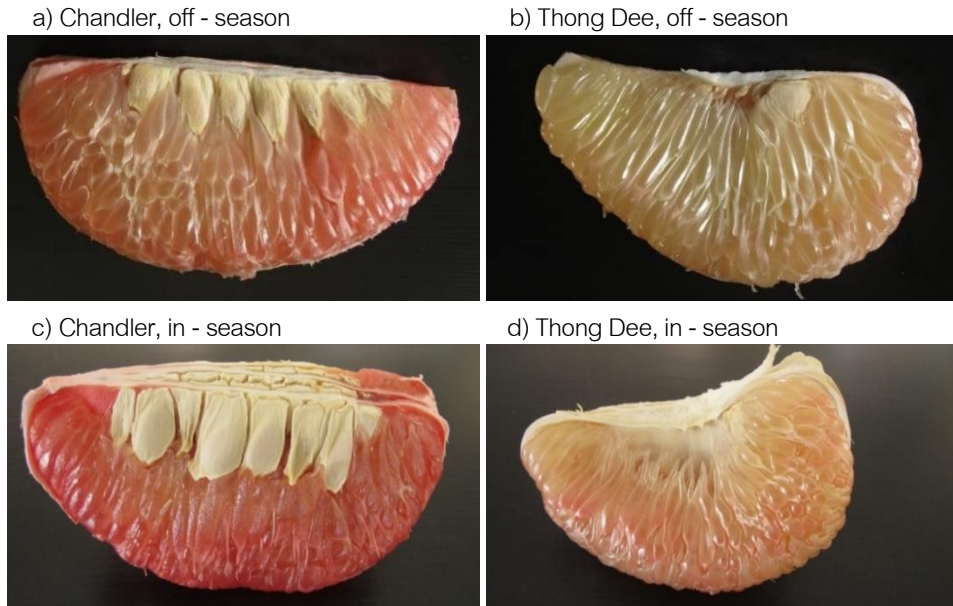


Figure 1. Comparison of pummelo fruit cv. Chandler and Thong Dee bearing in-season and off-season

Table 3. Pulp color (L^* , a^* , b^*) of pummelo cultivar Chandler and Thong Dee bearing off-season and in-season.

Cultivar	Time of production		
	Off-season	In-season	Mean
L^* of pulp			
Chandler	45.2	35.5	40.3b
Thong Dee	45.9	39.1	42.5a
Mean	45.5a	37.3b	
P-value	Cultivar* ($LSD_{0.05} = 2.0$)	Time*** ($LSD_{0.05} = 2.0$)	Cultivar x Time ns _{0.05}
a^* of pulp			
Chandler	2.7	9.5	6.1a
Thong Dee	2.3	3.7	3.0b
Mean	2.5b	6.6a	
P-value	Cultivar** ($LSD_{0.05} = 1.1$)	Time** ($LSD_{0.05} = 1.1$)	Cultivar x Time ns _{0.05}
b^* of pulp			
Chandler	16.8	13.2	15.0
Thong Dee	16.8	14.0	15.4
Mean	16.8a	13.6b	
P-value	Cultivar ns _{0.05}	Time*** ($LSD_{0.05} = 1.1$)	Cultivar x Time ns _{0.05}

Different lower-case letters designate a significant difference between means for cultivars or time with LSD at $P < 0.05$

ns means non-significant different at $P < 0.05$, *, ** and *** mean significant different at $P < 0.05$, 0.01, and 0.001, respectively

Table 4. Total soluble solid (TSS), Titratable acidity (TA), and TSS : TA of pummelo cultivar Chandler and Thong Dee bearing off-season and in - season.

Cultivar	Time of production		
	Off - season	In - season	Mean
Total soluble (TSS, %)			
Chandler	8.2	8.8	8.5
Thong Dee	7.9	8.5	8.2
Mean	8.0b	8.6a	
P- value	Cultivar ns _{0.05}	Time** (LSD _{0.05} = 0.4)	Cultivar x Time ns _{0.05}
Titratable acidity (TA, %)			
Chandler	0.55	0.40	0.47b
Thong Dee	0.82	0.59	0.71a
Mean	0.69a	0.49b	
P- value	Cultivar*** (LSD _{0.05} = 0.05)	Time*** (LSD _{0.05} = 0.05)	Cultivar x Time ns _{0.05}
TSS:TA			
Chandler	14.8	22.1	18.5a
Thong Dee	9.6	14.3	11.9b
Mean	12.2b	18.2a	
P- value	Cultivar*** (LSD _{0.05} = 2.0)	Time*** (LSD _{0.05} = 2.0)	Cultivar x Time ns _{0.05}

Different lower - case letters designate a significant difference between means for cultivars or time with LSD at $P < 0.05$

ns means non - significant different at $P < 0.05$, ** and *** means significant different at $P < 0.01$ and 0.001 , respectively

ปริมาณธาตุอาหารในส่วนใบส้มโอพันธุ์แฮนด์เลอร์ และทองดีที่ผลิตนอก และในฤดู

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณธาตุอาหารในส่วนใบส้มโอ (Table 5) พบว่า ทั้งปัจจัยทางพันธุกรรม และฤดูผลิต มีผลต่อปริมาณธาตุอาหารในส่วนใบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดธาตุอาหาร แต่ไม่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย ปริมาณธาตุอาหารในใบที่พบความแตกต่างระหว่างพันธุ์ได้แก่ Ca, B, Zn, Mn และ Fe (Figure 2) พันธุ์ทองดีมีปริมาณธาตุ Ca และ B มากกว่าแฮนด์เลอร์ 18.2 และ 11.2 % ตามลำดับ ขณะที่พันธุ์แฮนด์เลอร์มีปริมาณธาตุ Zn, Mn และ Fe มากกว่าพันธุ์ทองดี 25.4, 49.1 และ 60.8 % ตามลำดับ สำหรับฤดูการผลิตพบว่า การผลิตในฤดู มีปริมาณธาตุ N, Mg, B และ Cu มากกว่านอกฤดู 8.3, 54.5, 12.5 % และ 82.5 % ตามลำดับ และไม่พบความแตกต่างของปริมาณธาตุอื่นๆ ที่เหลือ (Figure 3)

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของส้มโอและธาตุอาหารในส่วนใบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของส้มโอและปริมาณธาตุอาหารในส่วนใบ (Table 6) พบว่า ค่า L' มีความสัมพันธ์ในทิศทางลบอย่างมีนัยสำคัญกับธาตุ Mg, Zn, Cu และ Fe ($r = -0.70^{***}, -0.41^*, -0.72^{***}$ และ -0.44^*) ในขณะที่ค่า a'' มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับธาตุ Mg, Zn, Cu และ Fe ($r = 0.58^{**}, 0.43^*, 0.47^*$ และ 0.55^{**}) ค่า b' มีความสัมพันธ์ในทิศทางลบอย่างมีนัยสำคัญกับธาตุ Mg, Zn และ Cu ($r = -0.67^{***}, -0.45^*$ และ -0.79^{***}) ค่า TSS มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับธาตุ Mg, Cu และ Fe ($r = 0.45^*, 0.60^{**}$ และ 0.46^*) ค่า TA มีความสัมพันธ์ในทิศทางลบอย่างมีนัยสำคัญกับธาตุ Mg, Zn, Mn, Cu และ Fe ($r = -0.64^{***}, -0.48^*, -0.50^*, -0.49^*$ และ -0.64^{***}) และอัตราส่วน TSS : TA พบว่า มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับธาตุ Mg, Zn, Mn, Cu และ Fe ($r = 0.68^{***}, 0.50^*, 0.47^*, 0.54^{**}$ และ 0.65^{***})

Table 5. Effect of pummelo cv. Chandler and Thong Dee, time of production (off - season and in - season) and interaction between two factors on nutrient contents in leaf

Source of variation	Significance									
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	B (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)
Cultivar (C)	ns	ns	ns	**	ns	*	*	**	ns	***
Time (T)	**	ns	ns	ns	***	*	ns	ns	***	ns
C x T	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns means non-significant difference, *, **, and *** mean significant different at $P < 0.05$, 0.01 , and 0.001 , respectively

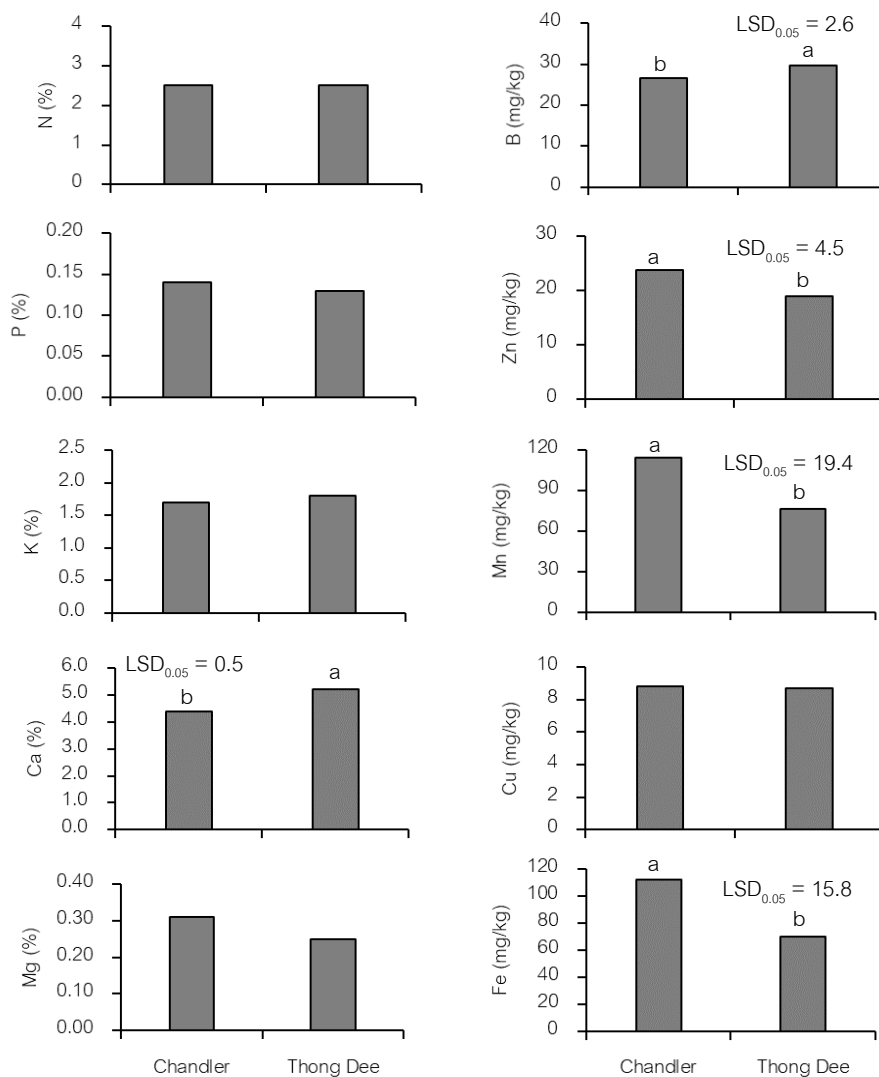
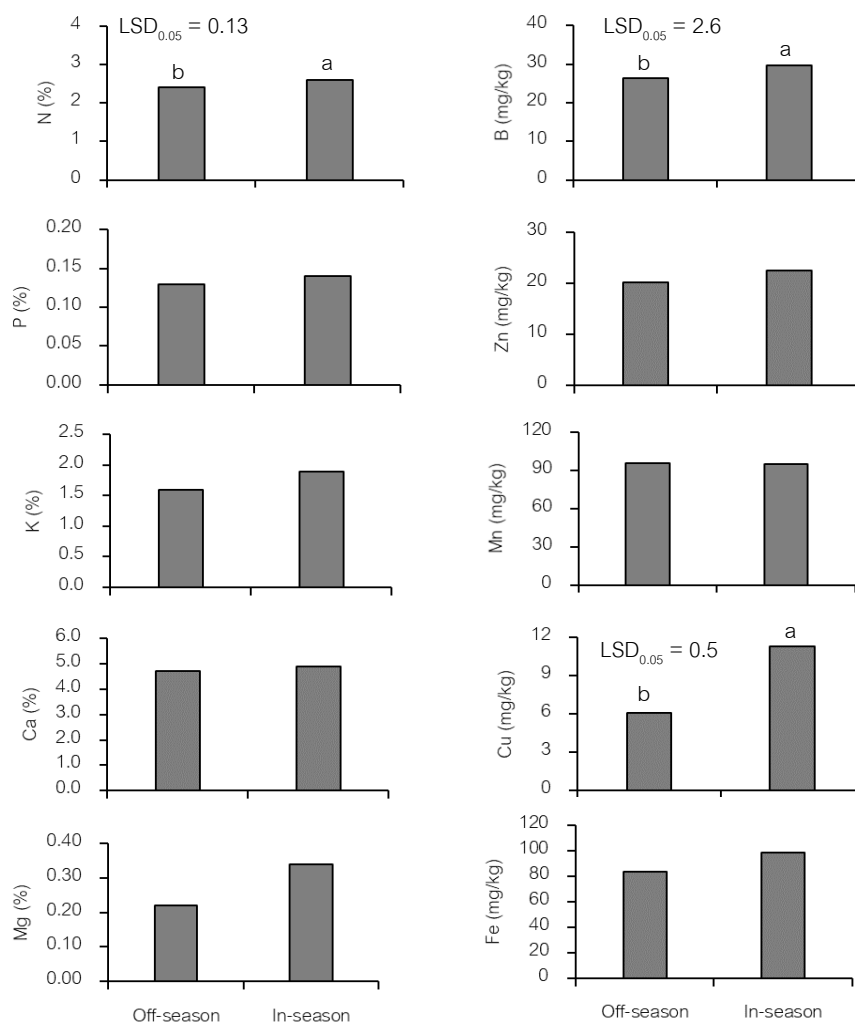


Figure 2. Effects of pummelo cv. Chandler and Thong Dee on nutrients in leaf base on significance which were shown in Table 5 (different lower - case letters designate a significant difference between means for cultivars with LSD at $P < 0.05$)

Table 6. Correlation between nutrients in leaf and quality characteristics (L^* , a^* , b^* , TSS, TA, and TSS : TA) of pummelo cv. Chandler and Thong Dee bearing off-season and in-season

Correlation (r)	N	P	K	Ca	Mg	B	Zn	Mn	Cu	Fe
L^*	ns	ns	ns	ns	-0.70***	ns	-0.41*	ns	-0.72***	-0.44*
a^*	ns	ns	ns	ns	0.58**	ns	0.43*	ns	0.47*	0.55**
b^*	ns	ns	ns	ns	-0.67***	ns	-0.45*	ns	-0.79***	ns
TSS (%)	ns	ns	ns	ns	0.45*	ns	ns	ns	0.60**	0.46*
TA (%)	ns	ns	ns	ns	-0.64***	ns	-0.48*	-0.50*	-0.49*	-0.64***
TSS : TA	ns	ns	ns	ns	0.68***	ns	0.50*	0.47*	0.54**	0.65***

ns means show non-correlation

*, **, and *** means show correlation at $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$, respectivelyFigure 3. Effects of production time (off - season and in - season) on nutrients in leaf base on significance which were shown in Table 5 (different lower - case letters designate a significant difference between means for production time with LSD at $P < 0.05$)

วิจารณ์

การวิจัยในครั้งนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าช่วงระยะเวลาการผลิดและพันธุ์ส้มโอมีผลต่อทั้งคุณภาพผล และปริมาณธาตุอาหารในใบ อีกทั้งคุณภาพผล ได้แก่ ความเข้มสีแดงของเนื้อผล และรสชาติที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุอาหารในใบ โดยพันธุ์แซนด์เลอร์มีความเข้มสีแดงของเนื้อผลที่บ่งบอกด้วยค่า a^* และรสชาติที่บ่งบอกด้วยอัตราส่วน TSS : TA ดีกว่าพันธุ์ทองดี ซึ่งจากการที่พบว่า พันธุ์แซนด์เลอร์มีความเข้มสีแดงในเนื้อผลมากกว่าพันธุ์ทองดีอาจเนื่องมาจากการสังเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกัน และองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ (Lee, 2001) โดย Chaiwong and Theppakorn (2012) พบว่า ส้มโอพันธุ์แซนด์เลอร์มีปริมาณไลโคปีนสูงกว่าพันธุ์ทองดีถึง 4 เท่า และในส้มโอพันธุ์ทับทิมสยามที่มีเนื้อสีแดงเข้มนั้นพบว่าปริมาณของสารกลุ่มไลโคปีนมากที่สุด โดยคิดเป็น 93 % ของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Tatmala *et al.*, 2020) สำหรับการผลิดในฤดูทำให้ส้มโอทั้งสองพันธุ์มีคุณภาพผลที่ดีกว่านอกฤดู รวมทั้งขนาดผลด้วย โดยจะเห็นได้จากค่า a^* , TSS และอัตราส่วน TSS : TA ของส้มโอที่ผลิดในฤดูมีค่ามากกว่านอกฤดูอย่างมาก และพันธุ์ที่มีศักยภาพในการผลิดนอกฤดู คือพันธุ์แซนด์เลอร์ เนื่องจากค่า % TA น้อยกว่า และอัตราส่วน TSS : TA รวมทั้งความเข้มสีแดงของเนื้อผลมีมากกว่าพันธุ์ทองดีที่ผลิดนอกฤดู

ปริมาณธาตุอาหาร N, Mg, B และ Cu ในใบส้มโอที่มีการผลิดในฤดูมีค่ามากกว่านอกฤดู และค่า a^* ของผลส้มโอ มีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณธาตุ Mg, Zn, Cu และ Fe ในใบ เช่นเดียวกันกับค่าอัตราส่วน TSS : TA ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกับปริมาณธาตุ Mg, Zn, Cu, Mn และ Fe ในใบ คุณสมบัติดินในแปลงที่เก็บตัวอย่างทั้งที่ผลิดนอกฤดู และในฤดูพบว่า มีค่าความเป็นกรดต่าง อินทรีย์วัตถุ และมีปริมาณธาตุอาหารในดินส่วนใหญ่เหมาะสมต่อการปลูกส้มโอเปรียบเทียบกับค่าวิเคราะห์ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกส้มโอที่รายงานโดย Maneepong (2008) ยกเว้นบางธาตุที่อยู่ในระดับต่ำ ได้แก่ ธาตุ P และ Mn ที่ผลิดในฤดู

ธาตุ K ที่ผลิดนอกฤดู และธาตุ Zn ที่ผลิดทั้งนอกและในฤดู จากการรายงานพบว่า พีชวงศ์ส้มจะเก็บสะสมธาตุอาหารเพื่อใช้ประโยชน์ไว้นาน โดยธาตุอาหารที่ถูกเคลื่อนย้ายไปให้กับส่วนต่าง ๆ ที่กำลังพัฒนานั้นส่วนใหญ่มาจากใบ และธาตุอาหารในส่วนใบนี้มักจะไม่มีความสัมพันธ์กับธาตุอาหารในดิน (Tang *et al.*, 2013) ดังนั้น การวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของธาตุอาหารกับลักษณะคุณภาพของผล โดยใช้ปริมาณธาตุอาหารในส่วนใบจึงน่าจะเหมาะสมกว่าธาตุอาหารในดิน (Chanvichit *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2015)

ลักษณะความเข้มสีแดงในเนื้อผลส้มโอเกิดจากการสะสมของแคโรทีนอยด์ (Abdelaali *et al.*, 2018; Chaiwong *et al.*, 2010) และกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของพันธุ์แซนด์เลอร์และทองดีคือไลโคปีน ซึ่งสภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่ควบคุมสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในส้มโอ Buaban *et al.* (2020) พบว่า ค่า a^* และปริมาณไลโคปีนของส้มโอพันธุ์ทองดีจะมีค่าลดลงเมื่อในช่วงท้ายของการพัฒนาผลก่อนการเก็บเกี่ยว มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดกว่าน้อยกว่า 20 °C เนื่องจากอุณหภูมิต่ำมีผลไปยังกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ หรือกระตุ้นทำให้ไลโคปีนเปลี่ยนไปเป็น β -carotene เพิ่มขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกยับยั้งเมื่อมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 30 °C ทำให้เกิดการสะสมไลโคปีนเพิ่มขึ้น (Rodrigo *et al.*, 2013) ดังนั้น นี่จึงน่าจะเป็นสาเหตุสำคัญอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เนื้อส้มโอพันธุ์แซนด์เลอร์ และพันธุ์ทองดีที่ผลิดนอกฤดู ที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคม และมีช่วงพัฒนาผลอยู่ในช่วงฤดูหนาว มีความเข้มสีแดงจางกว่าที่ผลิดในฤดูที่เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกันยายนและมีช่วงพัฒนาผลในฤดูฝน นอกจากนี้ยังพบว่า ความสมดุลของธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ที่มากเกินไป มีอิทธิพลทางลบต่อการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ (Lado *et al.*, 2018) ซึ่งจากการทดลองนี้ พบว่า ธาตุ Mg, Zn, Cu และ Fe ในใบมีความสัมพันธ์ทางบวกกับค่าความเข้มสีแดงของเนื้อผล และจากการศึกษาก่อนหน้านี้ได้มีรายงานถึงการจัดการธาตุอาหารเหล่านี้โดยการพ่นทางใบในระดับที่เหมาะสมทำให้มีผลต่อการส่งเสริมการสะสมของปริมาณแคโรทีนอยด์ในผลของพืชหลายชนิด ตัวอย่างเช่น

การพ่นปุ๋ยกลุ่มจุลธาตุ Zn, Cu และ B ทางใบให้กับส้มแมนดารินในระดับความเข้มข้น 0.2 % ส่งผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผล รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์แสงเพิ่มสูงขึ้น (Ilyas *et al.*, 2015) ในงานการพ่นปุ๋ย Fe, Zn, Mn และ B ร่วมกันในรูปแบบที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 100 mg/L มีผลส่งเสริมให้ปริมาณแคโรทีนอยด์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับต้นที่ไม่ได้รับการพ่น (Abdel-Salam, 2016) เช่นเดียวกันนี้การพ่นปุ๋ย $MgSO_4$ ทางใบให้กับต้นแอปเปิลพันธุ์กาลาหลังจากดอกบาน 50 % ทุก ๆ สัปดาห์จำนวน 8 ครั้ง มีผลให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ในผิวของผลแอปเปิลมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (Reay *et al.*, 1998) แต่อย่างไรก็ตามบทบาทที่ชัดเจนของทั้งสี่ธาตุนี้ในส่วนใบต่อกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในส่วนเนื้อผลของส้มโอยังไม่พบการรายงานจากการศึกษาก่อนหน้านี้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไปในเชิงลึกถึงกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกันระหว่างธาตุอาหารเหล่านี้ต่อกระบวนการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ในส้มโอต่อไป

ความแตกต่างของสภาพอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลถึงความแปรปรวนของคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงรสชาติของผล ได้แก่ % TA และ TSS : TA โดยถ้าในระยะพัฒนาผลมีสภาพอากาศที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกลางวันและกลางคืน ความชื้นอากาศ ปริมาณน้ำฝน และแสงแดดที่เหมาะสม จะส่งผลให้สามารถผลิตผลไม้ให้มีรสชาติที่ดีได้ ตัวอย่างเช่น ในช่วงพัฒนาผลหากมีความแปรปรวนของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนแคบ จะส่งผลให้ต้นมีการเจริญอย่างรวดเร็ว แต่ผลกลับมีคุณภาพลดลงเนื่องจากในสภาพนี้ผลมีอัตราการหายใจสูง การสะสมของคาร์โบไฮเดรตลดลง ส่งผลให้ผลมีการสะสมน้ำตาลได้น้อยลง แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่า สภาพอากาศมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างการจัดการในแปลงปลูก เช่น การจัดการน้ำ และธาตุอาหาร (Lado *et al.*, 2018) เช่น ปริมาณ TSS ของผลจะเพิ่มขึ้น ถ้าในระยะสุดท้ายของการพัฒนาผลมีการจำกัดการให้น้ำและต้นอยู่ในสภาพขาดน้ำ แต่ถ้าเกิดในระยะแรกของการพัฒนาผลจะส่งผลในทิศทางตรงกันข้าม (Pérez-Pérez *et al.*, 2009) ดังนั้น ด้วยสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นนี้จึงน่าจะเป็นเหตุผลทำให้

ค่า % TA TSS และ TSS : TA ระหว่างการผลิตในฤดูและนอกฤดูมีความแตกต่างกันในการทดลอง แต่เพื่อเป็นการบ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมและการจัดการในแปลงต่อลักษณะรสชาติในส้มโอทั้งสองพันธุ์จึงต้องทำการศึกษาต่อไป อีกทั้งการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างทางบวกระหว่างปริมาณธาตุ Mg, Zn, Cu, Mn และ Fe ที่สะสมในใบต่ออัตราส่วน TSS : TA ซึ่งความสัมพันธ์ที่พบนี้อาจเนื่องมาจากธาตุอาหารในกลุ่มนี้มีการทำหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ทั้งกระบวนการสังเคราะห์แสง และการเคลื่อนย้ายสารสังเคราะห์ จากการเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ และเมื่อพืชมีปริมาณธาตุอาหารในกลุ่มนี้ในระดับที่เหมาะสมต่อพืช ยังสามารถช่วยให้พืชมีการดูดใช้ธาตุอาหารหลัก และเคลื่อนย้ายไปยังเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ของพืชได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงอาจส่งผลให้ผลไม้มีรสชาติที่ดีขึ้น (Anees *et al.*, 2011) ซึ่งได้มีการรายงานถึงการจัดการธาตุอาหารเหล่านี้ที่เหมาะสมมีอิทธิพลทางบวกต่อลักษณะรสชาติของผลไม้ชนิดต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น Balakrishnan (2001) รายงานว่าค่า TSS, ascorbic acid และปริมาณน้ำตาลรวมในผลฝรั่งมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นกรดลดลง เมื่อมีการพ่นปุ๋ย Zn, Fe, Mg และ B ร่วมกัน สำหรับการพ่นปุ๋ย Cu มีรายงานว่าช่วยส่งเสริมให้น้ำส้มมีค่า TSS เพิ่มขึ้น อีกทั้งเพิ่มผลผลิตต่อต้น น้ำหนักผล และขนาดผลอีกด้วย (Khurshid *et al.*, 2008) โดยการให้ปุ๋ยกลุ่มจุลธาตุนี้ทางใบให้ผลดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการให้ทางดิน (Singh *et al.*, 2019) แต่อย่างไรก็ตามเพื่อยืนยันถึงอิทธิพลของธาตุอาหารกลุ่มนี้ต่ออัตราส่วน TSS : TA ในผลส้มโอ จึงควรมีการทดสอบถึงอิทธิพลการจัดการของธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับแปลงของแต่ละฤดูการผลิตต่อไป

สรุป

ส้มโอทั้งพันธุ์ทองดีและแซนด์เลอร์ที่ผลิตในฤดูมีคุณภาพผล ทั้งในด้านความเข้มข้นสีแดงของเนื้อผล และรสชาติดีกว่าที่ผลิตนอกฤดู รวมทั้งปริมาณธาตุอาหารในใบก็พบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างฤดูกาลผลิตด้วย

ซึ่งทั้งความเข้มข้นในเนื้อผล และอัตราส่วน TSS : TA มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับปริมาณธาตุอาหาร Mg, Zn, Cu และ Fe ในใบอย่างเห็นได้ชัด ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงข้อมูลเบื้องต้นถึงความแตกต่างของคุณภาพส้มโอระหว่างฤดูการผลิตและความสัมพันธ์ระหว่างธาตุอาหารในส่วนใบต่อคุณภาพของส้มโอ ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาถึงการจัดการธาตุอาหารที่เหมาะสม รวมถึงการจัดการสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพความเข้มข้นของเนื้อผล และรสชาติของส้มโอทั้งสองพันธุ์นี้ให้มีความสม่ำเสมอทั้งที่ผลิตนอกฤดูและในฤดู

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยคณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2560 ขอขอบคุณเกษตรกรผู้ปลูกส้มโอที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ศึกษา คุณวรภรณ์ ภูมิพิพัฒน์ และคุณนุจริย์ พรหมโสภา สำหรับการอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการในการวิเคราะห์และสำนักงานเกษตรอำเภอเวียงแก่น สำหรับแหล่งข้อมูลพื้นที่ปลูกส้มโอ

เอกสารอ้างอิง

Abdelaali, S.B., M.J. Rodrigo, O. Saddoud, L. Zacarías, M.R. Hajlaoui and M. Mars. 2018. Carotenoids and colour diversity of traditional and emerging Tunisian orange cultivars (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Scientia Horticulturae* 227: 296-304.

Abdel-Salam, M.M. 2016. Effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on the berries quality of "Bez El Naka" local grape cultivar. *Middle East Journal of Applied Sciences* 6(1): 178-188.

Alquézar, B., M.J. Rodrigo and L. Zacarías. 2008. Carotenoid biosynthesis and their

regulation in citrus fruits. *Tree and Forestry Science and Biotechnology* 2 (Special Issue 1): 23-35.

Anees, M., F.M. Tahir, J. Shahzad and N. Mahmood. 2011. Effect of foliar application of micronutrients on the quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dashehari fruit. *Mycopath* 9(1): 25-28

Balakrishnan, K. 2001. Foliar spray of zinc, iron, boron and magnesium on vegetative growth, yield and quality of guava. *Annals of Plant Physiology* 14(2): 151-153.

Buaban, P., D.M. Beckles, O. Mongkolporn and K. Luengwilai. 2020. Lycopene accumulation in pummelo (*Citrus Maxima* [Burm.] Merr.) is influenced by growing temperature. *International Journal of Fruit Science* 20(2): 149-163.

Chaiwong, S and T. Theppakorn. 2012. Physico-chemical properties and antioxidant capacity of pummelo cvs. "Thong Dee" and "Chandler" during growth and maturation. Final Report. Mae Fah Luang University. 116p. (in Thai)

Chaiwong, S., T. Theppakorn, S. Saunphairoch, R. Chusie and U. Khunjan. 2010. Evaluation of flavonoids and anthocyanins of Thai pummelo cv. Thong Dee, Kao Nam Pheung, Kao Tang Gwa, Kao Yai and Tub Tim Siam. Final Report. Thailand Research Fund, Bangkok. 108 p. (in Thai)

Charvichit, P., T. Radanachalee and N. Supakamnerd. 2009. Use of nutrient balance for improving fruit yield and quality of tangerine (*Citrus reticulata* Blanco) cv. Sainampung: III. Effect of fruit development on leaf nutrient concentration. *Journal of Agriculture* 25(2): 109-114. (in Thai)

- Department of Agricultural Extension. 2020. Report of crop production. (Online). Available: <https://production.doae.go.th/> (June 12, 2020). (in Thai)
- Edge, R., D.J. McGarvey and T.G. Truscott. 1997. The carotenoids as anti-oxidants- a review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 41(3): 189-200.
- Iglesias, D.J., F.R. Tadeo, F. Legaz, E. Primo-Millo and M. Talon. 2001. *In vivo* sucrose simulation of colour change in citrus fruit epicarp: Interactions between nutritional and hormonal signals. *Physiologia Plantarum* 112(2): 244-250.
- Ilyas, A., M.Y. Ashraf, M. Hussain, M. Arshaf, R. Ahmed and A. Kamal. 2015. Effect of micronutrients (Zn, Cu and B) on photosynthetic and fruit yield attributes of *Citrus reticulata* Blanco var. Kinnow. *Pakistan Journal of Botany* 47(4): 1241-1247.
- Khurshid, F., R.A. Khattak and S. Sarwar. 2008. Effect of foliar applied (Zn, Fe, Cu & Mn) in citrus production. *Science Technology and Development* 27(1-2): 34-42.
- Lado, J., G. Gambetta and L. Zacarias. 2018. Key determinants of citrus fruit quality: Metabolites and main changes during maturation. *Scientia Horticulturae* 233: 238-248.
- Lee, H.S. 2001. Characterization of carotenoids in juice of red navel orange (Cara Cara). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(5): 2563-2568.
- Li, Y., M.Q. Han, F. Lin, Y. Ten, J. Lin, D.H. Zhu, P. Guo, Y.B. Weng and L.S. Chen. 2015. Soil chemical properties, 'Guanximiyu' pummelo leaf mineral nutrient status and fruit quality in the southern region of Fujian province, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 15(3): 615-628.
- Maneepong, S. 2008. A study of relationship between nutrient and management for improving quality pummelo production in Pak Phanang Basin. Final Report. Thailand Research Fund, Bangkok. 74 p. (in Thai)
- Pérez-Pérez, J.G., J.M. Robles and P. Botía. 2009. Influence of deficit irrigation in phase III of fruit growth on fruit quality in 'lane late' sweet orange. *Agricultural Water Management* 96: 969-974.
- Promkaew, P., N. Pongprasert, C. Wongs-Aree, S. Kaewsuksaeng, P. Opio, S. Kondo and V. Srilaong. 2020. Carotenoids accumulation and carotenoids biosynthesis gene expression during fruit development in pulp of Tubtim-Siam pummel fruit. *Scientia Horticulturae* 260: p. 108870
- Puranapong, N. 2005. Handbook of Soil and Plant Analysis. Maejo University, Chiang Mai. 286 p. (in Thai)
- Reay P.F., R.H. Fletcher and V.J.G. Thomas. 1998. Chlorophylls, carotenoids and anthocyanin concentrations in the skin of "Gala" apples during maturation and the influence of foliar applications of nitrogen and magnesium. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 76(1): 63-71.
- Rodrigo, M.J., B. Alquezar, E. Alos, V. Medina, L. Carmona, M. Bruno, A.B. Salim and L. Zacarias. 2013. A novel carotenoid cleavage activity involved in the biosynthesis of citrus fruit-specific apocarotenoid pigments. *Journal of Experimental Botany* 64(14): 4461-4478.
- Santasup, C., Y. Chanbang, D. Naphrom and S. Nanan. 2013. Development of quality pummel

- production in Northern Thailand for export. Final Report. Thailand Research Fund, Bangkok. 190 p. (in Thai)
- Singh, A., M. Bakshi, A.S. Brar and S.K. Singh. 2019. Effect of micronutrients in Kinnow mandarin production: A review. International Journal of Chemical Studies 7(3): 5161-5164.
- Tang, Y.Q., L.Z. Peng, C.P. Chun, L.L. Ling, Y.W. Fang and X. Yang. 2013. Correlation analysis on nutrient element contents in orchard soils and sweet orange leaves in southern Jiangxi province of China. Acta Horticulturae Sinica 40(4): 623-632.
- Tatmala, N., G. Ma, L.C. Zhang, M. Kato, and S. Kaewsuksaen. 2020. Characterization of carotenoid accumulation and carotenogenic gene expression during fruit ripening in red colored pulp of 'Siam Red Ruby' pumelo (*Citrus grandis*) cultivated in Thailand. Horticulture Journal 89(3): 237-243.
- Zhang, L., G. Ma, K. Yamawaki, Y. Ikoma, H. Matsumoto, T. Yoshioka, S. Ohta and M. Kato. 2015. Effect of blue LED light intensity on carotenoid accumulation in citrus juice sacs. Journal of Plant Physiology 188: 58-63.
-