

การเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของใบส้มโอพันธุ์ชาวทองดี  
(*Citrus maxima* (Burm.) Merr.)

Growth and Photosynthesis of Pummelo Leaf cv. Kao-thongdee  
(*Citrus maxima* (Burm.) Merr.)

บุญชนะ วงศ์ชนะ<sup>1/</sup>

มนตรี อิศรไกรศีล<sup>1/</sup>

สมศักดิ์ มณีพงศ์<sup>1/</sup>

Boonchana Wongchana<sup>1/</sup>

Montree Issarakraisila<sup>1/</sup>

Somsak Maneepong<sup>1/</sup>

---

**ABSTRACT**

Leaf growth and photosynthesis of pummelo (*Citrus maxima*) cultivar Kao-thongdee were studied in nursery of the Centre for Scientific and Technological Equipments, Walailak University, Thasala district, Nakhon Si Thammarat province during May, 2008 to October, 2009. The objectives were to investigate leaf growth pattern and net photosynthesis rate of pummelo leaf. Leaf growth of pummelo was found to be divided into three periods. The first period was from bud burst to 2 days after emergence, leaf width and leaf length increased slowly. The second period form 2 – 10 days after emergence, the leaf growth increased rapidly. The third period form 22 - 28 days after emergence, the leaf growth increased slowly and reached the maximum on 28 days after emergence. Total chlorophyll concentrations in leaf at different ages increased gradually and reached the maximum 2 months after emergence (45.09  $\mu\text{mol}$ ) and declining at the beginning of the 5<sup>th</sup> month after emergence. The nitrogen concentrations in leaf at different ages gradually increased and reached the maximum 4 months after emergence (2.22 % dry weight) and declining at the beginning of the 6<sup>th</sup> month after emergence. While net photosynthetic rates of leaves rapidly increased and reached the maximum 2 months after emergence (12.8  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) and then began to gradually decline at the beginning of the 5<sup>th</sup> month after emergence. Net photosynthetic rates of leaves in diurnal rapidly increased and reached the maximum 9:00 – 10:00 o'clock

---

<sup>1/</sup> สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160

<sup>1/</sup> School of Agricultural Technology, Walailak University, Thasala district, Nakhon Si Thammarat province 80160

(4.62  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) and then began to gradually decline.

**Key words:** pummelo, *Citrus maxima*, photosynthesis, growth

### บทคัดย่อ

ศึกษาการเจริญเติบโตและอัตราการสังเคราะห์แสงของใบส้มโอพันธุ์ขาวทองดี (*Citrus maxima*) ในเรือนทดลองของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 – ตุลาคม พ.ศ. 2552 เพื่อศึกษารูปแบบการเจริญเติบโต และอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ พบว่าการเจริญเติบโตของใบส้มโอสามารถแบ่งได้ 3 ช่วง ๆ แรกตั้งแต่พบตายอดถึง 2 วันหลังการผลิใบ ใบมีการเจริญเติบโตด้านความกว้างและยาวอย่างช้าๆ ช่วงที่สองตั้งแต่ 2 - 22 วันหลังการผลิใบ ใบมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และช่วงที่สามตั้งแต่ 22 - 28 วันหลังการผลิใบ การเจริญเติบโตของใบช้าลงจนกระทั่งสูงสุดเมื่อ 28 วันหลังการผลิใบ ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะแรก จนกระทั่งสูงสุดเมื่ออายุ 2 เดือนหลังการผลิใบ 45.09  $\mu\text{mol}$  เริ่มลดลงเมื่อใบอายุ 5 เดือนหลังการผลิใบ ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะแรก จนกระทั่งมากที่สุดเมื่ออายุ 4 เดือนหลังการผลิใบ (2.22 % ของน้ำหนักแห้ง) และเริ่มลดลงเมื่อใบอายุ 6 เดือนหลังการผลิใบ

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก จนกระทั่งสูงสุดเมื่อใบอายุ 2 เดือนหลังการผลิใบที่ 12.8  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$  และเริ่มลดลงเมื่อใบอายุ 5 เดือนหลังการผลิใบ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบในรอบวันเพิ่มขึ้นในระยะแรกจนกระทั่งสูงสุดในช่วงเวลา 9:00 - 10:00 นาฬิกา (4.62  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ ) หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง

**คำหลัก:** ส้มโอ การสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโต

### บทนำ

ส้มโอ (*Citrus maxima* (Burm.) Merr.) พันธุ์ขาวทองดีเป็นส้มโอที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในประเทศ เพราะผลผลิตเป็นที่นิยมบริโภคและมีศักยภาพในการส่งออก โดยมีแหล่งปลูกในภาคกลาง ต่อมาได้มีการขยายพื้นที่ปลูกไปในยังภาคเหนือและภาคใต้ (นิรนาม, 2545) การเจริญเติบโตทางด้านกิ่งและใบ (vegetative growth) เป็นปัจจัยพื้นฐานของการเจริญเติบโตที่จำเป็นสำหรับต้นไม้ผล เพราะเป็นสิ่งที่ช่วยให้เกิดการสร้างอาหารจากกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis process) เพื่อนำไปใช้ในการสร้างส่วนต่างๆ ของลำต้น เช่น กิ่ง ใบ รากใหม่ การออกดอกและการเจริญเติบโตของผล (รวี, 2544; Bhaskar and Syvertsen, 2005; Cohen et al., 2005) การเจริญเติบโตและการพัฒนาของใบเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ

เพราะเมื่อพิจารณาอายุของใบแต่ละใบ ย่อมมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงแตกต่างกัน ใบที่มีอายุอ่อนเกินไปมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงต่ำ เนื่องจากใบยังมีการพัฒนาของคลอโรฟิลล์ไม่เต็มที่ ส่วนใบที่มีอายุมากเกินไปคลอโรฟิลล์มีการสลายตัว (Hikosaka, 1996; Norbert and Chen, 2001) เพราะคลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบ พวกรังควัตถุที่ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานจากแสงแดดมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช คลอโรฟิลล์ที่มีความสำคัญในพืชคือ คลอโรฟิลล์เอและบี (Lichtenthaler, 1987; Idso et al., 1996) และในใบที่มีอายุมากยังเกิดการเคลื่อนย้ายของธาตุไนโตรเจนไปยังใบใหม่ และส่วนอื่นของต้น (สัมฤทธิ์, 2537; Alva et al., 2006) ซึ่งจากการศึกษาในใบของส้มโอพันธุ์ขาวทองดีพบว่า ปริมาณของคลอโรฟิลล์และความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบลดลงเมื่อใบมีอายุมากขึ้น (สิริมาศ, 2551) นอกจากนี้ใบที่มีอายุมากค่าการชักนำการปิดเปิดของปากใบลดลง เนื่องจากมีการหายใจเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบลดลง (Bauer et al., 1997) แสดงว่าความรู้เกี่ยวกับระยะเวลาเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงของใบมีความสำคัญ เพราะนำไปใช้ในการจัดการให้ใบส้มโอมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงได้สูงสุด การวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงของใบส้มโอในระยะต่างๆ อุณหภูมิ และความเข้มของแสงที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของส้มโอ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนการดูแล รักษา

ส้มโอพันธุ์ขาวทองดีแก่เกษตรกรต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

ปลูกส้มโอพันธุ์ขาวทองดีที่ขยายพันธุ์โดยการตอนกิ่ง ในท่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. และความสูง 50 ซม. ใส่อินทรีย์วัตถุ 5 ซม. โดยใช้ดินจากสวนส้มโอของเกษตรกร ต.คลองน้อย อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช ซึ่งมีค่าการวิเคราะห์ดินที่ระดับความลึก 0 - 15 ซม. ดังนี้คือ pH 7.69 อินทรีย์วัตถุ 1.59 % ทำการปลูกส้มโอจำนวน 6 ต้นที่เรือนทดลองของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช ระยะเวลาตั้งแต่พฤษภาคม พ.ศ. 2551 - ตุลาคม พ.ศ. 2552 ศึกษาการเจริญเติบโตของใบและอัตราสังเคราะห์แสงของใบ ดังนี้คือ

**1. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของใบ** เริ่มดำเนินการศึกษาการเจริญเติบโตทางด้านความยาวของยอด ความกว้างและความยาวของใบส้มโอเมื่ออายุ 6 เดือนหลังปลูก โดยวัดความยาวยอดจากโคนกิ่งถึงปลายยอด วัดความกว้างของใบตรงส่วนที่กว้างสุด และวัดความยาวของใบจากฐานใบถึงปลายแผ่นใบจากใบที่ผลิใหม่ในตำแหน่งที่ 4 จากปลายยอด จำนวน 10 ใบ ทุกๆ 2 วัน จนกระทั่งขนาดของใบคงที่

**2. ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบ** การเปลี่ยนความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบที่อายุต่างๆ โดยเลือกเก็บใบตำแหน่งที่ 3 - 4 จากปลายยอด จำนวน 6 ช้ำ เก็บใบส้มโอที่อายุ 0.5

1 2 3 4 5 6 7 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ จากชุดใบที่ได้เครื่องหมายไว้ไปหาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอและบี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด โดยนำใบส้มโอจำนวน 1 ก. บดให้ละเอียดด้วยโกร่งและสกัดคลอโรฟิลล์ด้วยอะซีโตน 80 % ปริมาตร 20 มล. ในที่มีดแล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 647 และ 664 นาโนเมตร (nm) ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอและบี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด (Graan and Ort, 1984) โดยใช้สูตร

$$\text{คลอโรฟิลล์ เอ } (\mu\text{mol}) = 13.19 \times (a-2.57) \text{ b}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ บี } (\mu\text{mol}) = 22.10 \times (b-5.26) \text{ a}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์ทั้งหมด } (\mu\text{mol})$$

$$= 7.93 \times (a+19.53) \text{ b}$$

เมื่อ a = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664 นาโนเมตร

b = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 647 นาโนเมตร

### 3. ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบ

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบที่อายุต่างๆ โดยเลือกเก็บใบตำแหน่งที่ 3 - 4 จากปลายยอด จำนวน 6 ใบ (ซ้ำ) เก็บใบส้มโอที่อายุ 0.5 1 2 3 4 5 6 7 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ จากชุดใบที่ได้เครื่องหมายไว้ไปหาปริมาณของไนโตรเจน (N) ทั้งหมดโดยใช้วิธี Kjeldahl (สมศักดิ์และคณะ, 2547)

4. อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิในใบที่อายุต่างๆ กัน โดยเลือกใบตำแหน่งที่ 3 - 4 จาก

ปลายยอด จำนวน 6 ใบ (ซ้ำ) โดยวัดใบส้มโอที่อายุ 0.5 1 2 3 4 5 6 7 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ จากชุดใบที่ได้เครื่องหมายไว้ โดยใช้เครื่องมือวัดการสังเคราะห์แสง Licor Li-6400 portable photosynthesis system วัดอัตราการสังเคราะห์แสงให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 350 มก./กก. ความเข้มข้นของแสง 1,000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  และอุณหภูมิ 30 °ซ. โดยวัดอัตราการสังเคราะห์แสงของใบส้มโอที่อายุ 0.5 1 2 3 4 5 6 7 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ

### 5. อัตราการสังเคราะห์แสงในรอบวัน

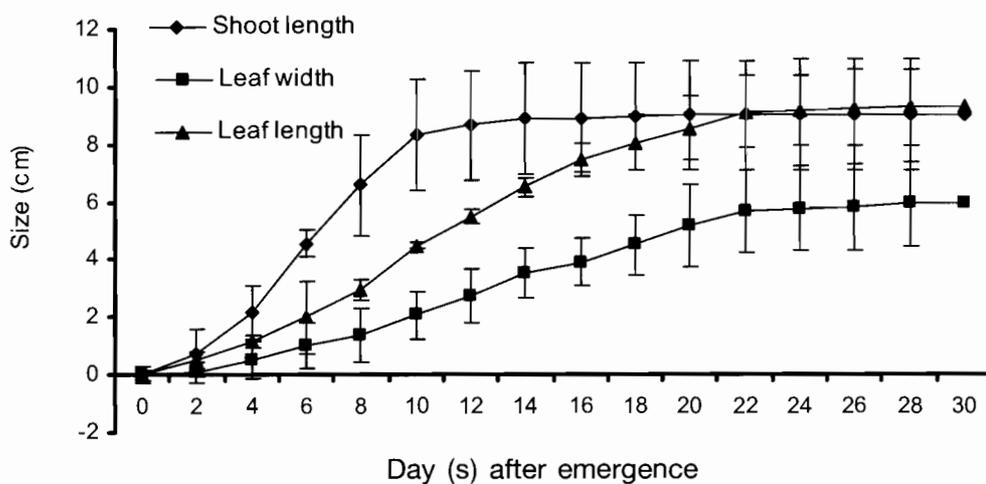
เลือกวัดใบอายุ 3 - 4 เดือน ตำแหน่งที่ 3 - 4 จากปลายยอด จำนวน 6 ใบ (ซ้ำ) โดยใช้ความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มของแสง และอุณหภูมิจากสภาพแวดล้อมจริง วัดอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเวลา 7:00-8:00 9:00-10:00 11:00-12:00 13:00-14:00 15:00-16:00 และ 17:00-18:00 นาฬิกา ตามลำดับ

### ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเจริญเติบโตและการพัฒนาของใบ การเปลี่ยนแปลงทางด้านความยาวของยอด ความกว้างและความยาวของใบส้มโอ พบว่าการเจริญเติบโตและการพัฒนาของใบสามารถแบ่งเป็น 3 ระยะ โดยความยาวของยอดมีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในระยะแรกคือ ตั้งแต่เริ่มเห็นตายอดไปจนกระทั่งอายุ 2 วันหลังการผลิใบ ระยะที่สองความยาวของยอดเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วคือตั้งแต่อายุ 2 - 10 วันหลัง

การผลิใบ หลังจากนั้นในระยะที่สามความยาวของยอดเจริญเติบโตอย่างช้าๆ จนกระทั่งคงที่เมื่ออายุ 14 วันหลังการผลิใบ สำหรับการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต และการพัฒนาทางด้านความกว้างและความยาวของใบส้มโอเพิ่มขึ้น ตามอายุของใบ โดยความกว้างและความยาวของใบมีการเจริญเติบโตอย่างช้าๆ ในระยะแรกคือ ตั้งแต่เริ่มพบตายอดไปจนกระทั่งอายุ 2 วันหลังการผลิใบ ระยะที่สองความกว้างและความยาวของใบมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วคือ ตั้งแต่อายุ 2 - 22 วันหลังการผลิใบ จากนั้นใน

ระยะที่สามตั้งแต่อายุ 22 - 28 วันหลังการผลิใบมีการเจริญเติบโตด้านความกว้างและความยาวของใบอย่างช้าๆ และคงที่เมื่อ 28 วันหลังการผลิใบ (Figure 1) โดยมีความกว้างและความยาวของใบ 5.94 1.34 และ 9.33 1.48 ซม. ตามลำดับ การเจริญเติบโตและการพัฒนาของใบส้มโอมีรูปแบบการเจริญของใบแบ่งเป็น 3 ระยะคือ มีการเจริญอย่างช้าๆ ในระยะแรก เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะที่สอง และระยะที่สามมีการเจริญเติบโตช้าลงจนกระทั่งไม่มีการเจริญเติบโตอีก (นิตย, 2541)



**Figure 1.** Changes in shoot length, leaf width and leaf length of pummelo leaf, vertical bars indicate  $\pm$  standard deviation of  $n = 10$  determinations.

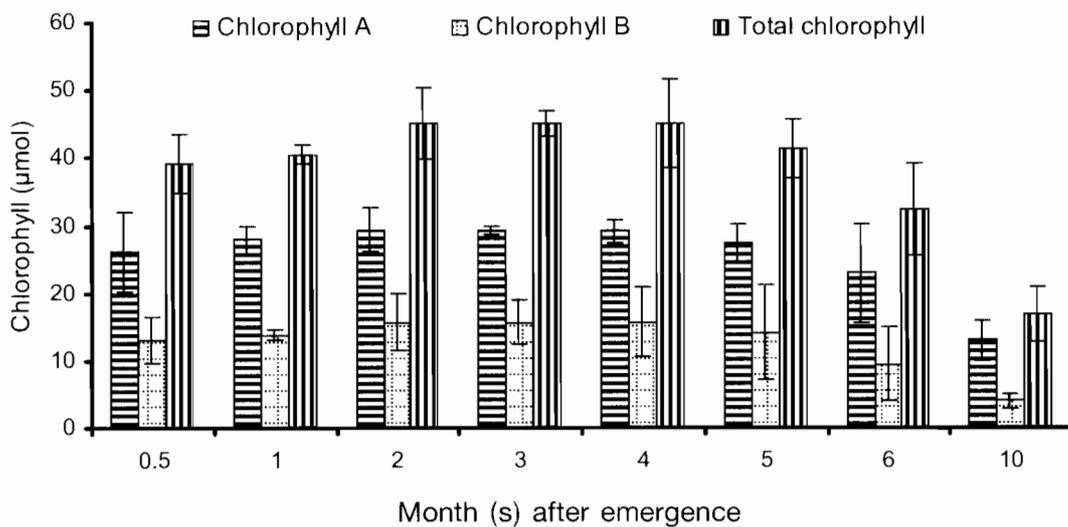
## 2. ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบ

ความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอและบี และคลอโรฟิลล์ ทั้งหมดในใบส้มโอของใบส้มโอที่มีอายุ 0.5 1 2 3 4 5 6 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ พบว่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอในใบที่อายุ 2 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์

เอมากที่สุด 29.34  $\mu\text{mol}$  รองลงมาคือใบที่มีอายุ 3 เดือนหลังการผลิใบมีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เอ 29.17  $\mu\text{mol}$  ขณะที่ใบที่มีอายุ 10 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์เอต่ำสุดที่ 12.91  $\mu\text{mol}$  ส่วนคลอโรฟิลล์บีในใบที่มีอายุ 2 เดือนมีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์บีมากที่สุด 15.70

μmol รองลงมาคือ ใบที่มีอายุ 3 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์บี 15.67 μmol ขณะที่ใบที่มีอายุ 10 เดือนหลังการผลิใบมีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์บีต่ำสุดที่ 3.89 μmol และความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบที่มีอายุ 2 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากที่สุด 45.09 μmol รองลงมาคือ ใบที่มีอายุ 3 เดือนหลังการผลิใบมีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ทั้งหมด 45.04 μmol ขณะที่ใบที่มีอายุ 10 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ทั้งหมดต่ำสุด 16.79 μmol (Figure 2) ใบส้มโอที่มีอายุ 2 - 3 เดือนหลังการผลิใบมีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์เอและบี และคลอโรฟิลล์ ทั้งหมดในใบสูงกว่าใบอายุอื่นๆ ทั้งนี้

เนื่องจากใบส้มโอที่มีอายุน้อยเกินไปการพัฒนาของคลอโรฟิลล์ยังไม่เต็มที่ ส่วนใบที่มีอายุมากเกินไปคลอโรฟิลล์มีการสลายตัว (นิตย, 2541; Hikosaka, 1996) สอดคล้องกับการทดลองหาความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบส้มเกลี้ยง (*Citrus madurensis* Loureiro (Calamondin)) ที่มีอายุต่างกัน ซึ่งพบว่าใบส้มเกลี้ยงที่มีอายุมากกว่า 13 สัปดาห์ มีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ในใบมากกว่าใบที่มีอายุน้อยกว่า 4 สัปดาห์ (Norbert and Chen, 2001) และในส้มโอพันธุ์ขาวทองดีพบว่าค่าความเขียวของใบส้มโอที่วัดได้ (SPAD) ด้วยคลอโรฟิลล์มิเตอร์มีแนวโน้มลดลงเมื่อใบมีอายุเพิ่มมากขึ้น (สิริมาสและคณะ, 2551)



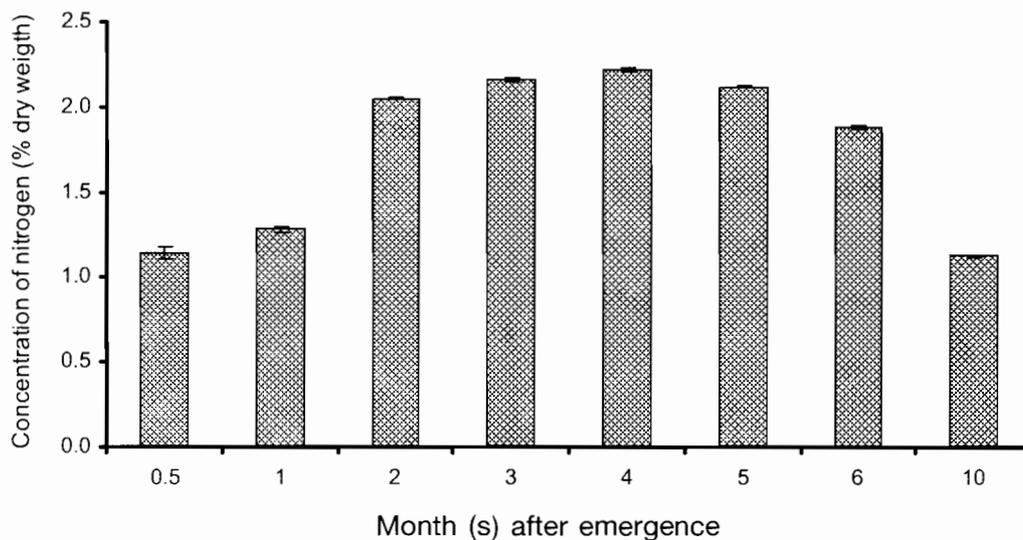
**Figure 2.** Changes in concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B and total chlorophyll of pummelo leaf; vertical bars indicate ± standard deviation of n = 6 determinations

**3. ความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบ**  
จากการหาความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบ

ของส้มโอที่มีอายุ 0.5 1 2 3 4 5 6 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ พบว่าความเข้มข้นของธาตุ

ไนโตรเจนในใบที่อายุ 4 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนมากที่สุด 2.22% น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือใบที่มีอายุ 3 เดือนหลังการผลิใบ ที่มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจน 2.16% น้ำหนักแห้ง ขณะที่ใบที่มีอายุ 10 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนต่ำสุดเท่ากับ 1.13 % น้ำหนักแห้ง (Figure 3) จากผลการทดลองแสดงว่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบของส้มโอค่อยๆ เพิ่มขึ้นในระยะแรก และ

ลดลงเมื่ออายุของใบเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายในพืชได้ง่าย (ยงยุทธ, 2544; Alva *et al.*, 2006) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสิริมาสและคณะ (2551) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบของส้มโอพันธุ์ทองดีมีค่าระหว่าง 2.70 -2.98 % น้ำหนักแห้ง โดยความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนในใบคงที่มากที่สุดเมื่ออายุ 3 เดือนหลังการผลิใบ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อใบมีอายุเพิ่มมากขึ้น



**Figure 3.** Changes in concentrations of nitrogen of pummelo leaf; vertical bars indicate standard deviation of n = 6 determinations

#### 4. อายุใบกับการสังเคราะห์แสงสุทธิ

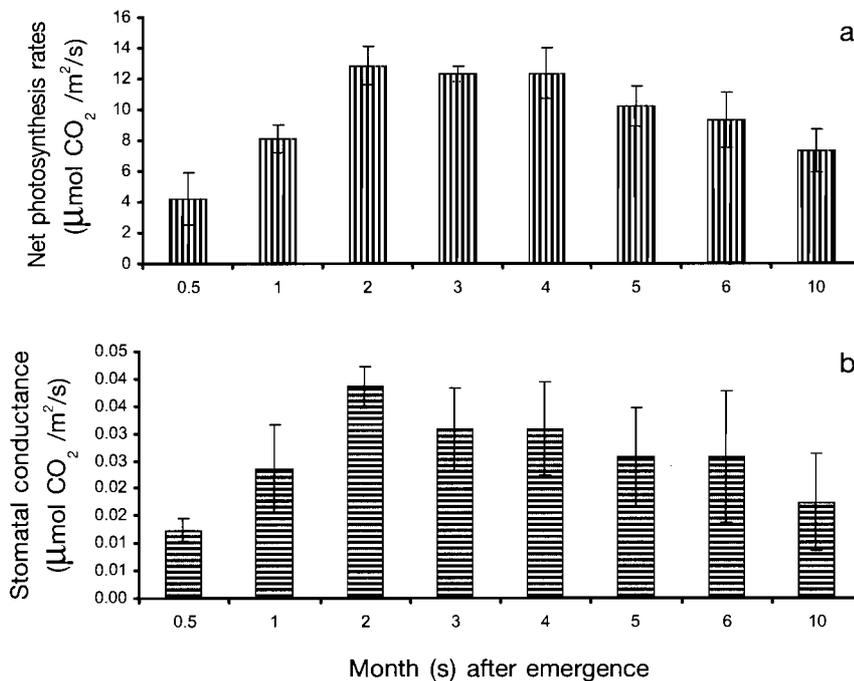
อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและการชักนำการปิดเปิดของปากใบของใบส้มโอที่มีอายุ 0.5 1 2 3 4 5 6 และ 10 เดือนหลังการผลิใบ พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและการชักนำการปิดเปิดของปากใบในใบที่อายุ 2 เดือนหลังการผลิใบสูงที่สุด 12.83  $\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$  และ

0.038  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ รองลงมาคือ ใบที่มีอายุ 3 เดือนหลังการผลิใบมีค่า 12.35  $\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$  และ 0.032  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ ขณะที่ใบที่มีอายุ 0.5 เดือนหลังการผลิใบ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและการชักนำการปิดเปิดของปากใบต่ำสุดที่ 4.24  $\mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$  และ 0.017  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  ตามลำดับ (Figures 4a

and b) แสดงว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และการชักนำการปิดเปิดของปากใบของใบส้มโอ มีความสอดคล้องกับปริมาณของคลอโรฟิลล์ใน ใบ (Figure 2) คือใบที่มีอายุ 2 - 3 เดือนหลัง การผลิใบ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิและ การชักนำการปิดเปิดของปากใบสูงกว่าใบอายุ อื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากใบที่มีอายุน้อยเกินไปการ พัฒนาของคลอโรฟิลล์ยังไม่เต็มที่ ส่วนใบที่มีอายุ มากเกินไปคลอโรฟิลล์มีการสลายตัว (นิตย, 2541; Hikosaka, 1996) เพราะคลอโรฟิลล์เป็น รงควัตถุที่ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานจากแสงแดด มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (Lichtenthaler, 1987; Idso *et al.*, 1996) สอดคล้องกับการทดลองหาอัตราการสังเคราะห์ แสงสุทธิ และการชักนำการปิดเปิดของปากใบใน ใบส้มเกลี้ยงที่มีอายุต่างกันพบว่า ใบส้มที่มีอายุ

มากกว่า 13 สัปดาห์ มีอัตราการสังเคราะห์แสง สุทธิและการชักนำการปิดเปิดของปากใบสูงกว่า ใบอายุอื่นๆ (Norbert and Chen, 2001) นอกจากนี้ใบที่มีอายุมากมีการชักนำการปิดเปิด ของปากใบลดลง เพราะใบมีอัตราการหายใจเพิ่ม สูงขึ้น ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ ลดลง (Bauer *et al.*, 1997) สำหรับผลจากการ ทดลองครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการ แนะนำแก่เกษตรกรในเรื่องการตัดแต่งกิ่งและใบ ของส้มโอ โดยเลือกตัดแต่งกิ่งและใบที่มีอายุมาก และไม้โดนแสงแดดออกไป ทั้งนี้เพื่อให้ใบของส้ม โอในทรงพุ่มมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง นำอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของต้นได้ดียิ่งขึ้น

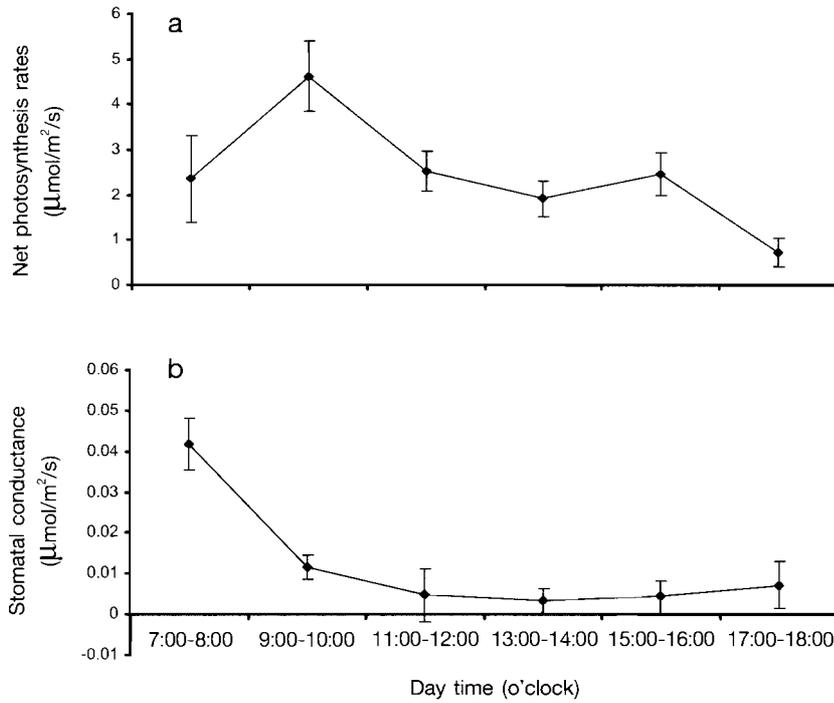
**5. อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิใน รอบวัน** จากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ และการชักนำการปิดเปิดของปากใบในรอบวัน



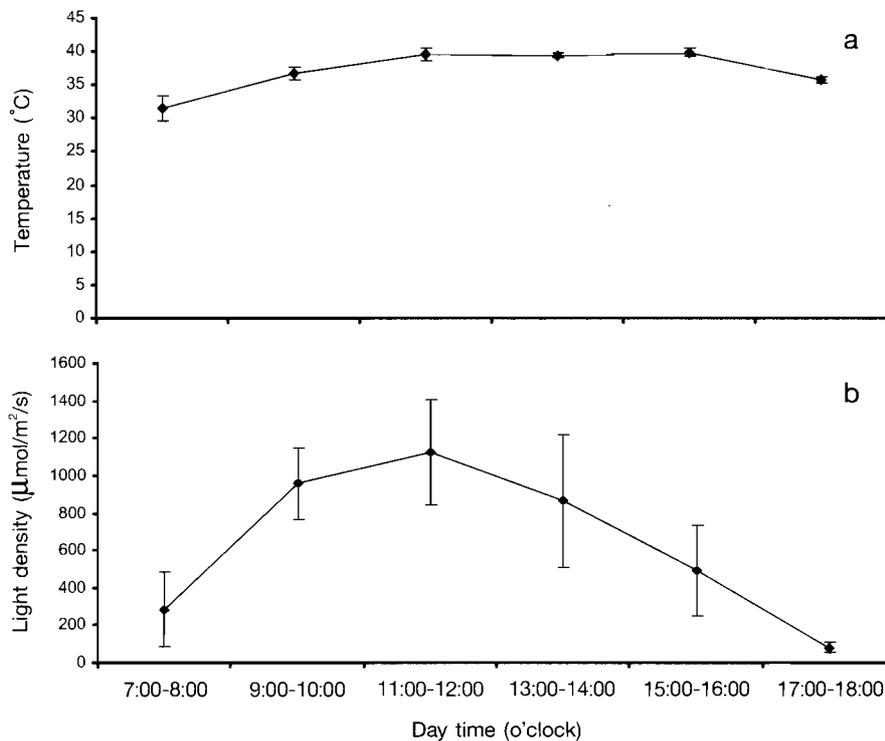
**Figure 4.** Changes in net photosynthesis rates (a) and stomatal conductance (b) of pummelo leaf; vertical bars indicate  $\pm$  standard deviation of n = 6 determinations

โดยวัดอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบส้มโอ ที่มีอายุ 3-4 เดือน ในตำแหน่งที่ 3-4 จากปลาย ยอดในรอบวัน ระหว่างเวลา 7:00-8:00, 9:00-10:00, 11:00-12:00, 13:00-14:00, 15:00-16:00 และ 17:00-18:00 นาฬิกา พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิเพิ่มขึ้นสูงสุดในระหว่าง ช่วง 9:00-10:00 นาฬิกา มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด  $4.62 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$  (Figure 5a) เพราะช่วงนี้มีอุณหภูมิในอากาศต่ำ (เมื่อเทียบกับช่วงอื่นที่มีความเข้มแสงไม่ต่ำ อุณหภูมิในรอบวันค่อนข้างสูงเนื่องจากวางพืชในโรงเรือนพลาสติก)  $37^\circ\text{C}$  (Figure 6a) มีความเข้มของแสง  $958 \mu\text{mol} / \text{m}^2/\text{s}$  (Figure 6 b) หลังจากนั้น อุณหภูมิและความเข้มของแสงเพิ่มสูงขึ้น ทำให้การชักนำการปิดเปิดของปากใบลดลง (Figure 5b) ขณะที่เวลา 17:00 - 18:00 นาฬิกา มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิต่ำสุด  $0.72 \mu\text{mol CO}_2 / \text{m}^2/\text{s}$  (Figure 5a) ถึงแม้ช่วงนี้มีอุณหภูมิในอากาศต่ำ  $36^\circ\text{C}$  (Figure 6a) แต่มีความเข้มของแสงลดลงต่ำมากที่สุดที่  $81 \mu\text{mol} / \text{m}^2/\text{s}$  (Figure 6b) ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิของส้มโอลดลง จากผลการทดลองการสังเคราะห์แสงสุทธิ และการชักนำการปิดเปิดของปากใบในรอบวันเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเช้า ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมในตอนเช้ามีความเหมาะสม คือมีอุณหภูมิในอากาศไม่สูง มีความเข้มของแสงที่เหมาะสม และมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงมีความแตกต่างของความดันไอระหว่างผิวใบกับอากาศต่ำ ทำให้ใบมีอัตราการ

แลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นสูง (Ribeiro *et al.*, 2009) แต่หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นความชื้นสัมพัทธ์ ในอากาศลดลงทำให้มีความแตกต่างของความดันไอระหว่างใบกับอากาศสูง ส่งผลให้ปากใบปิดลงบ้างส่วนความสามารถในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ของใบลดลง (Medina *et al.*, 2002; Jifon and Syvertsen, 2003; Ribeiro *et al.*, 2009) ทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นมีโซฟิลล์ (mesophyll) ของใบลดลง (Vu, 1999) นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังไปรบกวนกระบวนการทางชีวเคมีทำให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง คือเอนไซม์ ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) เสื่อมสภาพไปทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิลดลง (Jifon and Syvertsen, 2003) จากผลการทดลองในครั้งนี้ควรมีการศึกษาเรื่องอิทธิพลของน้ำต่อการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์แสงของใบส้มโอต่อไป เพราะน้ำมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต กระบวนการสังเคราะห์แสงและการปิดเปิดของปากใบ สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการแนะนำแก่เกษตรกร ในการปฏิบัติดูแลรักษาใบของส้มโอให้มีความสมบูรณ์ ให้น้ำและธาตุอาหารแก่ส้มโอในช่วงการเจริญเติบโตของใบใหม่อย่างเพียงพอ เพื่อให้ใบของส้มโอประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ แสงนำอาหารไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของต้นได้อย่างเต็มที่



**Figure 5.** Changes in net photosynthesis rates (a) and stomatal conductance (b) of pummelo leaf in diurnal, vertical bars indicate  $\pm$  standard deviation of  $n = 6$  determinations



**Figure 6.** Changes in temperature (a) and light density (b) of diurnal; vertical bars indicate standard deviation of  $n = 6$  determinations

### สรุปผลการทดลอง

การเจริญเติบโตและการพัฒนาของใบสามารถแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ โตช้าในระยะเห็นตายอดจนกระทั่ง 2 วัน หลังผลิใบ เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วระยะ 2-10 วันหลังผลิใบ และเจริญเติบโตช้า หลังจากนั้นจนกระทั่ง 14 วันหลังผลิใบ ใบมีความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์สูงสุดเมื่ออายุ 2 เดือนหลังการผลิใบ มีความเข้มข้นของธาตุไนโตรเจนสูงสุดเมื่ออายุ 4 เดือนหลังการผลิใบ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเมื่ออายุ 2 เดือนหลังการผลิใบ และมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในรอบวันในเวลา 9:00-10:00 นาฬิกา

### เอกสารอ้างอิง

- นิตย ศกุนรักษ์. 2541. *สรีรวิทยาของพืช*. นพบุรีการพิมพ์ เชียงใหม่. 237 หน้า.
- นिरนาม. 2545. *เกษตรดีที่เหมาะสมสำหรับส้มโอ*. กรมวิชาการเกษตร ชุมชุมสทกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ. 26 หน้า.
- ยงยุทธ โอสถสภา. 2544. ดิน ธาตุอาหารและการให้ปุ๋ยส้ม. หน้า 6/1-6/57. ใน: *เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการส้ม ทางเลือกปัจจุบันสู่อนาคต*. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- รวี เสธฐภักดี(2544) *สรีรวิทยาและอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาของส้ม*. หน้า 1-21. ใน: *เอกสารประกอบการอบรมวิทยาการส้ม ทางเลือกปัจจุบันสู่อนาคต*. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ มณีพงศ์ นันทนา ชื่นอ้อม ศิริวัลย์ บุญสุข พัทรี แสนจันทร์ ไพลิน เหล็กคง วรวงคณา สระแก้ว และคนอื่นๆ. 2547. *โครงการการจัดตั้งเครือข่ายห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช*. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย กรุงเทพฯ. 247 หน้า.

สิริมาศ วงศ์สุบรรณ ลพ ภวภูตานนต์ กฤษณา กฤษณพุกต์ และชัยสิทธิ์ ทองจู. 2551. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบในรอบปีและความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเขียวใบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนในใบส้มโอพันธุ์ทองดี. หน้า 50. ใน: *การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 7*. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2537. *สรีรวิทยาไม้ผล*. ศิริภัณฑ์ ออฟเซ็ท ขอนแก่น. 437 หน้า.

Alva, A.K., S. Paramasivam, T.A. Obreza, and A.W. Schumann. 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees: I. fruit yield, quality, and leaf nutritional status. *Scientia Horticulturae* 107: 233 - 244.

Bauer, P.J., E.J. Sadler and J.R. Frederick. 1997. Intermittent shade effect on gas exchange of cotton leaves in the humid southeastern USA. *Agron. J.* 89: 163-166.

Bhaskar, R.B. and J.P.Syvertsen. 2005. Concurrent changes in net CO<sub>2</sub> assimilation and chloroplast ultrastructure in nitrogen deficient

- citrus leaves. *Environmental and Experimental Bot.* 54: 41-48.
- Cohen, S., E. Raveh, Y. Li, A. Grava and E.E. Goldschmidt. 2005. Physiological responses of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shade screens. *Scientia Horticulturae* 107: 25-35.
- Hikosaka, K. 1996. Effects of leaf age, nitrogen nutrition and photon flux density on the organisation of the photosynthetic apparatus in leaves of a vine (*Ipomoea tricolor* Cav.) grown horizontally to avoid mutual shading of leaves. *Planta* 198: 144-150.
- Idso, S.B., B.A. Kimball and D.L. Hendrix. 1996. Effects of atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on chlorophyll and nitrogen concentrations of sour orange tree leaves. *Environmental and Experimental Bot.* 36: 323-331.
- Jifon, J.L. and J.L. Syvertsen. 2003. Moderate shade can increase net gas and reduce photoinhibition in citrus leaves. *Tree Physiol.* 23: 119-127.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. *Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthesis biomembranes.* *Methods in Enzymology* 148: 350 - 382.
- Medina, C.L., R.P. Souza, E.C. Machado, R.V. Ribeiro. and J.A.B.Silva. 2002. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Scientia Horticulturae* 96: 115-125.
- Norbert, K. and K. Chen. 2001. Response of citrus leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence, macronutrient and carbohydrate contents to elevated CO<sub>2</sub>. *J. Plant Physiology* 158: 1307-1316.
- Graan, T. and D.R. Ort. 1984. Quantitation of the rapid electron donors to P. 700, the functional plastoquinone pool and the ratio of the photosynthesis in spinach chloroplasts. *J. of Biological Chemistry* 259: 14003-14010.
- Ribeiro, R.V., E.C. Machado, M.G. Santos and R.F. Oliveira. 2009. Seasonal and diurnal changes in photosynthetic limitation of young sweet orange trees. *Environmental and Experimental Bot.* 66: 211-230.
- Vu, J.C.V. 1999. Photosynthetic response of citrus to environmental changes. Pages 964-961. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*. Pessarakli, M.(ed.). Marcel Dekker New York.