การประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนส้ม

Assessment of biomass and carbon storage in citrus orchards

มนต์สรวง เรืองขนาบ[1*], ระวี เจียรวิภา[2], อุดร เจริญแสง[1], Hong Li Li[3] และ Zhen Hai Han[4]

Monsuang Rueangkhanab[1*], Rawee Chiarawipa[2], Udorn Charoensang[1], Hong Li Li[3] and Zhen Hai Han[4]

บทคัดย่อ: ศึกษาการประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนส้มแมนดาริน (*Citrus reticulata* L. 'Satsuma') อายุ 1 5 13 และ 25 ปี บริเวณมณฑลกวางสี ประเทศจีน ผลการประเมิน พบว่าค่ามวลชีวภาพของต้นส้มมีค่าอยู่ระหว่าง 0.12-67.69 กก./ต้น โดยที่อายุ 1 ปี ต้นส้มจะสะสมมวลชีวภาพไว้บริเวณรากมากที่สุด 47.44% ของต้น ในขณะที่ต้นอายุ 5 และ13 ปี สะสมมวลชีวภาพในส่วนของผลมากที่สุด คือ 44.90 และ 38.05% ตามลำดับ สำหรับต้นส้มอายุ 25 ปี การสะสมมวลชีวภาพพบมากที่สุดในส่วนของกิ่งก้าน คือ 41.46 % และจากการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในสวนส้ม พบว่า ปริมาณคาร์บอนในส่วนของต้นและเศษซากพืชในสวนที่อายุ 1, 5, 13 และ 25 ปี มีค่าอยู่ระหว่าง 0.29-35.36 ตัน/เฮกแตร์ โดยพบการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดในสวนส้มที่มีอายุ 25 ปี ในขณะที่การกักเก็บคาร์บอนในดินไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับอายุพืช ซึ่งพบมากที่สุดในสวนส้มที่อายุ 5 ปี เท่ากับ 79.19 ตัน/เฮกแตร์ จากการประเมินการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในสวนส้ม พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 55.07-112.41 ตัน/เฮกแตร์ แสดงให้เห็นว่าสวนส้มเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มีความสำคัญแหล่งหนึ่งในระบบเกษตร

คำสำคัญ: มวลชีวภาพ, การกักเก็บคาร์บอน, คาร์บอนในดิน, อายุต้น, ส้ม

ABSTRACT: To assess the above-below ground biomass and carbon storage in citrus orchards, four different ages of citrus trees (*Citrus reticulata* L. 'Satsuma') : 1, 5, 13 and 25 year-old trees were examined to evaluate and quantify tree growth and living biomass in Guangxi, Southern China. The dry mass of the citrus tree ranged from 0.12-67.69 kg/trees. In 1-year-old trees, the greatest proportion of biomass was found in the roots approximately 47.44%. Meanwhile, the proportion of biomass in the 5 and 13 year-old trees were 44.90 and 38.05% respectively as represented in the fruits. The biomass of branches represented maxima of 41.46% in 25 year-old trees. In addition, the amount of carbon storage in citrus orchards found that carbon storage in living parts and litterfall ranged from 0.29-35.36 Mg C ha^{-1}. The highest value was found at the 25-year-old site. In contrast, the soil organic carbon content did not vary with the ages of orchard sites, although the value at the 5-year-old site 79.19 Mg C ha^{-1} was relatively high. The analysis of total carbon showed that the total values of carbon storage varied between 55.07 to 112.41 Mg C ha^{-1} among orchard sites. Citrus orchards could be subject to an important of agroecosystems in mitigating carbon emission through farmers' management practices and farming systems.

Keywords: above-below ground biomass, carbon stock, soil organic carbon, tree age, citrus

[1] สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 8 กรมวิชาการเกษตร จังหวัดสงขลา 90110
Office of Agricultural and Development Region 8, Department of Agriculture, Songkhla 90110

[2] ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา 90112
Department of Plant Science, Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Songkhla 90112

[3] Horticulture Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China

[4] Institute for Horticultural Plants, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

* Corresponding author: monsuang_r@hotmail.com

บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Global climate change) ทำให้ประเทศต่างๆ ได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวและหาแนวทางแก้ไขตามข้อตกลงเชิงนโยบายและแนวทางปฏิบัติเพื่อลดปัญหาโลกร้อน (Global climate change policy) ในสนธิสัญญาพิธีสารโตเกียว (Kyoto protocol) (IPCC, 2007) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองแนวทางได้แก่ การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยกลไกของพืชที่สามารถดูดซับเพื่อการสังเคราะห์แสง และตรึงคาร์บอนไปเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของพืชในรูปของมวลชีวภาพ จึงช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ตลอดช่วงอายุของพืช (Redondo-Brenes and Montagnini, 2006) ขณะเดียวกัน เศษซากพืชที่หลุดร่วงยังถูกย่อยสลายและเก็บสะสมในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Soil organic carbon) ได้ยาวนานด้วย (พจนีย์ และทวีศักดิ์, 2541) นอกจากบริเวณพื้นที่ป่าไม้จะมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน (Carbon storage) แล้ว ในหลายๆ ประเทศได้ให้ความสำคัญกับพื้นที่ภาคการเกษตรด้วย โดยได้รับการคาดหมายว่าเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญแหล่งหนึ่งได้ โดยเฉพาะพื้นที่ปลูกไม้ผลที่พบว่า มีศักยภาพเพียงพอต่อการกักเก็บคาร์บอนทั้งในต้นพืชและในดิน เช่น สวนส้ม (Boller et al., 2004) สวนองุ่น (Kroodsma and Field, 2006) สวนแอปเปิล (Wu et al., 2012) ฯลฯ รวมถึงประเทศจีนที่ให้ความสำคัญกับการใช้พื้นที่ภาคเกษตรเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน โดยเฉพาะพื้นที่สวนส้ม เนื่องจากปัจจุบันจีนได้กลายเป็นแหล่งปลูกส้มมากที่สุดในโลก (FAOSTAT, 2012) อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในระบบการผลิตพืชปลูกหนึ่งๆ อาจแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมและการจัดการสวน การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการสะสมมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนส้มของประเทศจีน เพื่อให้เป็นแนวทางในการจัดการระบบเกษตรอย่างยั่งยืนที่สามารถช่วยกักเก็บปริมาณคาร์บอนในพืชและดินได้

วิธีการศึกษา

ศึกษาในสวนส้มแมนดาริน (*Citrus reticulata* L. 'Satsuma') ที่ปลูกภายใต้สภาพน้ำฝนและอยู่บริเวณใกล้เคียงกัน แบ่งอายุสวนส้ม 4 ช่วงอายุ ได้แก่ 1, 5, 13 และ 25 ปี โดยมีระยะปลูกระหว่างต้นและแถว คือ 3x4 ม. บริเวณมณฑลกวางสี (Guangxi) ประเทศจีน ในช่วงเดือนเมษายน – ตุลาคม พ.ศ.2555 โดยวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. การประเมินการสะสมมวลชีวภาพต้นส้ม

สุ่มตัดต้นส้มจำนวน 5 ต้น/อายุ/สวน ตัดแยกชิ้นส่วนต้นส้ม ได้แก่ ผล ใบ กิ่ง และลำต้น (มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน) และส่วนของรากจากผิวดินจนถึงระดับความลึก 60 ซม. (มวลชีวภาพใต้พื้นดิน) เพื่อหาน้ำหนักแห้งของแต่ละชิ้นส่วนโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชม.

2. การประเมินคุณสมบัติบางประการของดินในสวนส้ม

สุ่มเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ระดับ 0-60 ซม. จำนวน 5 จุด/สวน บริเวณระหว่างแถวปลูก เพื่อวิเคราะห์ลักษณะดิน ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าความหนาแน่นดิน (soil bulk density) และค่าอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) โดยวิธีของ Walkley and Black (1934)

3. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในสวนส้ม

ประเมินปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในสวนส้ม โดยใช้ค่าคงที่ขององค์ประกอบคาร์บอนที่สะสมในชิ้นส่วนพืชหรือประมาณ 45% ของค่ามวลชีวภาพ (Morgan et al., 2006) และในดิน รวมถึงเศษซากพืช (litterfall) วิเคราะห์จากเศษซากใบ กิ่ง และผลที่ร่วงหล่นบริเวณรอบทรงพุ่ม รวมถึงเศษซากวัชพืชบริเวณระหว่างแถว

ปลูก โดยสุ่มเก็บในพื้นที่ขนาด 1 ม^2. จำนวน 5 จุด/สวน นำมาอบหาน้ำหนักแห้งเช่นเดียวกับต้นส้ม โดยใช้สมการการประเมินกักเก็บคาร์บอนในพืช เศษซากพืช และในดิน (Zheng et al., 2008) ดังสมการ

$$CS_T = \sum_{i=1}^{n}(C_{Ti}B_{Ti}) + \sum_{l=1}^{n}(C_{Sl}BD_l)$$

โดยที่ CS_t = ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในสวนส้ม (ตัน/เฮกแตร์)

C_{Ti} = องค์ประกอบคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของต้นส้ม (%)

B_{Ti} = มวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของต้นส้มและเศษซากพืชในสวน (ตัน/เฮกแตร์)

C_{Sl} = ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ระดับความลึก 0-60 ซม. (%)

BD_l = ความหนาแน่นดินรวมที่ระดับความลึก 0-60 ซม. (ก./ลบ.ซม.)

4. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างช่วงอายุต้นส้มและตัวแปรต่างๆ โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียล (Polynomial regression analysis) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการศึกษา

1. การประเมินการสะสมมวลชีวภาพต้นส้ม

จากการประเมินมวลชีวภาพในแต่ละชิ้นส่วนของต้นส้ม พบว่า ต้นส้มในแต่ละช่วงอายุมีการสะสมมวลชีวภาพในแต่ละชิ้นส่วนแตกต่างกัน ซึ่งต้นส้มที่อายุ 1 ปี มีการสะสมมวลชีวภาพในส่วนบริเวณรากมากที่สุด คือ 47.44 % (0.06 ± 0.01 กก./ต้น) รองลงมาคือ ลำต้น 27.14% (0.03 ± 0.01 กก./ต้น) และใบ 19.02% (0.02 ± 0.01 กก./ต้น) ส่วนที่อายุ 5 ปี พบมากที่สุดในส่วนของผล 45.00% (9.33 ± 1.57 กก./ต้น) รองลงมาเป็นกิ่งก้าน และใบ คือ 28.55% (5.93 ± 0.73 กก./ต้น) และ 12.92% (2.69 ± 0.49 กก./ต้น) ตามลำดับ ที่อายุ 13 ปี การสะสมมวลชีวภาพที่พบจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับต้นที่อายุ 5 ปี คือพบมวลชีวภาพมากที่สุดในส่วนของผล กิ่งก้าน และใบ มีค่าเท่ากับ 38.05% (14.81 ± 2.10 กก./ต้น) 28.18% (10.97 ± 2.50 กก./ต้น) และ 17.71% (6.89 ± 1.04 กก./ต้น) ตามลำดับ ในขณะที่ต้นอายุ 25 ปี พบการสะสมมวลชีวภาพมากที่สุดในส่วนของกิ่งก้าน 41.46% (38.68 ± 5.23 กก./ต้น) รองลงมาคือ ส่วนของผลและราก เท่ากับ 27.45 % (25.62 ± 2.78 กก./ต้น)และ13.92% (12.99 ± 1.89 กก./ต้น) ตามลำดับ (**Figure 1a,b,c**) เมื่อประเมินความสัมพันธ์การสะสมมวลชีวภาพในแต่ละชิ้นส่วนของต้น พบว่า มีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล ดังสมการและค่าสหสัมพันธ์ในตารางที่ 1 (**Table 1**) สำหรับการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างอายุต้นส้มกับปริมาณการสะสมมวลชีวภาพทั้งต้น พบว่า มวลชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้นเมื่อต้นส้มอายุเพิ่มขึ้น ดังสมการ สมการ $y = 0.0602x^2 + 1.1561x + 0.785$ ($r^2 = 0.993$) (**Figure 2**)

2. การกักเก็บคาร์บอนในต้นและในดิน

จากการประเมินความสัมพันธ์การกักเก็บคาร์บอนในแต่ละชิ้นส่วนต้น พบว่า มีความสัมพันธ์ในแบบโพลิโนเมียล ดังสมการและค่าสหสัมพันธ์ใน **Table 2** สำหรับความสัมพันธ์ของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในต้นส้มกับอายุต้น พบว่า การกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามอายุต้นส้มที่มากขึ้น ดังสมการ $y = 0.0183x^2 + 1.1985x + 0.2899$ ($r^2 = 0.989$) (**Figure 3**) คุณสมบัติของดินและการจัดการ ที่ระดับ 0-60 ซม. ในทั้ง 4 แปลง พบว่า เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.54 ± 0.04 ถึง 1.54 ± 0.09 สำหรับค่าคาร์บอนในดินที่ได้จากการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอก อยู่ในช่วง 0.42 ถึง 1.67 Mg C ha^{-1} และ 1.67 ถึง 20.83 Mg C ha^{-1} ตามลำดับ (**Table 3**) ทั้งนี้ เมื่อประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนในต้นส้มทั้ง 4 อายุ พบว่า ค่าคาร์บอนที่สะสมในส่วนของพืชมีค่าอยู่ระหว่าง 0.29 ถึง 35.36 Mg C ha^{-1} และเพิ่มขึ้นตามอายุต้น ในขณะที่การสะสมคาร์บอนในดินไม่ได้ผันแปรไปตามอายุต้น ซึ่งพบว่ามีค่าสูงสุดในสวนอายุ 5 ปี สำหรับค่าการสะสมคาร์บอนทั้งหมดในสวน

พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 55.07 ถึง 112.41 Mg C ha^{-1} และมีค่าสูงสุดในสวนอายุ 25 ปี (**Figure 4**)

วิจารณ์

ต้นส้มมีการสะสมมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของอายุที่เพิ่มขึ้น มากน้อยแตกต่างไปในแต่ละชิ้นส่วนพืช จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ในต้นส้มที่มีอายุน้อยที่สุด (1 ปี) สะสมมวลชีวภาพมากที่สุดในส่วนของราก สำหรับต้นที่ให้ผลผลิตแล้วนั้น (5-25 ปี) มวลชีวภาพในส่วนของผลมีแนวโน้มลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามมวลชีวภาพในกิ่งก้านมีการสะสมเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชมีอายุเพิ่มขึ้น และมีสัดส่วนมากที่สุดในต้นที่อายุ 25 ปี ชี้ให้เห็นว่า การสะสมมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นและกิ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอายุต้นส้มค่อนข้างชัดเจน (Wheaton et al., 1995; Spiegel-Roy and Goldschmidt, 1996; Morgan et al., 2006) นอกจากนี้ การปฏิบัติรักษาที่แตกต่างกัน เช่น การตัดแต่งทรงพุ่ม การไว้ผล ฯลฯ อาจมีผลต่อการสะสมปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของต้น และยังส่งผลต่อการกระจายของมวลต้นส้มได้ (Liguori et al., 2009) สำหรับการกักเก็บคาร์บอนในดินเห็นได้ว่า มีการกักเก็บคาร์บอนในส่วนของต้นส้มน้อยกว่าในดิน และพบว่าที่สวนอายุ 13 ปี ดินมีค่าการกักเก็บคาร์บอนน้อยกว่าสวนช่วงอายุอื่นๆ ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากการจัดการสวนที่ปฏิบัติแตกต่างกันมาอย่างต่อเนื่องของเกษตรกร เช่น การไถ่พรวน การปลูกพืชร่วม และปริมาณหรือชนิดของปุ๋ย ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุสวนส้ม จึงมักมีผลต่อประสิทธิภาพการสะสมคาร์บอนในดินเช่นกัน (Morton and Proebst, 2003; Huang et al., 2012) แต่การสะสมปริมาณคาร์บอนในดินจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงค่อนข้างช้าและใช้เวลานานหลายปี (Kaur et al., 2008) และอาจมีความผันแปรในแต่ละฤดูกาลได้ (David et al., 2009) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินสวนส้ม มีค่าประเมินสูงกว่าในส่วนของต้นส้มทุกช่วงอายุ ซึ่งสอดคล้องกับในสวนไม้ผลพื้นที่ปลูกอื่นๆ ที่อาจมีค่าสูงกว่าถึง 80-90 % เช่น ในสวนส้มแถบเมือง Yongchun (Lin et al., 2010) และ Fuzhou ของประเทศจีน (Wu et al., 2008) รวมถึงในสวนองุ่นแถบแคลิฟอร์เนีย ของประเทศสหรัฐอเมริกา (Kroodsma and Field, 2006) เป็นต้น จากการศึกษาในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในต้นส้มที่แตกต่างกันเกิดจากอายุต้นที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจริญเติบโตและการสร้างมวลชีวภาพ โดยเฉพาะขนาดของกิ่งและลำต้นที่มักแตกต่างกันตามช่วงอายุและการจัดการสวนส้ม (Davies and Albrigo, 1994; Morgan et al., 2006) ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ว่า การจัดการสวนทั้งระบบการปลูกพืชและการจัดการดินที่เหมาะสม น่าจะเป็นแนวทางที่สามารถช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในภาคส่วนของการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

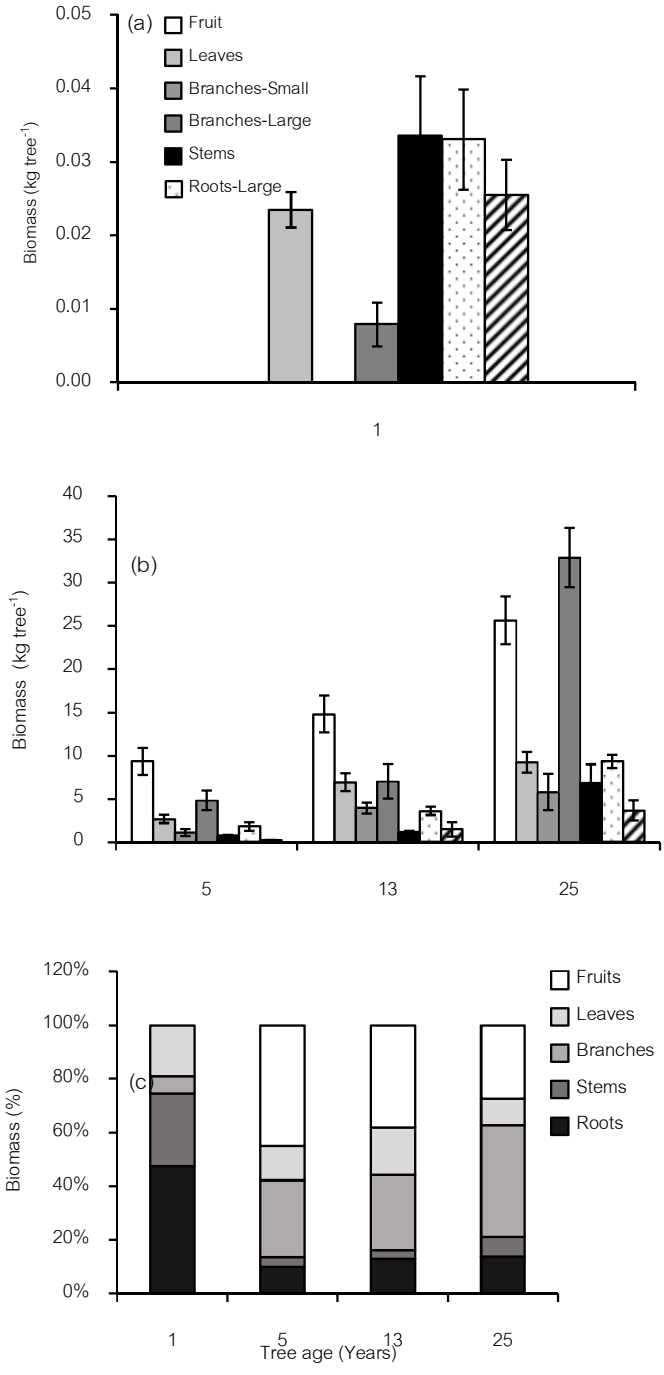

Figure 1 Biomass partitioning in 1-year-old (a) and 5-, 13- and 25-year-old citrus trees (b). The distribution of above-below ground biomass (%) (fruits, leaves, branches, stems and roots) in 1-, 5-, 13- and 25-year-old citrus trees (c) (vertical bars represent mean ± SD).

Table 1 Biomass allometric equations in different plant part of citrus trees.

Plant parts	Biomass allometric equations (y)	Coefficient of determination (r^2)
Fruits	$y = -0.0195x^2 + 1.5073x - 0.1408$	0.972
Leaves	$y = -0.0155x^2 + 0.7902x - 0.796$	0.999
Branches	$y = 0.0523x^2 + 0.1809x + 1.1839$	0.988
Stems	$y = 0.0143x^2 - 0.1055x + 0.4284$	0.983
Roots	$y = 0.0091x^2 + 0.2905x - 0.0312$	0.998

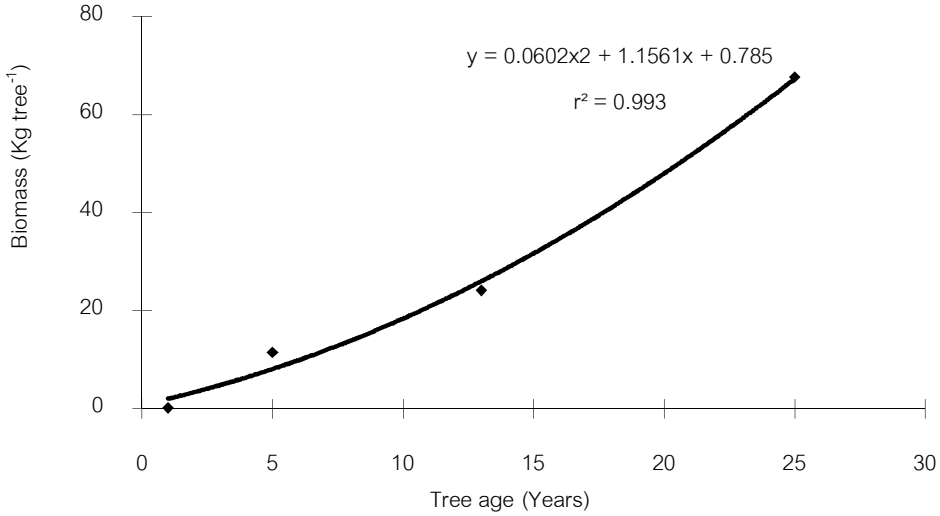

Figure 2 The relationship between tree age and biomass storage of citrus trees.

Table 2 Carbon storage allometric equations in different plant parts of citrus trees.

Plant parts	Carbon allometric equations (y)	Coefficient of determination (r^2)
Fruits	$y = -0.0088x^2 + 0.6783x - 0.0634$	0.972
Leaves	$y = -0.007x^2 + 0.3556x - 0.3582$	0.999
Branches	$y = 0.0235x^2 + 0.0814x + 0.5327$	0.988
Stems	$y = 0.0064x^2 - 0.0475x + 0.1928$	0.983
Roots	$y = 0.0041x^2 + 0.1307x - 0.0141$	0.998

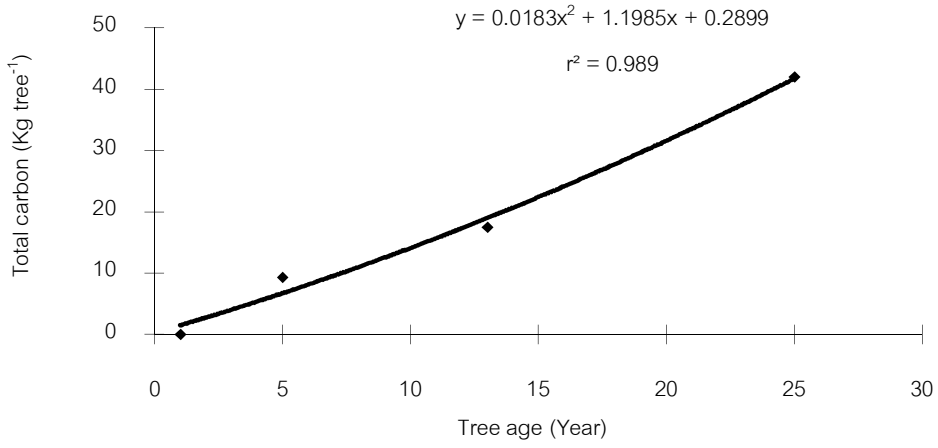

Figure 3 The relationship between tree age and total carbon storage of citrus trees.

Table 3 Soil properties and soil management practices in citrus orchards.

Characteristic	Soil depth	Orchard site (years)			
	(cm)	1	5	13	25
Soil properties:					
Soil texture	0-20	Clay loam	Clay loam	Sandy clay loam	loam
	20-40	Clay loam	Clay loam	Clay loam	Clay loam
	40-60	Clay	Clay	Clay loam	Clay
pH	0-20	5.60±0.28	6.13±0.33	5.20±0.42	6.40±1.13
	20-40	5.50±0.28	6.15±1.06	5.45±0.21	5.75±0.78
	40-60	5.60±0.57	5.60±0.42	5.25±0.07	5.50±0.57
Soil bulk density (g cm^{-3})	0-20	1.02±0.05	1.22±0.03	1.12±0.05	1.13±0.08
	20-40	1.18±0.07	1.29±0.02	1.10±0.05	1.11±0.04
	40-60	1.10±0.03	1.19±0.03	1.23±0.01	1.16±0.05
Organic carbon (%OC)	0-20	1.05±0.04	1.45±0.04	0.85±0.02	1.54±0.09
	20-40	0.80±0.20	1.17±0.04	0.75±0.06	1.11±0.03
	40-60	0.84±0.34	1.27±0.24	0.54±0.04	1.14±0.03
Soil management practices:					
Chemical fertilizers (N-P-K)					
(15-15-15) (Mg C ha^{-1})		0.42	0.83	1.25	1.67
Cow manure (Mg C ha^{-1})		1.67	8.33	12.50	20.83

Values presented here are means and standard deviations.

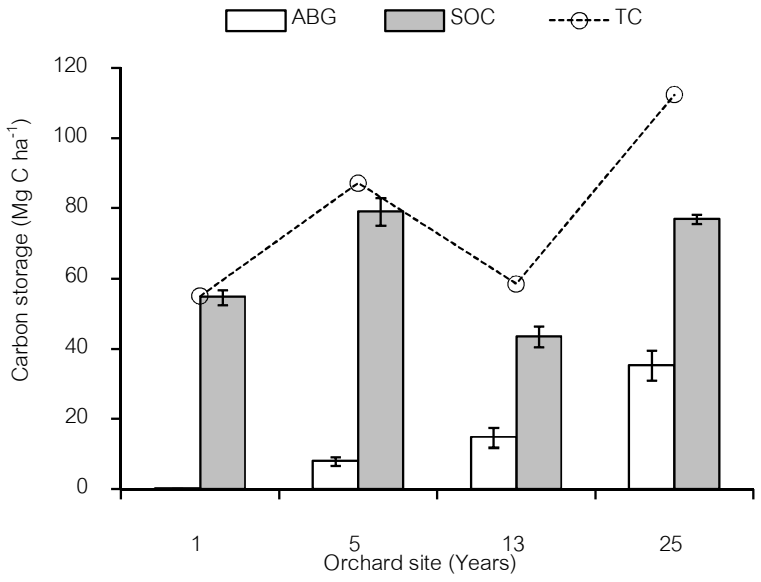

Figure 4 Carbon storage (Mg C ha^{-1}) values in above-below ground biomass (ABG), soil organic carbon (SOC) and total carbon (TC) at 1-, 5-, 13- and 25-year-old orchard sites (vertical bars represent mean ± SD).

สรุป

การสะสมมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์กับช่วงอายุของต้นส้มโดยมีค่ามากที่สุดที่อายุ 25 ปี สำหรับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในสวนส้ม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามช่วงอายุของต้นส้ม แต่การกักเก็บปริมาณคาร์บอนในดินไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับอายุของสวนส้ม และมีค่าสูงกว่าปริมาณคาร์บอนในส่วนของต้นส้มทุกช่วงอายุต้น

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ Mr. Wei An และครอบครัวเจ้าของสวนส้มในมณฑลกวางสี ประเทศจีน ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการสำรวจและเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

พจนีย์ มอญเจริญ และทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. 2541. คาร์บอนในดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

Boller, E.F., J. Avilla, E. Jörg, C. Malavolta, F.G. Wijnands, and P. Esbjerg. 2004. Guidelines for integrated production of citrus fruits. IOBC Technical Guideline III, 1st ed., IOBC WPRS Bulletin no. 27, France.

David, M.B., G.F. McIsaac, R.G. Darmody and R.A. Omonode. 2009. Long-term changes in Mollisol organic carbon and nitrogen. J. Environ. Qual. 38: 200-211.

Davies, F.S., and L.G. Albrigo. 1994. Crop Production Science in Horticulture: Citrus. CAB International, UK.

FAOSTAT. 2012. The FAO statistical database. The Statistics Division of the FAO.
Available: http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx. Accessed Apr. 6, 2013.

Huang, G.B., Q. Chai, F.X. Feng, and A.Z. Yu. 2012. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in arid Northwest China. JIA. 11: 1286-1296.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. In.R.K. Pachauri & A. Reisinger (eds.). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.

Kaur, T., B.S. Brar, and N.S. Dhillon. 2008. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizers under maize–wheat cropping system. Nutr. Cycl. Agroecosys. 81: 59-69.

Kroodsma, D.A., and C.B. Field. 2006. Carbon sequestration in California agriculture, 1980-2000. Ecol Appl. 16: 1975-1985.

Liguori, G., G. Gugliuzza, and P. Inglese. 2009. Evaluating carbon fluxes in orange orchards in relation to planting density. J Agr Sci. 147: 637-645.

Lin, Q.S., W. Hong, C.Z. Wu, Y.M. Lin, and C.Chen. 2010. Organic carbon storage and its dynamic change in citrus ecosystem in Yongchun, China. Acta Ecol. Sin. 30: 309-316. (In Chinese with English Abstract).

Morgan, K.T., J.M.S. Scholberg, T.A. Obreza and T.A. Wheaton. 2006. Size, biomass, and nitrogen relationships with sweet orange tree growth. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 131: 149-156.

Morton, A., and D. Proebst. 2003. Organic Citrus Resource Guide. Soil and Health Association of NZ Inc. and Bio Dynamic Association in NZ Inc., New Zealand.

Redondo-Brenes, A., and R. Montagnini. 2006. Growth,productivity, aboveground biomass, and carbon sequestration of pure and mixed native tree plantations in the Caribbean lowlands of CostaRica. Forest Ecol. Manag. 232: 168-178.

Spiegel-Roy, P., and E.E. Goldschmidt. 1996. Biology of Citrus. Cambridge University Press, USA.

Walkley, A. and A. Black. 1934. Anexamination of the Degiareff method for determine soil organic matter and a proposed modification of the chromicacid titration method. Soil Science. 37: 19-28.

Wheaton, T.A., J.D. Whitney, W.S. Castle, R.P. Muraro, H.W. Browning, and D.P.H. Tucker. 1995. Citrus scion and rootstock, topping height, and tree spacing affect tree size, yield, fruit quality, and economic return. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 120: 861-870.

Wu, Z.D., Y.X. Wang, B.Q. Weng, Z.J. Cai, and S.X. Wen. 2008. Organic carbon and nitrogen storage in 7 years old citrus orchard ecosystem in Fuzhou, China. J. Fujian Agriculture and Forestry University. 37: 316-319. (In Chinese with English Abstract).

Wu, T., Wang, Y., Yu, C.J., Chiarawipa, R., Zhang, X.Z., Han, Z.H., and Wu, L.H. 2012. Carbon sequestration by fruit trees-Chinese apple orchards as an example. PLoS ONE 7: e38883.

Zheng, H., Z.Y. Ouyang, W.H. Xu, X.K. Wang, H. Miao, X.Q. Li, and Y.X. Tian. 2008. Variation of carbon storage by different reforestation types in the hilly red soil region of southern China. Forest Ecol. Manag. 255: 1113-1121.