

นิพนธ์ต้นฉบับ

ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบยูคาลิปตัส 4 สายต้นที่ปลูกบนคันนา ในจังหวัดฉะเชิงเทรา

Leaf Gas Exchange Characteristics of Four Eucalypt Clones Planted on Paddy Bunds in Chachoengsao Province

สาพิศ ดิลกสัมพันธ¹

ศุริยะ สถาพร²

นรากร ศรีเลิศ¹

Sapit Diloksumpun¹

Duriya Staporn²

Narakorn Srilert¹

¹ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand

e-mail: sapit.d@ku.ac.th

² สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Forest Research and Development Bureau, Royal Forest Department, Chatuchak, Bangkok 10900 Thailand

รับต้นฉบับ 9 พฤศจิกายน 2552

รับลงพิมพ์ 27 ธันวาคม 2552

ABSTRACT

Leaf gas exchange characteristics play an important role in tree growth and carbon storage. In this study, the leaf gas exchange characteristics of four eucalypt clones planted on paddy bunds were investigated in two on-farm study sites in Chachoengsao province. Specifically, four leaf gas exchange characteristics were measured in the wet and dry seasons: light-saturated net photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and intrinsic water-use efficiency, which is a ratio of light-saturated net photosynthesis to stomatal conductance. The correlation between these characteristics, as well as leaf area index and carbon storage in tree biomass, was also analyzed.

Differences in the four leaf gas exchange characteristics were statistically significant among clones, but not between the two study sites, while stomatal conductance, transpiration and water-use efficiency, but not light-saturated net photosynthesis, were significantly different between wet and dry seasons. The seasonal variation indicated that the water limitation imposed during the dry season induced partial stomatal closure, leading to a decrease in water loss through leaf transpiration, but did not considerably limit leaf photosynthetic activity. The correlation analysis further revealed that tree carbon storage was positively correlated with leaf water-use efficiency in the wet season and leaf area index, but negatively correlated with stomatal conductance and transpiration in both seasons, as well as with light-saturated net photosynthesis in the dry season. On the other hand, no correlation between tree carbon storage and light-saturated net photosynthesis in the wet season and leaf water-use efficiency in the dry season was observed. The findings suggested that variation in the leaf gas exchange characteristics were due to differences in the genetic background of the trees and these characteristics played a significant role in carbon storage in the eucalypt clones studied.

Keywords: eucalypt, clone, leaf gas exchange, carbon storage

บทคัดย่อ

ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบยูคาลิปตัสจำนวน 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนาในพื้นที่เกษตรกร 2 พื้นที่ ของจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยทำการศึกษาลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ 4 ลักษณะ ได้แก่ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำของใบในฤดูแล้ง และฤดูฝน ตลอดจนวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ต่อศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสที่ทำการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบทั้ง 4 ลักษณะ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างสายต้น แต่มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพื้นที่ ในขณะที่การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำของใบเท่านั้น ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล แสดงให้เห็นว่าในสภาพที่ขาดน้ำในฤดูแล้งชักนำให้เกิดการปิดปากใบบางส่วนเพื่อลดการสูญเสียจากการคายน้ำของใบ แต่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบ จากผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูฝนและดัชนีพื้นที่ใบ และมีความสัมพันธ์ทางลบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการชักนำของปากใบและการคายน้ำของใบทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน และการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูแล้ง แต่ไม่มีความสัมพันธ์การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูฝนและประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูแล้งแต่อย่างใด ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นถึงความแปรผันของลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบเนื่องจากความแตกต่างของลักษณะพื้นฐานทางพันธุกรรมและบทบาทของลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบที่มีต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัสที่ศึกษาในครั้งนี้

คำสำคัญ: ยูคาลิปตัส สายต้น การแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ การกักเก็บคาร์บอน

คำนำ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ที่มีปริมาณมากที่สุดในบรรยากาศ ในปัจจุบันมีความเข้มข้น 383 ppm และก่อให้เกิดปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse effect) อันเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ในปัจจุบัน (Levin and Pershing, 2008) การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนประมาณร้อยละ 75 เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) และการเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 25 เกิดจากการสูญเสียคาร์บอนจากการตัดไม้ทำลายป่า (Buckley, 2007) เนื่องจากต้นไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และมีกระบวนการสะสมคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและอยู่ใต้ดิน (above and below ground biomass) ทั้งนี้ ศักยภาพในการกักเก็บของต้นไม้ขึ้นอยู่กับมวลชีวภาพมากกว่าปริมาณคาร์บอน (carbon content) ในส่วนต่างๆ ของต้นไม้ (สาพิศ, 2550)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ไม้โตเร็วมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบสูงกว่า ไม้โตช้า (Chaisalee, 2000) เนื่องจากต้นไม้ไม่ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงมาใช้ในการสร้างการเติบโต และสะสมคาร์บอนไว้ในมวลชีวภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าไม้โตเร็วที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรม

แตกต่างกันมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงแตกต่างกันด้วยเช่นกัน (สาพิศ, 2545) แต่การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทางด้านสรีรวิทยาหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตอย่างรวดเร็วของต้นไม้ยังมีอยู่น้อยมาก เช่น บางงานวิจัยศึกษาพบว่า การเติบโตของกล้าไม้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ (Sun, 1986) แต่บางงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ใบทั้งหมดของต้นไม้มีความสำคัญต่อการเติบโตมากกว่าการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ (Atipunumpai, 1989; Cole *et al.*, 1994) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเติบโตของต้นไม้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงของใบแต่เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงทั้งหมดของเรือนยอดของต้นไม้ ดังนั้น อัตราการเติบโตของต้นไม้จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการสังเคราะห์แสงของเรือนยอด เช่น การสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ การคายน้ำ (transpiration) ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (water-use efficiency) และดัชนีพื้นที่ผิวใบ (leaf area index) เป็นต้น (Pipatwattanakul, 1996; Royampaeng, 2001) อย่างไรก็ตาม บทบาทของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ต่อการเติบโตเป็นเรื่องซับซ้อนและยังคงเป็นประเด็นสำคัญในงานวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเชื่อมโยงกับศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูกาลของลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ ได้แก่ การสังเคราะห์แสง การชักนำของปากใบ การคายน้ำ ของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนาตลอดจนวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ต่อศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสที่ทำการศึกษา

อุปกรณ์และวิธีการ

แปลงทดลอง

การทดลองปลูกไม้ยูคาลิปตัสบนคันนามี

การวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) มีจำนวนสายต้น (clone) ที่จำหน่ายทั่วไปเพื่อการค้าทั้งสิ้น 4 สายต้น ซึ่งมีลักษณะทรงพุ่มและการเติบโตที่แตกต่างกัน ได้แก่ (1) สายต้น K7 พัฒนาพันธุ์จากลูกผสมระหว่างยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) และยูคาลิปตัส ดิกลูปต้า (*E. deglupta*) (2) สายต้น K51 พัฒนาพันธุ์จากไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส (*E. camaldulensis*) ที่ปลูกในประเทศไทย (3) สายต้น K58 พัฒนาพันธุ์มาจากยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า (*E. urophylla*) จากแหล่งเมล็ดในประเทศจีน และ (4) สายต้น K59 พัฒนาพันธุ์มาจากลูกผสมระหว่างไม้ยูคาลิปตัส แกรนด์ซิส (*E. grandis*) แหล่งเมล็ดจากประเทศบราซิล และไม้ยูคาลิปตัส แบริสเซียนา (*E. brassiana*) ที่ปลูกในประเทศไทย (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, 2549) มีจำนวนบล็อก (block) 4 บล็อก หรือ 4 ซ้ำ โดยทำการปลูกไม้ยูคาลิปตัสแถวเดียวบนคันนา ระยะปลูก 1 เมตร เมื่อเดือนสิงหาคม 2548 ในพื้นที่ของเกษตรกร 2 พื้นที่ (site) ได้แก่ (1) แปลงบ้านห้วยปลีก ตั้งอยู่ที่บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านช่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และ (2) แปลงบ้านหนองกาใน ตั้งอยู่ที่บ้านหนองกาใน ตำบลคูยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

การศึกษาลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ

วิธีการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ ได้แก่ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (light saturated net photosynthesis, A_{sat}) การชักนำของปากใบ (stomatal conductance, g_s) และการคายน้ำ (transpiration, E) ของไม้ยูคาลิปตัส โดยใช้เครื่องมือวัดการสังเคราะห์แสง Portable Photosynthesis System LI-6400 (LICOR Inc., USA) โดยติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดแสง (light source) เข้ากับ leaf chamber ปรับระดับความเข้มแสงเท่ากับ 2000 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที ซึ่งเป็นระดับความเข้มแสงที่เกินจุดอิ่มตัวของแสง โดยเก็บข้อมูลแปลงละ 4 บล็อก

จำนวนบล็อกละ 1 ต้นต่อสายต้น เลือกใบตัวอย่างที่มีสภาพสมบูรณ์ มีการเติบโตเต็มที่ไม่ว่าแก่หรืออ่อนจนเกินไป (fully-expanded leaf) ในระดับเรือนยอดที่ได้รับแสงเต็มที่ (sun-exposed leaf) ต้นละ 5 ใบ ทำการวัดการสังเคราะห์แสงสูงสุดในช่วงเวลาเช้า (9.30-11.30 น.) และช่วงเวลาบ่าย (13.30-15.30 น.) เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของวัน โดยเก็บข้อมูลฤดูแล้งเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 (ต้นไม้อายุ 6 เดือน) และฤดูฝนเมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 (ต้นไม้อายุ 1 ปี)

การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบ ในที่นี้ใช้ค่า intrinsic water-use efficiency (WUE_i) โดยสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$WUE_i = \frac{A_{sat}}{g_s}$$

เมื่อ WUE_i คือ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบ (intrinsic water-use efficiency) มีหน่วยเป็น ไมโครโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/โมลของน้ำ

A_{sat} คือ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของใบ (light-saturated net photosynthesis) มีหน่วยเป็น ไมโครโมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที

g_s คือ การชักนำของปากใบ (stomatal conductance) มีหน่วยเป็น โมลของน้ำ/ตารางเมตร/วินาที

สาเหตุที่เลือกใช้ WUE_i เนื่องจากค่า WUE_i มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในอากาศน้อยกว่า instantaneous WUE ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงสุทธิและการคายน้ำของใบ (Comstock and Ehleringer, 1992)

วิเคราะห์ความแตกต่างของการสังเคราะห์

แสงสุทธิสูงสุด การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำของใบ ระหว่างสายต้น และพื้นที่ปลูกโดยใช้แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (4x2 factorial experiment in RCBD) วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฤดูกาล โดยวิธีการวิเคราะห์ Repeated Measures MANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (multiple correlation analysis) ระหว่างความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม (ลำต้น กิ่ง ใบ และราก) ของไม้ยูคาลิปตัสอายุ 3 ปี และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบที่ศึกษาข้างต้น ได้แก่ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำ ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง รวมทั้งค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) ซึ่งเป็นตัวแปรทางสรีรวิทยาที่สำคัญในการเติบโตของต้นไม้ ดังรายละเอียดใน Table 1 เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation, r) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้างต้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลและวิจารณ์

ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบ

จากการศึกษาพบว่า การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายต้น ($p < 0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างพื้นที่ ($p = 0.289$) เมื่อเปรียบเทียบการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดระหว่างสายต้นของไม้ยูคาลิปตัส พบว่าในภาพรวมแล้วการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของสายต้น K51 มีค่าสูงสุดทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่สายต้น K59 มีการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดใกล้เคียงกับสายต้น K51 ในฤดูฝน แต่มีการลดลงมากที่สุด ในฤดูแล้ง (ร้อยละ 15-43) แต่การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด

Table 1 List of variables used for correlation analysis.

Variable	Abbreviation	Unit	Source
Carbon storage in total biomass	C _{total}	kg/tree/year	Diloksumpun and Staporn (2009)
Mean leaf area index	LAI	m ² /m ²	
Light saturated net photosynthesis observed in the wet season	A _{wet}	μmol/m ² /s	Current study
Light saturated net photosynthesis observed in the dry season	A _{dry}	μmol/m ² /s	
Stomatal conductance observed in the wet season	g _{wet}	mol/m ² /s	
Stomatal conductance observed in the dry season	g _{dry}	mol/m ² /s	
Transpiration observed in the wet season (mmol/m ² /s)	E _{wet}	mmol/m ² /s	
Transpiration observed in the dry season	E _{dry}	mmol/m ² /s	
Leaf water-use efficiency observed in the wet season	WUE _{wet}	μmol [CO ₂]/mol [H ₂ O]	
Leaf water-use efficiency observed in the dry season	WUE _{dry}	μmol [CO ₂]/mol [H ₂ O]	

ของสายต้น K7 และ K58 มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองฤดู แสดงว่าการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของสายต้น K51, K58 และ K7 ทนต่อสภาพความเครียดเมื่อความชื้นลดลงได้ดีกว่าสายต้น K59 ซึ่งได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำในฤดูแล้งมากกว่า (Table 2) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของปัจจัยทางพันธุกรรมของยูคาลิปตัสในการปรับตัวทางสรีรวิทยา (physiological adaptability) ต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่นเดียวกับการแปรผันของลักษณะทางพันธุกรรมที่เกี่ยวข้องกับสมบัติในการสังเคราะห์แสงและลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซอื่นๆ ของใบที่ศึกษาพบในไม้กระถินณรงค์ กระถินเทพา และลูกผสมของไม้ทั้งสองชนิดนี้ (สาพิศ, 2545) ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกสายต้นยูคาลิปตัสให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกต่อไป

นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น ที่วัดในฤดูฝนซึ่งมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เหมาะสมต่อการ

สังเคราะห์แสง มีค่าสูง (16.9-22.2 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที) เมื่อเปรียบเทียบกับไม้พื้นเมืองของไทย เช่น แดง (*Xylia xylocarpa* var. *kerrii*) กาสามปีก (*Vitex peduncularis*) ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) อินทนิล (*Lagerstroemia* spp.) และกระบก (*Irvingia malayana*) ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 7-14 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที (สาพิศ และคณะ, 2547) แต่มีค่าใกล้เคียงกับไม้โตเร็วต่างถิ่นชนิดอื่นๆ เช่น กระถินณรงค์ และกระถินเทพา ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 21-25 ไมโครโมล/ตารางเมตร/วินาที (สาพิศ, 2545)

เป็นที่น่าแปลกใจว่าการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของใบยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ที่ปลูกบนคันนา แสดงการตอบสนองต่อฤดูแล้งไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างระหว่างฤดูกาลอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.306$) แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลและสายต้นมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อัตราการลดลงในฤดูแล้งโดยเฉลี่ยค่อนข้างน้อยไม่เกินร้อยละ 30 ของการสังเคราะห์แสงของใบในฤดูฝน (ยกเว้นสายต้น K59) ซึ่งถือว่า

น้อยกว่าต้นไม้ชนิดอื่นๆ ที่เคยศึกษาไว้เช่น กระดิน
ณรงค์ กระดินเทพา และลูกผสมของไม้ทั้งสองชนิดนี้
ที่ปลูกในเขตร้อนและแห้งแล้งในประเทศออสเตรเลีย
ที่มีการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูแล้งลดลง
มากกว่าร้อยละ 60 ของการสังเคราะห์แสงของใบใน
ฤดูฝน (สาพิศ, 2545) และลูกผสมของกระดินณรงค์
ที่ปลูกในแปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีการ
สังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดลดลงโดยเฉลี่ยในฤดูแล้ง

ประมาณร้อยละ 50 ของการสังเคราะห์แสงของใบใน
ฤดูฝน (Royampaeng, 2003) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า
ระดับน้ำใต้ดินของนาข้าวในฤดูแล้งอาจจะสูงกว่าใน
สวนป่าทั่วไป มีผลทำให้ไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา
ยังมีกิจกรรมการสังเคราะห์แสงได้ดีในช่วงฤดูแล้ง
โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายต้น K51, K58 และ K7 ซึ่งกิจกรรม
การสังเคราะห์แสงได้รับผลกระทบน้อยกว่าจากภาวะ
ขาดน้ำ

Table 2 Light-saturated net photosynthesis (A_{sat} , $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), stomatal conductance (g_s , $\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), transpiration (E , $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$), intrinsic water-use efficiency (WUE_i , $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$) of eucalypt clones planted on paddy bunds.

Clone	Season	A _{sat}		g _s		E		WUE _i	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Site I Ban Nhong Kanai									
K7	Dry	18.47 ^b	6.37	0.57 ^{bcd}	0.48	6.25 ^{bc}	3.27	70.80 ^{def}	8.37
K51		22.22 ^b	3.44	0.50 ^{abcde}	0.31	6.96 ^{bcd}	2.04	58.42 ^{bcd}	4.96
K58		16.45 ^{ab}	5.86	0.29 ^{ab}	0.14	4.98 ^{ab}	1.77	83.04 ^f	4.96
K59		17.55 ^{ab}	7.71	0.41 ^{abcd}	0.33	5.69 ^{ab}	3.09	79.55 ^{ef}	8.30
K7	Wet	18.99 ^b	1.20	0.99 ^g	0.11	9.21 ^d	1.04	21.12 ^a	3.92
K51		21.43 ^b	3.29	0.93 ^{fg}	0.13	8.95 ^d	1.19	23.05 ^a	1.32
K58		16.95 ^{ab}	1.93	0.45 ^{abcd}	0.11	7.04 ^{bcd}	1.05	40.17 ^{abcd}	5.73
K59		20.70 ^b	1.60	0.73 ^{defg}	0.07	8.47 ^{cd}	0.55	29.80 ^{ab}	4.62
Site II Ban Huai Pleek									
K7	Dry	19.73 ^b	3.09	0.49 ^{abcde}	0.21	6.85 ^{bcd}	1.21	49.61 ^{abcde}	11.99
K51		22.18 ^b	0.95	0.58 ^{bcd}	0.06	8.27 ^{cd}	0.96	40.67 ^{abcd}	5.57
K58		16.17 ^{ab}	3.34	0.29 ^{ab}	0.10	5.33 ^{ab}	0.95	67.52 ^{cdef}	11.72
K59		12.16 ^a	1.91	0.18 ^a	0.05	3.74 ^a	1.06	83.13 ^f	6.56
K7	Wet	18.14 ^b	2.56	0.78 ^{efg}	0.05	7.46 ^{bcd}	0.91	25.33 ^{ab}	2.77
K51		18.87 ^b	2.82	0.66 ^{cdef}	0.17	7.43 ^{bcd}	0.58	29.85 ^{ab}	4.79
K58		17.00 ^{ab}	0.80	0.33 ^{abc}	0.05	5.40 ^{ab}	0.46	53.20 ^{abcde}	6.87
K59		21.22 ^b	2.29	0.64 ^{cdef}	0.18	7.33 ^{bcd}	1.11	36.39 ^{abc}	8.90

Note: For each parameter, mean values followed by the same superscript letters are not significantly different ($p>0.05$).

ในทางตรงข้ามค่าการชักนำของปากใบ
และการคายน้ำมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติทั้งระหว่างสายต้นและระหว่างฤดูกาล ($p<0.01$)
(Table 2) แสดงให้เห็นว่าในฤดูแล้งอาจเกิดสภาพขาด
น้ำทั้งความชื้นในดิน และ/หรือ ความชื้นในอากาศส่ง
ผลกระทบต่อการปิดปากใบบางส่วน (stomatal partial

closure) เพื่อลดการสูญเสียในใบ จึงทำให้อัตรา
การคายน้ำของใบลดลง แต่การปิดปากใบบางส่วนนี้
ยังไม่มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการ
สังเคราะห์แสงของใบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพการ
ขาดน้ำยังไม่รุนแรงดังที่กล่าวแล้วข้างต้น หากสภาพการ
ขาดน้ำยังดำเนินต่อไปอาจทำให้กิจกรรมการสังเคราะห์

แสงของใบลดลงอย่างชัดเจนมากกว่านี้

เมื่อเปรียบเทียบค่าการชักนำของปากใบและการคายน้ำในสายต้นต่างๆ พบว่า สายต้น K51 และ K7 มีค่าการชักนำของปากใบและการคายน้ำสูงกว่าสายต้นอื่นๆ ทั้งสองฤดู ในทางตรงข้ามสายต้น K58 กลับมีค่าการชักนำของปากใบและการคายน้ำค่อนข้างต่ำ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้น้ำในรูปของ WUE_i ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงและการชักนำของปากใบ จึงพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างสายต้นและระหว่างฤดูกาล ($p < 0.01$) เช่นเดียวกับการชักนำของปากใบและการคายน้ำ โดยสายต้น K58 มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุดทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ยกเว้นในแปลงบ้านหนองนกเอี้ยงซึ่งประสิทธิภาพในการใช้น้ำของสายต้น K59 มีค่าสูงสุดในฤดูแล้ง รองลงมาคือสายต้น K58 ในขณะที่สายต้น K7 และ K51 มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำต่ำกว่าสายต้นอื่นๆ ทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง

นอกจากนี้ยังพบว่า ไม้ยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง แสดงให้เห็นว่าในฤดูแล้งเป็นภาวะที่ความชื้นในดิน และ/หรือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง ไม้ยูคาลิปตัสมีแนวโน้มปิดปากใบบางส่วนเพื่อลดการสูญเสีย น้ำ โดยผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของการลดลงของการชักนำของปากใบมีค่ามากกว่าการลดลงของกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบ โดยทั่วไปไม้ไผ่เร็วมีประสิทธิภาพในการใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น น้ำ ธาตุอาหารเพื่อการเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าไม้ไผ่ช้า จึงทำให้ไม้ไผ่เร็วมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงกว่าไม้ไผ่ช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่แห้งแล้งหรือขาดน้ำ (Poorter, 1989; Van den Boogaard *et al.*, 1996) นอกจากนี้ Ponton *et al.* (2002) ยังศึกษาพบว่า กล้าไม้สกุลก่อบางชนิด (*Quercus* spp.) ที่มีประสิทธิภาพของการใช้น้ำสูงมีอัตราการอยู่รอดและเติบโตได้ดีกว่ากล้าไม้ที่มีประสิทธิภาพของการใช้น้ำต่ำโดย

เฉพาะอย่างยิ่งในปีที่เกิดภาวะแห้งแล้ง ในการศึกษาครั้งนี้สายต้น K58 ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุดเป็นสายต้นที่มีผลผลิตมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าสายต้นอื่น ทั้งนี้ ความแปรผันของลักษณะทางสรีรวิทยาและการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมของไม้ยูคาลิปตัสที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันข้างต้น อาจมีส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของการเติบโต มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพทั้งหมดของไม้ยูคาลิปตัสและปัจจัยทางด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ (Table 3) พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์ทางบวก (positive correlation) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูฝน (WUE_{wet}) และดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) กล่าวคือเมื่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูฝน และ/หรือ ดัชนีพื้นที่เพิ่มขึ้น ทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น ในทางตรงข้ามปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางลบ (negative correlation) ต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ การชักนำของปากใบในฤดูแล้ง (g_{dry}) และฤดูฝน (g_{wet}) การคายน้ำในฤดูแล้ง (E_{dry}) และฤดูฝน (E_{wet}) และ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูแล้ง (A_{dry}) กล่าวคือ เมื่อปัจจัยเหล่านี้มีค่าลดลงทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่า g_{dry} ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดที่สุด ($r = -0.9156$, $p < 0.01$) กับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ดังแสดงใน Table 4 ทั้งนี้ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูฝน (A_{wet}) และประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูแล้ง (WUE_{dry}) ไม่มีความสัมพันธ์กับการกักเก็บคาร์บอนในมวล

ชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้
ยังพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง

ปัจจัยทางสรีรวิทยาที่นำมาวิเคราะห์ เช่น A_{dry} , g_{dry} ,
 E_{dry} เป็นต้น (Table 4)

Table 3 Summary of carbon storage in total biomass and related physiological variables of eucalypt clones planted on paddy bunds.

Clone	C_{total}^*	A_{wet}	A_{dry}	g_{wet}	g_{dry}	E_{wet}	E_{dry}	WUE_{wet}	WUE_{dry}	LAI^*
Site I Ban Nhong Kanai										
K7	3.69	18.99	18.47	0.99	0.57	9.21	6.25	21.12	70.80	2.32
K51	3.26	21.43	22.22	0.93	0.50	8.95	6.96	23.05	58.42	1.82
K58	6.24	16.95	16.45	0.45	0.29	7.04	4.98	40.17	83.04	2.55
K59	4.33	20.70	17.55	0.73	0.41	8.47	5.69	29.80	79.55	1.80
Site II Ban Huai Pleek										
K7	4.19	18.14	19.73	0.78	0.49	7.46	6.85	25.32	49.61	2.56
K51	3.34	18.87	22.18	0.66	0.57	7.43	8.26	29.85	40.67	2.32
K58	6.51	17.00	16.17	0.33	0.29	5.40	5.33	53.20	67.52	3.06
K59	6.00	21.22	12.16	0.64	0.18	7.33	3.74	36.39	83.13	1.87

Note: C_{total} – mean annual increment of carbon storage in total biomass (kg/tree/yr)
 A_{wet} , A_{dry} – light saturated net photosynthesis in the wet and dry seasons ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
 g_{wet} , g_{dry} – stomatal conductance in the wet and dry seasons ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
 E_{wet} , E_{dry} – transpiration in the wet and dry seasons ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$)
 WUE_{wet} , WUE_{dry} – leaf water-use efficiency in the wet and dry seasons ($\mu\text{mol} [\text{CO}_2]/\text{mol} [\text{H}_2\text{O}]$)
 LAI – mean leaf area index (m^2/m^2)
 * – data derived from Diloksumpun and Staporn (2009).

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า อัตราการเติบโต
สัมพันธ์มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการสังเคราะห์
แสงของพืช (Reich *et al.*, 1998) เช่นเดียวกับการศึกษา
ของ Sun (1986) ซึ่งพบว่า กล้าไม้ยูคาลิปตัส และ acacia
มีอัตราการเติบโตสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่นๆ ที่ศึกษาและ
อัตราการเติบโตของกล้าไม้เหล่านี้มีความสัมพันธ์
ทางบวกกับการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ แต่การ
เติบโตและมวลชีวภาพของไม้หลายชนิดก็ไม่ได้มีความ
สัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการสังเคราะห์
แสงสุทธิของใบ เช่น กระถินเทพา (Atipanumpai,
1989) กระถินณรงค์ (Cole *et al.*, 1994) สำหรับการ
ศึกษาครั้งนี้การเติบโตของยูคาลิปตัสในรูปของความ
เพิ่มพูนของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพกลับ

มีความสัมพันธ์ในทางลบการสังเคราะห์แสงสุทธิ
สูงสุดที่วัดในฤดูแล้ง อาจเนื่องมาจากการกักเก็บ
คาร์บอนในมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์ทางลบอย่าง
ใกล้ชิดที่สุดกับการชักนำของปากใบในฤดูแล้งดังที่
กล่าวแล้วข้างต้น ทั้งนี้ ในฤดูแล้งการชักนำของปาก
ใบมีค่าลดลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากใบซึ่งมีอิทธิพล
ทำให้การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดลดลงอย่างมีนัย
สำคัญยิ่งทางสถิติ ($r = -0.8886$, $p < 0.01$) แต่อัตราการลดลง
ของการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเป็นสัดส่วนที่น้อย
กว่าการลดลงของการชักนำของปากใบ จึงทำให้
ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในฤดูแล้ง
(Table 2) อย่างไรก็ตาม การกักเก็บคาร์บอนในมวล
ชีวภาพไม่ได้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้น้ำ

น้ำในฤดูแล้ง ในทางตรงข้าม การกักเก็บคาร์บอนใน กับประสิทธิภาพการใช้น้ำในฤดูฝน
มวลชีวภาพกลับมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างใกล้ชิด

Table 4 Summary of correlation analysis among carbon storage in biomass and related physiological variables of eucalypt clones planted on paddy bunds.

Variables	A _{wet}	A _{dry}	g _{wet}	g _{dry}	E _{wet}	E _{dry}	WUE _{wet}	WUE _{dry}	LAI
C _{total}	-0.4381 ^{ns}	-0.8323 ^{**}	-0.8357 ^{**}	-0.9156 ^{**}	-0.7635 [*]	-0.8213 [*]	0.8772 ^{**}	0.6376 ^{ns}	0.7113 [*]
A _{wet}		0.0273 ^{ns}	0.6065 ^{ns}	0.0524 ^{ns}	0.6372 ^{ns}	-0.0474 ^{ns}	-0.5213 ^{ns}	0.1073 ^{ns}	-0.9388 ^{**}
A _{dry}			0.4765 ^{ns}	0.8886 ^{**}	0.4028 ^{ns}	0.959 ^{**}	-0.5626 ^{ns}	-0.8074 [*]	-0.0492 ^{ns}
g _{wet}				0.6818 ^{ns}	0.93 ^{**}	0.4151 ^{ns}	-0.955 ^{**}	-0.2481 ^{ns}	-0.6074 ^{ns}
g _{dry}					0.5888 ^{ns}	0.9101 ^{**}	-0.7409 [*]	-0.7178 [*]	-0.0853 ^{ns}
E _{wet}						0.3008 ^{ns}	-0.9148 ^{**}	-0.0142 ^{ns}	-0.7344 [*]
E _{dry}							-0.5197 ^{ns}	-0.8997 ^{**}	0.0401 ^{ns}
WUE _{wet}								0.3355 ^{ns}	0.5995 ^{ns}
WUE _{dry}									-0.1976 ^{ns}

Note: C_{total} – mean annual increment of carbon storage in total biomass (kg/tree/yr)
A_{wet}, A_{dry} – light saturated net photosynthesis in the wet and dry seasons (μmol/m²/s)
g_{wet}, g_{dry} – stomatal conductance in the wet and dry seasons (mol/m²/s)
E_{wet}, E_{dry} – transpiration in the dry seasons (mmol/m²/s)
WUE_{wet}, WUE_{dry} – leaf water-use efficiency in the wet and dry seasons (μmol [CO₂]/mol [H₂O])
LAI – mean leaf area index (m²/m²)
ns – not statistically significant
* – statistically significant at p<0.05
** – statistically significant at p<0.01

อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาคือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสูญเสียจากใบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ได้แก่ การชักนำของปากใบ และการคายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำอย่างเกินความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง หากสายต้นใดสามารถควบคุมการปิด-เปิดของปากใบเพื่อลดการคายน้ำได้มากย่อมทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบ ซึ่งมีผลทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

เพิ่มขึ้น เช่น สายต้น K58 ซึ่งเป็นสายต้นที่มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพสูงสุด มีการชักนำของปากใบและการคายน้ำต่ำที่สุดในฤดูฝนทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด สอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ศึกษาโดยเจษฎา (2552) โดยเปรียบเทียบการเติบโตและประสิทธิภาพการใช้น้ำ ในรูปอัตราส่วนของผลผลิตต่อการใช้ น้ำของลำต้นยูคาลิปตัสในแปลงทดลองเดียวกันแต่ศึกษาเพียงแปลงทดลองละ 3 สายต้น โดยในแปลงบ้านห้วยปลีก พบว่าสายต้น K58 มีการเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด รองลง

มาคือสายคัน K7 และ K51 ตามลำดับ และในแปลงบ้านหนองกาใน พบว่า สายคัน K59 มีการเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด รองลงมาคือสายคัน K7 และ K51 ตามลำดับ

นอกจากลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบข้างต้นที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสแล้ว ดัชนีพื้นที่ใบซึ่งเป็นปัจจัยที่บ่งชี้ถึงลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดของต้นไม้ก็นับเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัสที่ศึกษาในครั้งนี้ โดยไม้ยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายคันที่ศึกษามีพื้นฐานทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันทำให้มีลักษณะทรงพุ่มของเรือนยอด ตลอดจนลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดและการจัดเรียงตัวของใบภายในเรือนยอดแตกต่างกัน โดยความแตกต่างดังกล่าวทำให้ไม้ยูคาลิปตัสสายคันต่างๆ ที่ศึกษามีศักยภาพในการรับแสงเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงแตกต่างกันด้วยเช่นกัน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าดัชนีพื้นที่ใบเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตและผลผลิตของต้นไม้ เช่น ที่ศึกษาพบในไม้ไผ่เร็วบางชนิด รวมทั้งไม้ยูคาลิปตัสคามาลคูเลนซิส (Pipatwattanakul, 1996; Royampaeng, 2001) เช่นเดียวกับการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งพบว่าไม้ยูคาลิปตัสสายคัน K58 มีดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดแสดงว่ามีลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดที่มีประสิทธิภาพการรับแสงจึงทำให้มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้สูงสุดเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายคันที่ปลูกบนคันนาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงความแปรผันในการปรับตัวทางสรีรวิทยาต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบเนื่องมาจากความแตกต่างของลักษณะพื้นฐานทางพันธุกรรม โดยในฤดูแล้งเป็นภาวะ

ที่ความชื้นในดิน และ/หรือ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงและชักนำให้เกิดการปิดปากใบบางส่วนเพื่อลดการสูญเสียของใบจากการคายน้ำ แต่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบ จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในฤดูแล้ง การศึกษาครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นถึงบทบาทของลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบที่มีต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ โดยปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาคือปัจจัยที่ควบคุมการสูญเสียน้ำได้แก่การชักนำของปากใบ และการคายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำอย่างเกินความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง สายคันที่สามารถควบคุมการปิด-เปิดของปากใบเพื่อลดการคายน้ำได้ดีทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบสูงจะมีการเติบโตเร็วและมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพได้มาก นอกจากนี้ ดัชนีพื้นที่ใบซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดที่มีประสิทธิภาพการรับแสงเพื่อสร้างผลผลิตของต้นไม้ก็นับเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัสที่ศึกษาในครั้งนี้

คำนิยาม

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการวิจัยเรื่องการวิจัยบูรณาการแก้ปัญหาความยากจนโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ที่ดินโดยปลูกไม้โตเร็ว ซึ่งมี ดร.บุญวงศ์ ไทยอุดสาห์ เป็นหัวหน้าชุดโครงการวิจัย ดร. นิคม แผลมสั๊ก ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้ประสานงานวิจัย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้การสนับสนุนการปฏิบัติงานภาคสนามของบริษัท พี ซี เอส แมนเนจเม้นท์ จำกัด บริษัทสมาชิกส่งเสริม จำกัด และบริษัทยูคาลิปตัส เทคโนโลยี จำกัด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กองคุ้มครองพันธุ์พืช. 2549. ประกาศคำขอพันธุ์พืช
ขึ้นทะเบียน. ที่มา [http://as.doa.go.th/pvp/
newpp1.htm](http://as.doa.go.th/pvp/newpp1.htm), 14 มิถุนายน 2550.
- เจษฎา วงศ์พรหม. 2552. การใช้น้ำและประสิทธิภาพ
การใช้น้ำของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้นที่ปลูก
บนคันนา จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ. 2550. การกักเก็บคาร์บอนของ
ป่าไม้กับสภาวะโลกร้อน.วารสารอนุรักษ์ดิน
และน้ำ 22 (3): 40-49.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ, ภาณุมาศ ลาตปลาละ และเจษฎา
เหลือแยม. 2547. การดูดซับก๊าซคาร์บอน
ไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ.
ใน เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยน
แปลงภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการ
เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรมอุทยาน
แห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ
- สาพิศ ร้อยอำแพง. 2545. การเจริญเติบโตและลักษณะ
ทางสรีรวิทยาของลูกผสมไม้กระถินณรงค์
และไม้กระถินเทพา, น. 370-382. ใน รายงาน
การประชุมทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 7. ณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างวันที่ 12-14
ธันวาคม 2545. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- Atipanumpai, L. 1989. *Acacia mangium*: studies on
the genetic variation in ecological and
physiological characteristics of fast-growing
plantation tree species. **Acta Forestalia
Fennica** 206, 90 p.
- Buckley, L. 2007. Carbon emissions reach record high.
Available Source: [http://www.earth-policy.
org/Indicators/CO2/2004.htm](http://www.earth-policy.org/Indicators/CO2/2004.htm), July 12, 2007.
- Chaisalee, N. 2000. **Leaf Morphology, Gas Exchange
Characteristics and Water Deficit Responses
of Four Tropical Tree Species**. M.S. Thesis.
Kasetsart University, Bangkok.
- Cole, S. P., K. C. Woo, D. Eamus, C. E. Harwood
and M. W. Haines. 1994. Field measurements
of net photosynthesis and related parameters
in four provenances of *Acacia auriculiformis*.
Australian Journal of Botany 42: 457-470.
- Comstock, J., and J. Ehleringer. 1992. Correlating genetic
variation in carbon isotopic composition with
complex climatic gradients. **Proceedings
of the National Academy of Science USA**
89: 7747-7751.
- Levin, K. and J. Pershing. 2008. **WRI Issue Brief:
Climate Science 2007- Major New Discoveries**.
World Resources Institute, Washington, DC.
- Pipatwattanakul, D. 1996. An analysis of the functional
and structural basis of the yield in *Eucalyptus
camaldulensis* progenies grown in Thailand.
Tropical Forestry Reports 12. University
of Helsinki, Finland.
- Ponton, S., J. Dupouey, N. Bréda and E. Dreyer. 2002.
Comparison of water-use efficiency of
seedlings from two sympatric oak species:
genotype $\times$ environment interactions. **Tree
Physiology** 22: 413-422.
- Poorter, H. 1989. Interspecific variation in relative growth
rate on ecological causes and physiological
consequences, pp. 45-68. In H. Lambers,
M.L. Cambridge, H. Konings and T.L. Pons,
eds. **Causes and Consequences of Variation
in Growth Rate and Productivity of Higher
Plants**. SPB Academic Publishing bv, The
Hague.

- Reich, P. B., M. B. Walters, M. G. Tjoelker, D. W. Vanderklein and C. Buschena. 1998. Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. **Functional Ecology** 12: 395-405.
- Royampaeng, S. 2001. **Physiology of Intraspecific and Interspecific Hybrids of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.** Ph.D. Thesis. Northern Territory University, Darwin, Australia.
- Royampaeng, S. 2003. Genetic variation in growth and physiological characteristics of intraspecific and interspecific hybrids of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. **Final Report for Small Project Award for John Allwright Fellowship Returnees.** ACIAR, Canberra.
- Sun, J. 1986. Relationship between chlorophyll content, photosynthesis, and biomass production in *Acacia* and *Eucalyptus* seedlings, pp. 139-142. In J.W. Turnbull, ed. **Australian Acacias in Developing Countries.** ACIAR Proceedings No. 16. ACIAR, Canberra.
- Van den Boogaard, R., S. Goubitz, E. J. Veneklaas and H. Lambers. 1996. Carbon and nitrogen economy of four *Triticum aestivum* cultivars differing in relative growth rate and water use efficiency. **Plant, Cell and Environment** 19: 998-1004.
-