

## นิพนธ์ต้นฉบับ

การเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้าไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น  
ภายใต้ความเข้มแสงที่ต่างกัน**Growth Performance and Physiological Characteristics of Four Clones of  
Eucalypt Seedlings under Different Light Intensities**นรากร ศรีเลิศ  
สาพิศ ดิลกสัมพันธ์Narakorn Srilert  
Sapit Diloksumpunคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
Faculty of Forestry, Kasetsart University Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand  
E-mail: narakors@scg.co.th

รับต้นฉบับ 7 สิงหาคม 2553

รับลงพิมพ์ 6 ตุลาคม 2553

**ABSTRACT**

The growth performance and physiological characteristics of four clones of eucalypt seedlings were studied under different light conditions at the nursery in the Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok. A  $4 \times 2$  factorial design in RCBD with two factors namely, four clones of eucalypt (K7, K51, K59 and K7) and two light intensities (30 and 100%) was applied with three replications. Growth, biomass, leaf chlorophyll content and photosynthetic light response were undertaken six months after the experiment.

The results showed that the growth and seedling biomass of various parts except for leaf and root biomass were significantly influenced by light intensity, while only the height growth and leaf and root biomass were significantly different among clones. Differences in the shoot/root ratio were also significant among clones, indicating variation in seedling form due to genetic background. The leaf chlorophyll analysis showed a significant difference between clones, and seedlings raised under low light conditions had greater leaf chlorophyll content compared with those under full sunlight. There was also a clear difference due to the interaction between light intensities and clones.

The analysis of photosynthetic light response indicated similar patterns among treatments but the light-saturated gross photosynthesis varied significantly with light conditions and clones. In contrast, dark respiration only responded noticeably to light intensities. The findings suggest that clone K7 tended to be more shade tolerant compared with the others, thereby making it more suitable to be planted with narrow spacing and/or in a shady environment.

**Keywords:** growth and physiology, eucalypt seedling, light intensity

## บทคัดย่อ

การเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของกล้าไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้นที่ปลูกอยู่ภายใต้ความเข้มแสงต่างกัน ได้ทำการศึกษาในเรือนเพาะชำที่คณะวนศาสตร์ โดยศึกษาการเติบโตของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (4 x 2 factorial design in RCBD) มี 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ ยูคาลิปตัส 4 สายต้น (K7, K51, K58 และ K59) และปัจจัยที่สองคือ ระดับความเข้มแสงในเรือนเพาะชำ 2 ระดับ (ความเข้มแสงปกติ หรือร้อยละ 100 และความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ) จำนวน 3 ซ้ำ เก็บข้อมูลการเติบโต มวลชีวภาพ ปริมาณคลอโรฟิลล์และการตอบสนองของการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงภายหลังจากการทดลอง 6 เดือน

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อการเติบโตและมวลชีวภาพส่วนต่างๆ (ยกเว้นมวลชีวภาพของใบและราก) ของกล้าไม้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความแตกต่างของสายต้นมีอิทธิพลต่อการเติบโตทางความสูงและมวลชีวภาพของกิ่ง ใบและรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่างลำต้นต่อราก (shoot/root ratio) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากอิทธิพลของสายต้นเท่านั้น แสดงให้เห็นถึงการแปรผันของลักษณะรูปทรงของกล้าไม้จากลักษณะทางพันธุกรรม

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายต้น และกล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงต่ำมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่ากล้าไม้ที่ได้รับแสงเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้การตอบสนองดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างสายต้น

จากการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงพบว่ารูปแบบการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงมีลักษณะคล้ายคลึงกัน แต่อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมีการแปรผันเนื่องจากอิทธิพลของความเข้มแสงและสายต้น ในขณะที่ความแตกต่างของการหายใจในที่มืดเกิดจากความแตกต่างของความเข้มแสงเท่านั้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสายต้น K7 มีแนวโน้มที่ทนร่มได้ดีกว่าสายต้นอื่น สามารถนำไปปลูกด้วยระยะปลูกที่แคบ และ/หรือภายใต้ร่มเงาได้ดี

**คำสำคัญ:** การเติบโตและสรีรวิทยา, กล้าไม้ยูคาลิปตัส, ความเข้มแสง

## คำนำ

ลักษณะการเติบโตของกล้าไม้เป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการจัดการสวนป่า เพราะกล้าไม้แต่ละชนิดมีการเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาที่ต่างกัน วนวัฒนวิธีเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการสวนป่าโดยต้องเข้าใจถึงลักษณะเฉพาะการเติบโตของกล้าไม้แต่ละชนิดซึ่งส่งผลต่อผลผลิตมวลชีวภาพของกล้าไม้ นอกจากนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยแวดล้อมต่างๆ และการประยุกต์ใช้วิธีการให้เหมาะสมกับระบบนิเวศนั้นๆ (Messier *et al.*, 1999) โดยทั่วไปการเติบโตของกล้าไม้ถูกควบคุมโดย 3 ปัจจัยคือ ปัจจัยทางพันธุกรรม ปัจจัยภายในของพืช และปัจจัยเกี่ยวกับ

สิ่งแวดล้อม (สมบุญ, 2544) กระบวนการทางสรีรวิทยาของต้นไม้สำหรับการสร้างอาหารและการใช้พลังงานเพื่อการเติบโตที่สำคัญ ได้แก่ การสังเคราะห์แสง ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมอัน ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้นบรรยากาศ ปริมาณน้ำ ดินและธาตุอาหาร เป็นต้น

แสงเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของต้นไม้ ทั้งคุณภาพแสง (wave length) ความเข้มแสง (light intensity) และช่วงเวลาที่มีแสง (photoperiod) (Devlin and Barker, 1971) โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มแสง โดยทั่วไปอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น จนถึงจุดอิ่มตัวของแสง (light saturation) อัตราการ

สังเคราะห์จะเริ่มคงที่เรียกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด (light saturated photosynthesis) พรรณไม้แต่ละชนิดมีจุดอิ่มตัวของแสงที่ต่างกัน โดยทั่วไปพรรณไม้ที่ต้องการแสงจะมีจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่าต้นไม้ที่ทนร่ม แต่ที่ระดับความเข้มแสงต่ำอัตราการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ที่ทนร่มจะมีค่าสูงกว่าต้นไม้ที่ต้องการแสง (Bidwell, 1974) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความเข้มแสงอิ่มตัวของพรรณไม้ในเขตร้อนมีค่าระหว่าง 600 - 800 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที หรือมีปริมาณเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับเต็มที่และมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดแตกต่างกันตามชนิดไม้ (สาพิศ และลดาวัลย์, 2539; ลดาวัลย์, 2544; สาพิศ, 2545; Larcher, 1995) จากการศึกษาของสาพิศและคณะ (2549) พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของไม้เด่นของป่าดิบแล้ง สะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง มีค่าสูงกว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของไม้รุ่นที่เติบโตอยู่ภายใต้ร่มเงาของไม้เด่น นอกจากนี้ Kawai and Shikans (1972) ยังพบว่าการลดความเข้มแสงลง หรือพรางแสงให้แก่พืชจะส่งผลทำให้ความกว้างและความยาวใบตลอดจนความยาวของกิ่งก้านของพืชเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่พืชได้รับแสงมากเกินไปก็มีผลต่อการเติบโตโดยทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลายจนอาจเกิดอาการคลอโรซิส (chlorosis) (Carol, 1994) ในขณะที่ Joiner *et al.* (1980) ศึกษาผลกระทบของความเข้มแสงกับไทร้อยใบแหลม อายุ 7 เดือน พบว่ากลุ่มที่พรางแสงร้อยละ 47 ของความเข้มแสงปกติ มี growth index สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับแสงอย่างเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญและทำให้น้ำหนักสดของใบ ขนาดของลำต้น จำนวนคลอโรฟิลล์ สูงกว่าอีกด้วย

ยูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่งในปัจจุบันได้มีการส่งเสริมให้ปลูกเป็นสวนป่ามากยิ่งขึ้น เนื่องจากเนื้อไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง กอปรกับในปัจจุบันยูคาลิปตัสได้รับการพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์เพื่อหลักลักษณะทางพันธุกรรมที่เหมาะสม

สมกับสภาพพื้นที่ในประเทศไทยและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ทั้งนี้ลักษณะทางพันธุกรรมที่แตกต่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งความแตกต่างระหว่างสายต้น (clone) เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการแปรผันของการเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส ในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาถึงการแปรผันของลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ โดยเน้นการแปรผันของการเติบโต การตอบสนองของแสงต่อการสังเคราะห์แสงและปริมาณคลอโรฟิลล์ ต่อความเข้มแสงที่ต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการคัดเลือกสายต้นยูคาลิปตัสเพื่อใช้ในการจัดการตามวัตถุประสงค์ต่อไป

## อุปกรณ์และวิธีการ

### สายต้นยูคาลิปตัสที่ศึกษา

ในการศึกษานี้ ทำการศึกษาสายต้นของยูคาลิปตัสที่ใช้เพื่อการค้าของบริษัท ยูคาลิปตัสเทคโนโลยี จำกัด จำนวน 4 สายต้น ได้แก่

สายต้น K7 ซึ่งพัฒนาพันธุ์จากยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) กับยูคาลิปตัส คีกลูปต้า (*Eucalyptus deglupta*) สายต้น K51 ซึ่งพัฒนาพันธุ์จากยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*E. camaldulensis*) สายต้น K58 ซึ่งพัฒนาพันธุ์จากยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า (*Eucalyptus urophylla*) และสายต้น K59 ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่าง ยูคาลิปตัส แกรนด์ซิส (*Eucalyptus grandis*) กับยูคาลิปตัส เบรสเซียน่า (*Eucalyptus brassiana*)

### การวางแผนการทดลอง

นำกล้าไม้ทั้ง 4 สายต้นมาปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว จำนวน 240 ต้น สายต้นละ 60 ต้นในเรือนเพาะชำของคณะวนศาสตร์ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (4 x 2 factorial designs in RCBD) มี 2 ปัจจัย โดยที่ปัจจัยแรกคือ ยูคาลิปตัส 4 สายต้น (K7, K51, K58, K59) และปัจจัยที่สองคือ

ระดับความเข้มแสงในเรือนเพาะชำ 2 ระดับ (ร้อยละ 30 และ 100 ของความเข้มแสงปกติ) จำนวน 3 ซ้ำ (replication)

### การเก็บข้อมูลการเติบโต

ทำการเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ความสูง ของกล้าไม้ยูคาลิปตัสภายหลังจากการทดลองได้ 6 เดือน

### การศึกษามวลชีวภาพ

หลังจากการทดลองเป็นเวลา 6 เดือน ทำการค่นกล้าไม้จากสิ่งทดลองทั้งสอง โดยเลือกกล้าไม้ตัวอย่างจาก 4 สายต้น สายต้นละ 3 ต้นต่อสิ่งทดลองจำนวนทั้ง 3 ซ้ำ จะได้ต้นไม้ทั้งหมด 72 ต้น วัดความสูงทั้งหมด วัดความโตที่ระดับซิคคิน และตัดกล้าไม้เพื่อแยกส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ชั่งน้ำหนักสดและนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งและคำนวณอัตราส่วนของลำต้นต่อราก (shoot/root ratio)

### ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

การสร้างสมการคลอโรฟิลล์มาตรฐาน ทำการเลือกใบตัวอย่างของยูคาลิปตัสแต่ละสายต้นให้มีระดับความเข้มของสีใบต่างกัน (ใบอ่อนจนถึงใบแก่สีเขียว) ประมาณ 12 - 25 ตัวอย่างต่อสายต้น วัดความเขียวของใบด้วยเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD - 502 และนำไปวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวทำละลาย dimethyl sulfoxide (DMSO) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อสร้างสมการคลอโรฟิลล์ตามวิธีการของสาพิศ และคณะ (2549) ซึ่งได้สมการคลอโรฟิลล์มาตรฐานดัง Table 1

**Table 1** Standard chlorophyll equations to estimate leaf total chlorophyll of four eucalypt clones under different light conditions, six months after the experiment.

Clone	Equation	R <sup>2</sup>
K7	Chl = 0.0044(SPAD <sup>2</sup> ) + 0.0126(SPAD) + 0.2519	0.9700
K51	Chl = -0.0010(SPAD <sup>2</sup> ) + 0.2410(SPAD) - 1.8120	0.8161
K58	Chl = 0.6955e <sup>0.0607(SPAD)</sup>	0.9627
K59	Chl = 0.0028(SPAD <sup>2</sup> ) + 0.0001(SPAD) + 1.4497	0.8875

**Note:** Chl: leaf chlorophyll content (mg/dm<sup>2</sup>); SPAD: leaf greenness.

การเก็บข้อมูลปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเลือกใบตัวอย่าง 5 ใบต่อต้น วัดค่าความเขียวของใบด้วยเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD - 502 ทุกต้น โดยทำการวัดในเดือนที่ 6 เดือนภายหลังจากการทดลอง

### การศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณความเข้มแสง

ศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์

แสงต่อปริมาณความเข้มแสง (photosynthetic light response) โดยเลือกวัดตัวอย่างใบที่มีสุขภาพดี มีการเติบโตเต็มที่ ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป (mature leaf) จำนวนซ้ำละ 1 ต้น ต้นละ 1 ใบ ด้วยเครื่องวัดการสังเคราะห์แสงแบบนำเคลื่อนที่ได้ LI - 6400 Portable Photosynthesis System (Li - Cor, USA) โดยติดตั้งเครื่องกำเนิดแสง (light source) เข้ากับ leaf chamber เริ่มวัดอัตราการสังเคราะห์แสงที่ระดับความเข้มแสง

8 ระดับ ได้แก่ 2,000 1,500 1,000 500 300 150 50 และ 0 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

วิเคราะห์การตอบสนองของการสังเคราะห์แสงสุทธิต่อความเข้มแสงของข้อมูลในแต่ละใบ โดยใช้ความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้น (non - linear regression) ตามรูปแบบสมการ asymptotic exponential (Boot and Loomis, 1991) ดังนี้

$$P_n = P_{\max} \left[ 1 - e^{\left( \frac{-\Phi \text{PPFD}}{P_{\max}} \right)} \right] - R_d$$

โดยที่

$P_n$  คืออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

PPFD คือความเข้มแสง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

$P_{\max}$  คืออัตราการสังเคราะห์แสงรวมที่จุดอิ่มตัวของแสง (light - saturated gross photosynthesis) (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

$\Phi$  คือ quantum yield เป็นค่าที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของการใช้แสงที่ระดับความเข้มแสงต่ำ

$R_d$  คืออัตราการหายใจในที่มีด (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)   
 นำค่าคงที่ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแต่ละสายต้นในแต่ละระดับความเข้มแสง

### วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างสายต้นและความเข้มแสงของตัวแปรต่างๆ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตามวิธีการ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

## ผลและวิจารณ์

### การเติบโต

#### ความโต

จากการวิเคราะห์ความโตที่ระดับคอรากของแต่ละสายต้นหลังจากการทดลองได้ 6 เดือน พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายต้นและความเข้มแสงต่อความโตที่ระดับคอรากมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.75$ ) สายต้นที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีขนาดความโตที่ระดับคอรากมากกว่าสายต้นที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) โดย K51 มีขนาดความโตที่ระดับคอรากภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มากที่สุดรองลงมาคือ K59 K7 และ K58 ซึ่งมีขนาดความโตเท่ากับ 1.13, 1.12, 1.09 และ 1.07 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2) ในขณะที่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K51 มีขนาดความโตที่ระดับคอรากมากที่สุดรองลงมาคือ K7 K59 และ K58 โดยมีค่าเท่ากับ 0.97, 0.95, 0.94 และ 0.91 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ความแตกต่างระหว่างสายต้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.052$ ) ทั้งนี้กล้าไม้ทั้ง 4 สายต้นที่เติบโตภายใต้ความเข้มแสงปกติ และความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติจากการศึกษาครั้งนี้มีค่ามากกว่ากล้าไม้ยูคาลิปตัส เกรนดิส อายุ 1 ปีที่ ชัชวาลย์ (2523) ได้ศึกษาไว้โดยมีค่าเพียง 0.59 เซนติเมตร นอกจากนี้ Joiner *et al.* (1980) ศึกษาพบว่าไทร้อยใบแหลม อายุ 7 เดือน ของกลุ่มที่พรางแสงร้อยละ 47 ของความเข้มแสงปกติมี growth index สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับแสงอย่างเต็มที่อย่างมีนัยสำคัญ

**Table 2** Growth and biomass of four eucalypt clones under different light conditions, six months after the experiment.

Clone	Light intensity (% of full sunlight)	Growth					Biomass (g)			Shoot/Root Ratio
		Do (cm)	Height (cm)	Stem	Branch	Leaf	Root	Total		
K7	100	1.09 ± 0.08	154.77 ± 10.32	8.7 ± 1.3	3.2 ± 1.0	7.9 ± 1.2	10.5 ± 2.9	30.3 ± 5.0	1.98 ± 0.54	
	30	0.95 ± 0.08	137.93 ± 11.43	6.7 ± 1.4	2.1 ± 0.6	5.7 ± 2.2	10.9 ± 2.0	25.3 ± 5.6	1.32 ± 0.19	
	100	1.13 ± 0.10	182.33 ± 12.95	8.9 ± 2.4	2.3 ± 0.6	6.8 ± 2.0	10.3 ± 4.2	28.4 ± 5.4	1.98 ± 0.94	
K51	30	0.97 ± 0.11	151.63 ± 19.93	6.4 ± 1.1	1.5 ± 0.3	6.0 ± 2.3	7.7 ± 2.0	21.6 ± 4.6	1.81 ± 0.23	
	100	1.07 ± 0.12	149.83 ± 14.99	8.8 ± 1.8	3.5 ± 0.6	10.8 ± 2.0	7.3 ± 2.5	30.5 ± 5.1	3.40 ± 1.17	
K58	30	0.91 ± 0.10	148.77 ± 14.25	7.9 ± 4.2	3.0 ± 1.6	9.6 ± 7.7	5.8 ± 1.5	26.3 ± 12.8	3.51 ± 0.38	
	100	1.12 ± 0.07	190.83 ± 13.85	10.3 ± 2.0	3.8 ± 1.8	7.3 ± 2.0	9.4 ± 4.6	30.8 ± 6.0	2.74 ± 1.47	
K59	30	0.94 ± 0.13	150.40 ± 15.49	7.1 ± 1.4	2.5 ± 0.7	5.5 ± 1.4	6.9 ± 1.4	22.0 ± 3.8	2.18 ± 0.35	
	100	1.05 ± 0.10	150.40 ± 15.49	7.1 ± 1.4	2.5 ± 0.7	5.5 ± 1.4	6.9 ± 1.4	22.0 ± 3.8	2.18 ± 0.35	
p-value		0.052 <sup>ns</sup>	0.0001**	0.104 <sup>ns</sup>	0.0001**	0.005**	0.022*	0.158 <sup>ns</sup>	0.001**	
Clone		0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.0001**	0.052 <sup>ns</sup>	0.080 <sup>ns</sup>	0.0001**	0.22 <sup>ns</sup>	
Light		0.749 <sup>ns</sup>	0.005**	0.125 <sup>ns</sup>	0.133 <sup>ns</sup>	0.908 <sup>ns</sup>	0.570 <sup>ns</sup>	0.456 <sup>ns</sup>	0.68 <sup>ns</sup>	
Clone X Light										

**Note:** Do: diameter at root collar; <sup>ns</sup>: non-significant difference at p-value ≥ 0.05; \*: significant difference at p-value < 0.05; \*\*: highly significant difference at p-value < 0.01.

### ความสูง

ภายหลังการทดลองได้ 6 เดือน พบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงและสายต้น มีอิทธิพลต่อความสูงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) กล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ จะมีความสูงที่มากกว่าความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) ในทุกสายต้นและค่าความสูงของกล้าไม้ได้รับอิทธิพลของความเข้มแสงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.0001$ ) จากการเปรียบเทียบกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้แสงปกติ (ร้อยละ 100) พบว่า K59 เป็นสายต้นที่มีความสูงมากที่สุด รองลงมาคือ K51 K7 และ K58 โดยมีความสูงเท่ากับ 190, 182, 154 และ 149 เซนติเมตรตามลำดับ (Table 2) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกล้าไม้ยูคาลิปตัส ซิตรโอ โครว่า อายุ 1 ปีโดยมีความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 1.87 เซนติเมตร ส่วนกล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ K51 เป็นสายต้นที่มีความสูงมากที่สุดรองลงมาคือ K59 K58 และ K7 โดยมีความสูงเท่ากับ 151.63, 150.40, 148.77 และ 137.93 เซนติเมตรตามลำดับ และความแตกต่างระหว่างสายต้นมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ )

### มวลชีวภาพ

เมื่อพิจารณามวลชีวภาพรวมพบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายต้นและความเข้มแสงไม่มีอิทธิพลต่อมวลชีวภาพของกล้าไม้ แต่ความเข้มแสงที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพลำต้น กิ่ง และมวลชีวภาพรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) ในขณะที่อิทธิพลของสายต้นส่งผลต่อมวลชีวภาพของกิ่ง และใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ส่วนรากแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.022$ ) กล้าไม้ทุกสายต้นภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีมวลชีวภาพรวมมากกว่ากล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ และเมื่อเปรียบเทียบกล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) K59 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพรวมมากที่สุด รองลงมาคือ K58 K7 และ K51 โดย

มีค่า 30.8, 30.5, 30.3 และ 28.4 กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K58 มีมวลชีวภาพรวมมากที่สุดรองลงมาคือ K7 K59 และ K51 มีค่าเท่ากับ 26.3, 25.3, 22.0 และ 21.6 กรัม ตามลำดับ (Table 2)

จากการเติบโตข้างต้นพบว่า มวลชีวภาพของกล้าไม้ได้รับผลกระทบโดยตรงจากความเข้มแสง โดยที่ความเข้มแสงมาก ทำให้การเติบโตทางความโตมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง รวมถึงมวลชีวภาพรวมมีค่ามากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้แสงที่น้อยกว่า ทั้งนี้ ลำต้นที่ต่างกันก็ทำให้มวลชีวภาพในส่วนของกิ่ง ใบและรากมีความต่างกัน เนื่องจากในแต่ละสายต้นมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของในแต่ละสายต้น ในขณะที่การเติบโตทางความสูงมีลักษณะในทางตรงข้าม คือกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงต่ำมีความสูงมากกว่าแต่มีลักษณะอวบน้ำ จึงทำให้เมื่อเทียบน้ำหนักแห้งจึงมีน้ำหนักน้อยกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Mitchell and Hinckley (1993) พบว่าในความเข้มแสงต่ำกล้าไม้จะมีการเติบโตในส่วนของลำต้นในระยะแรกได้ดีแต่เมื่อได้รับความเข้มแสงต่ำติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้การเติบโตของกล้าไม้น้อยกว่ากล้าไม้ที่ได้รับแสงเต็มที่

#### อัตราส่วนของลำต้นต่อราก (shoot/root ratio)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ปฏิสัมพันธ์ของความเข้มแสงกับสายต้นมีอิทธิพลต่ออัตราส่วนลำต้นต่อรากอย่างไม่มีนัยสำคัญ (Table 2) ความเข้มแสงมีอิทธิพลต่ออัตราส่วน shoot/root ratio อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบในที่มีความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) K58 เป็นสายต้นที่มีค่า shoot/root ratio สูงที่สุด (3.40) รองลงมาคือ K59 และ K7 กับ K51 มีสัดส่วน เท่ากัน (1.98) ส่วนในความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ K58 มีค่า shoot/root ratio สูงที่สุดเช่นกัน (3.51) ส่วน K7 มีค่า shoot/root ratio ต่ำที่สุด (1.32) และสายต้นที่ต่างกันทำให้ค่า

shoot/root ratio มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

ความแตกต่างของ shoot/root ratio ระหว่างสายต้นน่าจะเกิดจากความแตกต่างของลักษณะรูปทรงของกล้าไม้ จากข้อมูลข้างต้นพบว่า K58 เป็นสายต้นที่มีค่า shoot/root ratio สูงที่สุดแสดงว่า มวลชีวภาพในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากกว่าราก เป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าปริมาณรากของ K58 สามารถดูดน้ำและนำไปสร้างส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินได้มากกว่าสายต้นอื่นๆ โดยค่าเฉลี่ยของ shoot/root ratio ของต้นไม้ตามปกติจะมีค่าอยู่ที่ 2 คือ ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินจะมีมวลชีวภาพมากกว่าส่วนที่อยู่ใต้พื้นดิน (ราก) 2 เท่า โดยจากการทดลองในครั้งนี้ทั้ง 4 สายต้น มีค่า shoot/root ratio อยู่ในเกณฑ์ของค่าเฉลี่ย จะมีเพียง K58 และ K59 เท่านั้นที่มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย จึงสรุปการทดลองได้ว่า สายต้นที่ต่างกันส่งผลต่อสัดส่วนของ shoot/root ratio อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ

#### ปริมาณคลอโรฟิลล์

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ 6 เดือนภายหลังจากทดลองพบว่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและสายต้นมีอิทธิพลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเช่นเดียวกัน ( $p < 0.01$ )

กล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติมีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากกว่ากล้าไม้ที่ได้รับแสงปกติ (ร้อยละ 100) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ( $p < 0.01$ ) สอดคล้องกับกล้าไม้ cherrybark oak ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงต่ำจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้แสงเต็มที่ (Emile and Ken, 2001) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายต้นพบว่า ภายใต้อุณหภูมิความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมดของ K7 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.88 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร รองลงมาคือ K51 และ K59 เท่ากับ 2.29 และ 1.97 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ K58 มีปริมาณ

คลอโรฟิลล์ทั้งหมดน้อยที่สุด 1.69 มิลลิกรัมต่อตาราง เดซิเมตร แต่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ K51 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด

รองลงมาคือ K7, K59 และ K58 โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 3.79, 3.23, 2.79 และ 2.08 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร ตามลำดับ (Table 3)

**Table 3** Leaf total chlorophyll contents of four eucalypt clones under different light conditions, six months after the experiment.

Clone	Light intensity (% of full sunlight)	Total chlorophyll (mg/dm <sup>2</sup> )
K7	100	2.88 ± 0.71
	30	3.23 ± 0.94
K51	100	2.29 ± 0.73
	30	3.79 ± 0.56
K58	100	1.69 ± 0.64
	30	2.08 ± 0.38
K59	100	1.97 ± 0.25
	30	2.79 ± 0.49
P-value		
Clone		0.0001**
Light		0.0001**
Clone X light		0.0001**

**Note:** \*\*: highly significant difference at p-value <0.01.

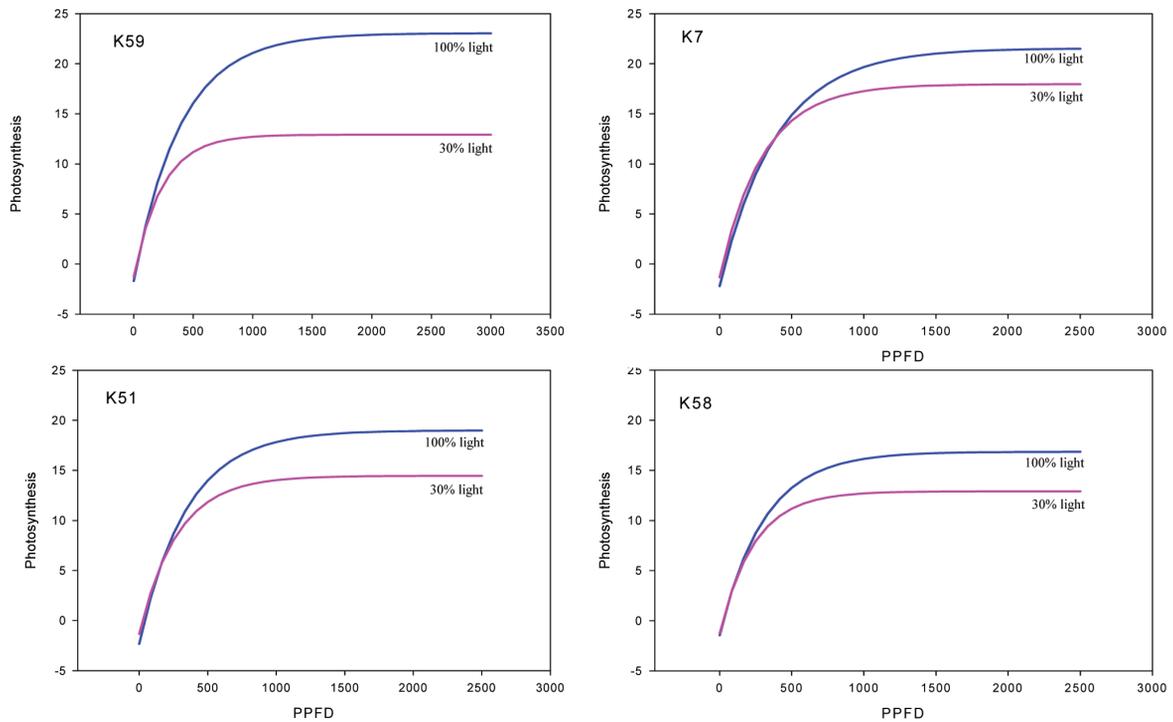
### การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสง

จากการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อใบได้รับแสงในระยะแรก จนกระทั่งใบไม่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อนข้างคงที่แม้ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้น (Figure 1) ซึ่งคล้ายคลึงกับรูปแบบการศึกษาของ ประณอม (2542) ในไม้ป่าเบญจพรรณ วัลยา (2543) ในไม้ป่าชายเลน สาพิศ และคณะ (2546) ในไม้ป่าเต็งรังสุริยะ (2547) ในไม้ป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ และสาพิศ และคณะ (2552) ในยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์สมการตามรูปแบบของ Boot and Loomis (1991) พบว่า กล้าไม้

ที่ได้รับแสงเต็ม (ร้อยละ 100) มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ ในทุกสายต้น โดยที่ สายต้น K59 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มากที่สุด รองลงมาคือ K7 K51 และ K59 มีค่าเท่ากับ 24.58, 23.75, 21.33 และ 18.33 ไมโครโมลต่อลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (Table 4) อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของ K59 ที่ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีค่ามากกว่าที่ปลูกอยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ อยู่ร้อยละ 42.72 ส่วนอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K7 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากที่สุดรองลงมาคือ K51 K58 และ K59 มีค่าเท่ากับ 19.34, 15.81, 14.21 และ 14.08 ไมโครโมลต่อลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ตามลำดับ (Table 4) ซึ่ง

Ball and Critchley (1982) กล่าวว่า ใบที่ปกติได้รับแสงน้อยจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ความเข้มแสงอ้อมตัวต่ำกว่าใบที่ได้รับแสงเต็มที่ แสดงให้เห็นว่า K7 เป็นสายต้นที่สามารถปรับตัวได้ดีภายใต้ความเข้มแสงที่ต่ำและยังสามารถใช้แสงที่ความเข้มต่ำในกระบวนการทางสรีรวิทยาได้ดี ในขณะที่ K59

มีความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดอย่างชัดเจน ทำให้ทราบว่า K59 ได้รับอิทธิพลของความเข้มแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ความเข้มแสงที่ต่างกันและสายต้นที่ต่างกันทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.01$ )



**Figure 1** Photosynthetic light response curves of four eucalypt clones under different light conditions, fitted by asymptotic exponential function (Boot and Loomis, 1991).

สำหรับ quantum yield ซึ่งเป็นค่าความลาดชันเริ่มต้นของความสัมพันธ์ (initial slope) ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้แสงที่ระดับต่ำพบว่า ค่าความเข้มแสงและสายต้นที่ต่างกันมีผลต่อ quantum yield อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.574$ ) ในสภาพปกติของไม้ที่ได้รับแสงเต็มที่ จะมีค่า quantum yield

อยู่ระหว่าง 0.05 - 0.07 (สาพิศ และคณะ, 2547) สำหรับการศึกษานี้กล้าไม้ทั้ง 4 สายต้นที่ได้รับแสงเต็มที่ที่มีค่า quantum yield ใกล้เคียงกันคือเท่ากับ 0.060 - 0.063 แต่อิทธิพลของความเข้มแสงมีแนวโน้มยังไม่ชัดเจน (Table 4)

**Table 4** Coefficients of photosynthetic-light response estimated by asymptotic exponential function (Boot and Loomis, 1991).

Clone	Light intensity (% of full sunlight)	A <sub>sat</sub> ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	$\Phi$	R <sub>d</sub> ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )
K7	100	23.75 $\pm$ 1.34	0.062 $\pm$ 0.007	2.21 $\pm$ 0.45
	30	19.34 $\pm$ 2.57	0.065 $\pm$ 0.003	1.33 $\pm$ 0.19
K51	100	21.33 $\pm$ 2.93	0.062 $\pm$ 0.005	2.27 $\pm$ 0.47
	30	15.81 $\pm$ 3.19	0.061 $\pm$ 0.001	1.33 $\pm$ 0.51
K58	100	18.33 $\pm$ 1.47	0.060 $\pm$ 0.005	1.40 $\pm$ 0.20
	30	14.21 $\pm$ 0.22	0.060 $\pm$ 0.008	1.25 $\pm$ 0.17
K59	100	24.58 $\pm$ 2.85	0.063 $\pm$ 0.002	1.71 $\pm$ 0.31
	30	14.08 $\pm$ 1.58	0.057 $\pm$ 0.008	0.87 $\pm$ 0.49
P-value				
Clone		0.006**	0.653 <sup>ns</sup>	0.070 <sup>ns</sup>
Light		0.0001**	0.726 <sup>ns</sup>	0.001**
Clone X light		0.067 <sup>ns</sup>	0.574 <sup>ns</sup>	0.304 <sup>ns</sup>

**Note:** <sup>ns</sup>: non-significant difference at p-value  $\geq 0.05$ ; \*: significant difference at p-value  $< 0.05$ ; \*\*: highly significant difference at p-value  $< 0.01$ .

สำหรับการหายใจในที่มืด (R<sub>d</sub>) พบว่ากล้าไม้ที่มีความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีค่าการหายใจในที่มืดมากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 จากความเข้มแสงปกติ เช่นเดียวกับอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด เมื่อทดสอบทางสถิติ ความแตกต่างของระดับความเข้มแสงมีผลต่อการหายใจในที่มืดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (p < 0.01) ส่วนสายต้นที่ต่างกัน การหายใจในที่มืดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (p = 0.070) โดย K51 มีค่าการหายใจในที่มืดที่ระดับความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มากที่สุด เท่ากับ 2.27 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ในขณะที่ K59 และ K58 มีค่าการหายใจในที่มืดน้อยที่สุดเท่ากับ 1.71 และ 1.40 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (Table 4) ส่วนการหายใจในที่มืดของกล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K7 และ K51 มีค่าเท่ากันคือ 1.33 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ในขณะที่ K58 และ K59 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.25 และ 0.87 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า K58

และ K59 มีค่าการหายใจในที่มืดต่ำกว่าสายต้นอื่นๆ ซึ่งอาจทำให้ทั้งสองสายต้นมีศักยภาพในการเติบโตมากกว่า

## สรุป

กล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีการเติบโตมากกว่ากล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ ทั้งความโตที่ระดับคอราก ความสูง และมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และมวลชีวภาพรวม ตลอดจนการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดและค่าอัตราการหายใจในที่มืด แต่ความแตกต่างระหว่างสายต้นมีอิทธิพลต่อความสูง มวลชีวภาพของกิ่ง ใบ ราก และมวลชีวภาพรวม ตลอดจนค่า shoot/root ratio และอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับสายต้นส่งผลต่อการเติบโตทางความสูงเท่านั้น แสดงว่าความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อตัวแปรของการเติบโตและการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ แต่กล้าไม้สายต้นต่างๆ มีการตอบสนองต่อ

ความเข้มแสงแตกต่างกันเฉพาะการเติบโตทางความสูงเท่านั้น ในทางตรงข้ามปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของกล้าไม้ที่เติบโตภายใต้ความเข้มแสงต่ำมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้สามารถดูดซับแสงเพื่อการสังเคราะห์แสงได้เพิ่มขึ้น และการตอบสนองดังกล่าวมีความแตกต่างระหว่างสายต้น

นอกจากนี้ผลการศึกษายังชี้ให้เห็นว่า K7 เป็นสายต้นที่มีแนวโน้มที่ทนร่มได้ดีกว่าสายต้นอื่นๆ จึงเป็นสายต้นที่สามารถคัดเลือกไปใช้ในการปลูกซ่อมหรือปลูกเสริมต่อในสภาวะที่มีการบดบังของแสงและ/หรือ ปลูกด้วยระยะปลูกแคบได้ต่อไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ชัชวาลย์ พิศคำจำ. 2523. ลักษณะและผลผลิตมวลชีวภาพของกล้าไม้อายุ 1 ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นสูง. ปัญหาพิเศษสาขาวนวัฒนวิทยา. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศุริยะ สถาพร. 2547. ความผันแปรตามฤดูกาลของดัชนีพื้นที่เรือนยอดและอัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้เด่นในป่าดิบแล้งจังหวัดนครราชสีมา และป่าเบญจพรรณ จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ประนอม ผาสุข. 2542. ความผันแปรตามฤดูกาลของโครงสร้างเรือนยอด และอัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้เด่น 3 ชนิดในป่าเบญจพรรณจังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัลยา คงผล. 2543. อัตราการสังเคราะห์แสงและการตอบสนองต่อปัจจัยแสงของพรรณไม้ป่าชายเลนบางชนิดบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาดปลา และเจษฎา เหลืองแจ่ม และ วิรุทร กุลพรพันธ์. 2546.

- ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเต็งรัง. ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาดปลา และเจษฎา เหลืองแจ่ม. 2547. การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ. ใน เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ศุริยะ สถาพร, ภาณุมาศ ลาดปลา และวลัยพร สถิตวิบูลย์. 2549. การตอบสนองของการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของพรรณไม้เด่นในป่าดิบแล้งสะแกราช และป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง, น.171-194. ใน รวมผลงานวิจัย: การศึกษาวิจัยการรับอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ศุริยะ สถาพร และนรากร ศรีเลิศ. 2552. ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบยูคาลิปตัส 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนาในจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวนศาสตร์ 28 (3): 85 - 96
- สาพิศ ร้อยอำแพง และลดาวัลย์ พวงจิตร. 2539. ลักษณะทางกายภาพของใบและการแลกเปลี่ยนก๊าซของไม้ประดับที่ปลูกในกรุงเทพมหานคร, น.79 - 95. ใน รายงานการประชุมการป่าไม้แห่งชาติ ประจำปี 2538 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 20 - 24 พ.ย. 2538. กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
- สาพิศ ร้อยอำแพง. 2545. ลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดและความผันแปรของคุณสมบัติของใบที่อยู่ในเรือนยอดของลูกผสมตามธรรมชาติของกระถินเทพาและกระถินณรงค์,

- น. 174-191. ใน รายงานนวนิทัศน์วิจัย ประจำปี พ.ศ. 2545. ส่วนนวนิทัศน์วิจัย สำนักวิชาการ ป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. สรีรวิทยาของพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ลดาวลัดย์ พวงจิตร. 2544. คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณชีวมวลของพรรณไม้ในเขตร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมต่างๆ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- Ball, M.C. and C. Critchley. 1982. Photosynthetic responses to irradiance by the grey mangrove, *Avicenia marina*, grown under different light regimes. **Plant Physiology**. 70:1101 - 1106.
- Bidwell, R.G.S. 1974. **Plant Physiology**. Macmillan Publishing Co., Inc., New York.
- Boot, K. J. and R.S. Loomis. 1991. The prediction of canopy assimilation, pp. 109 - 137. In K.J. Boot and R. Loomis (eds). **Modeling Crop Photosynthesis from Biochemistry to Canopy, CSSA Special Publication No. 19**. CSSA, Madison.
- Carol, R. 1994. **Experiments in Plant Physiology**. Cornell University Press, New York.
- Devlin, R. M. and A. V. Barker. 1971. **Photosynthesis**. Affiliated East - West Press, New - Delhi.
- Emile, S. G. and W.K. Ken. 2001. Photosynthetic light response of flooded cherrybark oak (*Quercus pagoda*) seedlings grown in light regimes. **Tree Physiology** 21. Publishing - Victoria, Canada.
- Joiner, J.N., C.R. Johnson and J.K. Krantz. 1980. Effect of light and N. and K. levels on growth and light compensation point of *Ficus benjamina* L. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 105(2) : 170- 173.
- Kawai, H. and S. Shikans. 1972. Effect of light intensity on growth and flowering of *Lespedeza penduliflora*. **Crop Physiology**. Abstract. 3(3) : 591
- Larcher, W. 1995. **Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups**. Springer - Verlag, Berlin.
- Messier, C., R. Doucet, J. Ruel, Y. Claveau, C. Kelly and J. Lechowicz. 1999. Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. **Can. J. For. Res.** 29, 812 - 823.
- Mitchell A K, T M. Hinckley. 1993. Effects of foliar nitrogen concentration on photosynthesis and water use efficiency in Douglas-fir[J]. **Tree Physiology**, 12: 403-410.
-