

นิพนธ์ต้นฉบับ

การแปรผันของลักษณะทางสรีรวิทยาของยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส สายพันธุ์ต่างๆ

Variations in Physiological Characteristics of Different *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Half-Sib Familiesทิพวรรณ สังข์ทอง
สาปิต ดิลกสัมพันธ์Thippawan Sungtong
Sapit Diloksumpunคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
E-mail: tipfy_70@hotmail.com

รับต้นฉบับ 11 มกราคม 2554

รับลงพิมพ์ 5 มีนาคม 2554

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the genetic variation in growth and physiological characteristics (light-saturated net photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, intrinsic water-use efficiency and pre-dawn water potential) related to the growth of 10 *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. half-sib families. The results indicated that the differences in all growth parameters were highly significant among families, while the differences in all physiological characteristics were highly significant among seasons, but not among families. Nevertheless, the results showed three seasonal trends of physiological characteristics: high values with high seasonal variation; high values with moderate seasonal variation; and low values in all seasons. Therefore, a further study on the correlation between physiological parameters and growth is recommended for the selection of *E. camaldulensis* families that could grow and adapt well to the site.

Keywords: Physiological characteristics, *Eucalyptus*, Half-sib families**บทคัดย่อ**

การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิสมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรผันทางพันธุกรรมของการเติบโต และลักษณะทางสรีรวิทยา (อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด การชักนำของปากใบ การคายน้ำ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบ และค่าชดสัของใบ) ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของยูคาลิปตัส จำนวน 10 สายพันธุ์ ผลการศึกษา พบว่า ตัวแปรการเติบโตทุกตัวแปรที่ศึกษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($p < 0.01$) ในขณะที่ลักษณะทางสรีรวิทยาทุกลักษณะที่ศึกษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($p < 0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม สามารถจำแนกแนวโน้มการแปรผันตามฤดูกาลของลักษณะทางสรีรวิทยาออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของสายพันธุ์ที่ลักษณะทางสรีรวิทยามีการแปรผันในแต่ละฤดูกาลค่อนข้างมาก และปานกลาง และกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำในทุกฤดูกาล

ดังนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรลักษณะทางสรีรวิทยากับการเติบโต เพื่อเป็นข้อมูลในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถเติบโตและปรับตัวได้ดีในพื้นที่ปลูกต่อไป

คำสำคัญ: ลักษณะทางสรีรวิทยา ยูคาลิปตัส สายพันธุ์

คำนำ

ยูคาลิปตัส คามาลดูลินซิส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) เป็นไม้โตเร็วต่างถิ่นที่ได้รับความนิยมจนกลายเป็นไม้เศรษฐกิจที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมไม้แปรรูป การก่อสร้าง อุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ จึงได้รับความสนใจในการพัฒนาสายพันธุ์ (family) ให้มีคุณภาพตามความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นนี้ การปรับปรุงสายพันธุ์ยูคาลิปตัสได้กระทำมาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่การคัดเลือกชนิดและถิ่นกำเนิดที่เหมาะสมกับการปลูกในประเทศไทย (Pinyopusarerk, 1989) การสร้างแปลงทดสอบลูกไม้รุ่นที่ 1 (พิศาล และวิฑูรย์, 2539) จนกระทั่งปัจจุบันมีแปลงทดสอบลูกไม้รุ่นที่ 2 ในหลายพื้นที่ รวมทั้ง ณ สถานีฝักนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา (สุนิส และคณะ, 2553)

วัตถุประสงค์เป้าหมายหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดการคัดเลือกสายพันธุ์ในกิจกรรมการปรับปรุงพันธุ์ คือ การเติบโต ซึ่งการเติบโตถูกควบคุมโดย 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยทางด้านพันธุกรรม (genetic factors) และปัจจัยสิ่งแวดล้อม (environmental factors) อัตราการเติบโตขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเติบโตและความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมนั้น ซึ่งเป็นลักษณะที่ถูกควบคุมโดยปัจจัยทางพันธุกรรมหรือเป็นลักษณะเฉพาะของชนิด/พันธุ์ แต่เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมเดียวกันแล้ว การเติบโตจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านพันธุกรรมเป็นสำคัญ พันธุกรรมเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีอิทธิพลต่อการเติบโต เช่น การสังเคราะห์แสง การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ เป็นต้น ฉะนั้น ลักษณะพื้นฐานทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันมีผลให้แต่ละสายพันธุ์มีลักษณะทางสรีรวิทยาตลอดจนการเติบโตที่แตกต่าง

กันด้วย อย่างไรก็ตาม การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับการเติบโตยังมีการศึกษาอยู่ค่อนข้างน้อย เช่น ในไม้กระถินณรงค์ กระถินเทพา และลูกผสมของไม้ทั้งสองชนิด (Royampaeng, 2001) ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรผันของการเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของยูคาลิปตัส คามาลดูลินซิส ในแปลงทดสอบลูกไม้ รุ่นที่ 2 สำหรับเป็นแนวทางในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีการเติบโตดีและมีความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพพื้นที่ปลูกต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

แปลงทดลองและการคัดเลือกตัวอย่างสายพันธุ์

แปลงทดสอบลูกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลินซิส รุ่นที่ 2 เป็นแปลงทดลองที่ปลูกในพื้นที่ที่เคยปลูกยูคาลิปตัส ณ สถานีฝักนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา มีการวางแผนการทดสอบแบบ Latinized row-column design โดยใช้กล้าไม้จากเมล็ดที่เกิดจากการผสมเกสรระหว่างแม่ไม้กับต้นอื่น (opened pollination) เมล็ดที่ได้นี้ผ่านการคัดเลือกจากการทดสอบลูกไม้ในรุ่นที่ 1 ของกรมป่าไม้ จำนวนทั้งสิ้น 120 สายพันธุ์ ทั้งหมด 8 ซ้ำ (replication) ซ้ำละ 3 ต้นต่อสายพันธุ์ ใช้ระยะปลูกระหว่างแถว 3.0 เมตร และระหว่างต้น 1.5 เมตร (สุนิส และคณะ, 2553) ทำการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีการเติบโตดีเพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละเขต (region) ซึ่งเขตในที่นี้เป็นขอบเขตหรือภูมิภาคของถิ่นกำเนิดเมล็ด (provenance) ที่นำมาศึกษา โดยให้ครอบคลุมแหล่งเมล็ดทั้ง 6 เขต ได้จำนวนทั้งสิ้น 10 สายพันธุ์ (ทำการศึกษา 4 ซ้ำ ซ้ำละ 3 ต้นต่อสายพันธุ์) รายละเอียดของแต่ละสายพันธุ์ดัง Table 1

Table 1 List of regions and provenances of *Eucalyptus camaldulensis* in the second generation progeny test.

No.	Region	Provenance	Family
1	Petford Region QLD	Eccles Creek/tributaries	1, 7, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 25, 26
		Eureka Creek/tributaries Mishap Creek	33, 35, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 60 , 61, 62, 112
		Mishap Creek	39, 44, 47
		Hales Siding	64, 65, 67, 68, 69
		Petford Bridge	71 , 72, 144
		Emuford	76, 79, 80, 81, 99
		Montalbion	84, 85, 87, 88, 94, 96
		Headwaters-Emu Creek	104, 106, 107
		Headwaters-Emureka Creek	109
		Walsh River-W.Emu Creek Junction	114, 115, 119, 126, 127
		Flat Rock Pool	129, 130, 135, 137, 139
2	Walsh-Mitchell River QLD	Petford Bridge	145, 149, 150, 154, 155, 156, 158
		Walsh River Rockwood	162, 163
		Mt. Mulgrave	164, 166, 170
		Palmerlyville	172, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181
		Lynd Junction	182, 183, 184, 186
		Healeys Yard	187, 188, 191, 192, 193, 196, 198, 199, 201, 203
3	Northern Territory	Katherine	208
4	Western Australia	Lannard River	209
5	Other QLD	Kennedy River	211, 217, 218, 219
		Morehead River	224, 225, 226, 227 , 228, 229
6	Thailand	Thai selection	232, 234, 236 , 244, 246
		Thai land race (control)	991, 992, 995, 996 , 997

Note: Families with bold numbers were used to study physiological characteristics.

Source: Yodnam *et al.* (2010)

การศึกษาการเติบโตและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน
เก็บข้อมูลอัตราการรอดตายและวัดการเติบโต
ได้แก่ ความสูงทั้งหมด (height, H) และขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลางเพิกงอก (diameter at breast height, DBH)
เมื่อต้นไม้อายุ 2 ปี (กันยายน 2551) และ 3 ปี (กันยายน

2552) และประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยใช้
สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ของยูคาลิปตัส
คามาลดูลเลนซิส อายุ 2 และ 3 ปี ของจงรัก (2546)
ดัง Table 2

Table 2 List of allometric equations used to estimate the biomass of 2 and 3-year-old *Eucalyptus camaldulensis*.

Age (year)	Biomass (kg/tree)	Equation	R ²
2	Stem biomass (Ws)	$Ws = 0.0248(DBH^2H)^{0.9205}$	0.9919
	Branch biomass (Wb)	$Wb = 0.0008(DBH^2H)^{1.1449}$	0.9914
	Leaf biomass (Wl)	$Wl = 0.0141(DBH^2H)^{0.7459}$	0.9870
3	Stem biomass (Ws)	$Ws = 0.0318(DBH^2H)^{0.8973}$	1.0000
	Branch biomass (Wb)	$Wb = 0.0057(DBH^2H)^{0.8631}$	0.9498
	Leaf biomass (Wl)	$Wl = 0.0203(DBH^2H)^{0.6275}$	0.8791

Note: DBH: diameter at breast height (cm); H: height (m); R²: coefficient of determination

Source: Wachrinrat (2003)

การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยา

วัดอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (light saturated net photosynthesis, A_{sat}) การชักนำของปากใบ (stomatal conductance, g_s) และการคายน้ำ (transpiration, E) โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการสังเคราะห์แสง LI-6400 Portable Photosynthesis System (LI-COR Inc., USA) ติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดแสง (light source) และปรับระดับความเข้มแสง เท่ากับ 2000 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นระดับความเข้มแสงที่เกินจุดอิ่มตัวของแสงของพืชทั่วไป (Hall *et al.*, 1993) เลือกใบตัวอย่างที่มีสภาพสมบูรณ์และเติบโตเต็มที่ (fully expanded leaf) ในระดับเรือนยอดที่ได้รับแสงเต็มที่ (sun leaf) ต้นละ 1 ใบ ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้า (8.00 - 11.00 น.) ในช่วงเดือนธันวาคม (ฤดูแล้ง) พฤษภาคม (ต้นฤดูฝน) กรกฎาคม (ฝนทิ้งช่วง) และตุลาคม (ปลายฤดูฝน)

วัดค่าศักย์ของใบก่อนได้รับแสง (pre-dawn leaf water potential, Ψ_{pd}) ด้วยเครื่อง Pressure chamber (Soil Moisture Corporation, USA) โดยเลือกใบตัวอย่างที่มีสภาพสมบูรณ์ ประมาณใบที่ 3 - 5 จากปลายกิ่ง ต้นละ 1 ใบ ต้องทำการวัดในช่วง 2 - 3 ชั่วโมงก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น โดยทำการวัดในวันเดียว

กับการวัดอัตราการสังเคราะห์แสง ทั้งนี้การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาทำการศึกษาวันละ 1 ชั่วโมง (ทำในช่วงเช้า) จำนวนทั้งหมด 4 ชั่วโมง 3 ต้นต่อสายพันธุ์

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์อัตราการเติบโตสมบูรณ์ (absolute growth rate, AGR) ซึ่งหมายถึง น้ำหนักสุทธิที่เพิ่มขึ้นของต้นพืช (dW) ภายในระยะเวลาหนึ่ง (dT) ในที่นี้วิเคราะห์อัตราการเติบโตสมบูรณ์ของมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่อายุ 2-3 ปี และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของอัตราการรอดตาย ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และอัตราการเติบโตสมบูรณ์ของมวลชีวภาพ โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) โดยใช้การทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design) มี 4 ซ้ำหรือบล็อก และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test

วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ โดยใช้ค่า Intrinsic water use efficiency (WUE) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงสุทธิต่อการชักนำของปากใบ (Comstock and Ehleringer, 1992) วิเคราะห์การแปรผันของการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด การชักนำของปากใบ

การคายน้ำ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ และค่าชลศกย์ของใบของสายพันธุ์ต่างๆ ระหว่างฤดูกาล โดยใช้ Repeated Measures ANOVA ตลอดจนวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test

ผลและวิจารณ์

การเติบโตและมวลชีวภาพ

สายพันธุ์ที่ศึกษาเป็นตัวแทนของสายพันธุ์ที่มีการเติบโตดีที่สุดจากทั้ง 6 เขต จำนวน 10 สายพันธุ์เมื่อวิเคราะห์อัตราการรอดตาย ค่าเฉลี่ยของความสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่อายุ 2 และ 3 ปี และอัตราการเติบโตสัมบูรณ์ของมวลชีวภาพ พบว่า ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($P < 0.01$) โดยสายพันธุ์ที่มาจากเขต Other QLD

(สายพันธุ์ 219 และ 227) มีอัตราการรอดตาย ความสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และอัตราการเติบโตสัมบูรณ์ของมวลชีวภาพค่อนข้างสูง ในขณะที่สายพันธุ์จากเขตอื่นๆ มีการเติบโตอยู่ในระดับปานกลาง ยกเว้นสายพันธุ์ 33, 163 และ 209 ซึ่งมีอัตราการรอดตายและการเติบโตที่ค่อนข้างน้อย (Table 3) ผลการศึกษาของสายพันธุ์ที่มีการเติบโตดีมีค่าใกล้เคียงกับยูคาลิปตัส คามาลดูลินซิส อายุ 2 และ 3 ปี ซึ่งเป็นสายต้นที่ปลูกเพื่อการค้า (commercial clone) ในท้องที่จังหวัดจะเข้ที่ปลูกในพื้นที่ที่เคยปลูกยูคาลิปตัสมาก่อน มีความสูงเฉลี่ย 7.29 และ 10.63 เมตร ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออกเฉลี่ย 5.77 และ 7.75 เซนติเมตรตามลำดับ (จงรัก, 2546) แต่ยูคาลิปตัสที่ศึกษากลับนี้มีแนวโน้มการเติบโตมากกว่าเมื่ออายุมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สายพันธุ์ 219 และ 227

Table 3 Mean values for survival rate, height (H), diameter at breast height (DBH) growth and absolute growth rate (AGR) of aboveground biomass of 2 and 3-year-old *Eucalyptus camaldulensis* half-sib families.

Family	Region	Survival (%)		H (m)		DBH (cm)		AGR (kg/tree/yr)
		2-yr-old	3-yr-old	2-yr-old	3-yr-old	2-yr-old	3-yr-old	
33	Petford Region QLD	62.5 bc	58.3 bc	5.43 c	8.78 b	4.32 bc	6.60 ab	8.33 abc
60	Petford Region QLD	95.8 a	95.8 a	6.88 ab	11.07 a	5.93 a	7.82 a	8.90 abc
71	Petford Region QLD	79.2 ab	79.2 ab	7.10 ab	11.22 a	5.57 ab	7.54 ab	8.61 abc
163	Walsh-Mitchell River QLD	79.2 ab	79.2 ab	6.34 bc	10.54 ab	4.56 bc	6.18 b	6.05 c
208	Northern Territory	83.3 ab	83.3 ab	6.42 abc	10.05 ab	4.87 abc	6.76 ab	7.00 abc
209	Western Australia	50.0 c	45.8 c	7.36 ab	10.00 ab	5.13 abc	7.20 ab	7.23 abc
219	Other QLD	91.7 a	91.7 a	7.45 ab	11.79 a	6.00 a	8.19 a	10.28 a
227	Other QLD	91.7 a	91.7 a	6.98 ab	11.48 a	5.84 a	8.06 a	10.21 a
236	Thailand	70.8 abc	70.8 ab	7.77 a	11.22 a	5.89 a	7.65 a	9.10 ab
996	Thailand	79.2 ab	79.2 ab	6.42 abc	10.08 ab	4.29 c	5.93 b	5.96 bc

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

ลักษณะทางสรีรวิทยา

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด

อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีการ

แปรผันในแต่ละฤดูกาล หรือช่วงเวลาที่ศึกษา ในเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝนและมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสง ยูคาลิปตัสมีอัตรา

การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเฉลี่ย (16.03 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) (Table 4 and 5) สูงกว่าช่วงเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูแล้ง เดือนกรกฎาคมซึ่งปกติเป็นช่วงฤดูฝนแต่ในพื้นที่ศึกษาเป็นช่วงที่ฝนทิ้งช่วง (Figure 1) และเดือนตุลาคมช่วงปลายฤดูฝน (11.43, 9.47 และ 14.22 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ) โดยเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลในฤดูฝนพบว่ามีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาในช่วงฤดูฝนของยูคาลิปตัสจำนวน 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนาซึ่งมีค่าระหว่าง 16.9-22.2 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (สาพิศ และคณะ, 2552) แต่มีค่าน้อยกว่าไม้โตเร็วต่างถิ่นชนิดอื่นๆ เช่น กระถินเทพา และกระถินณรงค์ (21-25 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) เป็นต้น (สาพิศ, 2545)

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติ พบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($P < 0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($P = 0.11$) แม้ว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดจะไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่จากแนวโน้มการแปรผันตามฤดูกาลสามารถจำแนกการแปรผันได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของสายพันธุ์ที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดแปรผันมากในแต่ละฤดูกาล โดยมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดค่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝนและมีค่าลดลงต่ำสุดในช่วงฤดูแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ 208 และ 219 ส่วนกลุ่มของสายพันธุ์ที่อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีการแปรผันปานกลางในแต่ละฤดูกาล โดยมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดค่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝนและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงฤดูแล้ง เช่น สายพันธุ์ 71 และ 209 เป็นต้น แต่บางสายพันธุ์อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีค่าปานกลาง และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงฤดูแล้งเช่นกัน เช่น สายพันธุ์ 60 เป็นต้น ทั้งนี้ผลการศึกษากการแปรผันตามฤดูกาลของอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของสายพันธุ์ในกลุ่มนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับ

สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดี และกลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีค่าค่อนข้างต่ำกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ในทุกฤดูกาล ได้แก่ สายพันธุ์ 163 และ 227 ซึ่งอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่ต่ำนี้ อาจส่งผลให้การเติบโตของสายพันธุ์ดังกล่าวต่ำกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ด้วยเช่นกัน

การชักนำของปากใบ

การชักนำของปากใบ มีความสำคัญต่อการนำก๊าซเข้าสู่เซลล์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงและเกี่ยวข้องกับการสูญเสียน้ำทางปากใบ การชักนำของปากใบมีการแปรผันในแต่ละฤดูกาล ในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง และเดือนกรกฎาคมซึ่งปกติเป็นฤดูฝนแต่เนื่องจากฝนทิ้งช่วง ส่งผลให้ยูคาลิปตัสมีภาวะการขาดน้ำ การชักนำของปากใบมีค่าลดลง (0.29 และ 0.21 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ) (Table 5) เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนพฤษภาคมช่วงต้นฤดูฝน และเดือนตุลาคมช่วงปลายฤดูฝน (0.50 และ 0.32 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ) การเปลี่ยนแปลงนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาในยูคาลิปตัส 4 สายต้นที่ปลูกบนคันนาโดยสาพิศ และคณะ (2552) แต่ค่าการชักนำของปากใบในการศึกษารั้งนี้ มีค่าน้อยกว่าทั้งในฤดูฝน (0.33 - 0.99 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) และฤดูแล้ง (0.18 - 0.58 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) สาเหตุที่ค่าการชักนำของปากใบที่ศึกษามีค่าน้อยเนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นสวนป่ามีความแห้งแล้งมากกว่าบนคันนาซึ่งอาจมีระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง เมื่อยูคาลิปตัสได้รับผลกระทบจากภาวะการขาดน้ำจึงเปิดปากใบน้อยลง โดยค่าการชักนำของปากใบมีค่าสูงในช่วงฤดูฝนและลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้งเช่นเดียวกับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติ พบว่า ค่าการชักนำของปากใบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($P < 0.01$)

Table 4 Light-saturated net photosynthesis (A_{sat}), stomatal conductance (g_s), transpiration (E), intrinsic water-use efficiency (WUE) and pre-dawn water potential (Ψ_{pd}) of *Eucalyptus camaldulensis* half-sib families.

Family	Month	A_{sat} ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	g_s ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	E ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$)	WUE ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)	Ψ_{pd} (MPa)
33	December (Dry season)	15.00 $\pm$ 2.76	0.36 $\pm$ 0.05	6.06 $\pm$ 1.50	42.30 $\pm$ 2.32	0.40 $\pm$ 0.12
60		11.39 $\pm$ 5.17	0.34 $\pm$ 0.05	6.55 $\pm$ 1.07	33.16 $\pm$ 11.26	0.35 $\pm$ 0.13
71		9.95 $\pm$ 3.18	0.23 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 1.47	45.29 $\pm$ 14.51	0.24 $\pm$ 0.05
163		10.03 $\pm$ 1.23	0.28 $\pm$ 0.05	6.59 $\pm$ 1.05	36.44 $\pm$ 8.13	0.30 $\pm$ 0.05
208		9.01 $\pm$ 1.79	0.25 $\pm$ 0.04	5.51 $\pm$ 0.98	37.98 $\pm$ 14.34	0.25 $\pm$ 0.07
209		14.29 $\pm$ 2.51	0.31 $\pm$ 0.02	5.70 $\pm$ 1.46	45.30 $\pm$ 9.10	0.25 $\pm$ 0.07
219		12.79 $\pm$ 2.60	0.31 $\pm$ 0.05	6.13 $\pm$ 1.30	42.65 $\pm$ 12.79	0.31 $\pm$ 0.08
227		11.11 $\pm$ 3.73	0.27 $\pm$ 0.07	4.72 $\pm$ 0.86	41.46 $\pm$ 4.71	0.28 $\pm$ 0.04
236		10.24 $\pm$ 1.18	0.29 $\pm$ 0.07	5.45 $\pm$ 1.86	37.27 $\pm$ 9.36	0.30 $\pm$ 0.07
996		10.54 $\pm$ 3.08	0.24 $\pm$ 0.07	5.35 $\pm$ 1.90	45.73 $\pm$ 4.55	0.39 $\pm$ 0.07
33	May (Early wet season)	14.89 $\pm$ 3.13	0.45 $\pm$ 0.13	9.90 $\pm$ 1.19	35.18 $\pm$ 3.37	0.18 $\pm$ 0.06
60		15.85 $\pm$ 1.94	0.48 $\pm$ 0.05	10.79 $\pm$ 0.53	33.33 $\pm$ 2.57	0.15 $\pm$ 0.03
71		16.81 $\pm$ 2.19	0.57 $\pm$ 0.17	11.31 $\pm$ 1.42	30.67 $\pm$ 5.00	0.14 $\pm$ 0.06
163		15.62 $\pm$ 1.96	0.45 $\pm$ 0.07	9.76 $\pm$ 1.47	35.96 $\pm$ 1.90	0.25 $\pm$ 0.07
208		18.78 $\pm$ 2.58	0.59 $\pm$ 0.17	9.69 $\pm$ 0.57	33.19 $\pm$ 7.56	0.19 $\pm$ 0.03
209		13.85 $\pm$ 1.60	0.44 $\pm$ 0.07	10.33 $\pm$ 1.23	32.00 $\pm$ 2.18	0.21 $\pm$ 0.02
219		17.78 $\pm$ 1.55	0.52 $\pm$ 0.05	10.49 $\pm$ 1.02	34.89 $\pm$ 1.00	0.14 $\pm$ 0.07
227		16.00 $\pm$ 1.09	0.56 $\pm$ 0.10	10.61 $\pm$ 0.89	29.28 $\pm$ 3.39	0.17 $\pm$ 0.07
236		15.76 $\pm$ 2.18	0.49 $\pm$ 0.03	10.70 $\pm$ 1.34	32.02 $\pm$ 4.10	0.26 $\pm$ 0.11
996		14.99 $\pm$ 2.30	0.43 $\pm$ 0.06	10.04 $\pm$ 1.14	35.31 $\pm$ 4.82	0.18 $\pm$ 0.03
33	July (Wet season)	7.90 $\pm$ 2.65	0.17 $\pm$ 0.07	4.72 $\pm$ 0.93	49.88 $\pm$ 9.44	0.33 $\pm$ 0.14
60		10.57 $\pm$ 1.67	0.24 $\pm$ 0.05	4.74 $\pm$ 2.22	48.45 $\pm$ 6.27	0.31 $\pm$ 0.11
71		11.71 $\pm$ 3.38	0.27 $\pm$ 0.06	6.27 $\pm$ 2.98	42.50 $\pm$ 2.77	0.29 $\pm$ 0.14
163		8.13 $\pm$ 0.77	0.17 $\pm$ 0.05	4.56 $\pm$ 1.16	51.08 $\pm$ 12.61	0.55 $\pm$ 0.16
208		6.36 $\pm$ 1.92	0.17 $\pm$ 0.04	4.55 $\pm$ 1.71	39.67 $\pm$ 10.27	0.37 $\pm$ 0.09
209		9.82 $\pm$ 2.84	0.23 $\pm$ 0.08	5.39 $\pm$ 2.72	45.91 $\pm$ 7.47	0.38 $\pm$ 0.11
219		9.41 $\pm$ 1.96	0.20 $\pm$ 0.04	5.18 $\pm$ 1.62	47.37 $\pm$ 8.06	0.41 $\pm$ 0.15
227		9.27 $\pm$ 2.36	0.20 $\pm$ 0.05	4.55 $\pm$ 1.27	47.47 $\pm$ 1.42	0.42 $\pm$ 0.12
236		10.40 $\pm$ 2.49	0.21 $\pm$ 0.04	4.93 $\pm$ 1.64	51.20 $\pm$ 5.81	0.40 $\pm$ 0.16
996		11.17 $\pm$ 1.97	0.27 $\pm$ 0.06	6.54 $\pm$ 0.77	43.49 $\pm$ 5.23	0.46 $\pm$ 0.10
33	October (Late wet season)	15.51 $\pm$ 3.71	0.36 $\pm$ 0.06	7.90 $\pm$ 0.52	43.40 $\pm$ 3.77	0.14 $\pm$ 0.03
60		13.40 $\pm$ 1.86	0.33 $\pm$ 0.02	7.20 $\pm$ 1.63	41.06 $\pm$ 3.65	0.14 $\pm$ 0.09
71		14.23 $\pm$ 1.89	0.33 $\pm$ 0.02	7.93 $\pm$ 0.73	43.28 $\pm$ 6.62	0.15 $\pm$ 0.03
163		13.41 $\pm$ 2.13	0.30 $\pm$ 0.08	7.07 $\pm$ 1.46	47.23 $\pm$ 9.55	0.14 $\pm$ 0.04
208		12.73 $\pm$ 2.12	0.31 $\pm$ 0.07	7.11 $\pm$ 1.29	42.98 $\pm$ 8.51	0.16 $\pm$ 0.02
209		14.32 $\pm$ 3.61	0.34 $\pm$ 0.09	6.84 $\pm$ 1.99	43.36 $\pm$ 12.94	0.11 $\pm$ 0.02
219		15.74 $\pm$ 2.50	0.36 $\pm$ 0.06	8.49 $\pm$ 0.73	43.60 $\pm$ 2.99	0.16 $\pm$ 0.03
227		12.43 $\pm$ 3.60	0.30 $\pm$ 0.03	7.26 $\pm$ 1.26	41.78 $\pm$ 9.48	0.15 $\pm$ 0.02
236		15.59 $\pm$ 0.74	0.32 $\pm$ 0.03	8.12 $\pm$ 0.90	50.00 $\pm$ 5.96	0.19 $\pm$ 0.08
996		14.86 $\pm$ 2.16	0.30 $\pm$ 0.02	7.45 $\pm$ 0.96	49.12 $\pm$ 2.52	0.15 $\pm$ 0.04

Note: Data are mean $\pm$ standard deviation

Table 5 Mean values of Light-saturated net photosynthesis (A_{sat}), stomatal conductance (g_s), transpiration (E), intrinsic water-use efficiency (WUE) and pre-dawn water potential (Ψ_{pd}) of *Eucalyptus camaldulensis* half-sib families.

Factor	A_{sat} ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	g_s ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	E ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$)	WUE ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$)	Ψ_{pd} (MPa)
Family					
33	13.32a	0.33a	7.14a	42.69a	0.26a
60	12.80a	0.35a	7.32a	38.99a	0.24a
71	13.17a	0.35a	7.58a	40.43a	0.20a
163	11.80a	0.30a	6.99a	42.68a	0.31a
208	11.72a	0.33a	6.71a	38.46a	0.24a
209	13.07a	0.33a	7.06a	41.64a	0.24a
219	13.93a	0.35a	7.57a	42.13a	0.25a
227	12.20a	0.33a	6.78a	40.00a	0.25a
236	12.30a	0.33a	7.30a	42.62a	0.29a
996	12.89a	0.31a	7.34a	43.41a	0.29a
Season					
Dry season	11.43c	0.29c	5.69c	40.76c	0.31b
Early wet season	16.03a	0.50a	10.36a	33.18d	0.19c
Wet season	9.47d	0.21d	5.14d	46.70a	0.39a
Late wet season	14.22b	0.32b	7.54b	44.58b	0.15d
p-value					
Family	0.11	0.30	0.45	0.34	0.19
Season	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Family*Season	<0.01	<0.01	0.52	0.24	0.04

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

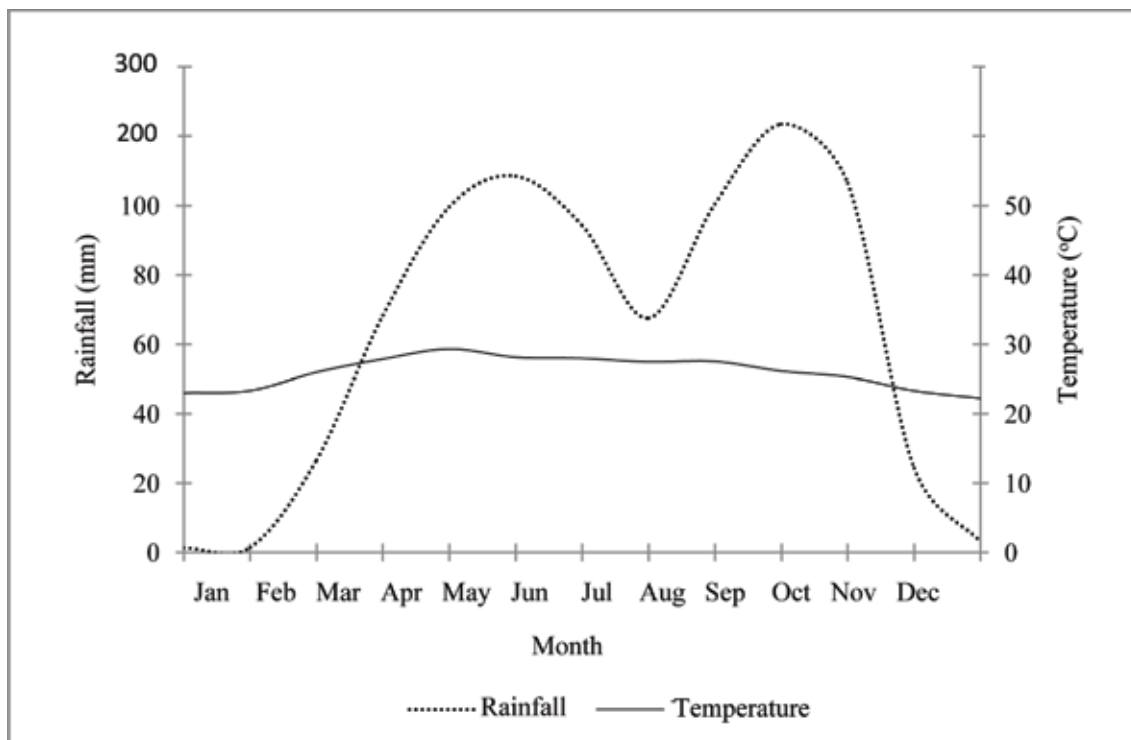


Figure 1 Mean temperature and mean monthly rainfall at Sakaerat Environmental Research Station during 2000 - 2009.

Source: Sakaerat Environmental Research Station (2009)

แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($P=0.30$) แม้ว่าการชักนำของปากใบในแต่ละสายพันธุ์จะไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่จากแนวโน้มการแปรผันตามฤดูกาล สามารถจำแนกการแปรผันได้เป็น 3 กลุ่มเช่นกัน คือ กลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าการชักนำของปากใบมีการแปรผันมากในแต่ละฤดูกาล โดยมีค่าเฉลี่ยสูงในช่วงฤดูฝนและลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ 208 และ 227 ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าการชักนำของปากใบมีการแปรผันปานกลางในแต่ละฤดูกาล โดยมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝน และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงฤดูแล้ง เช่น สายพันธุ์ 60, 71 และ 219 เป็นต้น แต่บางสายพันธุ์การชักนำของปากใบมีค่าปานกลางและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงฤดูแล้ง เช่น สายพันธุ์ 236 เป็นต้น ทั้งนี้ค่าการชักนำของปากใบที่เปลี่ยนแปลงน้อยในแต่ละฤดูกาล

แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเช่นเดียวกับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่กล่าวไปแล้ว และกลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าการชักนำของปากใบมีค่าค่อนข้างต่ำในทุกฤดูกาล ได้แก่ สายพันธุ์ 163 และ 996

การคายน้ำ

การคายน้ำของพืชมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในอากาศและสภาพอากาศ ณ ขณะนั้นซึ่งแปรผันไปตามฤดูกาลโดยในช่วงฤดูแล้งการคายน้ำเกิดขึ้นน้อยกว่าในช่วงฤดูฝน เดือนธันวาคม (ฤดูแล้ง) และเดือนกรกฎาคม (ฝนทิ้งช่วง) ยูลาลิปดัสมีค่าการคายน้ำเฉลี่ย 5.69 และ 5.14 มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (Table 5) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคม (ต้นฤดูฝน) และตุลาคม (ปลาย

ฤดูฝน) (10.36 และ 7.54 มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ) เนื่องจากเดือนธันวาคมและกรกฎาคมเป็นช่วงที่ขาดน้ำ ยูคาลิปตัสจำเป็นต้องรักษาน้ำไว้ในเซลล์ ทำให้มีค่าการคายน้ำน้อยกว่าในช่วงที่มีน้ำมาก (ฤดูฝน) ซึ่งการคายน้ำมีความสัมพันธ์กับค่าการชักน้ำของปากใบ เมื่อปากใบเปิดมาก การคายน้ำจึงเกิดได้มาก แต่ในช่วงที่เกิดภาวะการขาดน้ำจำเป็นต้องรักษาน้ำไว้ในเซลล์จึงปิดปากใบเพียงบางส่วนเพื่อลดการสูญเสียจากการคายน้ำ ค่าการคายน้ำนี้ให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของสาพิศ และคณะ (2552) โดยยูคาลิปตัสมีค่าการคายน้ำน้อยในฤดูแล้ง (3.74 - 8.27 มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวินาที) และคายน้ำมากขึ้นในฤดูฝน (5.40 - 9.21 มิลลิเมตรต่อตารางเมตรต่อวินาที)

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าค่าการคายน้ำมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($P < 0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($P = 0.45$) แม้ว่าการคายน้ำในแต่ละสายพันธุ์จะไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่จากแนวโน้มการแปรผันตามฤดูกาล สามารถจำแนกการแปรผันได้เป็น 3 กลุ่มเช่นกัน คือ กลุ่มของสายพันธุ์ที่มีค่าการคายน้ำแปรผันตามฤดูกาลค่อนข้างมาก โดยมีค่าการคายน้ำในฤดูฝนค่อนข้างสูง และลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ 60, 227 และ 236 ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าการคายน้ำมีการแปรผันปานกลางในแต่ละฤดูกาล โดยมีค่าค่อนข้างสูงในช่วงฤดูฝน และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงฤดูแล้ง เช่น สายพันธุ์ 71 และ 219 เป็นต้น ในขณะที่บางสายพันธุ์มีค่าการคายน้ำปานกลาง และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยในช่วงฤดูแล้ง เช่น สายพันธุ์ 33 และ 209 เป็นต้น และกลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าการคายน้ำมีค่าค่อนข้างต่ำในทุกฤดูกาล ได้แก่ สายพันธุ์ 163 และ 208

ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบ

ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบเป็นปัจจัย

สำคัญในการกำหนดผลผลิตทั้งหมดของต้นไม้ และแสดงถึงลักษณะการทนแล้งของต้นไม้ โดยทั่วไปพรรณไม้ที่สามารถปรับตัวต่อภาวะแล้งได้ดีมักมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูง (Cowan, 1982) ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบยูคาลิปตัสมีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันไปตามฤดูกาล โดยมีค่าค่อนข้างต่ำในช่วงต้นฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมมีค่าเฉลี่ย 33.18 ไมโครโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลของน้ำ) และมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ต้นไม้น้ำขาดน้ำในเดือนธันวาคม (ฤดูแล้ง) ตุลาคม (ฝนทิ้งช่วง) และตุลาคม (ปลายฤดูฝน) โดยมีค่าเฉลี่ย 40.76, 46.70 และ 44.58 ไมโครโมลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลของน้ำ ตามลำดับ (Table 5) เช่นเดียวกับการศึกษาในไม้ดินเป็ด (อรุณี, 2545) และยูคาลิปตัส (สาพิศและคณะ, 2552) ซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($P < 0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($P = 0.34$) แม้ว่าการใช้น้ำของใบในแต่ละสายพันธุ์จะไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่จากแนวโน้มการแปรผันตามฤดูกาล สามารถจำแนกการแปรผันได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของสายพันธุ์ที่ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในแต่ละฤดูกาลมีค่าค่อนข้างแปรผันมาก โดยมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำในช่วงฤดูฝนและมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ 227 และ 236 โดยปกติพรรณไม้ที่สามารถปรับตัวต่อภาวะแล้งมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบเพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง เนื่องจากสัดส่วนการลดลงของค่าการชักน้ำของปากใบมีค่ามากกว่าการลดลงของการสังเคราะห์แสง ส่วนกลุ่มที่สองเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบมีการแปรผันน้อยในแต่ละฤดูกาล โดยมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงในแต่ละฤดูกาล เช่น สายพันธุ์ 163, 219 และ 996 เป็นต้น และกลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบมีค่าค่อนข้างต่ำใน

แต่ละฤดูกาล ได้แก่ สายพันธุ์ 60, 71 และ 208 แสดงให้เห็นว่าเป็นสายพันธุ์ที่ไม่ทนแล้ง การที่สายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบสูง อาจส่งผลให้สามารถสร้างมวลชีวภาพหรือมีการเติบโตได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละฤดูกาล ซึ่งเป็นลักษณะของการปรับตัวของสายพันธุ์ให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

ค่าชดเชยของใบ

ชดเชยของใบของยูคาลิปตัสมีการแปรผันในแต่ละฤดูกาล โดยในเดือนธันวาคม (ฤดูแล้ง) และกรกฎาคม (ฝนทิ้งช่วง) มีค่าชดเชยของใบเฉลี่ย -0.31 และ -0.39 เมกะพาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเดือนพฤษภาคม (ต้นฤดูฝน) และตุลาคม (ปลายฤดูฝน) มีค่าเฉลี่ย -0.19 และ -0.15 เมกะพาสคาล ตามลำดับ (Table 5) ค่าชดเชยของใบจากการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าค่าชดเชยของใบกระถินเทพา กระถินณรงค์ และลูกผสม (ค่าชดเชยของใบในฤดูแล้ง มีค่าตั้งแต่ -2.99 ถึง -0.77 เมกะพาสคาล และฤดูฝน มีค่าตั้งแต่ -0.26 ถึง -0.21 เมกะพาสคาล) (สาพิศ, 2545) การที่ค่าชดเชยของใบมีค่าต่ำเนื่องจากในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้ำในดินน้อย ต้นไม้สามารถดูดน้ำจากดินได้น้อยทำให้น้ำในใบมีปริมาณน้อยตามไปด้วย

เมื่อวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติ พบว่าค่าชดเชยของใบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดูกาล ($P < 0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายพันธุ์ ($P = 0.19$) แม้ว่าค่าชดเชยของใบในแต่ละสายพันธุ์จะไม่แตกต่างกันในทางสถิติ แต่จากแนวโน้มการแปรผันตามฤดูกาล สามารถจำแนกการแปรผันได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าชดเชยของใบมีการแปรผันในแต่ละฤดูกาลค่อนข้างมาก โดยมีค่าสูงในช่วงฤดูฝน และลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้ง ได้แก่ สายพันธุ์ 219, 227 และ 996 กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าชดเชยของใบมีการแปรผันน้อยในแต่ละฤดูกาล โดยมีค่าเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงในแต่ละ

ฤดูกาล เช่น สายพันธุ์ 60, 71 และ 209 เป็นต้น การที่ค่าชดเชยของใบลดลงในช่วงฤดูแล้งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงภาวะการขาดน้ำบริเวณรอบๆ รากของต้นไม้ (Schuze and Hall, 1982) หากค่าชดเชยของใบในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงแสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ในกลุ่มนี้มีความสามารถในการรักษาสมดุลน้ำบริเวณรอบรากได้ดี และกลุ่มสุดท้ายเป็นกลุ่มของสายพันธุ์ที่ค่าชดเชยของใบมีค่าค่อนข้างต่ำในแต่ละฤดูกาล ได้แก่ สายพันธุ์ 163 และ 236

การเติบโตของยูคาลิปตัส (Table 3) มีความสอดคล้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาที่ศึกษา โดยสายพันธุ์ที่มีอัตราการเติบโตสมบูรณ์สูง (สายพันธุ์ 219 และ 227) ลักษณะทางสรีรวิทยามีแนวโน้มการแปรผันปานกลางในแต่ละฤดูกาล โดยสายพันธุ์ 219 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่ค่อนข้างสูง ในขณะที่สายพันธุ์ 227 มีการคายน้ำค่อนข้างต่ำในแต่ละฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีค่าการคายน้ำน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่น การสูญเสียน้ำในปริมาณที่น้อย แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาความชื้นไว้ภายในเซลล์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงได้อย่างต่อเนื่อง ในทำนองเดียวกันสายพันธุ์ที่อัตราการเติบโตสมบูรณ์มีค่าปานกลาง ลักษณะทางสรีรวิทยามีแนวโน้มการแปรผันปานกลางเช่นเดียวกัน แต่บางลักษณะอาจมีการแปรผันในแต่ละฤดูกาลค่อนข้างมาก และมีค่าค่อนข้างต่ำ (สายพันธุ์ 208) นอกจากนี้สายพันธุ์ที่ลักษณะทางสรีรวิทยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีค่าต่ำในทุกฤดูกาล อาจส่งผลให้การเติบโตมีค่าต่ำตามไปด้วย ดังเช่น สายพันธุ์ 163

สรุป

การเติบโตของยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิส ที่ศึกษาครั้งนี้มีการแปรผันระหว่างสายพันธุ์ ในขณะที่ลักษณะทางสรีรวิทยาที่ศึกษามีการแปรผันมากระหว่างฤดูกาลแต่มีการแปรผันน้อยระหว่างสายพันธุ์ อย่างไรก็ตาม

ก็ตามการเติบโตของยูคาลิปตัสมีความสอดคล้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาที่ศึกษา โดยสายพันธุ์ที่มีการเติบโตระดับปานกลางถึงมาก ลักษณะทางสรีรวิทยามีแนวโน้มแปรผันปานกลางในแต่ละฤดูกาล ในขณะที่สายพันธุ์ที่มีการเติบโตในระดับปานกลาง จะมีลักษณะทางสรีรวิทยาที่แปรผันมากในแต่ละฤดูกาล ส่วนสายพันธุ์ที่มีการเติบโตน้อย ลักษณะทางสรีรวิทยาส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยค่อนข้างต่ำในแต่ละฤดูกาล ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรลักษณะทางสรีรวิทยากับการเติบโต เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถเติบโตและปรับตัวได้ดีในพื้นที่ปลูกต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จงรัก วัชรินทร์รัตน์. 2546. **บทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันของดินต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย**. คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พิศาล วสุวานิช และ วิฑูรย์ เหลืองวิริยะแสง. 2539. ความผันแปรการเจริญเติบโตของไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันของดินจากถิ่นกำเนิดต่างๆ ในแปลงทดสอบถิ่นกำเนิด/สายพันธุ์ในประเทศไทย, น. 121-140. ใน รายงานการประชุมวิชาการ การป่าไม้แห่งชาติ ประจำปี 2538 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 20-24 พฤศจิกายน 2538. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สาพิศ คิลกัมพันธ์, คุริยะ สถาพร และนรากร ศรีเลิศ. 2552. ลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบยูคาลิปตัส 4 สายต้นที่ปลูกบนคันนาในจังหวัดฉะเชิงเทรา. *วารสารวนศาสตร์* 28(3): 85 - 96.
- สาพิศ ร้อยอำแพง. 2545. การเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของลูกผสมไม้กระถินณรงค์ และไม้กระถินเทพา, น. 370-382. ใน รายงานวนวัฒนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2545. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- สุณิส ขอดนาม, จงรัก วัชรินทร์รัตน์ และสาพิศ คิลกัมพันธ์. 2553. การทดสอบปลูกไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันของดิน รันที่ 2 บริเวณสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว. *วารสารวนศาสตร์* 29 (2): 37 - 49.
- อรุณี ภู่อุดแสง. 2545. **การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีรวิทยา และโครงสร้างเรือนยอดของไม้ดินเปิดที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Comstock, J. and J. Ehleringer. 1992. Correlating genetic variation in carbon isotopic composition with complex climatic gradients. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 89: 7747-7751.
- Cowan, I.R. 1982. Regulation of water use in relation to carbon gain in higher plants, pp. 589 - 613. In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler, eds. *Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology* New Series vol. 12B. Springer-Verlag, Berlin.
- Hall, D.O., J.M.O.Scurlock, H.R. Bolhar - Nordenkamp, R.C. Leegood and S.P. Long. 1993. **Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual**. Chapman & Hall, London.
- Pinyopusarerk, K. 1989. Growth and survival of Australia tree species in field trials in Thailand. In D.J. Boland, ed. *Trees for*

- the Tropics - growing Australian Multipurpose Trees and Shrubs in Developing Counties. **ACIAR Monograph** No. 10, 109-127.
- Royampaeng, S. 2001. **Physiology of Intraspecific and Interspecific Hybrids of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.** Ph.D. Thesis. Northern Territory University, Darwin, Australia.
- Sakaerat Environmental Research Station. 2009. **General Information.** Meteorological observations. Available source: <http://www.tistr.or.th/sakaerat/Meteorological/Mont/2008-mont.htm>, September 9, 2009.
- Schulze, E.D. and A.E. Hall. 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments, pp. 181 - 230. In O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler, eds. Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. **Encyclopedia of Plant Physiology New Series** vol. 12B. Springer - Verlag, Berlin.
- Wachrinrat, C. 2003. **Roles of Reforestation of *Eucalyptus camaldulensis* on Environmental of Eastern Thailand.** Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok.
- Yodnam, S., C. Wachrinrat and S. Diloksumpun. 2010. Progeny test of the second generation *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. At Wang Nam Khiao Forestry Student Training Station. **Thai J. For.** 29(2): 37-49.
-