ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

ปริญญา

วนวัฒนวิทยา	วนวัฒนวิทยา
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น

Some Physiological Characteristics and Carbon Sequestration of Four Eucalypt Clones

นามผู้วิจัย นายนรากร ศรีเลิศ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รุ่งเรือง พูลศิริ, Dr.nat.techn.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลดาวัลย์ พวงจิตร, D.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(อาจารย์จงรัก วัชรินทร์รัตน์, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น

Some Physiological Characteristics and Carbon Sequestration of Four Eucalypt Clones

โดย

นายนรากร ศรีเลิศ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นรากร ศรีเลิศ 2554: ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวนวัฒนวิทยา ภาควิชาวนวัฒนวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, Ph.D. 82 หน้า

การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษากล้าไม้ในเรือนเพาะชำ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล มี 2 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือ ยูคาลิปตัส 4 สายต้น และปัจจัยที่สองคือ ระดับความเข้มแสง 2 ระดับ จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อศึกษาการเติบโต มวลชีวภาพ และลักษณะทางสรีรวิทยาของใบหลังจากทำการทดลอง 6 เดือน และส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาในแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนาใน 2 พื้นที่ของจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกจำนวน 4 ซ้ำ เพื่อศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของใบยูคาลิปตัส และประมาณค่ามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสเมื่ออายุ 1 ถึง 3 ปี

การศึกษาในกล้าไม้พบว่าความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อความโต ความสูง และมวลชีวภาพทุกๆ ส่วนของกล้าไม้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความแตกต่างของสายต้นมีอิทธิพลต่อการเติบโตทางความสูงและมวลชีวภาพของกิ่ง ใบ และรากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ความเข้มแสงยังมีอิทธิพลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดและปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ สายต้น K7 มีแนวโน้มที่ทนร่มได้ดีกว่าสายต้นอื่น จากการศึกษาในแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา พบว่า การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำของใบ ยกเว้นการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด มีความแตกต่างระหว่างสายต้นและฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ สายต้น K51 มีการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดสูงที่สุดทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะที่สายต้น K58 มีการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดต่ำที่สุดในฤดูฝนแต่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตาม สายต้น K58 มีมวลชีวภาพทั้งในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และมวลชีวภาพเหนือดิน รวมถึงการกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่างๆ มากที่สุด ทั้งนี้ ประสิทธิภาพในการใช้น้ำในฤดูฝน และดัชนีพื้นที่ใบเป็นปัจจัยสำคัญของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของยูคาลิปตัสที่ศึกษาในครั้งนี้

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Narakorn Srilert 2011: Some Physiological Characteristics and Carbon Sequestration of Four Eucalypt Clones. Master of Science (Forestry), Major Field: Silviculture, Department of Silviculture. Thesis Advisor: Mrs. Sapit Diloksumpun, Ph.D. 82 pages.

This study was undertaken in two experiments. The first experiment on eucalypt seedlings was carried out under nursery condition. A 4 x 2 factorial design in a randomized complete block design (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, and leaf physiological characteristics were undertaken six months after the experiment. The second experiment was undertaken on four eucalypt clones planted on paddy bunds in two experimental trials in Chachoengsao province. An RCBD was applied with four replications to determine leaf physiological characteristics and to estimate the tree biomass and carbon storage of 1- to 3-year-old eucalyps.

The results show that the seeding diameter and height as well as the biomass of various parts were significantly influenced by light intensities, while only the height and leaf and root biomass were significantly different among clones. The light intensities also significantly affected leaf photosynthesis and chlorophyll content. The findings suggest that the clone K7 tended to be more shade tolerant compared with the others. The results on four eucalypt clones planted on paddy bunds showed significant differences in stomatal conductance, transpiration and intrinsic water-use efficiency, but not light-saturated net photosynthesis, among clones and between seasons. The clone K51 had relatively high light-saturated net photosynthesis in both wet and dry seasons, while the clone K58 had lower light-saturated net photosynthesis in the wet seasons with minimal changes in the dry season. However, the clone K58 had greater biomass in various parts and the above-ground biomass as well as the carbon storage compared with the others. The findings also suggest that the variation in the carbon storage of these eucalypt clones was contributed to intrinsic water-use efficiency determined in the wet season and the leaf area index.

_____ _____ __ / __ / __

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ ผศ.ดร. รุ่งเรือง พูลศิริ และ ผศ.ดร. ลดาวัลย์ พวงจิตร และอาจารย์ภาควิชาวนวัฒนวิทยาเป็นอย่างสูง ที่ช่วยในการอ่าน และขัดเกลาวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า รวมทั้งให้คำปรึกษา เสนอแนะ แก้ไขส่วนต่างๆ เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าให้เกิดความถูกต้อง สมบูรณ์ตามกฎและระเบียบทางบัณฑิตวิทยาลัยอย่างครบถ้วน ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับ บริษัท สมาชิกส่งเสริม จำกัด บริษัท ยูคาลิปตัส เทคโนโลยี จำกัด และ บริษัท พี ซี เอส แมนเนจเม้นท์ จำกัด รวมทั้งบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณพี่ดุริยะ สถาพร วนศาสตร์รุ่น 59 สำหรับการเก็บข้อมูลตลอด 3 ปีที่ผ่านมา ขอบคุณพี่ๆวนศาสตร์ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและเนื้อหาต่างๆ เพื่อนรุ่น 67 ทุกคน และน้องวนศาสตร์ 68 – 70 ทุกคนที่ช่วยในการเก็บข้อมูล กรอกข้อมูล เก็บข้อมูลภาคสนาม คุณกิตติยา มาตยารักษ์ที่ช่วยพิมพ์และจัดหน้าวิทยานิพนธ์ รวมถึงทุกท่านที่เป็นกำลังใจที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ประโยชน์อันที่จะเกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แด่ คุณพ่อบรรยง คุณแม่นุชนาถ ศรีเลิศ ที่ได้ให้กำเนิดและอบรมสั่งสอนจนข้าพเจ้ามีวันนี้ รวมทั้งน้องกนกวรรณ ศรีเลิศ ที่เป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบคุณครับ

นรากร ศรีเลิศ

กรกฎาคม 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของไม้โตเร็ว	17
2	สมการคลอโรฟิลล์มาตรฐานของใบยูคาลิปตัส 4 สายต้น	22
3	ลักษณะภูมิอากาศในช่วงที่ศึกษาบริเวณตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 (เฉลี่ย 3 ปี)	26
4	สมการแอลโลเมตรี (allometric equation) สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของยูคาลิปตัส สายต้น K7 K51 K58 และ K 59	31
5	การเติบโตของกล้ายูคาลิปตัส 4 สายต้น ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) และ ร้อยละ30 ของความเข้มแสงปกติ	36
6	มวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของกล้ายูคาลิปตัส 4 สายต้น หลังจากการทดลอง 6 เดือน	38
7	ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกล้ายูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ100 และ 30 ของความเข้มแสงปกติ	42
8	การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของกล้ายูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จากการคำนวณโดยใช้สมการของ Boot and Loomis (1991)	44
9	การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (A_{sat}) การชักนำของปากใบ (g_s) การคายน้ำ (E) และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (WUE) ของยูคาลิปตัสในแปลงปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา	47
10	ดัชนีพื้นที่ใบของยูคาลิปตัสในแปลงปลูกยูคาลิปตัส บนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา	52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

11 พื้นที่เรือนยอดของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา 54

12 มวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา อายุ 1, 2 และ 3 ปี 56

13 ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสในแปลงปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา อายุ 1, 2 และ 3 ปี 62

14 การกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสอายุ 1, 2 และ 3 ปี ในแปลงปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา 64

15 ตารางแสดงข้อมูลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา อายุ 3 ปี 68

16 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา 70

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงพื้นที่ทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และ แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา	24
2	แผนผังแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา	28
3	แผนผังแปลงทอลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา	29
4	การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของกล้ายูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (100 % light) และความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ (30 % light) วิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการของ Boot and Loomis (1991)	45
5	มวลชีวภาพเหนือดินของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา	60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการและการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น

Some Physiological Characteristics and Carbon Sequestration of Four Eucalypt Clones

คำนำ

ภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศซึ่งมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) เป็นภัยคุกคามโลกมนุษย์ ส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆ ของโลก ได้แก่ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมถึงเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรมของมนุษย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide, CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากที่สุด (ในปัจจุบันมีความเข้มข้น 383 ppm) และก่อให้เกิดปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก (greenhouse effect) อันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปัจจุบัน (Levin and Pershing, 2008) การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศประมาณร้อยละ 75 เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 25 เกิดจากการสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทำลายป่าไม้ (Buckley, 2007) เนื่องจากต้นไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และมีกระบวนการสะสมคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและอยู่ใต้ดิน (above and below ground biomass) การสะสมคาร์บอนของป่าธรรมชาติขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของสังคมพืช และความหนาแน่นของพืชพรรณ ส่วนการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าขึ้นอยู่กับชนิดไม้ ระยะปลูกและคุณภาพพื้นที่ ซึ่งไม้ที่มีการเติบโตเร็วจะมีประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้ดีกว่าไม้ที่โตช้า ดังนั้นการปลูกสร้างสวนป่าไม้โตเร็ว จึงมีส่วนสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนป่ายูคาลิปตัส ที่มีการเติบโตเร็วจึงทำให้มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้สูง

ยูคาลิปตัสเป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่งที่ในปัจจุบันนิยมปลูกเป็นสวนป่าเพื่อนำไม้มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ สามารถปลูกได้ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย มีตลาดรองรับที่ชัดเจน และผลตอบแทนสูง นอกจากการปลูกเป็นสวนป่าแล้ว ในปัจจุบันยูคาลิปตัสมีการปลูกควบกับพืชอื่นๆในระบบวนเกษตร รวมถึงการปลูกบนคันนาที่ปัจจุบันเป็นที่นิยมในหมู่เกษตรกร ซึ่งเป็นการใช้พื้นที่ว่างให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด รวมทั้งเป็นการเพิ่มรายได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกเหนือจากการทำนาอีกด้วย ยูคาลิปตัสที่ปลูกในประเทศไทยในปัจจุบันมีความหลากหลายทางพันธุกรรม ทั้งนี้ การปลูกไม้ยูคาลิปตัสโดยการใช้พันธุกรรมที่แตกต่างกัน นอกจากจะมีลักษณะทางสรีรวิทยา เช่น การสังเคราะห์แสง และโครงสร้างของเรือนยอดที่แตกต่างกันแล้ว ยังก่อให้เกิดการแปรผันของการเติบโตและผลผลิต ตลอดจนศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอน ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงทำให้ทราบถึงลักษณะทางสรีรวิทยาของยูคาลิปตัสที่มีลักษณะทางพันธุกรรมต่างกัน ซึ่งมีอิทธิพลต่อมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแปรผันของลักษณะทางสรีรวิทยาของใบยูคาลิปตัส 4 สายต้น

2. เพื่อเปรียบเทียบมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของยูคาลิปตัส 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนาใน 2 พื้นที่ของจังหวัดฉะเชิงเทรา

3. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนาข้างต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปของยูคาลิปตัส

ยูคาลิปตัสเป็นไม้ต่างถิ่นมีมากกว่า 700 ชนิด มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปออสเตรเลียเป็นส่วนใหญ่ แต่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ทั้งในทวีปอเมริกา แอฟริกา และเอเชีย ประเทศไทยได้เริ่มนำยูคาลิปตัสชนิดต่างๆ มาทดลองปลูกประมาณปี พ.ศ. 2493 แต่ได้มีการทดลองปลูกอย่างจริงจัง เมื่อประมาณปี พ.ศ. 2507 และได้เริ่มมีการปลูกสร้างสวนป่าเชิงพาณิชย์อย่างจริงจังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 เป็นต้นมา (บุญวงศ์, 2530)โดยยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis*) สามารถเติบโตได้ในแทบทุกสภาพพื้นที่ และมีอัตราการเติบโตสูงจึงนิยมปลูกกันมากอย่างแพร่หลาย สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ จะทบทวนเอกสารเฉพาะยูคาลิปตัสที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมเกี่ยวข้องกับสายต้น (clone) ที่ทำการศึกษา

1.1 ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส

ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) มีชื่อพ้อง (synonym) ว่า *Eucalyptus rostrata* Schlecht. มีชื่อสามัญว่า red gum, murrey red gum, river gum, river red gum มีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติเป็นบริเวณกว้าง ทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่นของประเทศออสเตรเลีย เป็นยูคาลิปตัสที่มีการนำไปปลูกนอกถิ่นกำเนิดมากที่สุด ในประเทศไทยสามารถนำไปปลูกได้ และเติบโตได้ดีในดินเกือบทุกสภาพ (อนิวรรต, 2527)

ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส โดยทั่วไปมีความสูง 15-30 เมตร ลำต้นเปลาตรง กิ่งแตกตั้งฉากกับลำต้น แผ่กระจายไม่กว้างนัก เปลือกเรียบสีชมพู สีครีมหรือสีขาว ลอกเป็นแผ่นกว้างๆ ใบมีลักษณะเป็นแบบเรียวยาว ใบอ่อนรูปร่างแบบรูปหอก เส้นใบขนานกัน ก้านใบมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ใบส่วนใหญ่ห้อยแขวนลงมา ดอกเป็นรูปกระสวย โดยส่วนล่างเป็นรูปถ้วยมีฝาเปิดปลายเป็นรูปจะงอย ออกดอกเกือบตลอดปี (FAO, 1981) และเมล็ด 1 กิโลกรัม มีประมาณ 700,000 เมล็ด (Little, 1980) ผลส่วนใหญ่แก่ระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม และระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน โดยปกติให้เมล็ดประมาณ 2-3 กิโลกรัมต่อต้น ควรเก็บเมล็ดในช่วงที่ผลแก่เต็มที่ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก หลังจากนั้นผลจะแตกและเมล็ดหลุดร่วงอย่างรวดเร็ว (Eldridge *et al*., 1997) ลักษณะเนื้อไม้ มีแก่นสีน้ำตาล กระพี้สีน้ำตาลอ่อน กระพี้และแก่นมีสี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แตกต่างเห็นได้ชัด เนื้อไม้ค่อนข้างละเอียด เสี้ยนสน บางครั้งบิดตามแนวลำต้น เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุของไม้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น อุตสาหกรรมผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด เยื่อและกระดาษ ไม้อัดแผ่นเรียบ และไม้บาง ใช้ทำเสาเข็ม ทำพื้นบ้านและเครื่องเรือน ใช้ทำฟืนและถ่าน ตลอดจนเครื่องมือเกษตร ทำน้ำมันหอมระเหยจากใบ ดอกใช้เลี้ยงผึ้ง ให้สีย้อมธรรมชาติ (กรมป่าไม้, 2545) นอกจากนี้ ในปัจจุบันนิยมนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปเชื้อเพลิงชีวมวล (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2552) และเป็นชนิดไม้ที่นิยมนำมาปลูกสร้างสวนป่าเนื่องจากเติบโตดี ให้ผลผลิตสูง เมื่อเปรียบเทียบกับไม้โตเร็วชนิดอื่น ในช่วง 1-2 ปีแรก สามารถปลูกพืชควบได้ เนื่องจากมีเรือนยอดโปร่ง พืชที่นิยมปลูกควบได้แก่ ละหุ่ง เผือก ถั่วลิสง สับปะรด ข้าวโพด ข้าว และหญ้ากินี เป็นต้น ซึ่งผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า พืชควบที่ปลูกให้ผลผลิตที่อยู่ในเกณฑ์ดี และยูคาลิปตัสไม่ส่งผลต่อผลผลิตพืชควบ (กรมป่าไม้, 2545)

การปลูกสร้างสวนป่ายูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส พื้นที่ควรมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 600 มิลลิเมตรต่อปี อยู่ในระดับความสูงตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับสูงกว่า 1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล สามารถขึ้นอยู่ได้ในที่ที่มีน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน 1-2 เดือน หรือมีฤดูแล้งติดต่อกัน 4-8 เดือน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโต คือ 27-35 องศาเซลเซียส ลักษณะดินที่ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ขึ้นอยู่มีลักษณะแตกต่างกัน ตั้งแต่ดินที่เป็นดินทรายถึงดินที่มีปริมาณดินเหนียวสูง ในบางแห่งเป็นดินเปรี้ยว หรือเป็นดินเค็ม แต่ไม่ทนต่อดินที่มีปริมาณหินปูนสูง ลักษณะดินที่เหมาะสำหรับการเติบโต ควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6-8 และเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดี (FAO, 1979)

1.2 ยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา

ยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) มีชื่อสามัญว่า Timor white gum ในประเทศอินโดนีเซีย เรียก ampupu, popo, palavao และ palavao preto เป็นหนึ่งในสองชนิดของยูคาลิปตัสที่มีถิ่นกำเนิดนอกประเทศออสเตรเลีย โดยมีถิ่นกำเนิดในประเทศอินโดนีเซีย พบกระจายอยู่ทางตะวันออกเฉียงใต้ รอบเกาะ Timor และ Flores พบได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับความสูงจากน้ำทะเลมากกว่า 3,000 เมตร มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 700-2,500 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 24-28 องศาเซลเซียส ทนทานต่อสภาพดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื้อดินไม่เกาะกัน (Eldridge *et al*., 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา เป็นไม้มีความสูงประมาณ 25-45 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร ถ้าในพื้นที่ที่เหมาะสมอาจสูงได้ถึง 50 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2 เมตร มีส่วนที่เป็นลำต้นสองในสามของความสูงทั้งหมด มีลำต้นเปลาตรง เปลือกไม่เรียบ ใบเมื่ออ่อนแตกต่างกับใบแก่ โดยจะมีขนาดเล็กกว่าและกลม เมื่อใบแก่จะมีขนาดยาวและแคบกว่า ใบยาว 12-20 เซนติเมตร ดอกเป็นดอกเดี่ยวออกตามง่ามใบ 5-7 ดอก ดอก ออกเมื่ออายุ 2-3 ปี ดอกออกช่วงฤดูแล้ง หลังจากนั้น 6 เดือน ผลจะแก่และแห้งแตก มีเมล็ดเฉลี่ย 400,000-700,000 เมล็ดต่อกิโลกรัม ไม้มีความหนาแน่นระหว่าง 540-570 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่นำมาใช้ทำเยื่อกระดาษ ไม้กระดาน ไม้แปรรูปและไม้ก่อสร้างทั่วๆ ไป (Eldridge *et al*., 1997)

1.3 ยูคาลิปตัส แกรนดิส

ยูคาลิปตัส แกรนดิส (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) มีชื่อสามัญว่า rose gum หรือ flooded gum เป็นไม้พื้นเมืองในประเทศออสเตรเลีย มีถิ่นกำเนิดและกระจายพันธุ์อยู่ในทางตอนเหนือของรัฐ New South Wales และ Queensland (Eldridge *et al*., 1997)

ยูคาลิปตัส แกรนดิส เป็นไม้ที่มีเรือนยอดเด่น โดยทั่วไปมีความสูงประมาณ 45-55 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก 1.2-2 เมตร ในลำต้นที่มีการเติบโตสูงสุดจะมีความสูงถึง 75 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก 3 เมตรขึ้นไป มีลำต้นเกลี้ยง เปลือกลอกเป็นแผ่น ลำต้นสีเทาขาว เปลาตรง ใบเมื่อเป็นกล้าไม้มีสีเขียวถึงเขียวเข้ม ใบรูปไข่ เมื่อโตเต็มที่ใบจะเป็นรูปหอกคว่ำ มีการเรียงตัวตรงกันข้ามหรือเรียงตัวสลับกัน 4-5 คู่ เมื่อไม้โตขึ้น ใบจะมีการเรียงตัวเช่นเดียวกับกล้าไม้แต่จะมีประมาณ 7 คู่ หลังใบสีเขียว ท้องใบจะมีสีจางกว่า และมีเส้นใบหนาแน่น ดอกจะมีลักษณะเป็นช่อดอกแบบกลุ่มย่อย ในแต่ละช่อมี 7-11 ดอก ขนาด 0.8-1.8 เซนติเมตร ก้านดอกสั้น จะออกดอกในเดือนเมษายนถึงเดือนสิงหาคม ผลมีก้านผลสั้น มีขนาดยาว 0.5-0.8 เซนติเมตร กว้าง 0.3-0.4 เซนติเมตร ผลมีลักษณะเป็นถ้วย มีร่องอยู่ภายใน โดยจะมี 4-5 ร่อง จะออกผลตามปลายกิ่ง และปลายยอด ไม้มีความหนาแน่นปานกลาง 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนักเบา เนื้อไม้อ่อน ร้าวได้ง่าย นำมาใช้ประโยชน์เป็นไม้ก่อสร้าง และวัตถุดิบสำหรับเยื่อและกระดาษ (Eldridge *et al*., 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ยูคาลิปตัส ดีกลุปต้า

ยูคาลิปตัส ดีกลุปต้า (*Eucalyptus deglupta* Blume) เป็นไม้ใหญ่ สูง 35-60 เมตร และบางครั้งอาจสูงได้ถึง 75 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-2 เมตร หรือมากกว่านี้ ยูคาลิปตัสชนิดนี้เป็นไม้ในเขตร้อนพบในธรรมชาติทางตอนเหนือของเขตศูนย์สูตร ในประเทศอินโดนีเซีย ปาปัวนิวกินี และมินดาเนา ประเทศฟิลิปปินส์ และเป็นไม้หนึ่งในสองชนิดที่ไม่พบในประเทศออสเตรเลีย (Eldridge *et al*., 1997)

ยูคาลิปตัสชนิดนี้มีการพัฒนาที่ดี พบตามริมแม่น้ำ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลต่ำกว่า 150 เมตร ใน New Britain ประเทศปาปัวนิวกินี แต่สามารถกระจายไปจนถึงความสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 1,800 เมตร ในธรรมชาติจะอยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้น มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 2,500-3,500 มิลลิเมตร แต่สามารถรับได้ถึง 5,000 มิลลิเมตร ในช่วงมรสุม ในพื้นที่ต่ำมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปี 20-32 องศาเซลเซียส ในพื้นที่สูงมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดรายเดือนของเดือนที่มีอากาศเย็นสูงสุด มีอุณหภูมิเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส (Eldridge *et al.*, 1997) ในการปลูกสร้างสวนป่า ไม้ชนิดนี้มีศักยภาพสูงในการปลูกในพื้นที่เขตร้อนชื้น ในพื้นที่ที่เหมาะสมมีอัตราการเติบโตดีมาก (25-40 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ต่อปี) ไม้อายุมากกว่า 15 ปี มีเนื้อไม้และเปลือกเหมาะแก่การทำเยื่อและกระดาษ ลำต้นมีเปลือกเรียบ สีเหลือง น้ำตาล และม่วง แต่จะมีสีเขียวเมื่อเปลือกลอก ใบอ่อนเรียงตัวแบบตรงกันข้าม ใบรูปไข่ถึงแกมรูปหอก ใบแก่เรียงตัวแบบตรงกันข้ามถึงเกือบตรงกันข้าม น้อยมากที่เรียงตัวแบบเรียงสลับ ก้านใบสั้น ปลายใบรูปไข่ ถึงแกมหอก หรือแหลม ดอกเป็นแบบซี่ร่มที่ปลายยอด หรือเป็นช่อแยกแขนงตามง่ามใบ ผลเป็นทรงกลม (World Agroforestry Centre, 2009) ไม้ที่มีอายุน้อยกว่า 15 ปี มีความหนาแน่น 270-440 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม้นำมาใช้เป็นไม้ก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ไม้ระแนง และไม้ปูพื้น (Turnbull and Pryor, 1984)

1.5 ยูคาลิปตัส แบรดเซียนา

ยูคาลิปตัส แบรดเซียนา (*Eucalyptus Brassiana* S.T. Blake) เป็นไม้ในเขตร้อนชื้น กระจายพันธุ์ในประเทศออสเตรเลีย เป็นไม้ที่เติบโตเร็วและปรับตัวได้ดี กระจายพันธุ์ในพื้นที่ระดับต่ำจนถึงระดับความสูงจากน้ำทะเล 650 เมตร เป็นชนิดที่ทนต่อสภาพน้ำท่วมและความแห้งแล้ง (National Academy of Science, 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยูคาลิปตัส แบรดเซียนา เป็นไม้ยืนต้น เปลือกติดแน่นทั้งลำต้น สีเทา หรือดำเทา ใบเรียงตัวแบบตรงกันข้าม ใบรูปหอก รูปเคียว ปลายใบแหลม ใบบางสีเขียวเข้ม ก้านใบแบนแหลม ฐานใบมน ดอกเป็นดอกช่อเดี่ยว ออกตามง่ามใบ ประมาณ 3-7 ดอก ก้านดอกเป็นเหลี่ยม ดอกตูมเป็นรูปกระสวย มีสีขาวหรือครีม ผลรูปกระสวยหรือรูปไข่ เนื้อไม้มีความหนาแน่นปานกลางจนถึงมาก ไม้นำไปเป็นไม้เชื้อเพลิงและไม้ก่อสร้าง (National Academy of Science, 1980)

2. ลักษณะทางสรีรวิทยาของไม้ยืนต้น

2.1 การสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์แสง คือ กระบวนการทางสรีรวิทยาซึ่งพืชสังเคราะห์สารอินทรีย์จากสารประกอบอนินทรีย์โดยมีแสงปรากฏอยู่ด้วย สิ่งมีชีวิตทุกชนิดต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการเติบโตและรักษาสภาพเดิมให้คงอยู่ หรืออาจกล่าวได้ว่า กระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นกระบวนการที่พืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศผ่านเข้าทางปากใบ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์อาหาร โดยใช้พลังงานที่ได้จากแสงแดดสังเคราะห์สารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้แก่ แป้งและน้ำตาลจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยมีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และรงควัตถุต่างๆ ทำหน้าที่สำคัญในการรับแสงและส่งผ่านพลังงานกระตุ้นให้แก่โมเลกุลของคลอโรฟิลล์ที่อยู่ถัดไป การสังเคราะห์แสงของต้นไม้มีความสำคัญต่อระบบนิเวศเป็นอย่างมาก อาหารที่พืชสร้างขึ้นมานั้นนอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตเองแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมวลที่ไม่สามารถสร้างอาหารได้โดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Kramer and Kozlowski, 1979) และเป็นการถ่ายทอดพลังงานจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภค

อัตราการสังเคราะห์แสงและปริมาณผลผลิตที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมอัน ได้แก่ ปัจจัยภายใน เช่น โครงสร้างของใบ โพรโตพลาสต์ และผลผลิตของการสังเคราะห์แสง และปัจจัยสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ แสงสว่าง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และแร่ธาตุ (อักษร, 2521)

แสงนับเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของต้นไม้ทั้งคุณภาพแสงหรือช่วงความยาวคลื่นแสง (wavelength) ความเข้มแสง (light intensity) และช่วงเวลาที่ได้รับแสง (photoperiod) โดยแสงที่เป็นประโยชน์ต่อพืช หรือ photosynthetically active radition (PAR) มีช่วงความยาวคลื่นแสงอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร แต่แสงแต่ละช่วงความยาวคลื่นแสงให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงที่แตกต่างกันเพราะพลังงานของใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แต่ละอนุภาคแตกต่างกัน (Devlin and Barker, 1971) นอกจากนี้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชยังมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสง (photosynthetic photon flux density, PPFD) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบที่มิใช่เชิงเส้นตรง (non-linear correlation) เมื่อความเข้มแสงมีค่าเป็นศูนย์ใบจะมีการหายใจแต่เพียงอย่างเดียว เรียกว่า การหายใจในที่มืด (dark respiration) และการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ความเข้มแสง ณ จุดที่ทำให้การสังเคราะห์แสงอยู่ในภาวะสมดุล (อัตราการสังเคราะห์แสงเท่ากับอัตราการหายใจ) เรียกว่า light compensation point (LCP) หลังจากนี้การสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อัตราการเพิ่มขึ้น (initial slope) จะขึ้นอยู่กับ quantum yield ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพในการใช้แสงที่ระดับความเข้มแสงต่ำ อัตราการสังเคราะห์แสงยังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงความเข้มแสงระดับหนึ่งที่ทำให้การสังเคราะห์แสงมีค่าสูงสุด (light-saturated gross photosynthesis) เรียกความเข้มแสงระดับนี้ว่า จุดอิ่มตัวของแสง (light saturation point) โดยทั่วไปพรรณไม้ที่ชอบแสง (light demanding species) มีจุดอิ่มตัวของแสงสูงกว่าพรรณไม้ทนร่ม (shade tolerant species) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ความเข้มแสงอิ่มตัวของพรรณไม้ในเขตร้อนมีค่าระหว่าง 600-800 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที หรือมีปริมาณเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณความเข้มแสงที่ได้รับเต็มที่ (สาพิศ, 2545ก; Larcher, 1995) อย่างไรก็ตาม ที่ระดับความเข้มแสงต่ำอัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้ทนร่มจะมีค่าสูงและทำให้มีค่า quantum yield ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพรรณไม้ที่ชอบแสง (สาพิศ, 2545ข) นอกจากนี้ในการศึกษาไม้ขนาดใหญ่หลายชนิดพบว่า ในต้นเดียวกันใบที่อยู่ด้านล่างของเรือนยอดซึ่งได้รับแสงน้อยมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับต้นไม้ที่ปลูกในที่ร่ม (สาพิศ, 2545ก; Morecroft and Roberts, 1999; Miranda *et al*., 2004)

นอกจากนี้น้ำก็เป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงในฤดูแล้งเนื่องจากการขาดน้ำ เพราะน้ำเป็นองค์ประกอบของเซลล์และแหล่งอิเลคตรอนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และยังมีบทบาทสำคัญต่อการปิดเปิดของปากใบ ในสภาพขาดน้ำพืชจะปิดปากใบเพื่อลดการคายน้ำ และป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับเซลล์และการเสื่อมของเอนไซม์ การแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนที่ปากใบจึงเป็นไปได้ยาก ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง (Martin and Ruiz -Torres, 1992) จากการศึกษาของสาพิศ (2545ข) พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงในฤดูแล้งของกระถินณรงค์ กระถินเทพา และลูกผสม ลดลงถึงร้อยละ 60 ของฤดูฝน และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงและความเข้มแสงของพรรณไม้เด่นในป่าไม้ดิบแล้งและป่าไม้เบญจพรรณ พบว่า ในฤดูฝนอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่จุดอิ่มตัวของแสงมีค่ามากกว่าในฤดูแล้ง และในช่วงเช้ามีค่ามากกว่าในช่วงบ่าย นอกจากนี้ยัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบว่า ความแตกต่างระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่ายนี้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลร่วมระหว่างการขาดน้ำและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (สาพิศ และคณะ, 2549)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ไม้โตเร็วมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบสูงกว่าไม้โตช้า (Chaisalee, 2000) เนื่องจากต้นไม้นำผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงมาใช้ในการสร้างการเติบโต และสะสมคาร์บอนไว้ในมวลชีวภาพ นอกจากนี้ยังพบว่า ไม้โตเร็วที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมแตกต่างกันมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน (สาพิศ, 2545ข) แต่การศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการทางด้านสรีรวิทยาหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตอย่างรวดเร็วของต้นไม้ยังมีอยู่น้อยมาก แต่มีบางงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ใบทั้งหมดของต้นไม้มีความสำคัญต่อการเติบโตมากกว่าการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ (Cole *et al*., 1994) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการเติบโตของต้นไม้มิได้ขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์แสงของใบแต่เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับการสังเคราะห์แสงทั้งหมดของเรือนยอดของต้นไม้ ดังนั้น อัตราการเติบโตของต้นไม้จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่มีผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการสังเคราะห์แสงของเรือนยอด เช่น การสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ การคายน้ำ (transpiration) ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (water-use efficiency) ดัชนีพื้นที่ผิวใบ (leaf area index) (Royampaeng, 2001) เป็นต้น

2.2 การชักนำของปากใบ

การชักนำของปากใบ (stomatal conductance) หมายถึง คุณสมบัติของพืชในการชักน้ำให้ไอน้ำหลุดพ้นจากใบพืชโดยผ่านทางปากใบ (stomata) ทำให้มีการสูญเสียน้ำออกทางปากใบ (Huxman and Smith, 2001) ปากใบเป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างยิ่งของใบในการใช้เป็นช่องทางในการแลกเปลี่ยนก๊าซรวมถึงการคายไอน้ำระหว่างใบกับบรรยากาศภายนอก การเปิดปิดของปากใบถูกควบคุมโดยความเต่งของเซลล์ ปากใบจะเปิดเมื่อเซลล์คุมเต่ง (มีน้ำเต็ม) และจะปิดเมื่อเซลล์คุมแฟบ ซึ่งจะตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอก เช่น แสง ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยปกติในพืชทั่วไป ปากใบจะปิดในเวลากลางคืนและจะเปิดเมื่อได้รับแสงในตอนเช้า ในตอนบ่ายที่มีแสงแดดจัดปากใบจะปิดอีกครั้งหนึ่ง (สมบุญ, 2538) Farguhar and Sharkey (1982) ศึกษาพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการชักนำของปากใบ ในช่วงเที่ยงวันเมื่อต้นไม้มีการปิดของปากใบพร้อมกันเพื่อป้องกันการเสียน้ำ จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของพืชลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนในช่วงเย็นการที่อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมีการเปิดของปากใบอีกครั้งเมื่ออุณภูมิใบลดต่ำลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาของ Kramer and Kozlowski (1979) พบว่า การแปรผันของอัตราการสังเคราะห์แสงในพรรณไม้ชนิดเดียวกัน เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของลักษณะปากใบที่ทำให้ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน และพบว่า ความสามารถในการสังเคราะห์แสงของพืชระหว่างสายพันธุ์ มีความสัมพันธ์กับขนาดของปากใบ และมีรูปแบบในลักษณะเดียวกับการแปรผันของปริมาณความเข้มแสง และค่าความแตกต่างความดันไอระหว่างผิวใบกับอากาศ (leaf-to-air vapor pressure different) ของบรรยากาศ และจากการศึกษาของ Lewis and Naidoo (1997) ที่ศึกษาค่าชักนำของปากใบของพรรณไม้ป่าชายเลนโดยสรุปว่า ปากใบของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนจะเปิดมากเฉพาะในช่วงเช้า ซึ่งมีผลทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงไปด้วย ส่วนในช่วงบ่ายปากใบส่วนมากจะปิดเพื่อลดการสูญเสียน้ำ อย่างไรก็ตาม Royampaeng (2001) พบว่า การสังเคราะห์แสงและค่าการชักนำของปากใบในไม้โตเร็วต่างประเทศบางชนิด มีความสัมพันธ์ที่ไม่ใช่เชิงเส้นตรง (non-linear regression) เมื่อค่าชักนำของปากใบสูงกว่า 0.5 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากอิทธิพลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปิดปิดปากใบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงมีความสำคัญลดลงเมื่อปากใบเปิดกว้างมากขึ้น

2.3 การคายน้ำ

การคายน้ำ (transpiration) คือ การที่พืชสูญเสียน้ำออกไปในรูปของไอน้ำ น้ำที่ระเหยออกจากพืชส่วนใหญ่จะระเหยสู่บรรยากาศทางปากใบ (stomata) นอกจากนี้น้ำยังสามารถเคลื่อนที่ออกจากต้นพืชในรูปของไอน้ำได้ทางผิวใบและลำต้นอ่อนๆ และทางเลนติเซล ซึ่งเป็นรอยแตกหรือรูเปิดเล็กๆ ที่ลำต้น (สมบุญ, 2538) ในวันที่อากาศร้อน พืชได้รับแสงเต็มที่ใบพืชที่ถูกอากาศโดยตรงจะสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็วซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อพืช พืชจะมีการปกป้องการสูญเสียน้ำโดยสร้างไขหรือคิวทิน (cutin) เคลือบผิวใบไว้

จากการศึกษาของ สาพิศ และคณะ (2547) ที่ศึกษาการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปการสังเคราะห์แสงในรอบวันของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณจำนวน 14 ชนิด จาก 6 วงศ์ ณ สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา พบว่า การคายน้ำเฉลี่ยต่อวันมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น สัก ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดมีการคายน้ำเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 236.89 โมลต่อตารางเมตร ในขณะที่ แดง ซึ่งเป็นพรรณไม้ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำที่สุดมีอัตราการคายน้ำเฉลี่ยต่อวันเพียง 48.22 โมลต่อตารางเมตร โดยการคายน้ำของพืชจะมีความสัมพันธ์กับการเปิดปิดของปากใบและการสังเคราะห์แสง Prior *et al.* (1997) พบว่า อุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใบในตอนบ่ายจะสูงกว่าตอนเช้า เป็นผลให้การคายน้ำมากปากใบจึงปิด ทำให้การสังเคราะห์แสงลดลง

2.4 ประสิทธิภาพการใช้น้ำ

ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (water-use efficiency) คือการเปรียบเทียบปริมาณการนำน้ำมาใช้เพื่อเปลี่ยนเป็นผลผลิตมวลชีวภาพ โดยในทางนิเวศวิทยาแบ่งการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเป็น 2 รูปแบบ คือ ผลผลิตด้านเศรษฐกิจ (economic yield) และผลผลิตทางชีววิทยา (biologocal yield) (เจษฎา, 2553) สำหรับผลผลิตทางชีววิทยานั้นจะกล่าวถึงการใช้น้ำในการสร้างผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเรียกว่า ประสิทธิภาพในการใช้น้ำในทางสรีรวิทยา โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงกับอัตราการคายน้ำของพืช (instantaneous water use efficiency) หรือจากอัตราส่วนของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อการชักนำของปากใบ (intrinsic water use efficiency) ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยภายในของพืชและปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น กายวิภาคของใบ การแปรผันของฤดูกาล ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น สาพิศและคณะ (2547) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำโดยใช้อัตราส่วนของการสังเคราะห์แสงต่อการคายน้ำของใบของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ พบว่า การใช้น้ำของพรรณไม้แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน มีค่าอยู่ในช่วง 1.7-5.4 ไมโครโมลต่อมิลลิโมล ในขณะที่ Marshall *et al.* (1997) พบว่า ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส สายต้นที่แตกต่างกันมีการใช้น้ำ ประสิทธิภาพการใช้น้ำทางด้านเศรษฐกิจและประสิทธิภาพการใช้น้ำทางด้านชีววิทยาที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้น้ำทางด้านชีววิทยาของยูคาลิปตัสโดย เจษฎา (2553) พบว่า ประสิทธิภาพการใช้น้ำทางด้านชีววิทยาของยูคาลิปตัสในพื้นที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยประสิทธิภาพการใช้น้ำของยูคาลิปตัส ที่ปลูกบนคันนาปรับแต่ง มีประสิทธิภาพการใช้น้ำมากกว่ายูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาเดิม และเมื่อ ยูคาลิปตัส อายุ 24-36 เดือน พบว่า ประสิทธิภาพการใช้น้ำของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาในพื้นที่ต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ ณัฐวุฒิ (2548) พบว่า ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส สายต้น K51 อายุ 24 และ 36 เดือน ที่ปลูกแบบสวนป่าในพื้นที่ที่เคยปลูกยูคาลิปตัสมาก่อน และพื้นที่ที่ไม่เคยปลูกยูคาลิปตัสมาก่อน มีประสิทธิภาพการใช้น้ำทางด้านชีววิทยาไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การเติบโตและมวลชีวภาพ

การเติบโต (growth) คือ การเพิ่มพูนของเนื้อเยื่อให้กับส่วนต่างๆ ของพืชอันได้แก่ ราก ต้น ใบ โครงสร้างสำหรับสืบพันธุ์ โดยการแบ่งเซลล์ และผลิต protoplast ใหม่ๆ ขึ้นมา (พงษ์ศักดิ์, 2538) ต้นไม้เติบโตทั้งทางความสูงและทางความโตโดยรอบเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาณซึ่งไม่กลับคืน (irreversible) หมายถึง การเพิ่มขนาด มวลสาร หรือปริมาตรของเซลล์พืชโดยเกิดจากผลรวมของการแบ่งเซลล์และการขยายของเซลล์ การพัฒนา (development) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งภายนอกและกายวิภาคภายใน ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ มีการจัดแบบแผนของรูปร่างอย่างสลับซับซ้อนให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงหน้าที่ของเซลล์ต่างๆ ไปเป็นเนื้อเยื่อและอวัยวะต่อไป (สมบุญ, 2538)

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึง น้ำหนักของพืชที่วัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง (dry weight) หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่ปราศจากขี้เถ้า (ash-free dry weight) อาจเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช หรือต่อหน่วยของพื้นที่ (พงษ์ศักดิ์, 2538)

การเติบโตและมวลชีวภาพของต้นไม้ขึ้นกับปัจจัยหลายปัจจัยทั้งปัจจัยภายใน เช่น ลักษณะทางสรีรวิทยาของพืช ความแตกต่างของพันธุกรรม และปัจจัยภายนอก เช่น ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ ความแตกต่างของดิน ซึ่งส่งผลให้การเติบโตของต้นไม้มีความแตกต่างกันไป ในขณะที่มวลชีวภาพและผลผลิตของสวนป่าขึ้นอยู่กับปัจจัยทางพันธุกรรม อายุไม้ ระยะปลูก และสภาพพื้นที่ ชัยรัตน์ (2542) ได้ศึกษาการเติบโตของสายต้นยูคาลิปตัส และกล้าจากการเพาะเมล็ดในพื้นที่ สวนป่าสระแก้ว สวนป่ามัญจาคีรี และสวนป่าพิบูลมังสาหาร โดยปลูกเมื่อ พ.ศ. 2534 ใช้ระยะปลูก 2x4 เมตร โดยเป็นสายต้นจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 6 สายต้น เปรียบเทียบกับกล้าจากการเพาะเมล็ด ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการเติบโตที่ระดับเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p>0.01$) ในทั้ง 3 พื้นที่ และพบว่า กล้าที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีค่าเฉลี่ยการเติบโตที่ระดับเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงมากกว่ากล้าเมล็ด โดยที่ความแตกต่างของพื้นที่มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ สายต้น T5 เป็นสายต้นจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีลักษณะต่างๆดีที่สุด มีระดับเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 13.98 เซนติเมตร และ 18.91 เมตร ตามลำดับ และจากการศึกษาของ จงรัก (2538) ที่ศึกษาการเติบโตของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 13 ปี ในท้องที่ต่างๆ กัน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 4 ท้องที่ ได้แก่ สวนป่าสมเด็จ สวนป่ามัญจาคีรี สวนป่าขุนหาญ และสวนป่าด่านขุนทด ระยะปลูก 2x8 เมตร พบว่า พื้นที่ที่ต่างกันส่งผลให้การเติบโตของสายต้นเดียวกันต่างกันด้วย โดย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สวนป่าสมเด็จมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกสูงสุด เท่ากับ 20.22 เซนติเมตร ส่วนความสูง พบว่า สวนป่าขุนหาญมีการเติบโตทางความสูงมากที่สุด คือ 25.95 เมตร ในขณะที่การศึกษาการเติบโตของสวนป่ายูคาลิปตัสภายใต้กระบวนการสืบพันธุ์ต่างกันในท้องที่อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา พบว่าการเติบโตของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และมวลชีวภาพเหนือดินทั้งหมดเมื่ออายุ 5 ปี ในแปลงปลูกด้วยกล้าไม้ในพื้นที่ที่ไม่เคยผ่านการปลูกมีการเติบโตสูงสุด เท่ากับ 11.33 เซนติเมตร 14.75 เซนติเมตร และ 52.92 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ (ณัฐวุฒิ, 2548)

4. การกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้

4.1 การหมุนเวียนคาร์บอน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีสูตรทางเคมีว่า CO_2 เป็นสารที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น หนักกว่าอากาศประมาณ 1.5 เท่า ในสภาพปกติจะเสถียร เป็นก๊าซเฉื่อย และไม่เป็นพิษ ในอากาศโดยทั่วไปมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ประมาณ 330 ppm แต่ในปัจจุบันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เพิ่มขึ้นเป็นปริมาณ 383 ppm (Levin and Pershing, 2008) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีแหล่งกำเนิดมาจากการหายใจของพืชและสัตว์ การเน่าเปื่อยผุพังของพืชและสัตว์ การเผาไหม้ของไม้ ถ่านหิน น้ำมัน แก๊ส และสารประกอบอื่นๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจากบ่อน้ำร้อนและภูเขาไฟ จากทะเลหรือมหาสมุทรซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญซึ่งเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศลดลง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากทะเลก็แพร่เข้าสู่บรรยากาศได้ (อักษร, 2521)

วัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้นับเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งในด้านการปลดปล่อยและการกักเก็บ โดยป่าไม้เป็นกลไกสำคัญในการกักเก็บและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของมวลชีวภาพทั้งในส่วนเหนือและใต้พื้นดิน (Above and below-ground biomass) ในขณะเดียวกันก็มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการหายใจ การตาย และการย่อยสลายของซากพืช ซึ่งซากพืชที่ย่อยสลายแล้วจะกลับเข้าสู่วัฏจักรคาร์บอนในรูปของสารอินทรีย์ที่อยู่ในดินและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจะถูกปลดปล่อยกลับสู่บรรยากาศโดยปฏิกิริยาจากกิจกรรมต่างๆ ของดิน (soil respiration)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกักเก็บคาร์บอนในพืช คือ การที่พืชดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเพื่อเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์แสงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีมาใช้ประโยชน์ในการสร้างส่วนต่างๆ เพื่อการเติบโตและกักเก็บอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช การที่มีปริมาณการหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศ นับว่ามีความสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ต้องมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ คาร์บอนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศจะอยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นก๊าซอิสระ (free gas) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศถูกดูดซับโดย 2 กระบวนการคือ 1) กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชทั้งในทะเลและบนบก 2) การดูดซับโดยทะเล มหาสมุทร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเมื่อถูกพืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยพืชจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน เปลี่ยนเป็นแป้งและน้ำตาล และส่งผ่านสารอาหารเข้าสู่ระบบนิเวศตามห่วงโซ่อาหาร สัตว์เมื่อรับสารอาหารก็จะเผาผลาญอาหารและคืนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่อากาศในรูปของกระบวนการหายใจ (respiration)

4.2 ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆของพืช

โดยทั่วไปปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพมีการแปรผันระหว่างชนิดไม้ และส่วนต่างๆ ของต้นไม้ โดยไม้ป่าแต่ละชนิดจะมีปริมาณคาร์บอนต่างกัน เช่น แดง พยูง ประดู่ป่า มีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 47.40, 44.98 และ 46.31 ตามลำดับ (เสริมพงศ์, 2545) จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของไม้โตเร็วดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ทั้งในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และรากของไม้โตเร็ว ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 44-52 ยกเว้นกระถินเทพา (*Acacia mangium*) ที่มีปริมาณคาร์บอนในลำต้น กิ่ง และใบ ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 54-57) เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นในส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ ส่วนใหญ่พบว่า ใบจะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมากกว่าส่วนลำต้น และกิ่ง เช่น ในยูคาลิปตัสและอะเคเซียบางชนิด (ชลธิดา, 2550; ประดิษฐ์ และคณะ, 2551; สาพิศ และคณะ, 2551; Gifford, 2000) สำหรับการแปรผันของความเข้มข้นของคาร์บอนในลำต้นและรากของต้นไม้อายุต่างกันมีค่าค่อนข้างใกล้เคียง แต่ปริมาณคาร์บอนในส่วนกิ่งและใบมีการแปรผันตามอายุแต่มีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนในไม้โตเร็วต่างๆ ที่มีอายุเท่ากัน พบว่า ความเข้มข้นในส่วนของลำต้นและกิ่งของไม้แต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้น ในกระถินเทพาที่อายุ 2 ปี จะมีค่าสูงกว่าไม้โตเร็วชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอนในรากยังมีการศึกษากันอยู่น้อย และจากข้อมูลที่มีอยู่พบว่า มีการแปรผันระหว่างชนิดน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนอื่นๆ ของต้นไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กิ่ง และใบ ซึ่งมีการแปรผันมากระหว่างชนิดและอายุ จะเห็นได้ว่า การสะสมคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของต้นไม้มีการแปรผันน้อยเมื่อเทียบกับการแปรผันของมวลชีวภาพซึ่งมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแตกต่างกันมากขึ้นกับชนิดต้นไม้ อายุ ระยะปลูก และสภาพของท้องที่ ตลอดจนวนวัฒนวิธีที่ใช้ ดังนั้นการแปรผันของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของการปลูกไม้โตเร็ว จึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างของมวลชีวภาพเป็นสำคัญ

4.3 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืช ขึ้นอยู่กับปริมาณมวลชีวภาพมากกว่าปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ กล่าวคือ เมื่อมวลชีวภาพมีปริมาณมากขึ้น การกักเก็บคาร์บอนก็มีค่ามากตามไปด้วย โดยปริมาณคาร์บอนในแต่ละส่วนมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ทั้งนี้ความแตกต่างของมวลชีวภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยสิ่งแวดล้อม

จากความแตกต่างของมวลชีวภาพของไม้โตเร็วข้างต้นทำให้สวนป่าไม้โตเร็วมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพแตกต่างกันด้วยเช่นกัน เสริมพงศ์ (2545) พบว่า ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในส่วนของลำต้น กิ่ง และใบของกระถินเทพา กระถินณรงค์ และยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่มีระยะปลูก 2x3 เมตร อายุ 14 ปี ที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา มีการแปรผันตามชนิดไม้ โดยการกักเก็บคาร์บอนในส่วนของลำต้น มีค่าเท่ากับ 37.1, 31.2 และ 38.1 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนของกิ่ง เท่ากับ 25.8, 21.2 และ 5.2 ตันต่อเฮกตาร์ และส่วนของใบ เท่ากับ 12.5, 11.1 และ 3.1 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ในขณะที่ ชลธิดา (2550) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา ที่มีระยะปลูก 3x3 เมตร บริเวณสถานีวนวัฒนวิจัยสะแกราช อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ที่อายุ 2, 4 และ 5 ปี ยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา มีการสะสมคาร์บอนในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินเท่ากับ 12.6, 37.2 และ 43.6 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อยูคาลิปตัสมีอายุมากขึ้นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพก็จะมากขึ้นตามผลผลิตมวลชีวภาพไปด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของไม้โตเร็ว

ชนิด	อายุ	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)				ที่มา
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	
E. camaldulensis	2	48.81	51.50	55.49	49.54	สาพิศ และคณะ (2551)
E. camaldulensis	5	47.96	na	na	na	ทศพร และคณะ (2548)
E. camaldulensis	14	47.77	45.20	45.59	na	เสริมพงศ์ (2545)
E. camaldulensis	23	47.75	47.58	51.60	48.84	ประดิษฐ์ และคณะ (2551)
E. camaldulensis	Na	48.27	49.10	51.00	na	Gifford (2000)
E. globules	7	49.00	na	na	na	Yamada (2003)
E. grandis	8	50.00	na	na	na	Yamada (2003)
E. nitens	11	49.00	na	na	na	Yamada (2003)
E. tereticornis	Na	Na	na	na	47.20	Gifford (2000)
E. urophylla	1	47.25	48.93	51.75	na	ชลธิดา (2550)
E. urophylla	2	47.48	48.91	50.97	na	ชลธิดา (2550)
E. urophylla	3	47.80	48.92	51.63	na	ชลธิดา (2550)
E. urophylla	4	47.56	49.02	51.00	na	ชลธิดา (2550)
E. urophylla	5	47.61	48.89	51.25	na	ชลธิดา (2550)
A. mangium	2	54.77	53.72	56.59	48.75	สาพิศ และคณะ (2551)
A. mangium	14	48.04	45.13	48.65	na	เสริมพงศ์ (2545)
A. auriculiformis	14	48.22	44.91	48.21	na	เสริมพงศ์ (2545)

หมายเหตุ *E.* คือ Eucalyptus, *A.* คือ Acacia, na คือ ไม่มีข้อมูล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. สายต้นยูคาลิปตัสที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการศึกษาสายต้น (clone) ของยูคาลิปตัสที่ใช้เพื่อการค้าของบริษัท ยูคาลิปตัสเทคโนโลยี จำกัด จำนวน 4 สายต้น ได้แก่

1.1 สายต้น K7

เป็นสายต้นที่ได้จากการพัฒนาพันธุ์ลูกผสมระหว่างยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*E. camaldulensis*) และยูคาลิปตัส ดีกลุปต้า (*E. deglupta*) ในระยะกล้าไม้ ลำต้นแข็งตั้งตรง และเป็นเหลี่ยมเล็กน้อย สีน้ำตาลแดง ข้อห่าง ยอดอ่อนสีแดงเข้มถึงแดงอมชมพู มีนวลเล็กน้อย ใบสีเขียวเข้ม รูปหอกกว้าง (broad–lanceolate) ปลายใบเป็นติ่งแหลม ฐานใบมนถึงแหลม ขนาด 3.5x8.5 เซนติเมตร ขอบใบสีแดงเป็นคลื่น ใบเรียงตัวแบบตรงกันข้ามตั้งฉาก (opposite decussate) ในระยะไม้ใหญ่ ลำต้นไม่กลม ตั้งตรง มีความเปลาตรงสม่ำเสมอไม่โค้งงอ มีร่องกิ่งชัดเจน ใบ หนาแน่นเรือนยอดแหลม ทรงพุ่มแผ่กว้างครอบคลุม 2/3 ของลำต้นนับจากยอด กิ่งมากขนาดปานกลางถึงใหญ่ แตกรอบลำต้น ลิดกิ่งได้ปานกลาง ผิวเปลือกเรียบสีนวลเทา ลอกเปลือกเป็นแผ่น ใบสีเขียวเข้มเป็นมัน รูปหอกกว้าง (broad–lanceolate) ปลายใบแหลม และฐานใบมนถึงแหลม ขอบใบเป็นคลื่น ใบเรียงตัวแบบสลับ (alternate) ขนาด 4x18 เซนติเมตร (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

สายต้น K7 มีการเติบโตได้ดีในพื้นที่ราบ และที่ราบต่ำ ที่มีความชื้นในดินและอากาศปานกลาง เนื้อดินเป็นดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย อุ้มน้ำดี หรือดินร่วนปนลูกรัง ผลผลิตเมื่ออายุ 5 ปี ที่ระยะปลูก 2x3 เมตร มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 17 ตันต่อไร่ ในระยะกล้าไม้พบอาการของโรคทางใบเล็กน้อย ได้แก่ โรคใบจุดเหลี่ยม โรคใบจุดเหลืองดำ และในระยะไม้ใหญ่พบอาการของโรคใบจุดเหลืองดำและใบไหม้วงแหวนเล็กน้อยในช่วงฤดูฝนหรือปลายฤดูฝน (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

1.2 สายต้น K51

สายต้น K51 เป็นสายต้นที่มีการพัฒนาพันธุ์จากยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*E. camaldulensis*) ที่ปลูกในประเทศไทย ระยะกล้าไม้ ลำต้นเป็นเหลี่ยม บิด และโค้งเล็กน้อย ข้อถี่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยอดอ่อนสีชมพู มีนวลขาวเคลือบยอดและแผ่นใบ ใบมีสีเขียวอมเหลืองรูปหอก (lanceolate) ปลายใบสอบแหลม ฐานใบแหลม ขอบใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ใบเรียงตัวแบบสลับ (alternate) ขนาด 3x11 เซนติเมตร ในระยะไม้ใหญ่ลำต้นตรง ไม่กลมและมีร่องกิ่งชัดเจน เปลือกค่อนข้างหนาสีเทาน้ำตาล ใบยาวหนาสีเขียวด้าน ทรงพุ่มโปร่ง ทิ้งใบเร็ว ลิดกิ่งได้ดีแต่อาจมีกิ่งแห้งค้างอยู่ที่ต้น (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

สายต้น K51 มีการเติบโตได้ดีในพื้นที่ราบ และที่ราบสูง ระบายน้ำดี มีความชื้นในดินและอากาศปานกลาง ไม่มีน้ำท่วมขัง ลักษณะดินเป็นดินทราย ดินร่วน ดินเหนียวปนทรายปนลูกรัง ผลผลิตเมื่ออายุ 5 ปี ที่ระยะปลูก 2x3 เมตร มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 18 ตันต่อไร่ ในระยะกล้าไม้มีแนวโน้มต้านทานต่อโรคไหม้ตากบ อาจพบอาการโรคเหี่ยวเฉาตาย และโรคใบจุด เหลี่ยม การทำลายของแมลงน้อยมาก หากพบมักเป็นพวกแมลงกัดกินใบ และในระยะไม้ใหญ่ มีแนวโน้มต้านทานต่อโรคเหี่ยวเฉาตาย โรคใบจุด เหลี่ยม และโรคใบจุดเหลืองดำ (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

1.3 สายต้น K58

สายต้น K58 เป็นสายต้นที่มีการพัฒนาพันธุ์มาจากยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า (*E. urophylla*) จากแหล่งเมล็ดในประเทศจีน ในระยะกล้าไม้ ลำต้น กลม ตั้งตรง ข้อถี่ และยอดอ่อนสีแดงชมพู ใบมีลักษณะบางสีเขียวอ่อน รูปไข่ (ovate) ปลายใบเป็นติ่งหนามสั้น (apiculate) ฐานใบมน (obtuse) ขอบใบและแผ่นใบเรียบ ขนาด 5.5x8.0 เซนติเมตร ใบเรียงตัวแบบสลับ (alternate) ทรงพุ่มกว้างหนาแน่น ในระยะไม้ใหญ่ ลำต้นกลมอาจพบโคนต้นคดเล็กน้อย ทรงพุ่มกว้างแตกพุ่มรอบลำต้นครอบคลุม 1/3 ของลำต้นนับจากยอด ปริมาณใบและกิ่งหนาแน่นมาก กิ่งขนาดกลาง ทำมุมกับลำต้นน้อยกว่า 70 องศา ไม่มีกิ่งง่ามใหญ่ ลิดกิ่งตามธรรมชาติได้ปานกลาง เปลือกค่อนข้างหนาสีน้ำตาลแดง ลอกเปลือกเป็นแผ่นหลังอายุ 2 ปี (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

สายต้น K58 มีการเติบโตได้ดีในพื้นที่ราบ และพื้นที่ชื้นที่มีฝนตกมาก หรือตกไม่มากแต่ตกบ่อยๆ ระบายน้ำดี ไม่มีน้ำท่วมขัง ลักษณะดินเป็นดินที่อุ้มน้ำดี ดินร่วน มีหน้าดินลึก ผลผลิตเมื่ออายุ 5 ปี ที่ระยะปลูก 2x3 เมตร มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 15-20 ตันต่อไร่ ในระยะกล้าไม้พบแมลงกัดกินใบ หรือหนอนห่อใบบ้างเล็กน้อย และในระยะไม้ใหญ่อาจพบอาการใบจุด หรือใบไหม้ได้บ้างในช่วงฤดูฝน ช่วงฝนตกชุก หรือมีความชื้นสูง (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 สายต้น K59

สายต้น K59 เป็นสายต้นที่พัฒนาพันธุ์มาจากลูกผสมระหว่างยูคาลิปตัส แกรนดิส *(E. grandis)* แหล่งเมล็ดจากบราซิล และยูคาลิปตัส แบรดเซียน่า (*E. brassiana*) ที่ปลูกในประเทศไทย ในระยะกล้าไม้มีลำต้น กลม บิด และคดเล็กน้อย ข้อถี่ ยอดอ่อนสีน้ำตาลแดง ใบบางรูปหอกกว้าง (broad - lanceolate) ปลายใบแหลม (acute) และฐานใบมน (obtuse) ขนาด 4.3x9.0 เซนติเมตร เส้นกลางใบสีเหลืองชัดเจน ขอบใบและแผ่นใบเรียบ ใบเรียงตัวแบบสลับ (alternate) ขนาด 4.3x9.0 เซนติเมตร ในระยะไม้ใหญ่มีลำต้นไม่กลม ตั้งตรง มีความเปลาตรงสม่ำเสมอไม่โค้งงอ ใบค่อนข้างหนาแน่น เรือนยอดแหลม ทรงพุ่มโปร่งครอบคลุม 1/3 ของลำต้นนับจากยอด กิ่ง ขนาดเล็ก หนาแน่นปานกลาง ทำมุมกับลำต้นน้อยกว่า 70 องศา ทิ้งใบเร็ว ไม่มีกิ่ง ง่ามใหญ่ ลิดกิ่งตามธรรมชาติได้ดี เปลือกบางสีน้ำตาลเขียวและลอกเปลือกเป็นแผ่นบางๆ เล็กๆ ใบหนาสีเขียวเข้ม รูปหอก (lanceolate) ปลายใบสอบแหลม ฐานใบเบี้ยว ขนาดใบ 3x18 เซนติเมตร ขอบใบและแผ่นใบเรียบใบเรียงตัวแบบสลับ (alternate) (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

สายต้น K59 เติบโตได้ดี ในพื้นที่ราบ หรือเนินเขาต่ำๆ เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย ดินร่วนถึงดินร่วนเหนียวปนทราย ชอบความชื้นปานกลาง การระบายน้ำดี ไม่มีน้ำท่วมขัง ผลผลิตเมื่ออายุ 5 ปี ที่ระยะปลูก 2x3 เมตร มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 15-20 ตันต่อไร่ ในระยะกล้าไม้อาจพบใบจุดเหลี่ยมประปรายในใบล่างในช่วงฤดูฝน ฝนตกชุก หรือมีความชื้นสูง และในระยะไม้ใหญ่อาจพบอาการใบจุดเหลืองดำบ้างเล็กน้อย ช่วงใบล่างใต้ทรงพุ่ม (กองคุ้มครองพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

2. การศึกษากล้าไม้ในเรือนเพาะชำ

2.1 การวางแผนการทดลอง

นำกล้าไม้ 4 สายต้น สายต้นละ 60 ต้น มาปลูกลงในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว โดยเลือกกล้าไม้ที่มีขนาดสม่ำเสมอ วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (4x2 factorial design in RCBD) มี 2 ปัจจัย ปัจจัยแรก คือ ยูคาลิปตัส 4 สายต้น (K7 K51 K58 และ K59) และปัจจัยที่สอง คือ ระดับความเข้มแสงในเรือนเพาะชำ 2 ระดับ (ร้อยละ 30 และ 100 ของความเข้มแสงปกติ) จำนวน 3 ซ้ำ (replications)

2.2 การเก็บข้อมูลการเติบโต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทำการเก็บข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ความสูง ของกล้าไม้ยูคาลิปตัส ภายหลังจากการทดลองได้ 6 เดือน

2.3 การศึกษามวลชีวภาพ

หลังจากการทดลองเป็นเวลา 6 เดือน ทำการสุ่มกล้าไม้จากทรีทเมนต์ทั้ง 2 ระดับความเข้มแสง โดยเลือกกล้าไม้จาก 4 สายต้น สายต้นละ 3 ต้น ต่อ 1 ทรีทเมนต์ จะได้กล้าไม้ทั้งหมด 72 ต้น แบ่งเป็นกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) จำนวน 36 ต้น และภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติจำนวน 36 ต้น ตัดกล้าไม้ตัวอย่างโดยตัดที่ระดับชิดดิน วัดความสูงทั้งหมด วัดความโตที่ระดับชิดดิน และแยกส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ชั่งน้ำหนักสดโดยแยกในแต่ละส่วนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักแห้งในแต่ละส่วน และคำนวณอัตราส่วนของลำต้น (ลำต้น กิ่ง และใบ) ต่อราก (shoot/root ratio)

2.4 การศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

2.4.1 การสร้างสมการคลอโรฟิลล์มาตรฐาน

ทำการเลือกใบตัวอย่างของยูคาลิปตัสแต่ละสายต้นให้มีระดับความเข้มของสีใบต่างกัน (ใบอ่อนจนถึงใบแก่สีเข้ม) ประมาณ 12-25 ตัวอย่างต่อสายต้น วัดความเขียวของใบด้วยเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD-502 และนำไปวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตัวทำละลาย Dimethyl sulfoxide (DMSO) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการวิเคราะห์ เพื่อสร้างสมการคลอโรฟิลล์เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ สาพิศ และคณะ (2549) ซึ่งได้สมการคลอโรฟิลล์มาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 สมการคลอโรฟิลล์มาตรฐานของใบยูคาลิปตัส 4 สายต้น

สายต้น	รูปสมการ	r^2
K7	Chl = $0.0044(SPAD)^2 + 0.0126(SPAD) + 0.2519$	0.9700
K51	Chl = $-0.0010(SPAD)^2 + 0.2410(SPAD) -1.8120$	0.8161
K58	Chl = $0.6955e^{0.0607(SPAD)}$	0.9627
K59	Chl = $0.0028(SPAD)^2 + 0.0001(SPAD) + 1.4497$	0.8875

หมายเหตุ Chl คือ คลอโรฟิลล์ (มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร)
SPAD คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD-502

2.4.2 การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

เลือกใบตัวอย่าง 5 ใบต่อต้น วัดค่าความเขียวของใบด้วยเครื่อง chlorophyll meter รุ่น SPAD-502 ทุกต้น โดยทำการวัดค่าในเดือนที่ 6 คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในใบยูคาลิปตัสแต่ละสายต้นโดยใช้สมการดังแสดงใน ตารางที่ 2

2.5 การศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสง

ศึกษาการตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อปริมาณความเข้มแสง (photosynthetic light response) โดยเลือกวัดตัวอย่างใบที่มีสุขภาพดี มีการเติบโตเต็มที่ ไม่แก่หรืออ่อนเกินไป (mature leaf) จำนวนซ้ำละ 1 ต้น ต้นละ 1 ใบ โดยติดตั้งเครื่องกำเนิดแสง (light source) เข้ากับ leaf chamber เริ่มวัดอัตราการสังเคราะห์แสงที่ระดับความเข้มแสง 8 ระดับ ได้แก่ 2,000 1,500 1,000 500 300 150 50 และ 0 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ นำค่าคงที่ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของแต่ละสายต้นในแต่ละระดับความเข้มแสง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

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

โดยที่

P_n คือ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

PPFD คือ ความเข้มแสง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

p_{max} คือ อัตราการสังเคราะห์แสงรวมที่จุดอิ่มตัวของแสง (light-saturated gross photosynthesis) (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

Φ คือ quantum yield เป็นค่าที่บ่งชี้ประสิทธิภาพของการใช้แสงที่ระดับความเข้มแสงต่ำ

R_d คือ อัตราการหายใจในที่มืด (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

2.6 การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างสายต้นและความเข้มแสงของข้อมูลต่างๆ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตามวิธีการ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3. การศึกษาในแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา

3.1 พื้นที่ทำการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาในแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนาซึ่งมีรายละเอียดของสถานที่ทำการศึกษาดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.1 ลักษณะที่ตั้ง

ทำการศึกษาใน 2 พื้นที่ คือ บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา มีเนื้อที่ประมาณ 10 ไร่ สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มเหมาะแก่การเพาะปลูก มีพื้นที่รวม 99,375 ไร่ อาณาเขตตำบลทิศเหนือจรด ตำบลเกาะขนุน อำเภอพนมสารคาม ทิศใต้จรด ตำบลท่าตะเกียบ อำเภอท่าตะเกียบ ทิศตะวันออกจรด ตำบลท่ากระดาน อำเภอสนามชัยเขต ทิศตะวันตกจรด ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต

พื้นที่ที่ 2 ตั้งอยู่ที่ บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีเนื้อที่ 29 ไร่ สภาพทั่วไปของบ้านหนองกาใน ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกของอำเภอพนมสารคาม อยู่ห่างจากที่ว่าการอำเภอฯ ไปตามทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 319 (พนมสารคาม-ปราจีนบุรี) เป็นระยะทาง 14 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 43,052 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มเหมาะแก่การเพาะปลูก อาณาเขตตำบล ทิศเหนือติดต่อ ตำบลโคกไทย อำเภอศรีมโหสถ จังหวัดปราจีนบุรี ทิศใต้ติดต่อ ตำบลท่าถ่าน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ทิศตะวันออกติดต่อ ตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ทิศตะวันตกติดต่อ ตำบลหนองยาว อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่ทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และ แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.2 สมบัติดินและสภาพภูมิอากาศ

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ที่บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา (แปลงที่ 1) เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีความหนาแน่นรวม 1.82 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความพรุนของดินร้อยละ 31.25 และพื้นที่บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา (แปลงที่ 2) เนื้อดินเป็นดินร่วน (loam) มีความหนาแน่นรวม 1.44 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความพรุนของดินร้อยละ 44.39 (รุ่งเรือง, 2548)

จังหวัดฉะเชิงเทรามีลักษณะภูมิอากาศแบบเขตเมืองร้อน หรืออากาศร้อนชื้นแถบเส้นศูนย์สูตร อุณหภูมิจะสูงเกือบตลอดปีโดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเดือนเมษายนจะร้อนที่สุด เดือนที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือ เดือนธันวาคม โดยฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จะมีอากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกตลอดฤดู ส่วนฤดูหนาวมีอากาศแห้งแล้งซึ่งมีฤดูแตกต่างกัน ลักษณะภูมิอากาศจากข้อมูลภูมิอากาศในช่วงระหว่างการศึกษามีอุณหภูมิเฉลี่ย 27.50 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปี เท่ากับ 1,599.88 มิลลิเมตร และมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 74.79 ดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ลักษณะภูมิอากาศในช่วงที่ศึกษาบริเวณตำบลเขาหินซ้อน อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 (เฉลี่ย 3 ปี)

เดือน	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (ร้อยละ)			อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)		
	(มิลลิเมตร)	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
มกราคม	3.35	80.83	40.17	60.50	35.33	15.17	25.25
กุมภาพันธ์	9.77	83.00	44.83	63.92	35.50	15.67	25.59
มีนาคม	48.03	90.67	51.67	71.17	37.00	20.17	28.59
เมษายน	171.63	94.67	58.67	76.67	37.33	22.50	29.92
พฤษภาคม	255.60	97.33	64.00	80.67	35.33	22.50	28.92
มิถุนายน	158.43	96.00	65.17	80.59	36.50	23.00	29.75
กรกฎาคม	175.40	94.67	68.33	81.50	34.00	22.17	28.09
สิงหาคม	183.73	96.00	68.17	82.09	34.00	22.67	28.34
กันยายน	314.07	96.00	67.67	81.84	34.17	21.83	28.00
ตุลาคม	237.87	97.33	67.50	82.42	34.00	21.17	27.59
พฤศจิกายน	41.97	90.00	52.33	71.17	33.83	16.83	25.33
ธันวาคม	0.03	80.17	49.83	65.00	33.50	15.83	24.67
เฉลี่ย	133.32	91.39	58.19	74.79	35.04	19.96	27.50
รวม	1599.88	-	-	-	-	-	-

3.2 การวางผังการทดลอง

ดำเนินการวิจัยในแปลงทดลองปลูกของเกษตรกรด้วยการปลูกยูคาลิปตัส 4 สายต้น ดังกล่าวข้างต้น บนคันนามีระยะห่างระหว่างต้น 1 เมตร (แถวเดียว) ใช้ผังการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) มีจำนวน 4 ซ้ำ โดยวางแปลงทดลอง 2 พื้นที่ ได้แก่ บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และท้องที่บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ตามลำดับ (ภาพที่ 2 และ 3) ทำการปลูกต้นไม้เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2548

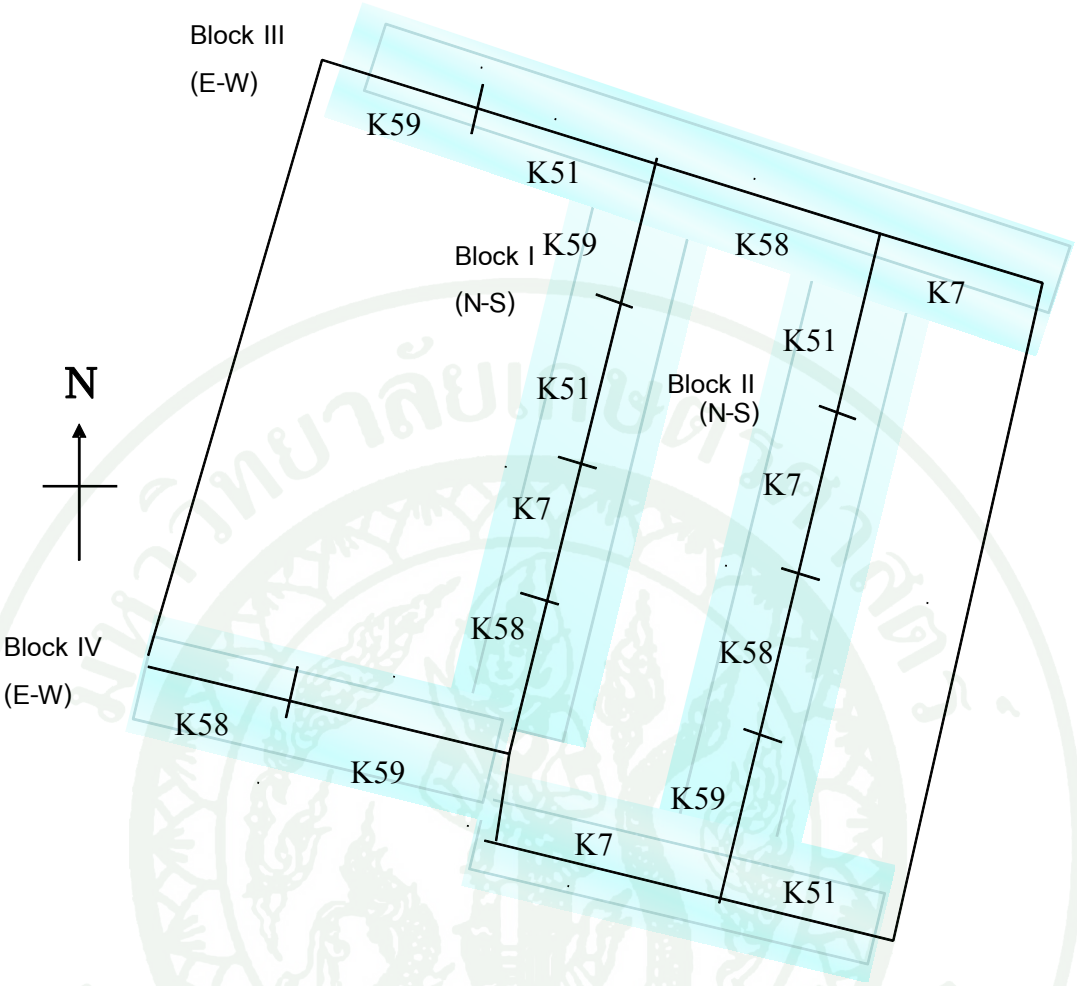
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.3 การศึกษาลักษณะทางสรีรวิทยาของใบยูคาลิปตัส

การศึกษาการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (light saturated net photosynthesis, A_{sat}) ทำได้โดยเลือกใบตัวอย่างที่มีสภาพดี มีการเติบโตเต็มที่ไม่แก่หรืออ่อนจนเกินไป อยู่ในระดับเรือนยอดที่ได้รับแสงเต็มที่ จำนวนซ้ำละ 1 ต้น ต้นละ 5 ใบ ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงในช่วงเช้า ใช้เครื่อง LI-6400 โดยติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดแสง (light source) เข้ากับ leaf chamber ปรับระดับความเข้มแสง เท่ากับ 2,000 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นระดับความเข้มแสงที่เกินจุดอิ่มตัวของแสง ทำให้ต้นไม้สามารถสังเคราะห์แสงได้สูงสุด นอกจากนี้ในขณะที่วัดการสังเคราะห์แสงสุทธิสุงสุด เครื่องมือยังทำการวัดอัตราการคายน้ำ (transpiration rate) ค่าการชักนำของปากใบ (stomatal conductance) โดยทำการวัดในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2549) และฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550)

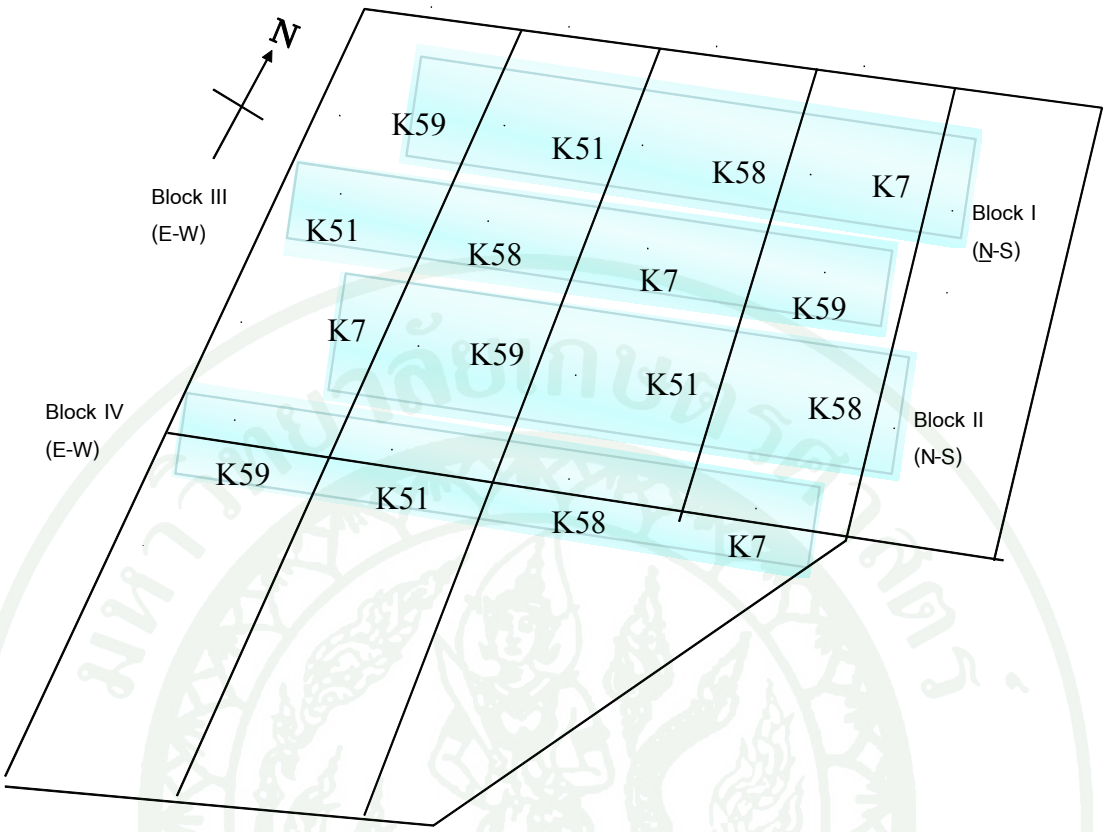
ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด การคายน้ำ ค่าการชักนำของปากใบ และประสิทธิภาพการใช้น้ำ ของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น ในแต่ละฤดูด้วย Repeated Measures ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตามวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 แผนผังแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 แผนผังแปลงทดลองปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

3.4 การศึกษาดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่เรือนยอด

ศึกษาดัชนีพื้นที่ใบ และพื้นที่เรือนยอด โดยสุ่มเลือกต้นยูคาลิปตัสตัวอย่าง จำนวนบล็อกละ 5 ต้นต่อทรีทเมนต์ วัดดัชนีพื้นที่ใบของต้นไม้ตัวอย่างดังกล่าวด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงภายในเรือนยอด AccuPAR LP-80 (Decagon Inc., USA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่คำนวณดัชนีพื้นที่ใบโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่ส่องผ่านเรือนยอด วัดต้นไม้ตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน (ทิศเหนือ-ใต้-ตะวันออก-ตะวันตก) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบแต่ละต้น และวัดรัศมีเรือนยอดของต้นไม้ตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน เช่นเดียวกับการวัดดัชนีพื้นที่ใบ เพื่อนำมาคำนวณพื้นที่เรือนยอด ทำการเก็บข้อมูลเมื่ออายุ 1, 2 และ 3 ปี สายต้นยูคาลิปตัสบนคันนาเริ่มเก็บข้อมูลครั้งแรกเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 จนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในแต่ละการทดสอบวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์และระหว่างพื้นที่ของดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ย และขนาดพื้นที่เรือนยอดเมื่อต้นไม้อายุ 1, 2 และ 3 ปี โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3.5 การศึกษาการเติบโตและมวลชีวภาพ

3.5.1 การเก็บข้อมูลการเติบโต

ทำการเก็บข้อมูลการเติบโตโดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับคอราก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (D) และความสูงของต้นไม้ (H) ทำการวัดซ้ำละ 10 ต้น เก็บข้อมูลเมื่ออายุ 1, 2 และ 3 ปี

3.5.2 การประมาณมวลชีวภาพ

ทำการประมาณมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสเมื่ออายุครบ 1, 2 และ 3 ปี ตามลำดับ โดยนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก และความสูงทั้งหมด มาประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบ โดยอาศัยสมการแอลโลเมตรี (allometric equation) ของยูคาลิปตัส ซึ่งเจษฎา (2553) ทำการศึกษาไว้ดังตารางที่ 4 และวิเคราะห์ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) เมื่อยูคาลิปตัสอายุได้ 1, 2 และ 3 ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 สมการแอลโลเมตรี (allometric equation) สำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของยูคาลิปตัส สายต้น K7 K51 K58 และ K59

อายุ	สายต้น	รูปสมการ	r^2
1 ปี	K7	$Ws = 0.0181(D^2H)^{0.9678}$	0.9921
		$Wb = 0.0003(D^2H)^{1.2687}$	0.9411
		$Wl = 0.002(D^2H)^{1.0223}$	0.9047
		$Wt = 0.0288(D^2H)^{0.9364}$	0.9955
	K51	$Ws = 0.0294(D^2H)^{0.8694}$	0.9921
		$Wb = 0.0002(D^2H)^{1.3178}$	0.9839
		$Wl = 0.0006(D^2H)^{1.1612}$	0.9216
		$Wt = 0.0241(D^2H)^{0.9361}$	0.9872
	K58	$Ws = 0.1059(D^2H)^{0.7236}$	0.9504
		$Wb = 0.0326(D^2H)^{0.6996}$	0.9546
		$W l= 0.015(D^2H)^{0.7419}$	0.761
		$Wt = 0.1683(D^2H)^{0.7031}$	0.9205
	K59	$Ws = 0.0285(D^2H)^{0.9272}$	0.9904
		$Wb = 0.0025(D^2H)^{1.0459}$	0.9375
		$Wl = 0.0091(D^2H)^{0.855}$	0.9591
		$Wt = 0.0388(D^2H)^{0.9311}$	0.9853
2 ปี	K7	$Ws = 0.0181(D^2H)^{0.9678}$	0.9921
		$Wb = 0.0003(D^2H)^{1.2687}$	0.9411
		$Wl = 0.002(D^2H)^{1.0223}$	0.9047
		$Wt = 0.0288(D^2H)^{0.9364}$	0.9955

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

อายุ	สายต้น	รูปสมการ	r^2
2 ปี	K51	$Ws = 0.0294(D^2H)^{0.8694}$	0.9921
		$Wb = 0.0002(D^2H)^{1.3178}$	0.9839
		$Wl = 0.0006(D^2H)^{1.1612}$	0.9216
		$Wt = 0.0241(D^2H)^{0.9361}$	0.9872
	K58	$Ws = 0.1059(D^2H)^{0.7236}$	0.9504
		$Wb = 0.0326(D^2H)^{0.6996}$	0.9546
		$W l= 0.015(D^2H)^{0.7419}$	0.761
		$Wt = 0.1683(D^2H)^{0.7031}$	0.9205
	K59	$Ws = 0.0285(D^2H)^{0.9272}$	0.9904
		$Wb = 0.0025(D^2H)^{1.0459}$	0.9375
		$Wl = 0.0091(D2H)^{0.855}$	0.9591
		$Wt = 0.0388(D2H)^{0.9311}$	0.9853
3 ปี	K7	$Ws = 0.0179(D^2H)^{0.9879}$	0.9973
		$Wb = 0.0005(D^2H)^{1.1711}$	0.9116
		$Wl = 0.0025(D^2H)^{0.9159}$	0.7661
		$Wt = 0.0209(D^2H)^{0.9919}$	0.9964
	K51	$Ws = 0.0388(D^2H)^{0.8575}$	0.9925
		$Wb = 0.0025(D^2H)^{0.9062}$	0.9105
		$Wl = 0.0028(D^2H)^{0.8601}$	0.9513
		$Wt = 0.0444(D^2H)^{0.8608}$	0.9934
	K58	$Ws = 0.069(D^2H)^{0.8258}$	0.9920

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

อายุ	สายต้น	รูปสมการ	r^2
		$Wb = 0.00003(D^2H)^{1.6036}$	0.9590
		$Wl = 0.0003(D^2H)^{1.2992}$	0.9201
		$Wt = 0.0362(D^2H)^{0.9496}$	0.9959
	K59	$Ws = 0.0275(D^2H)^{0.9488}$	0.9959
		$Wb = 0.0002(D^2H)^{1.3728}$	0.9504
		$Wl = 0.0004(D^2H)^{1.2465}$	0.9635
		$Wt = 0.0212(D^2H)^{1.0185}$	0.9934

หมายเหตุ Ws มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัมต่อต้น)
Wb มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัมต่อต้น)
Wl มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัมต่อต้น)
Wt มวลชีวภาพของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (กิโลกรัมต่อต้น)
D เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)
H ความสูงทั้งหมด (เมตร)

วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสายต้นและระหว่างพื้นที่ของมวลชีวภาพต่อต้น โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธีการของ Duncan's New Multiple Range Test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

3.6 การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

3.6.1 การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างของยูคาลิปตัสในแปลงตัวอย่างซ้ำละ 1 ต้น รวม 16 ต้นต่อแปลง ส่วนของลำต้นเก็บตัวอย่างโดยใช้วิธีการเจาะเนื้อไม้ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ส่วนของกิ่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และใบ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างในต้นโดยสุ่มเก็บมาประมาณ 50 กรัม และสุ่มให้กระจายทั่วทั้งต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

3.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน

นำตัวอย่างที่ได้ของแต่ละต้นมาบดให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร โดยแยกเป็นส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ ในแต่ละตัวอย่างสุ่มเก็บตัวอย่างประมาณ 5 กรัม นำไปวิเคราะห์หาคาร์บอนโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบเผา (Dumus method หรือ dry combustion) ปริมาณของคาร์บอนที่ได้มีหน่วยเป็นร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง

3.6.3 การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

คำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ โดยการนำค่ามวลชีวภาพของส่วนของลำต้น กิ่ง และใบที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.5.2 คูณกับปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางสรีรวิทยา การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ตลอดจนเปรียบเทียบการเติบโตของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธีของ Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

5. การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางสรีรวิทยาที่ศึกษาข้างต้น ได้แก่ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด การชักนำของปากใบ การคายน้ำ และประสิทธิภาพการใช้น้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ดัชนีพื้นที่ใบ รวมทั้งค่าเฉลี่ยของพื้นที่เรือนยอด ซึ่งเป็นตัวแปรทางสรีรวิทยาที่สำคัญในการเติบโตของต้นไม้ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation, r) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้างต้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษากล้าไม้ในเรือนเพาะชำ

1.1 ความโต

จากการวิเคราะห์ความโตที่ระดับคอรากของแต่ละสายต้นภายหลังจากการทดลองได้ 6 เดือน พบว่า สายต้นที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) มีขนาดความโตที่ระดับคอรากมากกว่าสายต้นที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดย K51 มีขนาดความโตที่ระดับคอรากภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) มากที่สุด รองลงมา คือ K59 K7 และ K58 มีขนาดความโตเท่ากับ 1.13, 1.12, 1.09 และ 1.07 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5)ในขณะที่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K51 มีขนาดความโตที่ระดับคอรากมากที่สุด รองลงมา คือ K7 K59 และ K58 มีค่าเท่ากับ 0.97, 0.95, 0.94 และ 0.91 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ความแตกต่างระหว่างสายต้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายต้นและความเข้มแสงต่อความโตที่ระดับคอรากมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน

1.2 ความสูง

ภายหลังการทดลองได้ 6 เดือน กล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ จะมีความสูงที่ต่ำกว่าความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) ในทุกสายต้นและค่าความสูงของกล้าไม้ได้รับอิทธิพลของความเข้มแสงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) จากการเปรียบเทียบกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้แสงปกติ (ร้อยละ100) พบว่า K59 เป็นสายต้นที่มีความสูงมากที่สุด รองลงมา คือ K51 K7 และ K58 โดยมีความสูงเท่ากับ 190.83, 182.33, 154.77 และ149.83 เซนติเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 5) ส่วนกล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ K51 เป็นสายต้นที่มีความสูงมากที่สุด รองลงมา คือ K59 K58 และ K7 โดยมีความสูงเท่ากับ 151.63, 150.40, 148.77 และ137.93 เซนติเมตร ตามลำดับ และความแตกต่างระหว่างสายต้นมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) นอกจากนี้ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงและสายต้น มีอิทธิพลต่อความสูงเมื่อกล้าไม้อายุ 6 เดือนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 การเติบโตของกล้ายูคาลิปตัส 4 สายต้น ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) และร้อยละ30 ของความเข้มแสงปกติ

สายต้น	ความเข้มแสง (ร้อยละของความเข้มแสงปกติ)	หลังการทดลอง 6 เดือน	
		ความโตที่ระดับคอราก (เซนติเมตร)	ความสูง (เซนติเมตร)
K7	100	$1.09^{ab} \pm 0.08$	$154.77^{a} \pm 10.32$
	30	$0.95^{cd} \pm 0.08$	$137.93^{c} \pm 11.43$
K51	100	$1.13^{b} \pm 0.10$	$182.33^{b} \pm 12.95$
	30	$0.97^{e} \pm 0.11$	$151.63^{d} \pm 19.93$
K58	100	$1.07^{a} \pm 0.12$	$149.83^{a} \pm 14.99$
	30	$0.91^{c} \pm 0.10$	$148.77^{c} \pm 14.25$
K59	100	$1.12^{ab} \pm 0.07$	$190.83^{b} \pm 13.85$
	30	$0.94^{cd} \pm 0.13$	$150.40^{d} \pm 15.49$
P-value			
สายต้น		0.06^{ns}	<0.01**
ความเข้มแสง		<0.01**	<0.01**
สายต้น*ความเข้มแสง		0.75^{ns}	<0.01**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 มวลชีวภาพ

จากการศึกษามวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของกล้ายูคาลิปตัส 6 เดือนหลังจากการทดลองภายใต้ความเข้มแสงระดับต่างๆ มวลชีวภาพในส่วนของลำต้น พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) มีมวลชีวภาพของลำต้นมากกว่ากล้าที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยภายใต้ความเข้มแสงปกติ K59 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นมากที่สุดมีค่า 10.3 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 6) รองลงมา คือ K51 K58 และ K7 โดยมีค่า 8.9, 8.8 และ 8.7 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K58 มีมวลชีวภาพมากที่สุด รองลงมา คือ K59 K7 และ K51 มีค่าเท่ากับ 7.9, 7.1, 6.7 และ 6.4 กรัมต่อต้น ตามลำดับ อย่างไรก็ตามความแตกต่างระหว่างสายต้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.10$) รวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างแสงและสายต้นก็ไม่มีอิทธิพลต่อมวลชีวภาพของลำต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.13$) เช่นกัน

มวลชีวภาพในส่วนของกิ่ง พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) มีมวลชีวภาพของกิ่งมากกว่าสายต้นที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยที่ K59 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของกิ่งมากที่สุด มีค่า 3.8 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 6) รองลงมา คือ K58 K7 และ K51 โดยมีค่า 3.5, 3.2 และ 2.3 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้แสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K58 มีมวลชีวภาพของกิ่งมากที่สุด รองลงมา คือ K59 K7 และ K51 มีค่าเท่ากับ 3.0, 2.5, 2.1 และ1.5 กรัมต่อต้น ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า สายต้นที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพของกิ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและสายต้นไม่มีอิทธิพลต่อมวลชีวภาพของกิ่ง

มวลชีวภาพในส่วนของใบ พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) และความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ มีมวลชีวภาพในส่วนของใบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) K58 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของใบมากที่สุดภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) รองลงมา คือ K7 K59 และ K51 โดยมีค่า 10.8, 7.9, 7.3 และ6.8 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K58 มีมวลชีวภาพของใบมากที่สุด รองลงมา คือ K51 K7 และ K59 มีค่าเท่ากับ 9.6, 6.0, 5.7 และ5.5 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 6) สายต้นที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพของใบมีความแตกต่างกันอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) และเมื่อนำปัจจัยร่วมระหว่างความเข้มแสงและสายต้นมาทดสอบทางสถิติ พบว่า ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณมวลชีวภาพของใบแต่อย่างใด ($p>0.05$)

ตารางที่ 6 มวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของกล้ายูคาลิปตัส 4 สายต้น หลังจากการทดลอง 6 เดือน

สายต้น	ความเข้มแสง (ร้อยละของความเข้มแสงปกติ)	มวลชีวภาพ (กรัมต่อต้น)					Shoot/root ratio
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	ทั้งหมด	
K7	100	$8.7^{a}\pm1.3$	$3.2^{b}\pm1.0$	$7.9^{a}\pm1.2$	$10.5^{c}\pm2.9$	$30.3^{a}\pm5.0$	$1.98^{a}\pm0.54$
	30	$6.7^{b}\pm1.4$	$2.1^{e}\pm0.6$	$5.7^{c}\pm2.2$	$10.9^{f}\pm2.0$	$25.3^{b}\pm5.6$	$1.32^{d}\pm0.19$
K51	100	$8.9^{a}\pm2.4$	$2.3^{a}\pm0.6$	$6.8^{a}\pm2.0$	$10.3^{ab}\pm4.2$	$28.4^{a}\pm5.4$	$1.98^{ab}\pm0.94$
	30	$6.4^{b}\pm1.1$	$1.5^{d}\pm0.3$	$6.0^{c}\pm2.3$	$7.7^{dc}\pm2.0$	$21.6^{b}\pm4.6$	$1.81^{de}\pm0.23$
K58	100	$8.8^{a}\pm1.8$	$3.5^{c}\pm0.6$	$10.8^{b}\pm2.0$	$7.3^{a}\pm2.5$	$30.5^{a}\pm5.1$	$3.40^{c}\pm1.17$
	30	$7.9^{b}\pm4.2$	$3.0^{f}\pm1.6$	$9.6^{d}\pm7.7$	$5.8^{d}\pm1.5$	$26.3^{b}\pm12.8$	$3.51^{f}\pm0.38$
K59	100	$10.3^{a}\pm2.0$	$3.8^{c}\pm1.8$	$7.3^{a}\pm2.0$	$9.4^{ab}\pm4.6$	$30.8^{a}\pm6.0$	$2.74^{b}\pm1.47$
	30	$7.1^{b}\pm1.4$	$2.5^{f}\pm0.7$	$5.5^{c}\pm1.4$	$6.9^{de}\pm1.4$	$22.0^{b}\pm3.8$	$2.18^{e}\pm0.35$
P-value							
สายต้น		0.10^{ns}	<0.01**	<0.01**	<0.05*	0.16^{ns}	<0.01**
ความเข้มแสง		<0.01**	<0.01**	0.06^{ns}	0.08^{ns}	<0.01**	0.22^{ns}
สายต้น*ความเข้มแสง		0.13^{ns}	0.13^{ns}	0.91^{ns}	0.57^{ns}	0.46^{ns}	0.68^{ns}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

Ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

มวลชีวภาพในส่วนของราก พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงทั้ง 2 ระดับ มีมวลชีวภาพของรากไม่ต่างกัน ($p>0.05$) กล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) K7 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของรากมากที่สุด รองลงมาคือ K51 K59 และ K58 โดยมีค่า 10.5, 10.3, 9.4 และ7.3 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K7 มีมวลชีวภาพของรากมากที่สุด รองลงมา คือ K51 K59 และ K58 มีค่าเท่ากับ 10.9, 7.7, 6.9 และ 5.8 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ในขณะที่สายต้นที่ต่างกันกลับทำให้ปริมาณมวลชีวภาพของรากมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) แต่เมื่อทดสอบปฏิสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัย พบว่า ไม่มีอิทธิพลต่อความแตกต่างของมวลชีวภาพของราก

มวลชีวภาพรวม พบว่า กล้าไม้ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) มีมวลชีวภาพของลำต้นมากกว่ากล้าที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยที่ K59 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพรวมมากที่สุดภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) รองลงมา คือ K58 K7 และ K51 โดยมีค่า 30.8, 30.5, 30.3 และ 28.4 กรัมต่อต้น ตามลำดับ สำหรับกล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K58 มีมวลชีวภาพรวมมากที่สุด รองลงมา คือ K7 K59 และ K51 มีค่าเท่ากับ 26.3, 25.3, 22.0 และ 21.6 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 6) ส่วนสายต้นที่ต่างกัน มวลชีวภาพรวมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) และสายต้นที่ต่างกันแต่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงเดียวกันก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน ($p>0.05$)

จากการเติบโตข้างต้น พบว่า มวลชีวภาพของกล้าไม้ได้รับผลกระทบโดยตรงกับความเข้มแสง โดยพบว่า ที่ความเข้มแสงมาก จะทำให้มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง รวมถึงมวลชีวภาพรวมมีค่ามากกว่ากล้าที่อยู่ภายใต้แสงที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตาม สายต้นที่ต่างกันก็ทำให้มวลชีวภาพในส่วนของใบและรากมีความต่างกัน เนื่องจากในแต่ละสายต้นมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละสายต้น ในส่วนของความโตและความสูงมีลักษณะไปในทางเดียวกัน คือ กล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความแข้มแสงที่น้อยมีความโตที่คอรากน้อยกว่าในระดับความเข้มแสงที่สูงกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในสภาพความเข้มแสงที่น้อยความสามารถในการดึงแสงมาใช้ในการสังเคราะห์แสงทำได้ยาก จึงอาจมีผลกระทบต่อการสร้างอาหารเพื่อสร้างความเติบโต และพืชที่อยู่ในร่มจะมีลักษณะอวบน้ำ เมื่อเทียบน้ำหนักแห้งจึงมีน้ำหนักน้อยกว่าพืชที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) ซึ่งสอดคล้องกับ Joiner *et al*. (1980) พบว่า กลุ่มกล้าไม้ที่พรางแสงร้อยละ 47 มีน้ำหนักสดของใบ ขนาดของลำต้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงกว่าอีกด้วย ซึ่งเป็นลักษณะของพืชที่อยู่ในที่ร่มคืออวบน้ำและมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูง ในขณะที่ Mitchell and Hinckley (1993) พบว่าภายใต้ความเข้มแสงต่ำ กล้าไม้จะมีการเติบโตในส่วนของลำต้นในระยะแรกได้ดีแต่เมื่อได้รับความเข้มแสงต่ำติดต่อกันนานๆ จะทำให้การเติบโตของกล้าไม้น้อยกว่ากล้าไม้ที่ได้รับแสงเต็มที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 Shoot/root ratio

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ที่ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) K58 เป็นสายต้นที่มีค่า shoot/root ratio สูงที่สุด (3.40) รองลงมา คือ 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) เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติแล้ว พบว่า ค่าความเข้มแสงไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของ shoot/root ratio อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.22$) แต่สายต้นที่ต่างกันทำให้ค่า shoot/root ratio มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนปฏิสัมพันธ์ของแสงกับสายต้นไม่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนของลำต้นต่อรากอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.68$) (ตารางที่ 6)

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า K58 เป็นสายต้นที่มีค่า shoot/root ratio สูงที่สุด แสดงว่ามวลชีวภาพในส่วนเหนือพื้นดินมีค่ามากกว่ารากเป็นจำนวนมาก 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 การที่ K58 และ K59 มีค่า shoot/root ratio ที่สูงไม่ได้หมายความว่าจะมีการเติบโตที่ดีกว่าสายต้นอื่นๆ แต่เป็นเพียงแค่การแสดงสัดส่วนของส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินกับส่วนที่อยู่ใต้ดินเท่านั้น และเป็นข้อมูลในระยะกล้าไม้ ซึ่งเมื่อต้นไม้อายุมากขึ้น หรือนำไปปลูกในพื้นที่จริง พบว่า สายต้น K58 ที่อายุ 3.6 ปี จากการปลูกทดสอบบนคันนา มีมวลชีวภาพของรากมากที่สุด (รุ่งเรือง และคณะ, 2552) ซึ่งมีค่าตรงกันข้ามกับระยะกล้าไม้ที่ K58 มีมวลชีวภาพของรากน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การทดลองในระยะกล้าไม้นี้จึงสรุปได้ว่า สายต้นที่ต่างกันส่งผลต่อสัดส่วนของ shoot/root ratio อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

1.5 ปริมาณคลอโรฟิลล์

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของกล้าไม้ 6 เดือนภายหลังการทดลอง พบว่า ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ100) ปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมดของ K7 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 2.88 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร รองลงมา คือ K51 และ K59 เท่ากับ 2.29 และ1.97 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ K58 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมทั้งหมด น้อยที่สุด 1.69 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร (ตารางที่ 7) ส่วนกล้ายูคาลิปตัสภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของความเข้มแสงปกติ พบว่า ทั้ง 4 สายต้น มีปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) สอดคล้องกับกล้า cherrybark oak ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงต่ำจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์มากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้แสงเต็มที่ (Emile and Ken, 2001) เพราะภายใต้ความเข้มแสงต่ำ ต้นไม้จะมีการสร้างคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการดักจับแสงที่ความเข้มแสงต่ำ มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสายต้น พบว่า K51 มีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมมากที่สุด รองลงมา คือ K7 K59 และ K58 โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์เท่ากับ 3.79, 3.23, 2.79 และ 2.08 มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า สายต้นและความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) นอกจากนี้ อิทธิพลร่วมของสายต้นกับความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของกล้ายูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 100 และ 30 ของความเข้มแสงปกติ

สายต้น	ความเข้มแสง (ร้อยละของความเข้มแสงปกติ)	คลอโรฟิลล์ทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตร)
K7	100	$2.88^{c} \pm 0.71$
	30	$3.23^{f} \pm 0.94$
K51	100	$2.29^{c} \pm 0.73$
	30	$3.79^{f} \pm 0.56$
K58	100	$1.69^{a} \pm 0.64$
	30	$2.08^{d} \pm 0.38$
K59	100	$1.97^{b} \pm 0.25$
	30	$2.79^{e} \pm 0.49$
P-value		
สายต้น		<0.01**
ความเข้มแสง		<0.01**
สายต้น*ความเข้มแสง		<0.01**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

1.6 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสง

จากการวิเคราะห์การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นในระยะแรก จนกระทั่งใบมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะค่อนข้างคงที่แม้ความเข้มแสงจะเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4) ซึ่งคล้ายคลึงกับรูปแบบการศึกษาของ ประนอม (2542) ในป่าไม้เบญจพรรณ; วัลยา (2543) ในป่าไม้ชายเลน; สาพิศ และคณะ (2546) ในป่าไม้เต็งรัง; ดุริยะ (2547) ในป่าไม้ดิบแล้งและป่าไม้เบญจพรรณ เมื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ของความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์สมการตามรูปแบบของ Boot and Loomis (1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พบว่า การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสง ทั้ง 2 ระดับความเข้มแสงของแต่ละสายต้นมีความแตกต่างกัน โดยที่ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติในทุกสายต้น โดยที่สายต้น K59 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มากที่สุด รองลงมา คือ K7 K51 และ K59 มีค่าเท่ากับ 24.58, 23.75, 21.33 และ 18.33 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (ตารางที่ 8) อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดของ K59 ที่ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีค่ามากกว่าที่ปลูกอยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติอยู่ร้อยละ 42.72 ส่วนอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K7 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมากที่สุด รองลงมา คือ K51 K58 และ K59 มีค่าเท่ากับ 19.34, 15.81, 14.21 และ 14.08 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (ตารางที่ 8) Ball and Critchley (1982) กล่าวว่า ใบที่ปกติได้รับแสงน้อยจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดที่ความเข้มแสงอิ่มตัวต่ำกว่าใบที่ได้รับแสงเต็มที่ จึงทำให้ทราบว่า K7 เป็นสายต้นที่สามารถอยู่ภายใต้ความเข้มแสงที่ต่ำและยังสามารถใช้แสงที่ความเข้มต่ำในกระบวนการทางสรีรวิทยาได้ดี ในขณะที่ K59 มีความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดอย่างชัดเจน ทำให้ทราบว่า K59 ได้รับอิทธิพลจากความเข้มแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง เมื่อนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความเข้มแสงที่ต่างกัน และสายต้นที่ต่างกันทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของกล้ายูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จากการคำนวณโดยใช้สมการของ Boot and Loomis (1991)

สายต้น	ความเข้มแสง (ร้อยละของความเข้มแสงปกติ)	P_{max}	Φ	R_d
K7	100	23.75^{c}±1.34	0.062^{a}±0.007	2.21^{a}±0.45
	30	19.34^{f}±2.57	0.065^{a}±0.003	1.33^{b}±0.19
K51	100	21.33^{ab}±2.93	0.062^{a}±0.005	2.27^{a}±0.47
	30	15.81^{de}±3.19	0.061^{a}±0.001	1.33^{b}±0.51
K58	100	18.33^{a}±1.47	0.060^{a}±0.005	1.40^{a}±0.20
	30	14.21^{d}±0.22	0.060^{a}±0.008	1.25^{b}±0.17
K59	100	24.58^{bc}±2.85	0.063^{a}±0.002	1.71^{a}±0.31
	30	14.08^{e}±1.58	0.057^{a}±0.008	0.87^{b}±0.49
P-value				
สายต้น		<0.01**	0.65^{ns}	0.07^{ns}
ความเข้มแสง		<0.01**	0.73^{ns}	<0.01**
สายต้น*ความเข้มแสง		0.07^{ns}	0.57^{ns}	0.30^{ns}

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

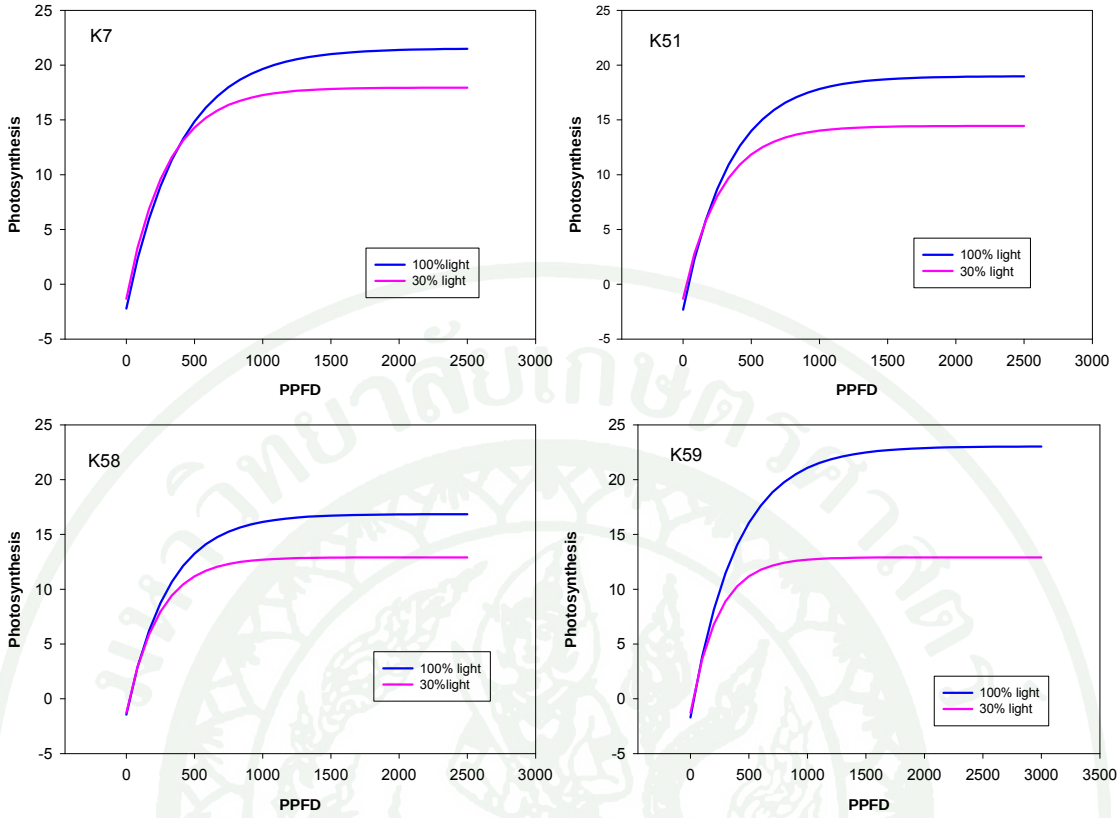
ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

p_{max} คือ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

Φ คือ Quantum yield

R_d คือ การหายใจในที่มืด (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



หมายเหตุ Photosynthesis: การสังเคราะห์แสงสุทธิ (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)
PPFD: ความเข้มแสง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที)

ภาพที่ 4 การตอบสนองของอัตราการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของกล้ายูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ที่ปลูกภายใต้ความเข้มแสงปกติ (100 % light) และความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ (30 % light) วิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สมการของ Boot and Loomis (1991)

สำหรับ Quantum yield ซึ่งเป็นค่า initial slope ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้แสงที่ระดับต่ำ จากการทดลอง พบว่า กล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) จะมีค่า quantum yield มากกว่ากล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ ในขณะที่ K59 เป็นสายต้นที่มีค่า quantum yield ในความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) และความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ ต่างกันมากที่สุด (ตารางที่ 8) ทั้งนี้ ค่าความเข้มแสงและสายต้นที่ต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อ quantum yield อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การหายใจในที่มืด (R_d) มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการสังเคราะห์แสงสูงสุดโดย พบว่ากล้าไม้ที่ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มีค่าการหายใจในที่มืดมากกว่ากล้าไม้ที่อยู่ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ เมื่อทดสอบทางสถิติ พบว่า ความแตกต่างของระดับความเข้มแสงมีผลต่อการหายใจในที่มืดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนสายต้นที่ต่างกันการหายใจในที่มืดไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดย K51 มีค่าการหายใจในที่มืดที่ระดับความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) มากที่สุด เท่ากับ 2.27 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที รองลงมา คือ K7 K59 และ K58 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.21, 1.71 และ 1.40 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ส่วนการหายใจในที่มืดของกล้าไม้ภายใต้ความเข้มแสงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ พบว่า K7 และ K51 มีค่าเท่ากันคือ 1.33 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที รองลงมา คือ K58 และ K59 มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 1.25 และ 0.87 ตามลำดับ แต่ความแตกต่างของการหายใจในที่มืดระหว่างสายต้นไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

2. การศึกษาในแปลงทดลองบนคันนา

2.1 ลักษณะทางสรีรวิทยาของใบยูคาลิปตัส

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (light-saturated net photosynthesis, A_{sat}) การชักนำของปากใบ (stomatal conductance, g_s) และการคายน้ำ (transpiration, E) รวมทั้งประสิทธิภาพการใช้น้ำของใบ (intrinsic water-use efficiency, WUE) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดและการชักนำของปากใบ และนำเอาปัจจัยทางพันธุกรรมของต้นหรือสายต้น พื้นที่ และฤดูกาลมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างสายต้น ($p<0.01$) แต่ความแตกต่างระหว่างพื้นที่ ($p>0.05$) และฤดูกาล ($p>0.05$) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 9)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด (A_{sat}) การชักนำของปากใบ (g_s) การคายน้ำ (E) และประสิทธิภาพในการใช้น้ำ (WUE) ของยูคาลิปตัสในแปลงปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

สายต้น	ฤดู	A_{sat}	g_s	E	WUE
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
K7	แล้ง	18.47^{b}±6.37	0.57^{bcde}±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^{bcdef}±4.96
K58		16.45^{a}±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	ฝน	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
แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
K7	แล้ง	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^{bcde}±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	ฝน	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^{a}±0.80	0.33^{abc}±0.05	5.40^{ab}±0.46	53.20^{abcdef}±6.87
K59		21.22^{b}±2.29	0.64^{cdef}±0.18	7.33^{bcd}±1.11	36.39^{abc}±8.90
P-value					
สายต้น		<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**
แปลง		0.29^{ns}	<0.05*	0.06^{ns}	0.61^{ns}
สายต้น*แปลง		0.30^{ns}	0.86^{ns}	0.57^{ns}	0.78^{ns}
ฤดูกาล		0.30^{ns}	<0.01**	<0.01**	<0.01**

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สายต้น ฤดู	A_{sat}	g_s	E	WUE
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย
ฤดูกาล*สายต้น	<0.05*	0.30^{ns}	0.17^{ns}	0.35^{ns}
ฤดูกาล* แปลง	0.84^{ns}	0.34^{ns}	0.07^{ns}	0.06^{ns}
ฤดูกาล*สายต้น*แปลง	0.43^{ns}	0.51^{ns}	0.42^{ns}	0.80^{ns}

หมายเหตุ ในแต่ละตัวแปรค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดระหว่างสายต้นของยูคาลิปตัส พบว่า ในภาพรวมแล้วอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของสายต้น K51 มีค่าสูงสุดทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน ในขณะที่สายต้น K59 มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดสูงในฤดูฝนแต่มีการลดลงมากที่สุดในฤดูแล้ง (ร้อยละ15-43) แต่อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของสายต้น K7 และ K58 มีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองฤดู แสดงว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของสายต้น K51, K58 และ K7 ทนต่อสภาพความเครียดเมื่อความชื้นลดลงได้ดีกว่าสายต้น K59 ซึ่งได้รับผลกระทบจากการขาดน้ำในฤดูแล้งมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของกล้าไม้ โดยสายต้น K51 มีค่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดสูงที่สุดในความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในระยะกล้าไม้และในแปลงทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเทียบกับกล้าไม้ที่ความเข้มแสงปกติ (ร้อยละ 100) ที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับแปลงทดลอง (ฤดูฝน) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของปัจจัยทางพันธุกรรมของยูคาลิปตัสในการปรับตัว (adaptability) ต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่นเดียวกับการแปรผันของลักษณะทางพันธุกรรมของสมบัติในการสังเคราะห์แสงและการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบที่ศึกษาในกระถินณรงค์ กระถินเทพา และลูกผสมของทั้งสองชนิดนี้ (สาพิศ, 2545ข) ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกสายต้นยูคาลิปตัสให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ปลูกต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น ที่วัดในฤดูฝนที่มีปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เหมาะสมต่อการสังเคราะห์แสง มีค่าสูง (16.9-21.4 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) เมื่อเปรียบเทียบกับไม้พื้นเมืองของไทย เช่น แดง (*Xylia xylocarpa*) กาสามปีก (*Vitex peduncularis*) เก็ด (*Dalbergia* spp.) ประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus*) อินทนิล (*Lagerstroemia* spp.) กระบก (*Irvingia malayana*) ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 7-14 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (สาพิศ และคณะ, 2547) แต่มีค่าใกล้เคียงกับไม้โตเร็วต่างประเทศชนิดอื่นๆ เช่น กระถินณรงค์ และกระถินเทพา ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 21-25 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที (สาพิศ, 2545ข) นอกจากนี้อัตราการสังเคราะห์แสงของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้นบนคันนาที่วัดในช่วงฤดูฝนยังมีค่าใกล้เคียงกับของกล้าไม้ทั้ง 4 สายต้นที่เติบโตภายใต้สภาพแสงปกติดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้

เป็นที่น่าแปลกใจว่าอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดของใบยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ที่ปลูกบนคันนาแสดงการตอบสนองต่อฤดูแล้งไม่ชัดเจน และมีความแตกต่างระหว่างฤดูอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.30$) อัตราการลดลงในฤดูแล้งโดยเฉลี่ยค่อนข้างน้อยไม่เกินร้อยละ 30 (ยกเว้นสายต้น K59) ซึ่งถือว่าน้อยกว่าไม้ชนิดอื่นๆ ที่เคยศึกษาไว้ เช่น กระถินณรงค์ กระถินเทพา และลูกผสมของทั้งสองชนิดนี้ที่ปลูกในเขตร้อนและแห้งแล้งในประเทศออสเตรเลียที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดลดลงในฤดูแล้งมากกว่าร้อยละ 60 (สาพิศ, 2545ข) และลูกผสมของกระถินณรงค์ที่ปลูกในแปลงทดลองจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดลดลงโดยเฉลี่ยในฤดูแล้งประมาณร้อยละ 50 (Royampaeng, 2003) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่า ในฤดูแล้งระดับน้ำใต้ดินของนาข้าวอาจจะยังสูงกว่าในสวนป่าทั่วๆ ไป มีผลทำให้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนายังมีกิจกรรมการสังเคราะห์แสงสูงและสามารถเติบโตได้ดีในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สายต้นที่มีกิจกรรมการสังเคราะห์แสงได้รับผลกระทบน้อยจากภาวะขาดน้ำ เช่น K51 K58 และ K7

ในขณะที่การชักนำของปากใบและการคายน้ำนอกจากจะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างสายต้น ($p<0.01$) แล้ว ยังพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างฤดู ($p<0.01$) (ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นว่า ในสภาพที่ขาดน้ำทั้งความชื้นในดินและความชื้นในอากาศส่งผลกระทบต่อการปิด-เปิดของปากใบทำให้ปากใบปิดบางส่วน (stomatal partial closure) เพื่อลดการสูญเสียความชื้นในใบ จึงทำให้อัตราการการคายน้ำของใบลดลง แต่การปิดปากใบบางส่วนนี้ยังไม่มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะสภาพการขาดน้ำยังไม่รุนแรงดังที่กล่าวแล้วข้างต้น แต่ถ้าสภาพการขาดน้ำยังดำเนินต่อไปอาจทำให้กิจกรรมการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างชัดเจนมากกว่านี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อเปรียบเทียบค่าการชักนำของปากใบและอัตราการคายน้ำในสายต้นต่างๆ พบว่า ในสายต้น K51 และ K7 มีค่าการชักนำของปากใบและอัตราการคายน้ำสูงกว่าสายต้นอื่นๆ ทั้งสองฤดู ในทางตรงข้ามสายต้น K58 กลับมีค่าการชักนำของปากใบและอัตราการคายน้ำค่อนข้างต่ำ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้น้ำในรูปของสัดส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงและการชักนำการเปิดปากใบ จึงพบว่า สายต้น K58 มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุดทั้งในฤดูฝนและ ฤดูแล้ง ยกเว้น ในแปลงบ้านหนองกาใน ซึ่งประสิทธิภาพในการใช้น้ำของสายต้น K59 มีค่าสูงสุดในฤดูแล้ง แต่รองลงมา คือ สายต้น K58

นอกจากนี้ยังพบว่า ยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำเพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง แสดงให้เห็นว่า ในภาวะที่ความชื้นในดิน และ/หรือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลง ยูคาลิปตัสมีแนวโน้มปิดปากใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำ โดยอัตราการลดลงของค่าการชักนำของปากใบเป็นสัดส่วนที่มากกว่าการลดลงของกิจกรรมการสังเคราะห์แสง โดยทั่วไปไม้โตเร็วมีประสิทธิภาพในการใช้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น น้ำ สารอาหาร เพื่อการเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าไม้โตช้า จึงทำให้ไม้โตเร็วมีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงกว่าไม้โตช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพที่แห้งแล้งหรือขาดน้ำ (Poorter, 1999; Van den Boogaard *et al*., 1996) เช่นเดียวกัน สายต้น K58 ซึ่งมีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงสุดเป็นสายต้นที่มีผลผลิตมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าสายต้นอื่น ทั้งนี้การแปรผันของลักษณะทางสรีรวิทยาและการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมของยูคาลิปตัสที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันข้างต้น อาจจะมีส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดการแปรผันของการเติบโต มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.2 ดัชนีพื้นที่ใบและพื้นที่เรือนยอด

การศึกษาดัชนีพื้นที่ใบเป็นการศึกษาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวใบทั้งหมดของต้นและพื้นที่ปกคลุมเรือนยอด ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดและการส่องผ่านของแสงภายในเรือนยอดของต้น ในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบควบคู่กับขนาดพื้นที่เรือนยอดของยูคาลิปตัส พบว่า ดัชนีพื้นที่ใบของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ มีค่าแตกต่างกันในช่วงแรกและมีแนวโน้มแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นเมื่อต้นไม้อายุมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ในปีที่ 1, 2 และ 3 พบว่า สายต้น K58 มีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงที่สุดทั้งสองพื้นที่ ในขณะที่สายต้น K59 มีค่าดัชนีพื้นที่ใบต่ำที่สุดในปีที่ 1 และมีค่าเพิ่มขึ้นในปีที่ 2 แต่สายต้น K51 มีดัชนีพื้นที่ใบต่ำที่สุดในปีที่ 2 และ ปีที่ 3 ในทั้งสองพื้นที่ การที่ในปีแรกสายต้น K59 มีดัชนีพื้นที่ใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เฉลี่ยต่ำที่สุดเนื่องจากในปีแรกเกิดการระบาดของแตนฝอยปม (*Leptocybe invasa* Fisher & LaSalle) ทำให้ต้นกล้าที่ปลูกใหม่เกิดการแตกเป็นพุ่มมีใบเล็กและชะงักการเติบโต สายต้นที่ถูกทำลายส่วนใหญ่เป็นสายต้น K51 และ K59 กอปรกับสายต้น K59 มีลักษณะการเติบโตช้าในช่วงแรก จึงทำให้สายต้น K59 มีดัชนีพื้นที่ใบต่ำในปีแรก ซึ่งความแตกต่างของดัชนีพื้นที่ใบระหว่างสายต้นมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ทั้ง 3 ปี ที่มีการเปรียบเทียบ (ตารางที่ 10) โดยที่ ยูคาลิปตัสในแปลงทดลองทั้งหมดมีดัชนีพื้นที่ใบลดลงเมื่อต้นอายุมากขึ้น เนื่องจากเรือนยอดอยู่ในระดับสูงขึ้นทำให้การบดบังแสงบริเวณโคนต้นลดลง และความแตกต่างของดัชนีพื้นที่ใบนี้จะมีอิทธิพลโดยตรงต่อความเข้มแสง กล่าวคือในแปลงที่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงจะมีความเข้มแสงต่ำ (ดุริยะ, 2547) ทั้งนี้ค่าดัชนีพื้นที่ใบของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงทดลองเฉพาะในปีที่ 1 ($p<0.05$) และปีที่ 3 ($p<0.01$) เท่านั้น

สำหรับขนาดพื้นที่เรือนยอดของยูคาลิปตัสของทุกๆ สายต้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อยูคาลิปตัสมีการเติบโตและอายุเพิ่มมากขึ้น โดยความแตกต่างของขนาดพื้นที่เรือนยอดระหว่างสายต้นยังไม่ชัดเจนในช่วงแรก แต่ความแตกต่างดังกล่าวมีแนวโน้มชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อต้นไม้อายุมากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบขนาดพื้นที่เรือนยอดของยูคาลิปตัสทั้งสองแปลง พบว่า เมื่อต้นไม้อายุ 1 และ 2 ปี สายต้น K58 และ K7 มีขนาดเรือนยอดใหญ่กว่าสายต้นอื่นๆ แต่เมื่อต้นไม้อายุ 3 ปี สายต้น K59 มีขนาดเรือนยอดเพิ่มขึ้นจนมีพื้นที่เรือนยอดมากกว่า K7 และมีค่าใกล้เคียงกับ สายต้น K58 ในทางตรงข้ามสายต้น K51 มีขนาดพื้นที่เรือนยอดน้อยที่สุดในทุกๆ อายุที่มีการเปรียบเทียบ (ยกเว้นเมื่ออายุ 1 ปี ในแปลงบ้านหนองกาใน) และความแตกต่างของพื้นที่เรือนยอดระหว่างสายต้นดังกล่าวมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้ง 3 อายุ ($p<0.01$) (ตารางที่ 11) ซึ่งขนาดพื้นที่เรือนยอดนี้เป็นลักษณะเฉพาะของสายต้น โดยสายต้น K58 และ K7 มีทรงพุ่มเรือนยอดใหญ่และทึบ ในขณะที่สายต้น K51 มีเรือนยอดโปร่งบาง และลิดกิ่งได้เองตามธรรมชาติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ดัชนีพื้นที่ใบของยูคาลิปตัสในแปลงปลูกยูคาลิปตัส บนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

สายต้น	ดัชนีพื้นที่ใบ (ตารางเมตร/ตารางเมตร)		
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3
	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย
แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก			
K7	2.32^{b}±0.66	2.04^{b}±0.89	1.69^{b}±0.85
K51	1.82^{a}±0.66	1.54^{a}±0.89	1.38^{a}±0.59
K58	2.55^{c}±0.66	2.40^{c}±0.89	2.01^{c}±0.83
K59	1.80^{a}±0.66	1.88^{b}±0.89	1.49^{ab}±0.57
แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน			
K7	2.56^{c}±0.66	1.95^{b}±0.89	1.50^{b}±0.75
K51	2.32^{b}±0.66	1.53^{a}±0.89	1.28^{a}±0.57
K58	3.06^{d}±0.66	2.60^{c}±0.89	1.94^{c}±0.88
K59	1.87^{a}±0.66	2.05^{b}±0.89	1.45^{ab}±0.56
P-value			
แปลง	<0.05*	0.06^{ns}	<0.01**
สายต้น	<0.01**	<0.01**	<0.01**
แปลง*สายต้น	0.16^{ns}	0.11^{ns}	0.12^{ns}

หมายเหตุ ในแต่ละอายุค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดเรือนยอดยูคาลิปตัสระหว่างแปลงทดลองทั้งสองพบว่า พื้นที่เรือนยอดของยูคาลิปตัสในแปลงบ้านหนองกาในมีแนวโน้มมากกว่าของแปลงบ้านห้วยปลีกเมื่อต้นไม้อายุ 1 และ 2 ปี แต่เมื่อต้นอายุ 3 ปี ยูคาลิปตัสในแปลงบ้านหนองกาในมีขนาดพื้นที่เรือนยอดเล็กกว่าของแปลงบ้านห้วยปลีก แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ความแตกต่างของขนาดพื้นที่เรือนยอดระหว่างแปลงทดลองมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) เฉพาะเมื่อต้นไม้อายุ 1 ปี และ 3 ปี เท่านั้น (ตารางที่ 11)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 พื้นที่เรือนยอดของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

สายต้น	พื้นที่เรือนยอด (ตารางเมตร)		
	อายุ 1 ปี	อายุ 2 ปี	อายุ 3 ปี
	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย
แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก			
K7	1.63^{b}±1.00	4.95^{b}±1.49	5.77^{b}±2.61
K51	0.84^{a}±0.48	2.89^{a}±1.00	3.85^{a}±1.02
K58	1.52^{b}±0.72	5.10^{b}±1.74	7.29^{b}±2.68
K59	0.85^{a}±0.37	4.56^{b}±1.67	7.25^{b}±3.43
แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน			
K7	1.80^{b}±0.55	4.38^{b}±1.31	3.75^{b}±1.87
K51	1.77^{b}±0.51	2.84^{a}±0.52	2.54^{a}±0.95
K58	2.71^{c}±0.56	5.26^{c}±1.15	5.03^{c}±1.45
K59	0.99^{a}±0.33	5.05^{bc}±1.36	5.04^{c}±2.59
P-value			
แปลง	<0.01**	0.09^{ns}	<0.01**
สายต้น	<0.01**	<0.01**	<0.01**
แปลง*สายต้น	0.12^{ns}	0.21^{ns}	0.40^{ns}

หมายเหตุ ในแต่ละอายุค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3 มวลชีวภาพ

2.3.1 มวลชีวภาพของลำต้น

จากการประเมินมวลชีวภาพของลำต้นเมื่ออายุ 1-3 ปี พบว่า K58 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นมากที่สุดในปีที่ 1, 2 และ 3 รองลงมา คือ K59 ถึงแม้ว่าในปีที่ 1 จะมีมวลชีวภาพน้อยที่สุดเนื่องจากสายต้นดังกล่าวถูกเข้าทำลายโดยแตนฝอยปมในระยะแรก แต่เมื่อมีอายุ 2 และ 3 ปี มีการเติบโตที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สังเกตได้จากค่าเฉลี่ยความเพิ่มพูนรายปี ในปีที่ 2 และ 3 (3.22-4.75, 5.91-7.92 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) ซึ่งมีค่ามากกว่า K7 และ K51 ที่อายุเท่ากัน โดย K7 และ K51 มีมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 12) เมื่อพิจารณามวลชีวภาพของลำต้นในระยะกล้าไม้พบว่า K59 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพของลำต้นมากที่สุดซึ่งมากกว่า K58 อย่างไรก็ตามความแตกต่างของมวลชีวภาพของลำต้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติแต่อย่างใด ($p>0.05$) ในระยะกล้าไม้ ทั้งนี้ แปลงทดลองที่บ้านหนองกาในมีมวลชีวภาพมากกว่าแปลงบ้านห้วยปลีก เมื่อวิเคราะห์ค่าทางสถิติในส่วนของพื้นที่ พบว่า ในปีที่ 1 เท่านั้นที่มวลชีวภาพของลำต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ในปีที่ 2 และ 3 ความแตกต่างของพื้นที่ไม่มีผลต่อมวลชีวภาพของลำต้นซึ่งไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในปีที่ 1 เป็นช่วงตั้งตัวของกล้าไม้ซึ่งมีลักษณะการตั้งตัวได้ช้าเร็วแตกต่างกัน กอปรกับการเตรียมพื้นที่คันนาในทั้ง 2 พื้นที่ไม่เหมือนกัน (คันนาเก่า กับคันนาใหม่) จึงอาจส่งผลต่อการเติบโตในช่วงปีที่ 1 ได้ เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของสายต้น พบว่า สายต้นที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพในส่วนของลำต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในปีที่ 1 และ 2 ส่วนในปีที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่และสายต้นนั้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติในทั้ง 1-3 ปี (ตารางที่ 12)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 มวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา อายุ 1, 2 และ 3 ปี

ปี	สายต้น	มวลชีวภาพ (กิโลกรัมต่อต้น)				MAI
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือดิน	(กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)
ปีที่1	แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
	K7	0.92[a]	0.06[a]	0.13[ab]	1.11[a]	1.11[a]
	K51	0.97[a]	0.04[a]	0.07[a]	1.07[a]	1.07[a]
	K58	1.91[b]	0.34[b]	0.19[c]	1.96[b]	1.96[b]
	K59	0.66[a]	0.09[a]	0.16[bc]	0.91[a]	0.91[a]
	แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
	K7	1.19[a]	0.08[a]	0.17[ab]	1.44[a]	1.44[a]
	K51	1.50[a]	0.09[a]	0.13[a]	1.72[a]	1.72[a]
	K58	2.84[b]	0.65[b]	0.40[c]	3.89[b]	3.89[b]
	K59	1.18[a]	0.17[a]	0.28[bc]	1.62[a]	1.62[a]
P-Value						
แปลง		<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*	<0.05*
สายต้น		<0.01**	<0.01**	<0.05*	<0.01**	<0.01**
แปลง*สายต้น		0.81[ns]	0.12[ns]	0.40[ns]	0.37[ns]	0.37[ns]
ปีที่2	แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
	K7	5.06[a]	0.52[a]	0.78[ab]	6.36[a]	3.18[a]
	K51	4.79[a]	0.49[a]	0.56[a]	5.84[a]	2.92[a]
	K58	8.01[b]	1.65[c]	1.50[c]	11.15[b]	5.58[b]
	K59	4.66[a]	0.80[b]	0.99[bc]	6.45[a]	3.22[a]
	แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
	K7	6.19[a]	0.66[a]	0.96[ab]	7.81[a]	3.90[a]
	K51	5.71[a]	0.62[a]	0.70[a]	7.03[a]	3.52[a]
	K58	9.94[b]	2.04[b]	1.89[c]	13.87[b]	6.93[b]
	K59	6.85[a]	1.23[c]	1.42[bc]	9.50[a]	4.75[a]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ปี	สายต้น	มวลชีวภาพ (กิโลกรัมต่อต้น)				MAI
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือดิน	(กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)
P-Value						
แปลง		0.05^{ns}	0.06^{ns}	0.08^{ns}	0.06^{ns}	0.06^{ns}
สายต้น		<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**
แปลง*สายต้น		0.92^{ns}	0.81^{ns}	0.88^{ns}	0.90^{ns}	0.90^{ns}
ปีที่3	แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
	K7	13.89^{a}	1.38^{ab}	1.18^{a}	16.45^{a}	5.48^{a}
	K51	12.94^{a}	1.17^{a}	0.95^{a}	15.06^{a}	5.02^{a}
	K58	21.86^{b}	2.71^{c}	2.91^{b}	27.48^{b}	9.16^{b}
	K59	14.30^{a}	1.87^{ab}	1.57^{a}	17.73^{ab}	5.91^{ab}
	แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
	K7	15.84^{a}	1.59^{ab}	1.34^{a}	18.77^{a}	6.26^{a}
	K51	13.27^{a}	1.20^{a}	0.98^{a}	15.44^{a}	5.15^{a}
	K58	23.21^{ab}	2.53^{c}	2.90^{b}	28.64^{b}	9.55^{b}
	K59	18.90^{ab}	2.67^{ab}	2.20^{a}	23.77^{ab}	7.92^{ab}
P-Value						
แปลง		0.32^{ns}	0.57^{ns}	0.54^{ns}	0.37^{ns}	0.37^{ns}
สายต้น		<0.05*	<0.05*	<0.01**	<0.05*	<0.05*
แปลง*สายต้น		0.89^{ns}	0.89^{ns}	0.89^{ns}	0.89^{ns}	0.90^{ns}

หมายเหตุ MAI คือ ค่าเฉลี่ยความเพิ่มพูนรายปี (กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) ในแต่ละอายุค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.2 มวลชีวภาพของกิ่ง

จากการศึกษา พบว่า มวลชีวภาพของกิ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับมวลชีวภาพของลำต้น โดยที่ K58 เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพของกิ่งมากที่สุดในช่วง 1-3 ปี โดยในปีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 2.71-2.83 กิโลกรัมต่อต้น รองลงมา คือ K59 K7 และ K51 ตามลำดับ (ตารางที่ 12) เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่า ในปีที่ 1 พื้นที่ที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพในส่วนของกิ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อต้นไม้มีอายุเพิ่มขึ้นในปีที่ 2 และ 3 พื้นที่ทั้ง 2 มีค่ามวลชีวภาพในส่วนของกิ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนการวิเคราะห์ความแตกต่างของสายต้น พบว่า สายต้นที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพของกิ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ในปีที่ 1 และ 2 ส่วนในปีที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เท่านั้น

2.3.3 มวลชีวภาพของใบ

K58 ยังเป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของใบมากกว่าสายต้นอื่นๆ โดยมีค่ามากที่สุดทั้งในปีที่ 1, 2 และ 3 รองลงมา คือ K59, K7 และ K51 ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณมวลชีวภาพของใบในระยะกล้าไม้ที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาสายต้น K51 ในแปลงทดลอง พบว่า เป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพในส่วนของใบน้อยที่สุด โดยในปีที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.95-0.98 กิโลกรัมต่อต้น โดยมีค่าน้อยกว่า K58 ถึง 3 เท่า ทั้งนี้เป็นลักษณะเฉพาะของลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดของแต่ละสายต้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการปกคลุมเรือนยอด และดัชนีพื้นที่ผิวใบ (ตารางที่ 10 และ 11) K51 จึงมีมวลชีวภาพของใบ ดัชนีพื้นที่ใบและขนาดเรือนยอดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสายต้นอื่นๆ และทุกอายุในทั้ง 2 พื้นที่ เมื่อนำค่ามวลชีวภาพของใบมาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ในปีที่ 1 เท่านั้นที่ปัจจัยของพื้นที่มีอิทธิพลต่อปริมาณมวลชีวภาพของใบ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับการวิเคราะห์สายต้น พบว่า มวลชีวภาพของใบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ในปีที่ 2-3 และมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในปีที่ 1 หมายความว่า มวลชีวภาพของใบจะมีความแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อต้นมีอายุมากขึ้นคืออายุ 2-3 ปี ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับสายต้นนั้นไม่มีผลต่อมวลชีวภาพของใบแต่อย่างใด

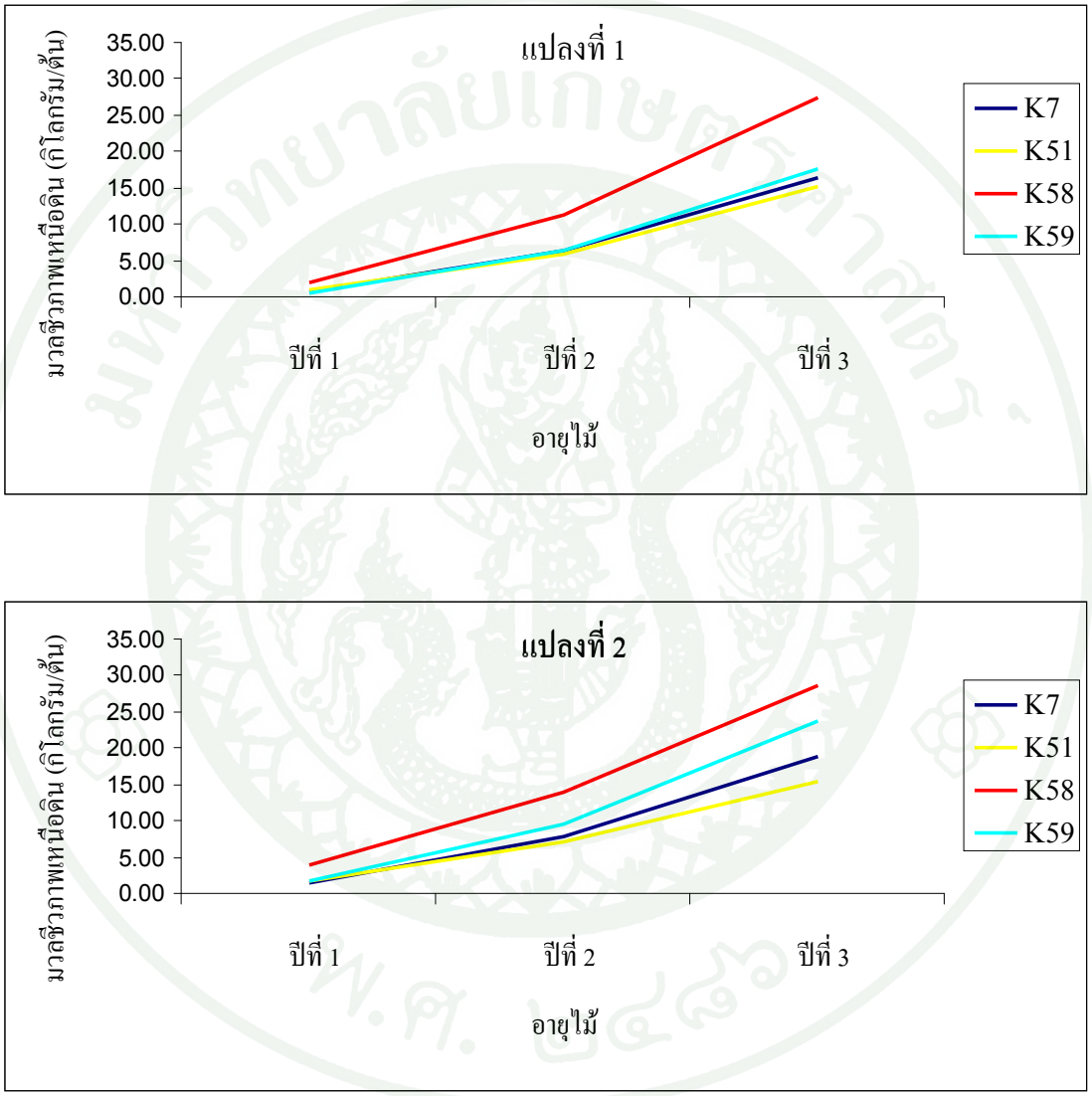
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.4 มวลชีวภาพเหนือดิน

เมื่อนำมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบ มารวมกันเป็นมวลชีวภาพเหนือดิน พบว่า K58 ยังเป็นสายต้นที่มีมวลชีวภาพเหนือดินมากที่สุดทั้งในปีที่ 1, 2 และ 3 โดยในปีที่ 3 (ภาพที่ 5) มีมวลชีวภาพเหนือดินเท่ากับ 27.48-28.64 กิโลกรัมต่อต้น โดยรองลงมาคือ K59 K7 และ K51 ตามลำดับ (ตารางที่ 12) จากการประเมินมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ เมื่ออายุ 1-3 ปี พบว่า ในแปลงบ้านห้วยปลีก สายต้น K58 มีมวลชีวภาพเหนือดินสูงสุด ในขณะที่สายต้น K7 K59 และ K51 มีมวลชีวภาพเหนือดินค่อนข้างใกล้เคียงกัน เมื่อยูคาลิปตัสอายุได้ 3 ปี มวลชีวภาพเหนือดินของสายต้น K58 มีค่าเท่ากับ 27.48 กิโลกรัมต่อต้น (ตารางที่ 12) เช่นเดียวกับในแปลงบ้านหนองกาใน พบว่า เมื่ออายุ 1 ปี สายต้น K58 มีมวลชีวภาพเหนือดินสูงสุด (ภาพที่ 5) ในขณะที่สายต้น K51 K59 และ K7 มวลชีวภาพเหนือดินค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่เมื่ออายุ 2 และ 3 ปี ถึงแม้สายต้น K58 มีมวลชีวภาพเหนือดินสูงสุดเช่นเดิม แต่สายต้น K59 มีมวลชีวภาพเหนือดินสูงสุดรองลงมา ตามด้วย สายต้น K7 และ K51 โดยมวลชีวภาพเหนือดินเมื่ออายุ 3 ปี มีค่าเท่ากับ 28.64, 23.77, 18.77 และ 15.44 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความเพิ่มพูนรายปี ที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี โดย K58 มีค่าเท่ากับ 9.16–9.55 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี ในปีที่ 3 ซึ่งมีค่ามากกว่าสายต้นอื่นๆ เมื่อนำค่ามวลชีวภาพเหนือดินมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่า ในส่วนของพื้นที่ที่ต่างกันทำให้มวลชีวภาพเหนือดินในปีที่ 1 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนในปีที่ 2 และ 3 มวลชีวภาพเหนือดินไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยความแตกต่างของพื้นที่จะส่งผลต่อมวลชีวภาพเหนือดินของทั้ง 4 สายต้นเฉพาะในปีที่ 1 เท่านั้น ส่วนการวิเคราะห์ความแตกต่างของสายต้น พบว่า สายต้นที่ต่างกันทำให้ค่ามวลชีวภาพเหนือดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในปีที่ 1 และ 2 ส่วนในปีที่ 3 นั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เท่านั้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณามวลชีวภาพเหนือดินในระยะกล้าไม้ พบว่า K59 มีมวลชีวภาพเหนือดินมากกว่า K58 ในขณะที่ K7 และ K51 มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับแปลงทดลองบนคันนา ซึ่งข้อมูลดังกล่าวอาจนำมาใช้ประโยชน์ในการประมาณการผลผลิตเมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการประมาณผลผลิตข้างต้นต้องคำนึงถึงความแตกต่างของปัจจัยแวดล้อมระหว่างแปลงทดลองและในเรือนเพาะชำ ซึ่งอาจส่งผลให้การประมาณการมีความคลาดเคลื่อนได้ ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับสายต้น พบว่า ไม่มีอิทธิพลต่อมวลชีวภาพเหนือดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อย่างใด ในทางตรงกันข้าม ชัยรัตน์ (2542) ได้ศึกษาการเติบโตของสายต้นยูคาลิปตัส และกล้าไม้จากการเพาะเมล็ดในพื้นที่ สวนป่าสระแก้ว สวนป่ามัญจาคีรี และสวนป่าพิบูลมังสาหาร โดยปลูกเมื่อ พ.ศ.2534 ใช้ระยะปลูก 2x4 เมตร โดยเป็นสายต้นจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ 6 สายต้น เปรียบเทียบกับกล้าไม้จากการเพาะเมล็ด ผลปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยการเติบโตมีความแตกต่างกันอย่างมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ในทั้ง 3 พื้นที่ และจากการศึกษาของ จงรัก (2538) ที่ศึกษาการเติบโตของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 13 ปี ในท้องที่ต่างๆ กัน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 4 ท้องที่ ได้แก่ สวนป่าสมเด็จ สวนป่ามัญจาคีรี สวนป่าขุนหาญ และสวนป่าด่านขุนทด ระยะปลูก 2x8 เมตร พบว่า พื้นที่ที่ต่างกันส่งผลให้การเติบโตของสายต้นต่างกันด้วย



ภาพที่ 5 มวลชีวภาพเหนือดินของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และแปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

2.4.1 ปริมาณคาร์บอน

จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ (ลำต้น กิ่ง ใบ) ของยูคาลิปตัสทั้ง 4 สายต้น ที่อายุ 1, 2 และ 3 ปี พบว่า มีแนวโน้มแตกต่างกันระหว่างส่วนของต้นไม้มากกว่าระหว่างสายต้น ปริมาณคาร์บอนในลำต้น กิ่ง และใบ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 48.36, 49.31 และ 53.23 ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 13) ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนในทางสถิติ พบว่า ปริมาณคาร์บอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างส่วนของต้นไม้ ($p<0.01$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสายต้น ($p>0.05$)

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความแตกต่างกันตามชนิดและส่วนของต้นไม้ จากการรวบรวมของ สาพิศ (2550) พบว่า พรรณไม้ในป่าธรรมชาติและสวนป่าชนิดต่างๆ ของประเทศไทยมีปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพโดยเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 44-55 ของน้ำหนักแห้ง โดย ประดิษฐ์ และคณะ (2551) ศึกษาปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของสัก ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และยางพารา พบว่า ยางพารามีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุดในทุกส่วน รองลงมา คือ ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และสัก ตามลำดับ โดยที่ปริมาณคาร์บอนในส่วนลำต้น กิ่ง ใบ ของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส มีค่าเท่ากับร้อยละ 47.75, 47.58, และ 51.60 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณคาร์บอนในส่วนของลำต้น และกิ่ง มีค่าใกล้เคียงกับที่ศึกษาในครั้งนี้ แต่ปริมาณคาร์บอนในใบค่อนข้างต่ำกว่า อาจพอสรุปได้ว่า การศึกษาปริมาณคาร์บอนในลำต้นยูคาลิปตัสที่ผ่านมาในประเทศไทยมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (เสริมพงศ์, 2545; ทศพร และคณะ, 2548; ประดิษฐ์ และคณะ, 2551; สาพิศ และคณะ, 2551) และยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า (ชลธิดา, 2550) แต่ปริมาณคาร์บอนในส่วนของกิ่ง หรือใบอาจมีการแปรผันมากกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสในแปลงปลูกยูคาลิปตัสบนคันนาอายุ 1, 2 และ 3 ปี

อายุ	สายต้น	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)			
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เฉลี่ย
		เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย	เฉลี่ย
1 ปี	K7	48.69^{a}±0.62	50.78^{b}±0.75	51.99^{c}±1.38	50.49±0.65
	K51	48.39^{a}±0.81	50.83^{b}±0.74	51.41^{bc}±1.76	50.21±0.89
	K58	48.83^{a}±0.85	51.24^{bc}±0.67	54.76^{d}±0.76	51.61±0.53
	K59	48.76^{a}±0.96	50.97^{bc}±0.70	53.94^{d}±0.92	51.22±0.71
P-Value					
สายต้น			0.79^{ns}		
ส่วนของต้นไม้			<0.01**		
2 ปี	K7	48.72±na	49.18±na	50.54±na	49.48±na
	K51	48.83±na	51.24±na	54.76±na	51.61±na
	K58	48.81±na	48.81±na	53.23±na	50.28±na
	K59	48.61±na	49.92±na	53.25±na	50.59±na
P-Value			-		
3 ปี	K7	48.50^{a}±0.69	49.64^{b}±0.51	52.78^{c}±1.06	50.31±0.46
	K51	48.19^{a}±1.13	49.27^{ab}±0.23	52.98^{c}±0.33	50.15±0.35
	K58	48.29^{a}±0.44	49.20^{ab}±0.14	54.00^{d}±0.46	50.50±0.14
	K59	48.45^{a}±0.59	49.11^{ab}±0.92	53.14^{cd}±0.67	50.23±0.53
P-Value					
สายต้น			0.81^{ns}		
ส่วนของต้นไม้			<0.01**		

หมายเหตุ ที่อายุ 1 ปี และ 3 ปี ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test, ส่วนปีที่ 2 na หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าทางสถิติได้เนื่องจากในการเก็บตัวอย่างของแต่ละสายต้น ได้นำตัวอย่างมารวมกัน ในแต่ละสายต้นจึงไม่มีซ้ำ ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าทางสถิติได้

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.4.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความแตกต่างขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและมวลชีวภาพ แต่การแปรผันของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสในแปลงทดสอบ ยูคาลิปตัสบนคันนาน่าจะเกิดจากความแตกต่างของมวลชีวภาพเป็นสำคัญ เพราะปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของแต่ละสายต้นมีความแตกต่างกันน้อย จากการประเมินการกักเก็บคาร์บอนพบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลผลิตมวลชีวภาพ สายต้น K58 มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ และในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุด เมื่ออายุ 1, 2 และ 3 ปี ในทั้ง 2 พื้นที่ ซึ่งมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินเท่ากับ 1.30-1.94, 5.51-6.86 และ 13.46-14.02 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ (ตารางที่ 14) โดยยูคาลิปตัสสายต้นอื่นๆ ในแปลงบ้านห้วยปลีกมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินใกล้เคียงกัน แต่ในแปลงบ้านหนองกาในสายต้น K59 มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินสูงสุด รองลงมาจาก K58 ถึงแม้ในช่วงแรกจะได้รับผลกระทบจากการเข้าทำลายของแตนฝอยปม ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น แต่สายต้น K59 มีอัตราการเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงหลัง พิจารณาจากการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในรูปของค่าเฉลี่ยความเพิ่มพูนรายปีที่เพิ่มจาก 2.35 ในปีที่ 2 เป็น 3.88 ในปีที่ 3 ซึ่งมีค่ามากกว่า K7 และ K51 ในพื้นที่เดียวกัน ทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินเมื่ออายุ 3 ปี (11.64 กิโลกรัมต่อต้น) มีค่าใกล้เคียงกับสายต้น K58 ที่ปลูกในพื้นที่เดียวกัน อย่างไรก็ตาม K58 ยังเป็นสายต้นที่มีค่าเฉลี่ยความเพิ่มพูนรายปีสูงที่สุด ในปีที 1, 2 และ 3 (ตารางที่ 14) และจากการวิเคราะห์ความแตกต่างในทางสถิติ พบว่า ความแตกต่างของพื้นที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ทั้งในลำต้น กิ่ง ใบ และมวลชีวภาพรวม อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในปีที่ 1 ($p<0.01$) ส่วนในปีที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) รวมทั้งความแตกต่างระหว่างสายต้นมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ในปีที่ 1 และ 2 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในปีที่ 3 ($p<0.05$) ยกเว้น การกักเก็บคาร์บอนในใบของปีที่ 3 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับสายต้นไม่มีความสัมพันธ์กันทั้งในปีที่ 1, 2 และ 3 ($p>0.05$) (ตารางที่ 14) ทั้งนี้ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของ K58 และ K59 น่าจะมีสาเหตุมาจากสมบัติทางด้านสรีรวิทยาที่มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบสูง และ/หรือ มีสัดส่วนของ มวลชีวภาพของใบมากกว่าสายต้นอื่นๆ ซึ่งทำให้มีการเติบโตและมวลชีวภาพสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 การกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสอายุ 1, 2 และ 3 ปี ในแปลงปลูกยูคาลิปตัสบนคันนา แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก ตำบลบ้านซ่อง อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และ แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน ตำบลคู้ยายหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา

อายุ	สายต้น	การกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัมต่อต้น)				MAI
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือดิน	(กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)
1 ปี	แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
	K7	0.45 ^{ab}	0.03 ^{a}	0.07 ^{ab}	0.55 ^{a}	0.55 ^{a}
	K51	0.47 ^{ab}	0.02 ^{a}	0.04 ^{a}	0.52 ^{a}	0.52 ^{a}
	K58	0.93 ^{bc}	0.23 ^{b}	0.14 ^{bc}	1.30 ^{bc}	1.30 ^{bc}
	K59	0.33 ^{a}	0.05 ^{a}	0.09 ^{ab}	0.46 ^{a}	0.46 ^{a}
	แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
	K7	0.58 ^{ab}	0.04 ^{a}	0.09 ^{ab}	0.71 ^{ab}	0.71 ^{ab}
	K51	0.73 ^{ab}	0.05 ^{a}	0.07 ^{ab}	0.84 ^{ab}	0.84 ^{ab}
	K58	1.39 ^{c}	0.33 ^{c}	0.22 ^{c}	1.94 ^{c}	1.94 ^{c}
	K59	0.58 ^{ab}	0.09 ^{a}	0.15 ^{bc}	0.81 ^{ab}	0.81 ^{ab}
P–Value						
แปลง		<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**
สายต้น		<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**
แปลง*สายต้น		0.55 ^{ns}	0.10 ^{ns}	0.32 ^{ns}	0.43 ^{ns}	0.43 ^{ns}
2 ปี	แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
	K7	2.47 ^{a}	0.26 ^{a}	0.39 ^{ab}	3.12 ^{ab}	1.56 ^{ab}
	K51	2.34 ^{a}	0.25 ^{a}	0.31 ^{a}	2.90 ^{a}	1.45 ^{a}
	K58	3.91 ^{ab}	0.80 ^{cd}	0.80 ^{cd}	5.51 ^{bc}	2.76 ^{bc}
	K59	2.27 ^{a}	0.40 ^{ab}	0.53 ^{abc}	3.19 ^{ab}	1.60 ^{ab}
	แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
	K7	3.02 ^{a}	0.33 ^{ab}	0.48 ^{abc}	3.82 ^{ab}	1.91 ^{ab}
	K51	2.79 ^{a}	0.32 ^{ab}	0.39 ^{ab}	3.49 ^{ab}	1.75 ^{ab}
	K58	4.85 ^{b}	1.00 ^{d}	1.01 ^{d}	6.86 ^{c}	3.43 ^{c}
	K59	3.33 ^{ab}	0.61 ^{bc}	0.76 ^{bcd}	4.70 ^{abc}	2.35 ^{abc}

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 (ต่อ)

อายุ	สายต้น	การกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัมต่อต้น)				MAI
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือดิน	(กิโลกรัมต่อต้นต่อปี)
P–Value						
แปลง		0.05^{ns}	0.06^{ns}	0.08^{ns}	0.06^{ns}	0.09^{ns}
สายต้น		<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**
แปลง*สายต้น		0.92^{ns}	0.81^{ns}	0.88^{ns}	0.90^{ns}	0.88^{ns}
3 ปี	แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก					
	K7	6.74^{ab}	0.69^{a}	0.63^{a}	8.05^{ab}	2.68^{ab}
	K51	6.24^{a}	0.58^{a}	0.50^{a}	7.32^{a}	2.44^{a}
	K58	10.56^{ab}	1.33^{a}	1.57^{b}	13.46^{ab}	4.49^{ab}
	K59	6.93^{ab}	0.92^{a}	0.84^{ab}	8.68^{ab}	2.89^{ab}
	แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน					
	K7	7.68^{ab}	0.80^{a}	0.71^{a}	9.18^{ab}	3.06^{ab}
	K51	6.39^{a}	0.59^{a}	0.52^{a}	7.50^{a}	2.50^{a}
	K58	11.21^{b}	1.25^{a}	1.57^{b}	14.02^{b}	4.67^{b}
	K59	9.16^{ab}	1.31^{a}	1.17^{ab}	11.64^{ab}	3.88^{ab}
P-Value						
แปลง		0.32^{ns}	0.56^{ns}	0.55^{ns}	0.37^{ns}	0.23^{ns}
สายต้น		<0.05*	<0.05*	<0.01**	<0.05*	<0.05*
แปลง*สายต้น		0.89^{ns}	0.81^{ns}	0.89^{ns}	0.88^{ns}	0.80^{ns}

หมายเหตุ ในแต่ละอายุค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรเดียวกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's New Multiple Rang Test

** คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

* คือ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนระหว่างสายต้นเป็นผลเนื่องมาจากการแปรผันของมวลชีวภาพจากปัจจัยทางพันธุกรรมของต้นไม้ ทั้งในระดับชนิด สายพันธุ์ และสายต้น จากการศึกษาของ Bernardo *et al.* (1998) พบว่า ในระยะปลูก 3x3 เมตร เท่ากัน ผลผลิตมวลชีวภาพเหนือดินของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา และยูคาลิปตัส เพลลิต้า (*E. pellita*) มีค่าแตกต่างกัน โดยยูคาลิปตัส ยูโรฟิลลา มีผลผลิตมวลชีวภาพเหนือดินมากที่สุด ในขณะที่ พรจันทร์ (2547) พบว่า การเติบโตของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 4 ปี ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเลว จังหวัดราชบุรี มีความแตกต่างไปตามสายต้น และสายต้นที่สามารถปรับตัวและเติบโตได้ดีในพื้นที่ดังกล่าว 5 ลำดับแรก จาก 60 สายต้น คือ CT76 CT186 CT236 CT395 และ CT378 ซึ่งความแตกต่างของการเติบโตดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

เป็นที่น่าสังเกตว่า สายต้น K58 นอกจากจะมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินมากที่สุดแล้ว ยังมีการกักเก็บคาร์บอนทั้งในกิ่ง และใบมากที่สุดด้วยเช่นกัน เนื่องจากสายต้น K58 มีลักษณะทรงพุ่มใหญ่และหนาทึบ ในขณะที่สายต้น K7 K51 และ K59 ถึงแม้มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินต่างกัน แต่มีการกักเก็บคาร์บอนในกิ่ง และใบน้อย และใกล้เคียงกัน ดังนั้น ความแตกต่างในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของทั้ง 3 สายต้นนี้จึงเป็นผลมาจากการกักเก็บคาร์บอนในลำต้นเป็นสำคัญ (ตารางที่ 14) อาจเนื่องจากยูคาลิปตัสที่มีลักษณะพันธุกรรมที่แตกต่างกันทำให้มีลักษณะรูปทรงลำต้น และเรือนยอดแตกต่างกันทำให้มีสัดส่วนของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของแต่ละสายต้นมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะประจำของสายต้น

เมื่อเปรียบการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันทุกชั้นอายุ ยกเว้น สายต้น K59 ที่มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินในแปลงบ้านหนองกาในมากกว่าในแปลงบ้านห้วยปลีกมากกว่าร้อยละ 45 (ตารางที่ 14) จากการศึกษาของ ชัยรัตน์ (2542) พบว่า การเติบโตของยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 5 ปี ในสวนป่าต่างๆ ขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางพันธุกรรม คือ สายต้นแล้ว ยังมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่ โดยพบว่า สายต้นที่มีการเติบโตดีที่สุดในสวนป่าใดสวนป่าหนึ่ง แต่อาจมีการเติบโตไม่ดีในสวนป่าอื่นๆ ซึ่งเป็นอิทธิพลร่วมของพื้นที่ (site interaction) ที่มักพบโดยทั่วไป และก่อให้เกิดการแปรผันของมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ แต่การศึกษาครั้งนี้เมื่อต้นไม้อายุ 1, 2 และ 3 ปี ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างสายต้นกับพื้นที่ แต่อย่างใด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม การเลือกชนิด สายพันธุ์ หรือสายต้นให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ (site matching) นับเป็นหลักการสำคัญของการปลูกป่าเพื่อให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการ

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอน

จากการนำข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอน (ตารางที่ 15) มาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของ ยูคาลิปตัสและปัจจัยทางด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ พบว่า การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์ทางบวก (positive correlation) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) กับประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูฝน (WUE_{wet}) และดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) (ตารางที่ 16) กล่าวคือ เมื่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำในฤดูฝนและดัชนีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น ทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการใช้น้ำมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดที่สุด ($r=0.90$, $p<0.01$) กับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ในทางตรงข้าม ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางลบ (negative correlation) ต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ได้แก่ การชักนำของปากใบในฤดูแล้ง (g_{dry}) และฤดูฝน (g_{wet}) การคายน้ำในฤดูแล้ง (E_{dry}) และฤดูฝน (E_{wet}) และการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูแล้ง (A_{dry}) กล่าวคือ เมื่อปัจจัยเหล่านี้มีค่าลดลงทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่า g ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดที่สุด ($r=-0.8$, $p<0.01$) กับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ดังแสดงใน ตารางที่ 16 ทั้งนี้ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่วัดในฤดูฝน (A_{wet}) ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในฤดูแล้ง (WUE_{dry}) และพื้นที่เรียนยอด (crown cover) ไม่มีความสัมพันธ์กับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปัจจัยทางสรีรวิทยาที่นำมาวิเคราะห์ เช่น A_{dry}, g_{dry}, E_{dry} เป็นต้น

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า อัตราการเติบโตสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับการสังเคราะห์แสงของพืช (Reich *et al*., 1998) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sun (1986) ซึ่งพบว่ากล้ายูคาลิปตัส และ acacia มีอัตราการเติบโตสูงกว่ากล้าไม้ชนิดอื่นๆ ที่ศึกษา และอัตราการเติบโตของกล้าไม้เหล่านี้มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ แต่การเติบโตและมวลชีวภาพของไม้หลายชนิดก็ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการสังเคราะห์แสงสุทธิของใบ เช่น กระถินเทพา (Atipanumpai, 1989) กระถินณรงค์ (Cole *et al*., 1994) สำหรับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ตารางแสดงข้อมูลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา อายุ 3 ปี

Clone	C_{above}	A_{wet}	A_{dry}	g_{wet}	g_{dry}	E_{wet}	E_{dry}	WUE_{wet}	WUE_{dry}	LAI	crown cover
แปลงที่ 1 บ้านห้วยปลีก											
K7	8.05	18.99	18.47	0.99	0.57	9.21	6.25	21.12	70.80	2.02	4.12
K51	7.32	21.43	22.22	0.93	0.50	8.95	6.96	23.05	58.42	1.58	2.53
K58	13.46	16.95	16.45	0.45	0.29	7.04	4.98	40.17	83.04	2.32	4.64
K59	8.68	20.70	17.55	0.73	0.41	8.47	5.69	29.80	79.55	1.72	4.22
แปลงที่ 2 บ้านหนองกาใน											
K7	9.18	18.14	19.73	0.78	0.49	7.46	6.85	25.32	49.61	2.00	3.31
K51	7.50	18.87	22.18	0.66	0.57	7.43	8.26	29.85	40.67	1.71	2.38
K58	14.02	17.00	16.17	0.33	0.29	5.40	5.33	53.20	67.52	2.53	4.33
K59	11.64	21.22	12.16	0.64	0.18	7.33	3.74	36.39	83.13	1.79	3.69

หมายเหตุ C_{above} – ค่าเฉลี่ยการกับเก็บคาร์บอนเหนือดิน (กิโลกรัมต่อต้นต่อ 3 ปี), A_{wet}, A_{dry} – การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูฝน และฤดูแล้ง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที) , g_{wet}, g_{dry} – การชักนำของปากใบในฤดูฝน และฤดูแล้ง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที), E_{wet}, E_{dry} – การคายน้ำในฤดูฝน และฤดูแล้ง (มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที), WUE_{wet}, WUE_{dry} – ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในในฤดูฝน และฤดูแล้ง (ไมโครโมลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลน้ำ), LAI – ดัชนีพื้นที่ใบ (ตารางเมตรต่อตารางเมตร), crown cover – พื้นที่เรือนยอด (ตารางเมตร)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การศึกษาครั้งนี้การเติบโตของยูคาลิปตัสในรูปของความเพิ่มพูนของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพกลับมีความสัมพันธ์ในทางลบการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่วัดในฤดูแล้ง อาจเนื่องมาจากการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์ทางลบอย่างใกล้ชิดที่สุดกับการชักนำของปากใบดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ทั้งนี้ ในฤดูแล้งการชักนำของปากใบมีค่าลดลงเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากใบ ซึ่งมีอิทธิพลทำให้การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดลดลงอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($r=0.88$, $p<0.01$) แต่อัตราการลดลงของการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าการลดลงของการชักนำของปากใบ จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในฤดูแล้ง อย่างไรก็ตาม การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพไม่ได้มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้น้ำในฤดูแล้ง ในทางตรงข้ามการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพกลับมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างใกล้ชิดกับประสิทธิภาพการใช้น้ำในฤดูฝน

อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสูญเสียน้ำจากใบทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ได้แก่ การชักนำของปากใบ และการคายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำอย่างเกินความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง หากสายต้นใดสามารถควบคุมการปิด-เปิดของปากใบเพื่อลดการคายน้ำได้มากย่อมทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบ ซึ่งมีผลทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น เช่น สายต้น K58 ซึ่งเป็นสายต้นที่มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพสูงสุด มีการชักนำของปากใบและการคายน้ำต่ำที่สุดในฤดูฝนทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด สอดคล้องกับประสิทธิภาพการใช้น้ำที่ศึกษาโดย เจษฎา (2553) โดยเปรียบเทียบการเติบโตและประสิทธิภาพการใช้น้ำ ในรูปอัตราส่วนของผลผลิตต่อการใช้น้ำของลำต้นยูคาลิปตัสในแปลงทดลองเดียวกัน แต่ศึกษาเพียงแปลงทดลองละ 3 สายต้น โดยในแปลงบ้านห้วยปลีก พบว่า สายต้น K58 มีการเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด รองลงมา คือ สายต้น K7 และ K51 ตามลำดับ และในแปลงบ้านหนองกาใน พบว่า สายต้น K59 มีการเติบโตและประสิทธิภาพในการใช้น้ำสูงที่สุด รองลงมา คือ สายต้น K7 และ K51 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา

Variables	A_{wet}	A_{dry}	g_{wet}	g_{dry}	E_{wet}	E_{dry}	WUE_{wet}	WUE_{dry}	LAI	crown cover
C_{above}	-0.570 ^{ns}	-0.727*	-0.869**	-0.841**	-0.810*	-0.725*	0.901**	0.547 ^{ns}	0.822*	0.694 ^{ns}
A_{wet}		0.028 ^{ns}	0.600 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.638 ^{ns}	-0.047 ^{ns}	-0.521 ^{ns}	0.107 ^{ns}	-0.872**	-0.436 ^{ns}
A_{dry}			0.477 ^{ns}	0.885**	0.403 ^{ns}	0.959**	-0.563 ^{ns}	-0.808*	-0.397 ^{ns}	-0.692 ^{ns}
g_{wet}				0.687 ^{ns}	0.932**	0.416 ^{ns}	-0.958**	-0.244 ^{ns}	-0.693 ^{ns}	-0.442 ^{ns}
g_{dry}					0.592 ^{ns}	0.906**	-0.740*	-0.712*	-0.402 ^{ns}	-0.544 ^{ns}
E_{wet}						0.302 ^{ns}	-0.914**	-0.014 ^{ns}	-0.713*	-0.286 ^{ns}
E_{dry}							-0.520 ^{ns}	-0.900**	-0.367 ^{ns}	-0.714*
WUE_{wet}								0.336 ^{ns}	0.732*	0.501 ^{ns}
WUE_{dry}									0.266 ^{ns}	0.800*
LAI										0.702 ^{ns}

หมายเหตุ C_{above} – ค่าเฉลี่ยการกับเก็บคาร์บอนเหนือดิน (กิโลกรัมต่อต้นต่อปี), A_{wet}, A_{dry} – การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดในฤดูฝน และฤดูแล้ง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที), g_{wet}, g_{dry} – การชักนำของปากใบในฤดูฝน และฤดูแล้ง (ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที), E_{wet}, E_{dry} – การคายน้ำในฤดูฝน และฤดูแล้ง (มิลลิโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที), WUE_{wet}, WUE_{dry} – ประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบในในฤดูฝน และฤดูแล้ง (ไมโครโมลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อโมลน้ำ), LAI – ดัชนีพื้นที่ใบ (ตารางเมตรต่อตารางเมตร), crown cover – พื้นที่เรือนยอด (ตารางเมตร), ns – ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ, * – แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ $p<0.05$, ** –แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง $p<0.01$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษากล้าในเรือนเพาะชำ

ความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อการเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของยูคาลิปตัส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล้าไม้ที่ได้รับแสงเต็มที่ มีความโตที่ระดับคอราก ความสูง มวลชีวภาพ การสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด และการหายใจในที่มืด มากกว่ากล้าไม้ที่ได้รับแสงเพียงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติ แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบของกล้าที่ได้รับแสงเพียงร้อยละ 30 ของความเข้มแสงปกติมีค่ามากกว่า ในขณะที่ความสูง มวลชีวภาพของกิ่ง ใบ และราก shoot/root ratio ปริมาณคลอโรฟิลล์ และอัตราการสังเคราห์แสงสุทธิสูงสุด ได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างระหว่างสายต้น นอกจากนี้ยังพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มแสงและสายต้น มีอิทธิพลต่อความสูง และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเท่านั้น

2. การศึกษาในแปลงทดลองบนคันนา

การศึกษาในครั้งนี้ชี้ให้เห็นถึงการแปรผันในการปรับตัวทางสรีรวิทยาต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของลักษณะการแลกเปลี่ยนก๊าซของใบเนื่องมาจากความแตกต่างของลักษณะพื้นฐานทางพันธุกรรม โดยในฤดูแล้งเป็นภาวะที่ความชื้นในดิน และ/หรือ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงและชักนำให้เกิดการปิดปากใบบางส่วนเพื่อลดการสูญเสียของใบจากการคายน้ำ แต่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมการสังเคราะห์แสงของใบ จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในฤดูแล้ง นอกจากนี้การศึกษาครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นถึงบทบาทของลักษณะทางสรีระวิทยาต่อการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพโดยตรง กล่าวคือเมื่อมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น การกักเก็บคาร์บอนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของแต่ละสายต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนพื้นที่ที่ต่างกันไม่มีความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนเมื่อต้นไม้อายุมากขึ้น โดยปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาคือปัจจัยที่ควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การสูญเสียน้ำ ได้แก่ การชักนำของปากใบ และการคายน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำอย่างเกินความจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสง สายต้นที่สามารถควบคุมการปิด-เปิดของปากใบเพื่อลดการคายน้ำได้ดีทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำของใบสูงจะมีการเติบโตเร็วและมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพได้มาก ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของยูคาลิปตัสและปัจจัยทางด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ พบว่า เมื่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำในฤดูฝนและดัชนีพื้นที่ใบ เพิ่มขึ้นทำให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการใช้น้ำมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาชี้ให้เห็นถึงการแปรผันของการเติบโต มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพอันเนื่องมาจากการแปรผันของปัจจัยทางพันธุกรรม โดยความแตกต่างของการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของการปลูกยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ขึ้นอยู่กับมวลชีวภาพของยูคาลิปตัสเป็นสำคัญ ดังนั้น การปลูกยูคาลิปตัสเพื่อให้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้มากควรเลือกสายต้นต่างๆ ให้เหมาะสมกับพื้นที่ ทำให้สามารถปรับตัวและเติบโตได้ดี ตลอดจนมีผลผลิตสูง อย่างไรก็ตาม การปลูกยูคาลิปตัสแถวเดียวบนคันนา เป็นรูปแบบวนเกษตรที่ก่อให้เกิดผลประโยชน์ในแง่การใช้ที่ดินที่ว่างเปล่าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. การศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสอดคล้องของการแปรผันของลักษณะทางสรีรวิทยาบางประการของกล้าไม้ และไม้ที่ปลูกในแปลงทดลอง การคัดเลือกสายต้นหรือพันธุกรรมของไม้เพื่อให้ปรับตัวได้ดีต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำข้อมูลทางสรีรวิทยาในระยะกล้าไม้มาใช้ประกอบเพื่อร่นระยะเวลาการทดสอบในแปลงทดลอง จะช่วยให้สามารถพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2545. **ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส.** สำนักส่งเสริมการปลูกป่า ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

กองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร. ม.ป.ป. **ยูคาลิปตัสพันธุ์ K7**. กองคุ้มครองพันธุ์พืช. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pvp/plantrubrong/43tabian.doc, 9 กรกฎาคม 2550.

_____.ม.ป.ป. **ยูคาลิปตัสพันธุ์ K51**. กองคุ้มครองพันธุ์พืช. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pvp/plantrubrong/44tabian.doc, 9 กรกฎาคม 2550.

_____.ม.ป.ป. **ยูคาลิปตัสพันธุ์ K58**. กองคุ้มครองพันธุ์พืช. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pvp/plantrubrong/47tabian.doc, 9 กรกฎาคม 2550.

_____.ม.ป.ป **ยูคาลิปตัสพันธุ์ K59**. กองคุ้มครองพันธุ์พืช. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/pvp/plantrubrong/48tabian.doc, 9 กรกฎาคม 2550.

จงรัก วัชรินทร์รัตน์. 2538. **การเจริญเติบโตและเศรษฐกิจของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 13 ปี ในท้องที่ต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจษฎา วงศ์พรหม. 2553. **การใช้น้ำและประสิทธิภาพการใช้น้ำของไม้ยูคาลิปตัส 4 สายต้น ที่ปลูกบนคันนา จังหวัดฉะเชิงเทรา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลธิดา เชิญขุนทด. 2550. **การเก็บกักคาร์บอนเหนือพื้นดินในสวนยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า บริเวณสถานีวนวัฒนวิจัยสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยรัตน์ อร่ามศรี. 2542. **การวิเคราะห์การเติบโตของสายต้นยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 5 ปี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐวุฒิ ม่วงทอง. 2548. **การเติบโต ผลผลิต การใช้น้ำ และคุณสมบัติดินของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ดุริยะ สถาพร. 2547. **การแปรผันตามฤดูกาลของดัชนีพื้นที่เรือนยอด และอัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้เด่นในป่าดิบแล้ง จังหวัดนครราชสีมา และป่าเบญจพรรณ จังหวัดกาญจนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทศพร วัชรางกูร, ชิงชัย วิริยะบัญชา และ กันตินันท์ ผิวสะอาด. 2548. การประมาณปริมาณการสะสมของคาร์บอนในต้นไม้ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย, น. 137-157. *ใน* **รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต"**. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

บุญวงศ์ ไทยอุตส่าห์. 2530. อดีต ปัจจุบัน และอนาคตของไม้ยูคาลิปตัสในประเทศไทย. **สักทอง** 12 (4): 6-13

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร และ เจด็จ รัตนแก้ว. 2551. **การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าบางชนิดในบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร**. รายงานการวิจัย กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ประนอม ผาสุข. 2542. **การแปรผันตามฤดูกาลของโครงสร้างเรือนยอด และอัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้เด่น 3 ชนิดในป่าเบญจพรรณ จังหวัดกาญจนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. 2538. **ผลผลิตและการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้**. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรจันทร์ บุษบา. 2547. **การเติบโตและลักษณะที่แสดงออกของไม้ยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเลว จังหวัดราชบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รุ่งเรือง พูลศิริ. 2548. ผลกระทบของการปลูกไม้โตเร็วต่อคุณสมบัติของดิน การหมุนเวียนธาตุอาหารพืชและการกระจายของราก, น. (4-1)-(4-86). *ใน* **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ การวิจัยเบื้องต้นเพื่อแก้ปัญหาความยากจน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ที่ดินโดยปลูกไม้โตเร็ว**. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____, พิธีกร สุภาวงศ์ และ นิติกร กวนคอนสาร. 2552. การกระจายของรากไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาในท้องที่จังหวัดฉะเชิงเทรา, **วารสารวนศาสตร์** 28 (3): 47-59

วัลยา คงผล. 2543. **อัตราการสังเคราะห์แสงและการตอบสนองต่อปัจจัยแสงของพรรณไม้ป่าชายเลนบางชนิดบริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2552. **การใช้ประโยชน์ไม้โตเร็วเพื่อเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าและแก๊สหุงต้ม**. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะวิญญาวัตน์. 2538. **สรีรวิทยาพืช.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ภาณุมาศ ลาดปาละ, เจษฎา เหลืองแจ่ม และ วีระยุทธ กุลพรพันธ์. 2546. **ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเต็งรัง**. ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

_____, _____, และ _____. 2547. การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้ป่าเบญจพรรณ. น.1-17. *ใน* **เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ.** กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร, ภาณุมาศ ลาดปาละ และ วลัยพร สถิตวิบูรณ์. 2549. การตอบสนองของการสังเคราะห์แสงต่อความเข้มแสงของพรรณไม้เด่นในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง, น.171-194. *ใน* **รวมผลงานวิจัย: การศึกษาวัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง**. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. การกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้กับสภาวะโลกร้อน. **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ** 22(3): 40-49

_____, _____และ อมรรัตน์ สะสีสังข์. 2551. การศึกษาและประเมินการดูดซับและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้โตเร็วชนิดต่างๆ. *ใน* **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการศึกษาต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กของชุมชน**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

_____. 2545ก. ลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดและการแปรผันของคุณสมบัติของใบที่อยู่ในเรือนยอดของลูกผสมตามธรรมชาติของกระถินเทพาและกระถินณรงค์, น. 174-191. *ใน* **รายงานวนวัฒนวิจัย ประจำปี พ.ศ. 2545.** ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____. 2545ข. การเจริญเติบโตและลักษณะทางสรีรวิทยาของลูกผสมไม้กระถินณรงค์และไม้กระถินเทพา, น. 370-382. *ใน* **รายงานการประชุมทางวนวัฒนวิทยา ครั้งที่ 7.** กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

เสริมพงศ์ นวลงาม. 2545. **บทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าต่อการกักเก็บคาร์บอนและคุณสมบัติของดินบางประการที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อักษร ศรีเปล่ง. 2521. **พฤกษ์ศาสตร์ทั่วไป.** ภาควิชาชีววิทยา สาขาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนิวรรต เฉลิมพงษ์. 2527. โรคที่เป็นอันตรายต่อกล้าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส, น. 151-168. *ใน* **รายงานการสัมมนาไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส,** 30 ตุลาคม – 1 พฤศจิกายน 2527. 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: 76-90

Ball, M.C. and C. Critchley. 1982. Photosynthetic responses to irradiance by the grey mangrove, *Avicenia marina,* grown under different light regimes. **Plant Physiol.** 70:1101-1106.

Bernardo, A.L., M.G.F. Reis, G.G. Reis, R.B. Harrison and D.J. Firme. 1998. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantation in southeastern Brazil. **For. Ecol Manage**. 104: 1–13.

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.

Buckley, L. 2007. **Carbon emissions reach record high**. Available Source: 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, Thailand.

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*. **Aust. J. Bot.** 42**:** 457-470.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Devlin, R.M. and A.V. Barker. 1971. **Photosynthesis.** Affiliated East – West Press, New-Delhi.

Eldridge, K., J. Davidson, C. Hardwood and G. Van Wyk. 1997. **Eucalyptus Domestication and Breeding.** Clarendon Press, Oxford, UK.

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.**: 213-222

FAO. 1979. **Eucalyptus for Planting.** FAO Forestry Series No. 11. FAO, Rome.

_____. 1981. **Eucalyptus for Planting**. FAO Forestry Series No. 11. FAO, Rome.

Farguhar, G.D. and T.D. Sharkey. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. **Ann.Rev.Plant Physiol.** 33: 317-345.

Gifford, R.M. 2000. Carbon contents of above-ground tissues of forest and woodlands trees. **National Carbon Accounting System Technical Report No. 22.** Australian Greenhouse Office, Canberra.

Huxmzn, T.E. and S.D. Smith. 2001, Photosynthesis in an invasive grass and native forb at elevated CO_2 during an Ei Nino year in the Majave Desert. **Effect of Elevated CO_2 on Two Majave Desert Plants, Available Source**: http://www.co2science.org/articles/V4/N33/Bl.php,September9,2009.

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.

Kramer, P.J. and T.T. Kozlowski. 1979. **Physiology of Woody Plant.** Academic Press, New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Larcher, W. 1995. **Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups.** Springer-Verlag, Berlin.

Levin, K. and J. Pershing. 2008. **WRI Issue Brief: Climate Science 2007- Major New Discoveries**. World Resources Institute, Washington, DC.

Lewis, O.A. and G. Naidoo. 1997. Tidal influence on the apparent transpirational rhythms of the white mangrove. **S.Afr.J.Sci**. 66:268-270.

Little, E.I. 1980. **Common Fuelwood Crop: A Handbook for Their Identification**. Mcclain Printing Company, West Virginia.

Martin, B. and N.A. Ruiz – Torres. 1992. Effects of water deficit stress on photosynthesis: Its components and component Limitation and on water use efficiency in wheat (*Triticum aestiavum).* **Plant Physiol.** 100: 733-739.

Miranda, E.J., N.P. Filho, P.C. Priante, J.H. Campelo, G.S. Suli, C.L. Fritzen, J. S. Nogueira and G.L. Vourlitis. 2004. Maximum leaf photosynthetic light response for three species in a transitional tropical forest in southern Amazonia. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental** 8: 164-167.

Mitchell, A.K. and T.M. Hinckley 1993. Effects of foliar nitrogen concentration on photosynthesis and water use efficiency in Douglas-fir. **Tree Physiol.** 12: 403–410.

Morecroft, M.D. and J.M. Roberts. 1999. Photosynthesis and stomatal conductance of mature canopy Oak (*Quercus robur*) and Sycamore (*Acer pseudoplatanus*) trees throughout the growing season. **Functional Ecology** 13: 332-342.

National Academy of Science. 1980. **Firewood Crops: Shurb and Tree Species for Energy Production.** Washington, D.C.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Poorter, H. 1999. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative important of morphological and physiological traits. **Functional Ecology** 13**:** 396-410.

Prior, L., D. Eamus and G.A. Duff. 1997. Seasonal and diurnal patterns of carbon assimilation, stomatal conductance, leaf water potential of *Eucalyptus tetrodonta* sapling in wet-dry savanna in Northern Australia. **Aust. J. Bot**. 45: 241-258.

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. **Funct Ecol** 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, Australia.

_____, 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.

Turnbull, J.D. and L.D. Pryor. 1984. Choices of species and seed sources, pp. 56-57. *In* W.E. Hillis and A.G. Brown, eds. **Eucalyptus for Wood Production.**

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.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

World Agroforestry Centre. 2009. **Agroforestry tree database: A tree species reference and selection guide.** Available Source: http://www.worldagroforestrycentre.org/SEA/Products/AFDbases/AF/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=770, 15 May 2008.

Yamada, M. 2003. Removal of nutrient by harvesting in commercial plantation, pp. 66-69. *In* **Proceedings of the joint meeting for the cooperative research project on "ecological impact assessment of tropical plantation forest on the environment" 26 November 2002.** Bangkok, Thailand.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายนรากร ศรีเลิศ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 กันยายน 2525
สถานที่เกิด	บ้านภูมิศาลา ตำบลโคกเพชร อำเภอขุขันธ์ จังหวัดศรีสะเกษ
ประวัติการศึกษา	วท.บ. วนศาสตร์ (วนวัฒนวิทยา)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่เทคนิค บริษัทสยามฟอเรสทรี จำกัด (SCG Paper)
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัทสยามฟอเรสทรี จำกัด อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์