ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวนวัฒน์)

ปริญญา

เทคโนโลยีวนวัฒน์ | วนวัฒนวิทยา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

Biomass and Carbon Storage of Teak (*Tectona grandis* Linn.f) at Thongphaphum Plantation, Kanchanaburi Province

นามผู้วิจัย นางสาวชนิตา ทองฝาก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์จงรัก วัชรินทร์รัตน์, วท.ด.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(อาจารย์จงรัก วัชรินทร์รัตน์, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

Leaf Area Index and Carbon Storage of Teak (*Tectona grandis* Linn.f) at Thongphaphum Plantation, Kanchanaburi Province

โดย

นางสาวชนิตา ทองฝาก

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวนวัฒน์)
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชนิตา ทองฝาก 2555: มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวนวัฒน์) สาขาเทคโนโลยีวนวัฒน์ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, Ph.D. 85 หน้า

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สัก และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ และมวลชีวภาพของไม้สัก สำหรับประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าสัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ทำการศึกษาโดยการวางแปลงตัวอย่างขนาด 60 x 60 เมตร ในแปลงไม้สักชั้นอายุต่างๆ จำนวน 12 ชั้นอายุ (ตั้งแต่ 4 – 31 ปี) ชั้นอายุละ 2 แปลง ทำการวัดความสูงทั้งหมด และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ประเมินมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของไม้สักด้วยสมการแอลโลเมตรี และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ ตลอดจนวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพกับค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัด และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

ผลการศึกษา พบว่า ความสูงทั้งหมด เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก มวลชีวภาพของทุกๆ ส่วน ปริมาตรของลำต้น และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สัก ตลอดจนความเพิ่มพูนเฉลี่ยของมวลชีวภาพรวม และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ระหว่างชั้นอายุ โดยมีความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมเฉลี่ยระหว่าง 0.47 - 7.22 และ 0.21 – 3.55 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ ส่วนใหญ่มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่า แต่มีบางชั้นอายุที่มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเพิ่งมีการตัดขยายระยะ และ/หรือ เกิดจากความแตกต่างของคุณภาพพื้นที่ปลูก ทั้งนี้ จากการประเมินมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักในปี พ.ศ. 2552 ของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีพื้นที่ปลูกไม้สักทั้งหมด 2,213.89 เฮกแตร์ พบว่า มีมวลชีวภาพรวม และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 133,642.90 และ 66,219.56 ตัน ตามลำดับ นับว่าเป็นแหล่งlสะสมคาร์บอนของป่าไม้ที่สำคัญแหล่งหนึ่งในประเทศไทย นอกจากนี้ การวิเคราะห์ถดถอย พบว่ามวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัด หรือ ดัชนีพื้นที่ใบในรูปสมการยกกำลังอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในการนำค่าพื้นที่หน้าตัด และ/หรือ ดัชนีพื้นที่ผิวใบ สำหรับประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการสำรวจระยะไกล (remote sensing) ในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้สักของสวนป่าเป็นพื้นที่กว้างต่อไป

_____ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Chanita Thongfak 2012: Biomass and Carbon Storage of Teak (*Tectona grandis* Linn.f) at Thongphaphum Plantation, Kanchanaburi Province. Master of Science (Silviculture Technology), Major Field: Silviculture Technology, Department of Silviculture. Thesis Advisor: Assistant Professor Sapit Diloksumpun, Ph.D. 85 pages.

The objective of this study was to determine the biomass and carbon storage in the biomass as well as the relationship between various parameters and the biomass of teak planted at Thongphaphum plantation, Kanchanaburi province. The sampling plots were established in 12 age classes, 4-31 years of ages, two 60 m × 60 m plots each. In each plot, the total tree height and diameter at 1.30 m (DBH) of all trees were measured. The biomass of each tree part was estimated using the allometric equations and carbon storage in the biomass was also estimated accordingly. In addition, the relationship between total biomass and total basal area as well as leaf area index was also undertaken using regression analysis.

The result indicated that the total height, DBH, biomass of each tree part, stem volume and carbon storage in the biomass as well as mean annual increment (MAI) of the biomass and carbon storage in the biomass were significantly different among age classes ($p < 0.01$). The MAI of total biomass and carbon storage in the total biomass was 0.47 – 7.22 and 0.21 – 3.55 t/ha/yr, respectively. The total biomass and carbon stored in the biomass tended to increase with age but considerably low biomass and the carbon storage was also observed in a few age classes due to the thinning schedule and/or the site quality. In 2009, the Thongphaphum plantation, with the area of teak plantation of 2,213.89 ha, provided the total biomass of 133,642.90 t and the tree carbon stock of 66,219.56 t, thereby serving as one of major forest carbon pools in Thailand. The regression analysis also indicated significant correlation, in the form of power function, between the total biomass/carbon storage and total basal area and leaf area index. The findings suggested that total basal area and/or leaf area index could be potentially applied together with remote sensing technique for large scale assessments of teak carbon stock.

_____ _____ __ / __ / __

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.จงรัก วัชรินทร์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร.วรพรรณ หิมพานต์ อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์กอบศักดิ์ วันธงไชย ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย ที่ให้การดูแลและให้ความรู้ คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สวนป่าทองผาภูมิ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลงานวิจัย และขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวนวัฒนวิทยาทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ตลอดมา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาเทคนิคเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก โดยศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2555 จากสำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ขอบคุณพี่-น้องวนศาสตร์ และเพื่อนวนศาสตร์รุ่นที่ 70 ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม การวิเคราะห์ข้อมูล และให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จเรียบร้อยอย่างสมบูรณ์ สุดท้ายขอบคุณครอบครัวที่คอยให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการเรียนมาโดยตลอด

ชนิตา ทองฝาก

ตุลาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	64
สรุป	64
ข้อเสนอแนะ	65
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	66
ภาคผนวก	76
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณคาร์บอน (Carbon content) ของชนิด/กลุ่มพรรณไม้ต่างๆ ที่มีการปลูกป่าภายใต้โครงการ CDM	9
2	การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของลำต้นของสวนป่าชนิดต่างๆ	11
3	มวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพของไม้สักที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ	21
4	ปริมาณคาร์บอน (carbon content) ในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของไม้สักจากสวนป่าต่างๆ ของประเทศไทย	23
5	อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยากลุ่มงานตรวจอากาศ ทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ประมาณ 12.8 กิโลเมตร จากพื้นที่ศึกษา) พ.ศ.2544 - 2554	27
6	การใช้ประโยชน์พื้นที่ของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	28
7	สมการแอลโลเมตรีของมวลชีวภาพส่วนต่างๆ และปริมาตรของไม้สัก	36
8	ความหนาแน่น ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	42
9	พื้นที่หน้าตัดรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	44
10	พื้นที่เรือนยอดของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	45
11	ดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	47
12	มวลชีวภาพ ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ต่อต้น ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	51
13	มวลชีวภาพ ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ต่อเฮกแตร์ ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	52
14	การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	55
15	มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักในสวนป่าทองผาภูมิ	58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	การตัดขยายระยะไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	77
2	ความหนาแน่น ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	78
3	พื้นที่หน้าตัดรวม พื้นที่เรือนยอด และดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	79
4	มวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ (เฉลี่ยรายต้น)	80
5	ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ (เฉลี่ยรายต้น)	81
6	มวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	82
7	ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	83
8	การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	84

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะที่ตั้ง และการกระจายของสวนป่าไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	25
2	อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยากลุ่มงานตรวจอากาศ ทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ประมาณ 12.8 กิโลเมตร จากพื้นที่ศึกษา) พ.ศ.2544 - 2552	26
3	การใช้ประโยชน์ที่ดินของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี	29
4	ลักษณะพื้นที่แปลงตัวอย่าง (1) แปลงอายุ 4 ปี (2) แปลงอายุ 6 ปี (3) แปลงอายุ 9 ปี (4) แปลงอายุ 12 ปี (5) แปลงอายุ 15 ปี (6) แปลงอายุ 16 ปี	32
5	ลักษณะพื้นที่แปลงตัวอย่าง (1) แปลงอายุ 18 ปี (2) แปลงอายุ 21 ปี (3) แปลงอายุ 23 ปี (4) แปลงอายุ 25 ปี (5) แปลงอายุ 28 ปี (6) แปลงอายุ 31 ปี	33
6	การวางแปลงตัวอย่าง (1) การเก็บข้อมูลการเติบโตของไม้สักในแปลงตัวอย่าง (2) และการถ่ายภาพดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการ hemispherical photography (3)	34
7	ดัชนีพื้นที่ใบของไม้สัก (1) อายุ 4 ปี (2) อายุ 6 ปี (3) อายุ 9 ปี (4) อายุ 12 ปี (5) อายุ 15 ปี (6) อายุ 16 ปี (7) อายุ 18 ปี (8) อายุ 21 ปี (9) อายุ 23 ปี (10) อายุ 25 ปี (11) อายุ 28 ปี (12) อายุ 31 ปี	48
8	ความสัมพันธ์ระหว่างอายุและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	53
9	ร้อยละของมวลชีวภาพในแต่ละส่วนของไม้สักแต่ละชั้นอายุต่างๆ	53
10	ร้อยละของการกักเก็บคาร์บอนในแต่ละส่วนของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	56
11	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	59
12	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	60
13	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	61
14	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ	62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

Biomass and Carbon Storage of Teak (*Tectona grandis* Linn.f) at Thongphaphum Plantation, Kanchanaburi Province

คำนำ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas, GHG) ชนิดหนึ่งซึ่งถูกปลดปล่อยในปริมาณมหาศาลสู่บรรยากาศจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และเป็นตัวการสำคัญที่ส่งผลให้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) ระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เนื่องจากต้นไม้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และนำมาสะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) ทั้งในส่วนเหนือพื้นดิน (above-ground biomass) ซึ่งได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนใต้ดิน (below-ground biomass ซึ่งก็คือ ราก ทำให้คาร์บอน (C) ถูกตรึงอยู่ในต้นไม้และไม่ถูกปลดปล่อยออกมา จนกว่าจะมีการเผาหรือตัดต้นไม้ออกจากพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพื้นที่ป่าธรรมชาติลดน้อยถอยลงเป็นอย่างมากจากการตัดไม้ทำลายป่าหรือการเผาป่าเพื่อทำการเกษตร ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้คาร์บอนถูกปลดปล่อยออกมาแล้วยังเป็นการทำลายแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญอีกด้วย การปลูกสร้างป่าทั้งในพื้นที่ที่ไม่เคยเป็นป่ามาก่อน (afforestation) และเป็นป่ามาก่อนแต่ถูกทำลาย (reforestation) จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะเพิ่มพื้นที่ป่าขึ้นมาเพื่อช่วยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และช่วยลดหรือบรรเทาผลกระทบ (mitigation) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

ในการประเมินมวลชีวภาพ ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนนั้น นิยมใช้วิธีทางอ้อมโดยใช้สมการแอลโลเมตรี (allometric equation) โดยเป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นไม้กับมิติ (dimension) ส่วนต่างๆ ของต้นไม้ (Kira and Shidei, 1967) โดยทั่วไปนั้นนิยมใช้ตัวแปรด้านความโต และความสูง ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ประหยัดเวลา และแรงงาน รวมทั้งไม่จำเป็นต้องตัดฟันไม้ลง

พื้นที่หน้าตัด (basal area) เป็นตัวแปรการเติบโตด้านความโต ที่คำนวณจากเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือเส้นรอบวงของต้นไม้ นิยมแสดงในรูปพื้นที่หน้าตัดรวมต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งมีประโยชน์ในการเปรียบเทียบกำลังผลิตของหมู่ไม้ชนิดเดียวกัน อายุและความสูงของหมู่ไม้เท่าๆกัน (กันตินันท์, 2548) ในขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index ; LAI) ก็เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีความสำคัญต่อการเติบโต และมวลชีวภาพของต้นไม้ ทั้งนี้พื้นที่หน้าตัดเป็นตัวแปรที่สามารถศึกษาได้สะดวก และมีความถูกต้องสูง (คณะวนศาสตร์, 2553) ในขณะที่ดัชนีพื้นที่ใบ สามารถนำมาประเมินการเติบโต และผลผลิตของต้นไม้ได้ดี (Atipanumpai, 1989; Cole *et al.*, 1994; Royampaeng, 2001) จึงมีการนำมาใช้เพื่อประเมินผลผลิตของป่าไม้อย่างกว้างขวาง

ไม้สัก (*Tectona grandis* Linn.f) วงศ์ Labiatae มีการปลูกเป็นสวนป่าเศรษฐกิจมาเป็นระยะเวลานาน เนื่องจากเป็นไม้ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก และเป็นที่รู้จักและนิยมแพร่หลาย เนื้อไม้สักมีความสวยงาม มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม โรคและแมลง สำหรับการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโต และผลผลิตของไม้สักนั้นมีข้อมูลอย่างครอบคลุมในทุกพื้นที่ที่ปลูกสวนป่าสัก แต่ข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าไม้สักในปัจจุบันยังมีน้อย (ทศพร และคณะ, 2548; ประดิษฐ์ และคณะ, 2551) ถึงแม้องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้เป็นหน่วยงานของรัฐที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการปลูกสร้างสวนป่าสักในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ แต่ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรีซึ่งเป็นสวนป่าขนาดใหญ่แห่งหนึ่งขององค์การอุตหกรรมป่าไม้ ที่มีการปลูกไม่สักมากถึงร้อยละ 80 ของพื้นที่ปลูกป่า หรือคิดเป็นพื้นที่มากกว่า 13,000 ไร่ (สวนป่าทองผาภูมิ, ม.ป.ป.) ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี นอกจากนี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดและดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สัก โดยผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการสำรวจระยะไกล (Remote sensing) ในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้สักของสวนป่าเป็นพื้นที่กว้างต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าสัก ชั้นอายุต่างๆ ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัด ดัชนีพื้นที่ใบ และมวลชีวภาพของไม้สัก สำหรับประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าสัก ชั้นอายุต่างๆ ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หมายถึง "การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลโดยตรง หรือโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลก และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในช่วงเดียวกัน" สาเหตุที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศนั้น เกิดจากก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในปริมาณมากเกินไปในชั้นบรรยากาศ ทำให้ความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ ไม่สามารถสะท้อนผ่านชั้นบรรยากาศไปได้ ซึ่งก่อให้เกิด "ภาวะเรือนกระจก" ซึ่งก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gases) ที่มีอยู่ในบรรยากาศโลกตามธรรมชาติ ประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) นอกจากนั้น ยังมีก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ ที่ไม่ได้มีอยู่ในธรรมชาติ แต่เป็นสารสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม เช่น Perfluorocarbons (PFCs) Hydrofluoro-carbons (HFCs) และ Sulfur hexafluoride (SF6) เป็นต้น ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดมีอายุ และการแผ่รังสีความร้อนต่างๆ กัน เรียกว่า ศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (global warming potentials, GWPs) ซึ่งหมายถึงความสามารถของก๊าซเรือนกระจกใดๆ ในการทำให้เกิดความอบอุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำหนักเท่ากัน ก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดจะมีค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อนต่างกัน (IPCC, 1996)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศก่อให้เกิดผลกระทบด้านต่างๆ เป็นวงกว้าง สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (มปป.) ได้สรุปผลกระทบในด้านต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การเพิ่มสูงขึ้นของระดับน้ำในทะเลและมหาสมุทร ผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำจากการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณและความถี่ ปริมาณน้ำฝน ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐานอุตสาหกรรมและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ เป็นต้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรป่าไม้ในด้านต่างๆ เนื่องจากสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชนิด ประชากร และที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต การสืบต่อพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ และการคงอยู่ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ผลกระทบที่เด่นชัดที่สุดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อระบบนิเวศป่าไม้คือการเพิ่มขึ้นของพิสัย (range) และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโลก และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและรูปแบบการตกของฝน เช่น ฝนตกถี่ขึ้น แต่เว้นช่วงนานขึ้น พื้นที่ที่เคยมีฝนตกมากกลับมีฝนตกน้อย พื้นที่ที่ฝนตกน้อยกลับมีน้ำท่วม และสภาพภูมิอากาศที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีความรุนแรงเพิ่มขึ้น เป็นต้น โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดังกล่าวนี้มีผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างและบทบาทของระบบนิเวศ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และการกระจายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ซึ่งมีผลกระทบต่อเนื่องต่อความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศ (Locatelli *et al.*, 2008)

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดปัจจัยคุกคามอื่นๆ ต่อระบบนิเวศป่าไม้ในระยะยาว (กันฑรีย์, 2548ก; Locatelli *et al.*, 2008) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับปัจจัยคุกคามอื่นๆ เช่น ความไม่ต่อเนื่องของถิ่นที่อยู่อาศัย (habitat fragmentation) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) การใช้ประโยชน์ทรัพยากรธรรมชาติเกินกำลังผลิต และมลพิษ เป็นต้น (Nabuurs *et al.*, 2007)

ในการศึกษาของ กันฑรีย์ (2548ข) ทำการรวบรวมการศึกษาแบบจำลองภาพเหตุการณ์ภูมิอากาศ (climate change scenario) โดยนำผลลัพธ์ของ general circulation models (GCMs) มาพัฒนาโดยเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมกับประเทศไทยมาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในพื้นที่ของประเทศไทย ทำให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้ม (ความเป็นไปได้) ของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไทย และการกำหนดพื้นที่วิกฤติจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change hot spot) ของประเทศไทย พบว่าพื้นที่ของประเทศไทยมีความแห้งแล้งเพิ่มขึ้น แต่ผลกระทบในแต่ละพื้นที่จะไม่เท่ากัน พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างมากจะทำให้โครงสร้างป่าเปลี่ยนแปลงไปจนทำให้ระบบนิเวศป่าไม้ชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง และผลผลิตป่าไม้ลดลง กอปรกับพื้นที่อนุรักษ์ของประเทศไทย ตั้งอยู่อย่างกระจัดกระจาย (fragmentation) ดังนั้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะทำให้สิ่งมีชีวิตเคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ยาก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Pumijumnong and Techamahasaranont (2009) ซึ่งได้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ในภาคเหนือของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2553-2632 ด้วยแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยภูมิอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ระยะเวลาช่วงฤดูฝน-แล้ง อัตราการคายระเหย ร่วมกับปัจจัยภูมิประเทศ เช่น ความสูง ลักษณะดิน โดยพบว่า พื้นที่ป่าไม่ผลัดใบชนิดต่างๆ เช่น ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขาและป่าสน มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่พื้นที่ป่าผลัดใบ เช่น ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง เป็นต้น มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัฏจักรคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ ที่สำคัญล้วนแต่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้น คาร์บอนปรากฏอยู่ในบรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณร้อยละ 0.03 ของก๊าซในบรรยากาศ หรือประมาณ 760 พันล้านตันคาร์บอน (GtC) ป่าไม้เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนขนาดใหญ่ของโลก โดยมีคาร์บอนสะสมอยู่ทั้งในส่วนของต้นไม้ที่ยังมีชีวิตและไม่มีชีวิต และคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินนั้นมีปริมาณมากกว่าในบรรยากาศถึง 3.5 เท่า (คณะวนศาสตร์, 2554) ทั้งนี้ วัฏจักรของคาร์บอนจะหมุนเวียนอยู่ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม หรือระหว่างอินทรียคาร์บอนและอนินทรียคาร์บอน โดยกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และการทำลายพื้นที่ป่าเพื่อเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอน ในทางตรงกันข้ามกับการปลูกป่า (afforestation and reforestation) จัดเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนที่สำคัญ

ป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงของใบ (photosynthesis) เพื่อสร้างอินทรียสารซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ นำมาสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของต้นไม้ หรือที่เรียกว่ามวลชีวภาพ (biomass) ทั้งมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ และมวลชีวภาพที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก ในขณะเดียวกัน ต้นไม้ก็มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศโดยกระบวนการหายใจของส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก เรียกว่า autotrophic respiration ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนสุทธิจากกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นไม้จึงเป็นปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในมวลชีวภาพของต้นไม้ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ชนิดต่างๆ นอกจากนี้ เศษซากพืชที่ตายแล้ว (litter) ได้แก่ กิ่ง ใบ ดอก และผล ตลอดจนรากฝอย และอินทรียวัตถุในดิน (organic matter) จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่างๆ และปลดปล่อยคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า heterotrophic respiration แต่คาร์บอนส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้เอนไซม์ที่หลั่งจากจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ เช่น สารประกอบฮิวมัส (humus) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบที่เสถียรและมักพบเป็นรูปแบบสุดท้ายของคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดิน เป็นต้น (สาพิศ, 2550) ทั้งนี้ Watson (2009) สรุปว่า แหล่งสะสมคาร์บอน (carbon pool) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศป่าไม้สามารถ จำแนกเป็น 6 แหล่ง ดังนี้

1) มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (living above-ground biomass) ได้แก่ ทุกส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือพื้นดิน อันได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล รวมทั้งพืชพรรณอื่นๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) มวลชีวภาพใต้ดิน (living below-ground biomass) ได้แก่ ส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก

3) ไม้ตาย (dead organic matter in wood) ได้แก่ ต้นไม้ที่ล้ม หรือยืนต้นตาย

4) ซากพืช (dead organic matter in litter) ได้แก่ ส่วนต่างๆ ของต้นไม้ที่ร่วงหล่นสู่ดิน ได้แก่ กิ่ง ก้าน ใบ ดอก และผล

5) อินทรียวัตถุในดิน (soil organic matter)

6) ผลิตภัณฑ์ไม้ (harvested wood product)

ทั้งนี้ อาจมีการหมุนเวียน หรือแลกเปลี่ยนคาร์บอนระหว่างแหล่งสะสมคาร์บอนต่างๆ ก่อให้เกิดสถานภาพของป่าไม้ในการแหล่งดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอน และแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น นอกจากนี้สถานภาพในการเป็นแหล่งดูดซับหรือกักเก็บคาร์บอน และแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนของป่าไม้อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้กำหนดแหล่งสะสมคาร์บอน ในภาคป่าไม้ออกเป็น 5 แหล่งแรก โดยไม่ได้นำคาร์บอนที่มีอยู่ในไม้ซึ่งนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มาคิดคำนวณ ในการประเมินเพื่อจัดทำบัญชีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเพื่อคำนวณการดูดซับก๊าซเรือนกระจกภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด (clean development mechanism: CDM) ภาคป่าไม้ สามารถตัดแหล่งสะสมคาร์บอนที่จะนำมาคิดในโครงการ CDM ภาคป่าไม้บางแหล่งออกได้ หากสามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าแหล่งสะสมคาร์บอนที่ไม่ได้นำมาคิดคำนวณเหล่านั้นไม่มีการเพิ่มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมมนุษย์ และแหล่งคาร์บอนที่ไม่นำมาคิดคำนวณจะนำมาออกใบรับรองคาร์บอนเครดิต (certified emission reduction: CER) ไม่ได้ สำหรับโครงการ CDM ภาคป่าไม้ขนาดเล็กนั้นจะพิจารณาแหล่งสะสมคาร์บอนเพียง 2 แหล่งเท่านั้น คือมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้ดิน

จากการหมุนเวียนของแหล่งสะสมคาร์บอนในป่าไม้ ทำให้ป่าไม้ที่มีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า แหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sink) ในทางตรงข้าม ป่าไม้ที่มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า แหล่งปลดปล่อยคาร์บอน (carbon source) โดยทั่วไปป่าทุติยภูมิ (secondary forest) หรือสวนป่าที่มีต้นไม้ที่กำลังเติบโตเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่มีศักยภาพสูง หรือสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มาก ในขณะที่ป่าไม้สมบูรณ์ที่มีอายุมากมีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรืออาจกล่าวได้ว่ามีการหมุนเวียนคาร์บอนอยู่ในภาวะสมดุล (carbon neutral) หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนตามข้อกำหนดของ IPCC (1996) แต่ก็มีงานวิจัยมากมายที่แสดงให้เห็นว่าป่าไม้เขตอบอุ่นในทวีปยุโรป ทวีปอเมริกาเหนือ และประเทศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จีนทางตอนเหนือ (Goodale *et al*., 2002) และป่าไม้เขตร้อนหลายแห่งในทวีปอเมริกาใต้ (Phillips *et al.*, 1998; Grace and Balmahi, 2002) ยังคงสถานภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญและมีส่วนในการควบคุมปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ เช่นเดียวกับป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณของประเทศไทย (สาพิศ และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตาม หากมีการตัดไม้ทำลายป่าจะทำให้ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่กักเก็บอยู่ในมวลชีวภาพของป่าไม้ หรือ carbon stock ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน ทั้งนี้การสูญเสียคาร์บอนจากการตัดไม้ทำลายป่าทั่วโลกคิดเป็นร้อยละ 25 ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด (Buckley, 2007)

การกักเก็บคาร์บอนของสวนป่า

พื้นที่ป่าไม้นับเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศทั้งในด้านการปลดปล่อยและการกักเก็บคาร์บอน ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น โดยทั่วไปการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน (carbon content) ที่สะสมในส่วนต่างๆ ของต้นไม้แต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของป่าธรรมชาติ และผลผลิตมวลชีวภาพของป่า ในทำนองเดียวกันการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าหรือป่าปลูกขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและผลผลิตมวลชีวภาพของพรรณไม้ที่ปลูก โดยทั่วไปปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพมีการแปรผันไม่มากนักโดย IPCC (1996) กำหนดให้ค่า default value ของปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง แต่ต่อมา IPCC (2006) ได้กำหนดให้ค่า default value ของปริมาณคาร์บอนสะสมในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง แต่การแปรผันของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติหรือสวนป่าส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของมวลชีวภาพของป่าหรือสวนป่ามากกว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพ ดังนั้น ป่าธรรมชาติหรือสวนป่าที่มีมวลชีวภาพหรือการเติบโตมากจะมีการกักเก็บคาร์บอนมากด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม มวลชีวภาพของป่าธรรมชาติมีการแปรผันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดป่า ชนิดไม้ที่เป็นองค์ประกอบของป่า ความหนาแน่นของป่า สภาพภูมิประเทศ และปัจจัยสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ในขณะที่มวลชีวภาพของสวนป่ามีการแปรผันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดไม้และลักษณะทางพันธุกรรม อายุ ระยะปลูกหรือความหนาแน่น และคุณภาพท้องที่ เป็นต้น

จากการรวบรวมข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ที่มีการปลูกป่าภายใต้โครงการ CDM โดยคณะวนศาสตร์ (2554) พบว่า ปริมาณคาร์บอนในพรรณไม้ชนิดต่างๆ มีการแปรผันระหว่างส่วนของต้นไม้ (ลำต้น กิ่ง ใบ และราก) แต่มีความใกล้เคียงกันระหว่างพรรณไม้แต่ละชนิด ทั้งนี้ปริมาณคาร์บอนในลำต้นของพรรณไม้ต่างๆ มีค่าค่อนข้าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใกล้เคียงกัน โดนส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 48 ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนในกิ่ง ใบ และราก มีการแปรผันมากกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณคาร์บอนในใบที่มีการแปรผันระหว่างชนิดของพรรณไม้มากกว่าส่วนอื่นๆ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณคาร์บอน (Carbon content) ของชนิด/กลุ่มพรรณไม้ต่างๆ ที่ส่งเสริมให้มีการปลูกป่าภายใต้โครงการ CDM

ชนิด/กลุ่มพรรณไม้	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)				
	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	เฉลี่ย
สัก	48.10	46.22	47.01	46.07	48.13
ยูคาลิปตัส	48.24	49.46	52.30	49.19	49.88
อะคาเซีย	48.09	46.13	49.45	46.51	47.66
กระถินยักษ์	48.19	47.24	50.37	49.19	48.75
โกงกาง	47.57	47.49	46.41	na	47.15
พืชเกษตร					
ยางพารา	48.01	50.55	52.77	47.88	49.90
ปาล์มน้ำมัน	41.30	43.00	42.00	39.40	41.30
พรรณไม้พื้นเมืองโตช้า					
พรรณไม้อเนกประสงค์ และ	48.72	47.28	47.39	45.92	47.33
พรรณไม้ปลูกในเมือง					

ที่มา: คณะวนศาสตร์ (2554)

พื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยมีประมาณ 107.2 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่า (รวมพื้นที่สวนยางพารา) ประมาณ 30.6 ล้านไร่ (ข้อมูลสถิติป่าไม้, 2554) พื้นที่สวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ประกอบด้วยชนิดไม้ที่สำคัญสองชนิด คือ ไม้สัก และ ไม้ยูคาลิปตัส โดยส่วนของลำต้นไม้สักนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ ส่วนไม้ยูคาลิปตัส มีการนำส่วนต่างๆ ไปใช้ประโยชน์มากกว่า คือ ลำต้นและกิ่งขนาดใหญ่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ ส่วนอื่นๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงได้ ซึ่งการใช้ประโยชน์ดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สวนป่า ในการศึกษาการประเมินการสะสมคาร์บอนในต้นไม้ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย ทศพร และคณะ (2548) พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนในลำต้นของสวนป่าไม้สักเกือบทุกชั้นอายุที่สวนป่าทองผาภูมิมีค่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใกล้เคียงร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง ยกเว้นไม้สักอายุ 6 ปี ณ สวนป่าทองผาภูมิ ในขณะที่สวนป่ายูคาลิปตัส อายุ 5 ปี มีปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยร้อยละ 48 ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการปลูกสร้างสวนป่ามีบทบาทสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน โดยการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าขึ้นอยู่กับผลผลิตหรือน้ำหนักแห้งของสวนป่าเป็นสำคัญ เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อไม้ชนิดต่างๆ มีความแตกต่างกันน้อย

ดังนั้นจึงควรเพิ่มความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้หรือป่าไม้ด้วยการเพิ่มพื้นที่การปลูกต้นไม้ รวมทั้งการเพิ่มอัตราการเติบโตของต้นไม้และป่าไม้ให้รวดเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อการเติบโตของต้นไม้ถึงจุดสูงสุด การตาย (mortality) และการหายใจ (respiration) ของต้นไม้อาจทำให้ศักยภาพในการดูดซับคาร์บอนของต้นไม้หรือป่าไม้ลดลงได้ Sampson and Hamilton (1992) ได้เสนอแนะว่าการเพิ่มศักยภาพของแหล่งกักเก็บคาร์บอนสามารถทำได้ด้วยการใช้ประโยชน์และการจัดการพื้นที่ป่าไม้อย่างเหมาะสม ซึ่งการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และและการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนสามารถทำได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม ดังนี้

1. การลดหรือการหยุดการทำลายป่าไม้ธรรมชาติช่วยกักเก็บคาร์บอนที่เก็บอยู่ในป่าไม้ไม่ให้ปลดปล่อยสู่บรรยากาศ

2. การตัดฟันไม้ที่ปลูกและนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่ช่วยให้เกิดการตรึงคาร์บอนไว้ไม่ให้ถูกปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ เช่น การนำเนื้อไม้ไปทำเฟอร์นิเจอร์ กระดาษ หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ การใช้ไม้เพื่อทดแทนคอนกรีตหรือเหล็กยังจะช่วยให้ลดการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตคอนกรีตหรือเหล็กอีกด้วย

3. การนำมวลชีวภาพจากต้นไม้ไปใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล น้อยลงจัดเป็นการใช้พลังงานที่ยั่งยืน

4. การเลือกพื้นที่และการจัดการที่เหมาะสมในการปลูกต้นไม้และป่าไม้ ช่วยทำให้ลดปริมาณของคาร์บอนไม่ให้ถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การปลูกต้นไม้เพื่อบังแสงแดดลดอุณหภูมิให้กับอาคาร การปลูกต้นไม้เพื่อลดการชะล้างพังทลายของหน้าดินในพื้นที่ภูเขา การปลูกป่าเพื่อกักเก็บคาร์บอนและการใช้ประโยชน์ในรูปของเนื้อไม้เชื้อเพลิง เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของลำต้นของสวนป่าชนิดต่างๆ

สวนป่า	ชนิดไม้	อายุ (ปี)	มวลชีวภาพของลำต้น (ตัน/เฮกแตร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตัน/เฮกแตร์)	ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)[1]
ทองผาภูมิ	สัก	6	11.6	4.5	44.35
(ออป.)		14	41.7	20.7	49.16
		21	90.5	50.7	50.07
ศรีสัชนาลัย	สัก	9	39.2	17.4	49.06
(ออป.)		13	36.4	23.1	49.8
นาด้วง-ห้วยปลาดุก (ออป.)	สัก	21	57.3	27.0	49.79
เอกชน	ยูคาลิปตัส	5	27.8	13.3	47.96

ที่มา: ทศพร และคณะ (2548)

การประเมินมวลชีวภาพของสวนป่า

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึง มวลของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในระบบนิเวศต่อหน่วยพื้นที่ มวลชีวภาพดังกล่าวประกอบไปด้วยมวลของพืชสีเขียวที่สร้างขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์แสงรวมกับมวลของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในระบบนิเวศนั้นในรูปของน้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง น้ำหนักขี้เถ้า ซึ่งอาจมีหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ หรือในรูปของพลังงาน ซึ่งมีหน่วยเป็นแคลอรี (Odum, 1963) สามารถวัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้งต่อหน่วยพื้นที่ต่อเวลา ซึ่งมีวิธีการวัดหลายแบบ เช่น การวัดการไหลเวียนของพลังงาน (energy flow) ผ่านระบบนิเวศ เป็นต้น หรือจากการประมาณโดยอ้อม เช่น จากปริมาณของสิ่งที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ใช้ หรือผลตอบแทนที่ได้ เป็นต้น แต่โดยทั่วไปนิยมที่จะหาออกมาในรูปของน้ำหนักแห้ง มีหน่วยเป็นตันต่อเฮกแตร์ (Ogawa and Kira, 1977)

การศึกษามวลชีวภาพสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธีทางตรง (direct method or harvest technique or destructive) เป็นการวัดน้ำหนักแห้งโดยตรงจากการตัดฟันต้นไม้ และวิธีทางอ้อม (indirect method or non-destructive method) เป็นการวัดโดยไม่ทำให้พืชหรือต้นไม้ เกิดความเสียหาย เช่น การใช้สมการแอลโลเมตรี (allometric equation) การใช้วิธีทางตรงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่าย และแรงงาน ซึ่งเหมาะกับต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก ส่วนวิธีทางอ้อมมีข้อดี คือ ประหยัดเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่าย แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธีทางตรง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีทางอ้อมสามารถทำให้มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือที่มากขึ้นโดยการพัฒนาหรือการปรับแก้สมการ ตลอดจนมีจำนวนตัวอย่างที่เพียงพอ (IPCC, 2003)

สำหรับการประเมินมวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตรี เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของต้นไม้กับมิติของขนาดของต้นไม้ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height, DBH) และความสูง (H) เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) คือมวลชีวภาพ และตัวแปรอิสระ (independent variable) ในรูปปริมาตร หรือเรียกว่า parabolic volume (DBH^2H) (Overman *et al*., 1994; Brown, 1997; Araujo *et al*., 1999; Ketterings *et al*., 2001; Aboal *et al*., 2005; Cole and Ewel, 2006; Arevalo *et al*., 2007) ซึ่งแสดงได้ในรูปของสมการยกกำลัง (power function) หรือรูปสมการล็อกกาลิทึม (logarithmic function) ดังนี้

$$Y = aX^b$$

$$\log Y = \log a + b \log X$$

เมื่อ Y คือ มวลชีวภาพ (กิโลกรัมต่อต้น)

X คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (D) ความสูงทั้งหมด (H) หรืออยู่ในรูป D^2H

a, b คือ ค่าคงที่

จากการรวบรวมผลการศึกษาผลผลิตมวลชีวภาพของสวนป่าที่ผ่านมา พบว่า มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดไม้ ลักษณะทางพันธุกรรม ระยะปลูก อายุ พื้นที่ ตลอดจนการจัดการ เป็นต้น

มวลชีวภาพของไม้แต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งแสดงถึงความแปรผันของผลผลิตของไม้แต่ละชนิด เสริมพงศ์ (2545) ศึกษามวลชีวภาพของสวนป่าไม้ชนิดต่างๆ ที่อายุ 14 ปี พบว่ามีความแต่กต่างกันโดยไม้กระถินเทพา ไม้กระถินณรงค์ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ไม้แดง ไม้พะยูง และไม้ประดู่ป่า มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 195.227, 119.545, 117.554, 88.317, 84.157 และ 53.109 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

ในการศึกษามวลชีวภาพของสวนป่าที่มีระยะปลูกที่แตกต่างกันของ กิติชัย (2531) ซึ่งทำการศึกษาในไม้ยูคาลิปตัส คามาลเลนซิส อายุ 2 ปี ที่ระยะปลูก 1.5 x 1.5 และ 2.0 x 2.0 เมตร พบว่ามีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 26.371 และ 14.788 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในขณะที่คณิต (2531) ได้ทำการศึกษาในแปลงเดียวกัน เมื่ออายุ 3 ปี พบว่า มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 82.29 และ 55.03 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

นอกจากนี้อายุก็เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ผลผลิตมวลชีวภาพมีความแปรผัน ซึ่งในการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานมวลชีวภาพของไม้สักของประเทศไทยของ นาฏสุดา (2547) พบว่า ไม้สักอายุเกิน 10 ปี ขึ้นไป มีความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 0.5 ตันต่อไร่ต่อปี ในขณะที่ไม้สักจากช่วงอายุ 19 ปี จนถึง 30 ปี มีความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 0.69 ตันต่อไร่ต่อปี

สำหรับการวางแผนการจัดการภายในสวนป่า เช่น การตัดขยายระยะ และการลิดกิ่งเป็น ก็นับเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการแปรผันของผลผลิตมวลชีวภาพ โดยกอบศักดิ์ (2540) ศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 7 ปี เปรียบเทียบกันระหว่างแปลงที่มีการตัดขยายระยะกับแปลงที่ไม่มีการตัดขยายระยะ พบว่าทั้งสองแปลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแปลงที่ทำการตัดขยายระยะมีมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด เท่ากับ 17.140, 5.511, 1.137 และ 23.787 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ และส่วนที่ไม่มีการตัดขยายระยะ มีมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด เท่ากับ 18.320, 5.875, 1.216 และ 25.411 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ

ดัชนีพื้นที่ใบ

ดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวใบต่อพื้นที่ดินใต้เรือนยอดที่ปกคลุม นิยมคำนวณโดยใช้หน่วยเป็นตารางเมตรต่อตารางเมตร หรืออาจใช้เป็นเฮกแตร์ต่อเฮกแตร์ ดังนั้นค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบจึงเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย (พงษ์ศักดิ์, 2538) ค่าดัชนีพื้นที่ใบมักจะเพิ่มขึ้นในระยะที่พืชมีการเติบโต จนกระทั่งพืชส่วนใหญ่โตถึงขนาดที่จะผลิตส่วนสืบพันธุ์ได้ ในป่าธรรมชาติค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมักเพิ่มขึ้นในฤดูกาลเติบโต จนกระทั่งมีค่าดัชนีพื้นที่ใบคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสมดุลของน้ำ ธาตุอาหาร แสง และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ (พงษ์ศักดิ์, 2522)

ดัชนีพื้นที่ใบเป็นปัจจัยหลักในการที่จะเป็นตัวกำหนด ปริมาณการการดูดกลืนแสงของเรือนยอด ดังนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าดัชนีพื้นที่เรือนยอด (canopy area index) เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของเรือนยอดคือพื้นที่ผิวใบ ดัชนีพื้นที่ใบมีความสำคัญอย่างมากในการประเมินอัตราการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ ดังนั้นค่าดัชนีพื้นที่ใบในสภาพเรือนยอดเบียดชิดกันจะมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับแสงของใบที่อยู่ด้านล่างของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรือนยอดซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อสมดุลคาร์บอน ในป่าเขตอบอุ่น ดัชนีพื้นที่ใบจะมีความแปรผันตั้งแต่ 1 – 20 ขึ้นกับชนิดของหมู่ไม้ อายุ สภาพพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำและธาตุอาหาร ในป่าผลัดใบนั้นมีค่าดัชนีใบระหว่าง 3-9 ในป่าสนมีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบระหว่าง 11 – 12 ไม้สนบางชนิดมีค่ามากกว่า 15 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไม้สนโตช้าอาจมีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงถึง 20 สวนป่ายูคาลิปตัสทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของออสเตรเลียมีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบต่ำมากเพียง 1.5 – 1.9 (Kozlowski *et al.*, 1991)

การศึกษาดัชนีพื้นที่ใบนั้นสามารถทำได้หลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม วิธีการวัดโดยตรง (direct method) ได้แก่ วิธี harvest technique เป็นวิธีการที่ทำลายใบหรือทำให้สูญเสียใบ โดยการตัดส่วนของใบเพื่อนำมาวัดขนาดของใบโดยตรง และเป็นการสิ้นเปลืองเวลา แรงงาน และค่าใช้จ่ายมาก ส่วนการวัดทางอ้อม (indirect method) เช่น วิธี hemispherical photography เป็นการถ่ายภาพความแตกต่างระหว่างท้องฟ้าซึ่งเป็นสีขาว และส่วนอื่นๆ ซึ่งถูกบดบังโดยใบ หรือส่วนอื่นๆ ของเรือนยอดที่อยู่เหนือพื้นดินซึ่งมีลักษณะเป็นสีดำ โดยภาพที่ถ่ายได้สามารถนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ในการคำนวณค่าต่างๆ ที่ต้องการเช่น ดัชนีพื้นที่ใบ ความเข้มแสงสัมพัทธ์ เป็นต้น และอีกวิธีหนึ่งคือวิธีการที่อาศัยความสัมพันธ์ของความเข้มแสงภายในเรือนยอดและดัชนีพื้นที่ใบมาใช้ในการคำนวณ (PAR principle) วิธีการทางอ้อมนี้จะไม่ทำให้มีการสูญเสียใบ (Hall *et al.*, 1993)

สำหรับการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบโดยหลักการ hemispherical photography มีโปรแกรมที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอด เช่น โปรแกรม FEW 5.2b, Hemiview 2.1 (Delta-T Device Ltd.) และ Gap Light Analyzer ซึ่งทุกโปรแกรมล้วนอาศัยทฤษฎีเรขาคณิตของแสง ลักษณะทางฟิสิกส์ของบรรยากาศโลก และเรขาคณิตของเลนส์ลักษณะครึ่งวงกลม สำหรับการคำนวณค่าดัชนีพื้นที่ใบ อาศัยหลักการของแสงที่หายไปจากการส่องผ่านเรือนยอดลงมา ซึ่งวิธีการวัดโดยอ้อมนั้นสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่า (Norman and Campbell, 1991)

จากการศึกษาการวิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอดด้วยโปรแกรม FEW 5.2b ของประนอม (2541) พบว่า ป่าเบญจพรรณผสมไผ่มีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดในเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 5.46 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคมเท่ากับ 3.61 สำหรับในสวนป่าสักมีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงสุดในเดือนในเดือนมิถุนายนเท่ากับ 5.15 และมีค่าต่ำสุดในเดือนมีนาคมเช่นกันเท่ากับ 3.26 ในฤดูแล้ง และการศึกษาไม้ตีนเป็ดที่ปลูกด้วยระยะปลูกต่างๆ โดยอรุณี (2545) พบว่าค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้ตีนเป็ดมีความแตกต่างกันไปตามความหนาแน่นของต้นไม้ เมื่อความหนาแน่นลดลง ดัชนีพื้นที่ใบก็ลดลงด้วย โดยที่ระยะปลูก 2 x 2 เมตร มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบสูงกว่าระยะปลูกอื่น เนื่องจากเรือนยอดสามารถแผ่ขยายทั้งด้านข้างและด้านบนได้มาก เมื่อค่าดัชนีพื้นที่ใบมีค่าสูง แสดงว่ามีพื้นที่ใบที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มาก จึงมีการเติบโตได้ดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการศึกษาคมสัน (2543) ได้ศึกษาการแปรผันของค่าดัชนีพื้นที่ใบของไม้สัก บริเวณสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า ดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักแปรผันตามฤดูกาล โดยในฤดูฝนมีค่าดัชนีพื้นที่ใบสูงกว่าฤดูแล้ง เนื่องจากไม้สักเป็นไม้ผลัดใบ จึงมีการทิ้งใบในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ดัชนีพื้นที่ใบลดลง ในการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบของป่าชายเลน พบว่าต้นโกงกางใบเล็กมีค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาคือโปรงแดง ถั่วขาว และแสมทะเล (อรวรรณ, 2546)

สำหรับการศึกษาวิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอดจากโปรแกรม Hemiview 2.1 ของดุริยะ (2547) พบว่าความแปรผันของดัชนีพื้นที่เรือนยอดของป่าเบญจพรรณมีมากกว่าในป่าดิบแล้ง เนื่องจากในป่าเบญจพรรณ เป็นป่าที่มีการผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ป่าเบญจพรรณมีความผันแปรของดัชนีพื้นที่เรือนยอดมากกว่า และจากสภาพโครงสร้างของป่า พบว่าป่าเบญจพรรณมีความหนาแน่นของต้นไม้น้อยกว่าในป่าดิบแล้ง จึงส่งผลให้ค่าดัชนีพื้นที่เรือนยอดมีค่าน้อยกว่าป่าดิบแล้ง สำหรับการศึกษาในป่าชายเลนพบว่า ค่าดัชนีพื้นที่เรือนยอดมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงที่ต้นโกงกางที่มีอายุน้อย และมีค่าสูงสุดในแปลงปลูกอายุ 10 ปี (ชลิตา, 2548)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาโดยใช้โปรแกรม Gap Light Analyzer วิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอดอีกด้วย โดยจากการศึกษาค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าชายเลนพบว่า ค่าดัชนีพื้นที่เรือนยอดของสังคมพืชในกลุ่มสังคมพืชที่มีไม้โปรงแดง เป็นกลุ่มที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้นไม้ในสังคมพืชต่ำกว่า กลุ่มสังคมพืชที่มีแสมทะเล โกงกางใบเล็ก และ แสมขาว เป็นกลุ่มที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้นไม้ในสังคมพืชไม่แตกต่างจากกลุ่มอื่น และกลุ่มสังคมที่มีโกงกางใบใหญ่เป็นกลุ่มที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้นไม้ในสังคมพืชสูงกว่า (คณะวนศาสตร์, 2553)

ไม้สัก

ลักษณะทั่วไป

ไม้สักมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Tectona grandis* L.f วงศ์ Labiatae ใช้ชื่อทางการค้าว่า Teak เป็นไม้ผลัดใบขนาดใหญ่ มีลำต้นปลายตรง มักมีพูพอนบริเวณโคนต้น เรือนยอดกลม ลำต้นมีความสูงตั้งแต่ 20 เมตรขึ้นไป มีเปลือกหนาสีเทาหรือน้ำตาลอ่อนแกมเทา มีใบขนาดใหญ่ กว้าง 20-30 เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร ดอกมีขนาดเล็กสีขาวนวล ออกเป็นช่อขนาดใหญ่ บริเวณปลายกิ่งในช่วงเดือนกรกฎาคม-ตุลาคม ผลสักรูปร่างค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 เซนติเมตร ผลหนึ่งมีเมล็ด 1-4 เมล็ด โดยทั่วไปมักจะเรียกผลสักว่า “เมล็ดสัก” เมื่อแก่จัดเป็นสีน้ำตาล (กรมป่าไม้, 2535) เนื้อไม้สักมีลวดลายสวยงาม เสี้ยนตรง กระพี้มีน้อย สีค่อนข้างขาว แก่นสีเหลืองทองเข้มและ จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่ออายุมากขึ้น ไม้สักจัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ว่าเป็นไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะปานกลาง ความถ่วงจำเพาะของไม้สักจากแหล่งต่างๆ ทั้งในและนอกประเทศ ทั้งที่ขึ้นในป่าธรรมชาติและสวนป่า มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก สำหรับความถ่วงจำเพาะที่หาจากปริมาตรสด มีค่าอยู่ระหว่าง 0.50-0.60 ส่วนความถ่วงจำเพาะที่หาจากปริมาตรอบแห้ง ก็จะมีค่าสูงขึ้นไปตามลำดับ คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.55-0.63 (คณะวนศาสตร์, 2554) Nair and Mukerji (1957) ได้กล่าวว่าความหนาแน่นของไม้สักจากต่างถิ่นกำเนิดจะมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน และนักวิจัยหลายท่านเชื่อว่าพรรณไม้ที่มีการเติบโตเร็วจะมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าพรรณไม้ที่โตช้ากว่า (Scott and McGregor, 1952; Keiding *et al*., 1989)

การกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ

ไม้สัก มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตอนใต้ พบขึ้นอยู่ตามธรรมชาติของประเทศอินเดีย พม่า ไทย ลาว (ส่วนที่ติดภาคเหนือของไทย) และบางพื้นที่ของประเทศอินโดนีเซีย (โดยการนำมาปลูกของพวกอินดู ระหว่าง 500–700 ปีมาแล้ว) สำหรับประเทศไทย ไม้สักขึ้นอยู่เป็นส่วนใหญ่ในป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือ และบริเวณด้านตะวันตกของประเทศ เช่น เชียงราย ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน ตาก สุโขทัยกำแพงเพชร นครสวรรค์ อุทัยธานี และกาญจนบุรี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพบในภาคใต้ เช่น ชุมพร และปัตตานี เป็นต้น แต่การเติบโตและคุณภาพของเนื้อไม้ไม่ค่อยดี (อภิชาต และคณะ, 2536)

ไม้สักขึ้นอยู่บริเวณพื้นที่ที่เป็นภูเขา ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 100-700 เมตร (อภิชาต และคณะ, 2538) หรือตามพื้นราบแต่ดินระบายน้ำได้ดี น้ำไม่ท่วมขัง ซึ่งอาจเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินที่มีความลึกมากๆ โดยเฉพาะดินที่เกิดจากหินปูนซึ่งแตกแยกผุพังจนกลายเป็นดินร่วนลึก ไม้สักสามารถเติบโตดีมาก ไม้สักมักขึ้นอยู่เป็นกลุ่มไม้สักล้วน เป็นหย่อม หรืออาจขึ้นปะปนอยู่กับไม้เบญจพรรณอื่นๆ เช่น ไม้แดง ไม้ประดู่ มะค่าโมง ชิงชัน ตะแบก เป็นต้น โดยมีไม้ไผ่ชนิดต่างๆ เป็นไม้ชั้นล่าง ต่อมาได้มีการนำไม้สักไปปลูกนอกเขตธรรมชาติอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานแล้ว เช่น ที่อำเภอพุแค จังหวัดสระบุรี พ.ศ. 2495 อำเภอดงบังอี่ จังหวัดมุกดาหาร พ.ศ. 2499 อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี พ.ศ.2497 อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พ.ศ. 2498 ตำบลช่องเม็ก อำเภอพิบูลย์มังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี พ.ศ. 2499 ตำบลดงลาน อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2500 อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พ.ศ. 2502 อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี พ.ศ. 2507 อำเภอเขาสอยดาวจังหวัดจันทบุรี พ.ศ. 2509 เป็นต้น ซึ่งก็ให้ผลแตกต่างกันไปตามลักษณะพื้นที่ที่นำไปปลูก (กรมป่าไม้, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้ประโยชน์

ไม้สักเป็นไม้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แทบทุกรูปแบบตามอายุและขนาดของไม้ที่ตัดออกมาจำหน่ายตั้งแต่ไม้ซุงขนาดใหญ่ เพื่อแปรรูปใช้ในการก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน เฟอร์นิเจอร์ ไม้ปาร์เก้ ไม้อัด ไม้แกะสลัก ต่อเรือ เป็นต้น ไม้ซุงขนาดเล็กลงมาที่ได้จากการตัดขยายระยะในสวนป่าปีที่ 11 สามารถนำมาทำบ้านไม้ซุง (log home) ได้อย่างสวยงามและคงทน หรือนำมาผ่าซีกทำเป็นไม้โมเสค วงกบ ประตู หน้าต่างได้ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก

ไม้สักเป็นไม้ที่มีความคงขนาดดีมากชนิดหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากการมีจุดหมาดต่ำกว่าไม้ชนิดอื่น (ไม้สักค่าประมาณร้อยละ 20 ในขณะที่ไม้ชนิดอื่นส่วนใหญ่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 25-30) และความถ่วงจำเพาะไม่สูงมาก ค่าการหดตัวและการพองตัวตามปริมาตรของเนื้อไม้ พบว่า การหดตัวตามแนวรัศมีประมาณร้อยละ 1.5 และการหดตัวจากแนวสัมผัสประมาณร้อยละ 2.5 (Walker *et al*., 1993)

นอกจากนี้ ไม้สักเป็นไม้ที่มีความทนทานต่อการทำลายของเห็ดราและแมลง เช่น ปลวก มอด ได้ดีชนิดหนึ่ง สารในไม้สักที่ทำให้ไม้สักมีความทนทานต่อปลวก คือ สารพวกแอนทราควิโนน (anthaquinones) ทั้งหมด และ ดีอ็อกซีลาปาคอล แต่แอนทราควิโนน ไม่มีผลในการป้องกันการ ผุกร่อน สารที่ทำให้ไม้สักมีความทนทานต่อการทำลายของเห็ดราได้แก่ ดีอ็อกซีลาปาคอล จากการทดสอบแบบปักดิน (stake test) ไม้สักมีความทนทานระหว่าง 11–18 ปี (กรมป่าไม้, 2535)

การขยายพันธุ์และการผลิตกล้า

การขยายพันธุ์สักอาจกระทำได้ทั้งโดยวิธีใช้เมล็ดและวิธีไม่ใช้เมล็ด การใช้เมล็ดขยายพันธุ์เป็นวิธีที่ปฏิบัติโดยทั่วไปในการปลูกสร้างสวนป่า เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย เหมาะสมสำหรับผลิตกล้าหรือเหง้าสักจำนวนมาก ๆ สิ่งที่ควรคำนึงถึงก็คือ เมล็ดที่ใช้ควรเก็บมาจากแม่พันธุ์หรือแหล่งพันธุ์ที่มีลักษณะดีหรือได้รับการปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว เช่น แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ หรือสวนผลิตเมล็ดพันธุ์เท่านั้น สำหรับการขยายพันธุ์โดยไม่อาศัยเมล็ดนั้น เป็นวิธีการที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก ต้องใช้เทคนิคและค่าใช้จ่ายสูงกว่าการขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ได้แก่การติดตา การปักชำ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ หากเป็นการขยายพันธุ์จากต้นที่ได้รับการคัดเลือกหรือผ่านขบวนการปรับปรุงพันธุ์มาแล้ว ก็จะได้กล้าไม้ที่มีลักษณะดีโตเร็วและเมื่อนำไปปลูกจะเติบโตอย่างสม่ำเสมอ มีรูปทรงตามที่ต้องการ (กรมป่าไม้, 2552)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้น จึงมีงานวิจัยเพื่อนพัฒนาการผลิตกล้าโดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น สมหวัง (2540) ได้ศึกษาการเพิ่มปริมาณกล้าสักจากเมล็ดพันธุกรรมดี พบว่าเมล็ดสักสามารถงอกและพัฒนาเป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์ เมื่อเลี้ยงบนอาหารดัดแปลงสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) เป็นเวลา 30 วัน อาหารที่เหมาะสมต่อการเพิ่มปริมาณยอด คือ อาหารที่เติม BAP (6-benzylaminopurine) 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ย 2.07 ยอดต่อชิ้นพืช ยอดสักที่ผลิตได้ออกรากได้ทั้งบนอาหารที่เติมและไม่เติมออกซิน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนย้ายอาหารหลายครั้งทำให้อัตราการเกิดรากและจำนวนรากมีแนวโน้มลดลง ยอดสักที่ชักนำให้เกิดรากเติบโตได้ดีเมื่อย้ายลงถ่านแกลบในสภาพความชื้นสูงเป็นเวลา 30 วัน โดยมีอัตราการรอดตายร้อยละ 97-100 เป็นต้น

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเติบโต

ปัจจัยสิ่งแวดล้อมสำคัญต่อการเติบโตของสัก ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่ในการปลูกสัก ตามข้อแนะนำของกรมป่าไม้ (2552) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ไม้สักเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มชื้นมากกว่าที่แห้งแล้ง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่เหมาะแก่การเติบโตและมีเนื้อไม้งดงามของไม้สักอยู่ระหว่าง 1,000-2,000 มิลลิเมตร และฝนไม่ทิ้งช่วงนานเกินไปในระหว่างฤดูกาลเติบโต นอกจากนี้ต้องมีช่วงฤดูแล้งที่ชัดเจนประมาณ 3-4 เดือน
2. อุณหภูมิที่เหมาะแก่การเติบโตของไม้สักอยู่ระหว่าง 25-35 องศาเซลเซียส
3. ไม้สักเป็นไม้ที่ชอบแสงสว่าง ความเข้มของแสงที่เหมาะสม คือร้อยละ 75-95 ของปริมาณแสงกลางวันที่ได้รับเต็มที่ การปลูกไม้สักจึงไม่ควรปลูกในร่มหรือใกล้ต้นไม้ใหญ่ ซึ่งอาจบดบังแสงแดดแก่ต้นที่ปลูกได้
4. ดินที่เหมาะสมต่อการเติบโตของไม้สัก คือ เป็นดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ไม่เป็นดินดาน ดินค่อนข้างลึก ดินร่วนปนทรายหรือเป็นดินที่เกิดจากการผุสลายของหินปูน และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6.5-7.5 ส่วนดินที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกไม้สัก คือ ดินเหนียว ดินลูกรัง ดินทราย และมีน้ำท่วมขัง
5. สภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมแก่การเติบโตของไม้สัก โดยทั่วไปมีความสูงจากระดับน้ำทะเลไม่เกิน 700 เมตร เป็นพื้นที่ราบถึงลาดชันเล็กน้อย ไม่เกินร้อยละ 15

อย่างไรก็ตามไม้สักจัดได้ว่าเป็นไม้โตเร็วชนิดหนึ่งเมื่อเทียบกับไม้ชนิดอื่นอีกหลายๆ ชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติบโตในช่วง 10 ปีแรกจะเร็วมาก แต่การปลูกสร้างสวนป่าไม้สักให้มีการเติบโตดีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญ คือ

1. สภาพพื้นที่ที่ปลูก รวมทั้งการเตรียมพื้นที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การจัดการสวนป่ารวมทั้งการบำรุงรักษา
3. คุณภาพของเมล็ดหรือกล้าพันธุ์ที่ใช้ปลูก

นอกจากนี้การปลูกไม้สักอาจจะมีข้อจำกัดบางประการตามที่กรมป่าไม้ (2552) ได้สรุปไว้ต่อไปนี้

1. ด้านสภาพพื้นที่ สักไม่ชอบพื้นที่ลุ่ม ที่ชื้นแฉะ มีน้ำท่วมขัง ดินระบายน้ำไม่ดี เช่น ดินเหนียว ดินลูกรัง ดินดาน และดินที่เป็นทรายจัดหรือดินตื้นมากๆ
2. ด้านสภาพแวดล้อม สักเติบโตไม่ดีในที่แห้งแล้งหรือมีฝนตกไม่สม่ำเสมอ โดยเฉพาะในช่วงฤดูกาลเติบโต
3. การปลูกสักเชิงเดี่ยว (mono stand) เป็นผืนใหญ่ๆ อาจก่อให้เกิดโรคและแมลงเข้าทำลายได้ง่าย เช่น หนอนกินใบสัก และมอดป่าเจาะไม้สัก เป็นต้น

การเติบโตและผลผลิต

ไม้สักมีการเติบโตเป็นช่วงเวลาในรอบปี (periodic growth) กล่าวคือมีการเติบโตด้านความสูงประมาณ 4 เดือน (พฤษภาคม-สิงหาคม) โดยมีอัตราการเติบโตด้านความสูงมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม หรือต้นฤดูฝน ส่วนการเติบโตด้านความโตมีอัตราสูงสุด ในช่วงเดือนกรกฎาคมหรือกลางฤดูฝน และเริ่มหยุดการเติบโตในปลายเดือนตุลาคม การเติบโตของไม้สักในแต่ละท้องถิ่นอาจมีการเปลี่ยนแปลง ขึ้นอยู่กับลักษณะของลมฟ้าอากาศในแต่ละปี (กรมป่าไม้, 2552)

การเติบโตของไม้สักนั้นมักเติบโตได้รวดเร็วมากในตอนแรก คือ อายุเพียง 2 ปี มีความสูงประมาณ 3 เมตร และเมื่ออายุ 5 ปี มีความสูงถึง 5 เมตร จากนั้นการเติบโตทางความสูงจะค่อยๆ ลดลง หลังจากอายุ 50 ปี ขึ้นไปแล้วอัตราการเติบโตจะช้ามาก ในสวนป่าไม้สักที่ปลูกด้วยเหง้าอายุเพียงปีเดียว อาจสูงถึง 1.5 เมตร และถ้าเป็นดินที่เหมาะสมแก่การเติบโต คือเป็นดินที่มีการระบายน้ำดี มีปุ๋ยธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ เช่นตามบริเวณฝั่งห้วย อาจเติบโตถึง 3–5 เมตร ภายในเวลา 1 ปี (อภิชาต, 2531)

การเติบโตของสักทางด้านความโตและความสูงในพื้นที่ต่างๆ มีผลงานวิจัยค่อนข้างมาก ดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า จากการศึกษาการเติบโตของไม้สักที่ระดับอายุ 6 ปี ในจังหวัดกาญจนบุรี มีระยะการปลูก 4 × 4 เมตร มีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 9.92 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี (Petsri *et al.*, 2007) นั้นมีความแตกต่างจากที่ระดับอายุที่เท่ากัน ที่มีระยะปลูก 3 × 3 เมตร ในจังหวัดอุทัยธานี มีค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1.93 ตันต่อเฮกแตร์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ต่อปี (ทศพร และคณะ, 2548) จะเห็นได้ว่าระยะปลูกมีผลต่อการเติบโตของไม้สัก และสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน ทำให้การเติบโตของไม้สักมีความแตกต่างกัน ในการศึกษาการเติบโตที่อายุ 21 ปี ของทศพร และคณะ (2548) ที่มีระยะปลูกเท่ากัน และปลูกในท้องที่เดียวกัน การเติบโตของไม้สักนั้นก็มีความแปรผันไปในแต่ละท้องที่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาพพื้นที่ที่ทำการปลูกไม้สักนั้นมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้อายุของไม้สักก็มีผลต่อการเติบโตอีกด้วย จะเห็นได้ว่าในไม้สักที่มีอายุน้อยค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีจะมีค่ามาก และเมื่ออายุไม้มากขึ้น ค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีมีค่าคงที่ นอกจากนี้ในการศึกษาทางด้านผลผลิตของไม้สัก พบว่ามวลชีวภาพของไม้สักมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุ ระยะปลูก พื้นที่ และการจัดการของสวนป่า โดยจะเห็นได้ว่าปริมาณมวลชีวภาพของไม้สักมีความแปรผันไปตามความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี เช่น ในการศึกษามวลชีวภาพของไม้สักที่ระดับชั้นอายุ 17 ปี ในท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี มีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีมีค่าสูงสุด ทำให้ปริมาณมวลชีวภาพของไม้สักมีปริมาณสูงตามไปด้วย เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 มวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพของไม้สักที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ

อายุ (ปี)	ระยะปลูก (เมตร)	ท้องที่	มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน		ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี		ที่มา
			(ตัน/ไร่)	(ตัน/เฮกแตร์)	(ตัน/ไร่/ปี)	(ตัน/เฮกแตร์/ ปี)	
6	3 x 3	จังหวัดกาญจนบุรี	1.86	11.60	0.31	1.93	ชิงชัย และทศพร (2544)
6	4 x 4	จังหวัดอุทัยธานี	9.52	59.52	1.59	9.92	Petsri *et al*. (2007)
14	4 x 4	จังหวัดแพร่	11.78	73.61	0.84	5.26	ชิงชัย และทศพร (2544)
14	4 x 3	จังหวัดสุโขทัย	3.87	24.20	0.28	1.73	ชิงชัย และทศพร (2544)
15	4 x 4	จังหวัดแพร่	14.17	88.57	0.94	5.9	ชิงชัย และทศพร (2544)
15	4 x 4	จังหวัดอุทัยธานี	9.40	58.76	0.63	3.92	ชิงชัย และทศพร (2544)
17	4 x 4	จังหวัดแพร่	19.66	122.86	1.16	7.23	ทศพร และคณะ (2548)
17	4 x 4	จังหวัดกาญจนบุรี	34.55	215.95	2.03	12.7	Petsri *et al*. (2007)
21	4 x 4	จังหวัดเชียงใหม่	11.46	71.6	0.55	3.41	Petsri *et al*. (2007)
21	4 x 4	จังหวัดเชียงใหม่	17.27	107.94	0.82	5.14	นาฏสุดา (2550)
21	4 x 4	จังหวัดเชียงใหม่	17.18	107.4	0.82	5.11	นาฏสุดา (2550)
23	4 x 4	จังหวัดอุทัยธานี	15.91	99.44	0.69	4.32	นาฏสุดา (2550)
24	4 x 4	จังหวัดอุทัยธานี	12.03	75.16	0.5	3.13	นาฏสุดา (2550)
27	4 x 4	จังหวัดอุทัยธานี	19.3	120.64	0.71	4.47	นาฏสุดา (2550)
28	4 x 4	จังหวัดอุทัยธานี	24.78	154.86	0.88	5.53	นาฏสุดา (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณคาร์บอน

พื้นที่สวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ประกอบด้วยชนิดไม้ที่สำคัญสองชนิด คือ สัก และ ยูคาลิปตัส สวนป่าสักและยูคาลิปตัสมีบทบาทสำคัญในการกักเก็บคาร์บอน โดยสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงนำมาเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ และราก การแปรผันของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสักขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่สะสมในส่วนต่างๆ และมวลชีวภาพ จากการรวบรวมเอกสารการศึกษาปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของสักในประเทศไทยซึ่งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาปริมาณคาร์บอนในลำต้นของสักชั้นอายุต่างๆ โดย ทศพร และคณะ (2548) พบว่าปริมาณคาร์บอนในลำต้นของสักในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มีการแปรผันตามอายุของต้นไม้ (ร้อยละ 44.35-50.07 ของน้ำหนักแห้ง) โดยไม้อายุมากมีปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้มากกว่าไม้อายุน้อย ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนในลำต้นของสักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย และสวนป่านาด้วง-ห้วยปลาดุก จังหวัดเลย มีค่าใกล้เคียงกัน (ประมาณร้อยละ 49-50 ของน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 3) เช่นเดียวกับการศึกษาปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสักอายุ 6, 10, 15, 23, และ 24 ปี ของบริษัทไม้อัดไทย จำกัด ที่อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี ซึ่งทำการศึกษาโดย Petsri *et al.* (2007) พบว่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในสวนป่าสักส่วนใหญ่นอกจากมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุสวนป่าแล้วยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของต้นไม้ ดังนั้นในบางชั้นอายุที่สักมีอายุมากอาจมีการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพน้อยกว่าหากมีการตัดขยายระยะ ทำให้ความหนาแน่นหรือจำนวนต้นไม้ต่อพื้นที่ลดลง ในทำนองเดียวกัน นาฏสุดา (2550) ได้รวบรวมข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินของสวนป่าสักในประเทศไทย พบว่า ปริมาณการสะสมคาร์บอนรวมของสวนป่าสักแต่ละชั้นอายุประกอบด้วย ชั้นอายุ 10, 14, 18, 27 และ 28 ปี มีความผันแปรเนื่องจากปัจจัยหลายประการ เช่น อายุ ความหนาแน่นของต้นไม้ สภาพภูมิประเทศ การจัดการสวนป่า ตลอดจนผลกระทบจากไฟป่า อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาของประดิษฐ์ และคณะ (2551) พบว่า ปริมาณคาร์บอนในส่วนของเนื้อไม้ (ลำต้น กิ่ง และ ราก) มีค่าใกล้เคียงกัน (ปริมาณร้อยละ 45-46 ของน้ำหนักแห้ง) แต่มีค่าน้อยกว่าในส่วนของใบ (ร้อยละ 49 ของน้ำหนักแห้ง) ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยในลำต้นมีค่าเท่ากับร้อยละ 48.10 ของน้ำหนักแห้ง และปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยจากทุกส่วนของสักที่รวบรวมได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 48.13 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ default value ของพรรณไม้ในเขตร้อนตามข้อกำหนดของ IPCC (2006) ซึ่งมีค่าร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ปริมาณคาร์บอน (carbon content) ในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของไม้สักจากสวนป่าต่างๆ ของประเทศไทย

สถานที่	อายุ (ปี)	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)					ที่มา
		ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	เฉลี่ย	
สวนป่าทองผาภูมิ	6	44.35	na	na	na	44.35	ทศพร และคณะ
จังหวัดกาญจนบุรี	14	49.16	na	na	na	49.16	(2548)
	21	50.07	na	na	na	50.07	
สวนป่าศรีสัชนาลัย	9	49.06	na	na	na	49.06	
จังหวัดสุโขทัย	13	49.08	na	na	na	49.08	
สวนป่านาด้วง-ห้วยปลาดุก จังหวัดเลย	21	49.79	na	na	na	49.79	
ศูนย์การศึกษาพัฒนาภูพาน จังหวัดสกลนคร	22	45.35	45.66	48.58	46.42	46.50	ประดิษฐ์ และคณะ (2551)
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	15	47.20	46.78	45.43	45.71	46.28	Meunpong *et al.* (2010)
ค่าเฉลี่ย		48.10	46.22	47.01	46.07	48.13	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

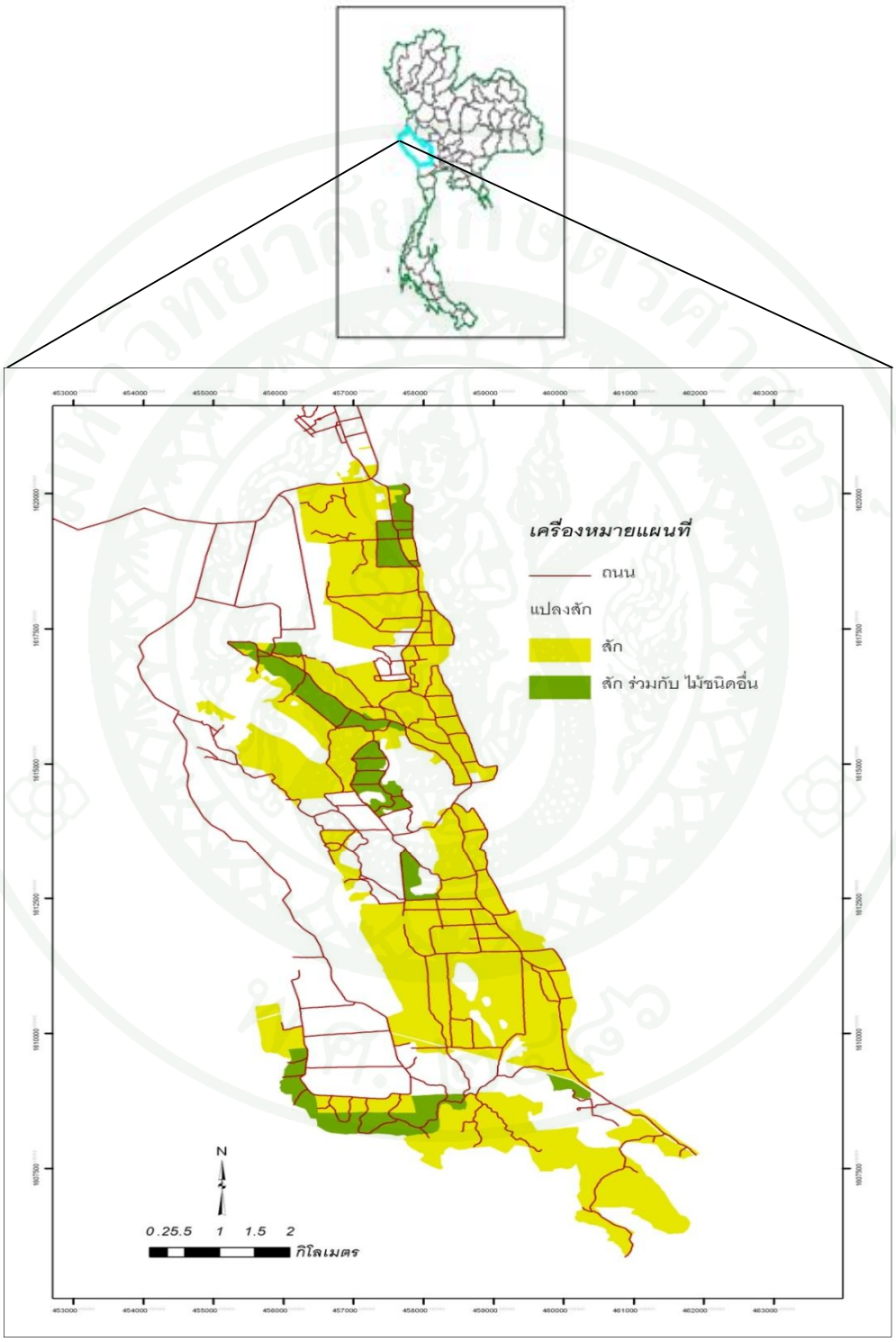
สวนป่าทองผาภูมิ

ลักษณะที่ตั้ง

สวนปาทองผาภูมิ ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ปาสงวนแห่งชาติห้วยเขย่ง ตำบลท่าขนุน อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ภาพที่ 1) ระหว่างเส้นละติจูดที่ 14 องศา 38 ลิปดาถึง 14 องศา 46 ลิปดาเหนือ และเส้นลองติจูดที่ 98 องศา 37 ลิปดา ถึง 98 องศา 46 ลิปดา ตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยภูเขาสูงขนาบทั้งสองข้าง อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 400 เมตร (รัศมี, ม.ป.ป.) มีอาณาเขตติดต่อดังนี้

ทิศเหนือ	จรดอุทยานแห่งชาติเขาแหลม และหมู่บ้านแปลง 6 (บ้านรวมใจ)
ทิศใต้	จรดอุทยานแห่งชาติไทรโยค
ทิศตะวันออก	จรดอุทยานแห่งชาติทองผาภูมิ
ทิศตะวันตก	จรดหมู่บ้านแปลง 1, 2, 3, 4, 5 อำเภอทองผาภูมิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

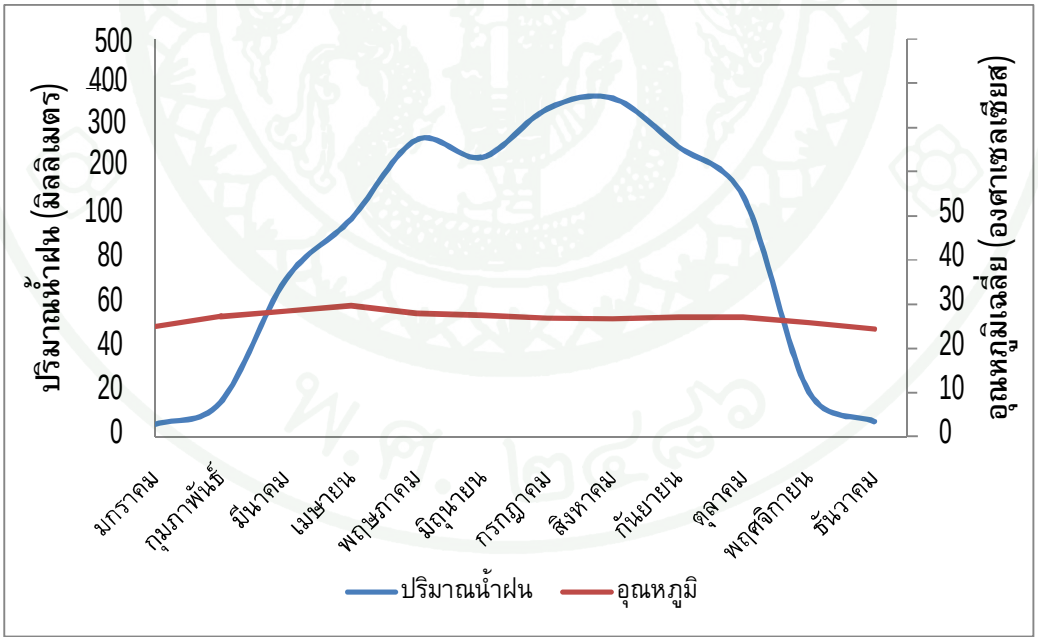


ภาพที่ 1 ลักษณะที่ตั้ง และการกระจายของสวนป่าไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะภูมิอากาศ

พื้นที่สวนป่าทองผาภูมิ อยู่ภายใต้อิทธิพลลมมรสุมที่พัดมาจากมหาสมุทรแปซิฟิก แบ่งลักษณะอากาศเป็น 3 ฤดูกาลอย่างชัดเจน คือ ฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคม-กลางเดือนกันยายนเป็นช่วงที่ยาวนานที่สุด ซึ่งจะตกมากในเดือนกรกฎาคม-กันยายน ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดจากมหาสมุทรอินเดียทำให้เกิดฝนตก ฤดูหนาว ระหว่างเดือนตุลาคม-เดือนกุมภาพันธ์ ได้รับอิทธิพลจากลมตะวันออกเฉียงเหนือและเนื่องจากความกดอากาศสูงจากประเทศจีน พัดพาเอาความหนาวและความแห้งแล้งมาปกคลุม อากาศจะเย็นลงเรื่อยๆ ฤดูร้อน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-เดือนเมษายน (สวนป่าทองผาภูมิ, ม.ป.ป.) ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศของสถานีอุตุนิยมวิทยากลุ่มงานตรวจอากาศทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี อยู่ห่างจากสวนป่าทองผาภูมิประมาณ 12.8 กิโลเมตร ซึ่งเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของปี พ.ศ. 2544 - 2554 (ภาพที่ 2) แสดงให้เห็นถึงลักษณะภูมิอากาศที่มีปริมาณน้ำฝนมากในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม โดยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 26.94 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝนตลอดทั้งปีเท่ากับ 1818.12 มิลลิเมตร (ตารางที่ 5)



ภาพที่ 2 อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยากลุ่มงานตรวจอากาศ ทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ประมาณ 12.8 กิโลเมตร จากพื้นที่ศึกษา) พ.ศ.2544 - 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีอุตุนิยมวิทยากลุ่มงานตรวจอากาศ ทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี (ประมาณ 12.8 กิโลเมตร จากพื้นที่ศึกษา) พ.ศ.2544 - 2554

เดือน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
มกราคม	33.65	17.35	25.00	5.51
กุมภาพันธ์	35.90	19.28	27.23	15.44
มีนาคม	36.71	20.88	28.38	71.16
เมษายน	37.75	22.73	29.70	98.66
พฤษภาคม	33.62	23.32	27.87	269.50
มิถุนายน	32.14	23.53	27.44	232.55
กรกฎาคม	31.21	23.45	26.85	341.35
สิงหาคม	30.95	23.34	26.61	365.26
กันยายน	32.15	23.32	27.05	251.41
ตุลาคม	32.95	22.45	27.02	140.46
พฤศจิกายน	33.05	19.78	25.84	20.05
ธันวาคม	32.55	17.31	24.32	6.75
เฉลี่ย	33.55	21.39	26.94	
รวม				1818.12

ลักษณะทางปฐพีวิทยา

ดิน ในพื้นที่สวนป่าทองผาภูมิ เป็นดินชุดปากช่อง ดินลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตร เป็นดินร่วนปนทราย และดินเหนียว มีสีน้ำตาลปนแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดปานกลางถึงกรดเล็กน้อย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 6.0-6.5 ดินบนลึกไม่เกิน 20 เซนติเมตร ดินตอนล่างมีความลึกระหว่าง 20-40 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว หรือดินร่วนปนเหนียว สีแดงหรือสีเข้มของน้ำตาลปนแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดแก่ถึงกรดปานกลาง ค่า pH ประมาณ 5.5-6.0 ส่วนดินล่างมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีแดงเข้ม หรือสีแดง ปฏิกิริยาดินเป็นกรดจัดถึงกรดแก่ ค่า pH ประมาณ 5.0-5.5 (สคาร, 2540)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวแทนดินชุดนี้ ปรากฏว่าดินตอนบนหนาประมาณ 30 เซนติเมตร มีปริมาณอินทรีวัตถุสูง มีการอิ่มด้วยประจุบวกที่เป็นด่างปานกลางถึงค่อนข้างสูง มีความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกค่อนข้างสูง มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างต่ำ มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ได้ปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนดินตอนล่างลึกตั้งแต่ 30 เซนติเมตร มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ได้ที่ต่ำมาก และมีปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ที่ต่ำมาก (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

กิจกรรมภายในสวนป่า

สวนป่าทองผาภูมิ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นสวนป่าโครงการ 2 คือ เป็นพื้นที่ที่องค์การอุสาหกรรมป่าไม้ได้ทำการปลูกทดแทนตามเงื่อนไขสัมปทาน ตั้งอยู่พื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติห้วยเขย่ง โดยพื้นที่ป่าดั้งเดิมเป็นพื้นที่ป่าเบญจพรรณ (ไม่มีไม้สัก) โดยชนิดพรรณไม้ดั้งเดิม คือ ไม้แดง และพรรณไม้ชนิดอื่นๆ เช่น ตะคร้อ ตะคร้ำ สมอไทย ยางนา ปอ และแคหางค่าง เป็นต้น โดยพื้นที่ป่าดั้งเดิมเป็นพื้นที่ป่าที่ถูกบุกรุกและเสื่อมโทรมมากจึงได้เริ่มก่อตั้งสวนป่าขึ้นในปี พ.ศ. 2521 โดยนายสุวิทย์ สุขวิบูลย์ ซึ่งในการดำเนินกิจกรรมสวนป่าในช่วงแรกจะเป็นการปลูกสร้างและดูแลสวนป่าไม้สักเป็นหลัก ต่อมาในปี พ.ศ. 2528 จึงได้ริเริ่มปลูกยางพาราในพื้นที่ซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตมาจนถึงปัจจุบัน

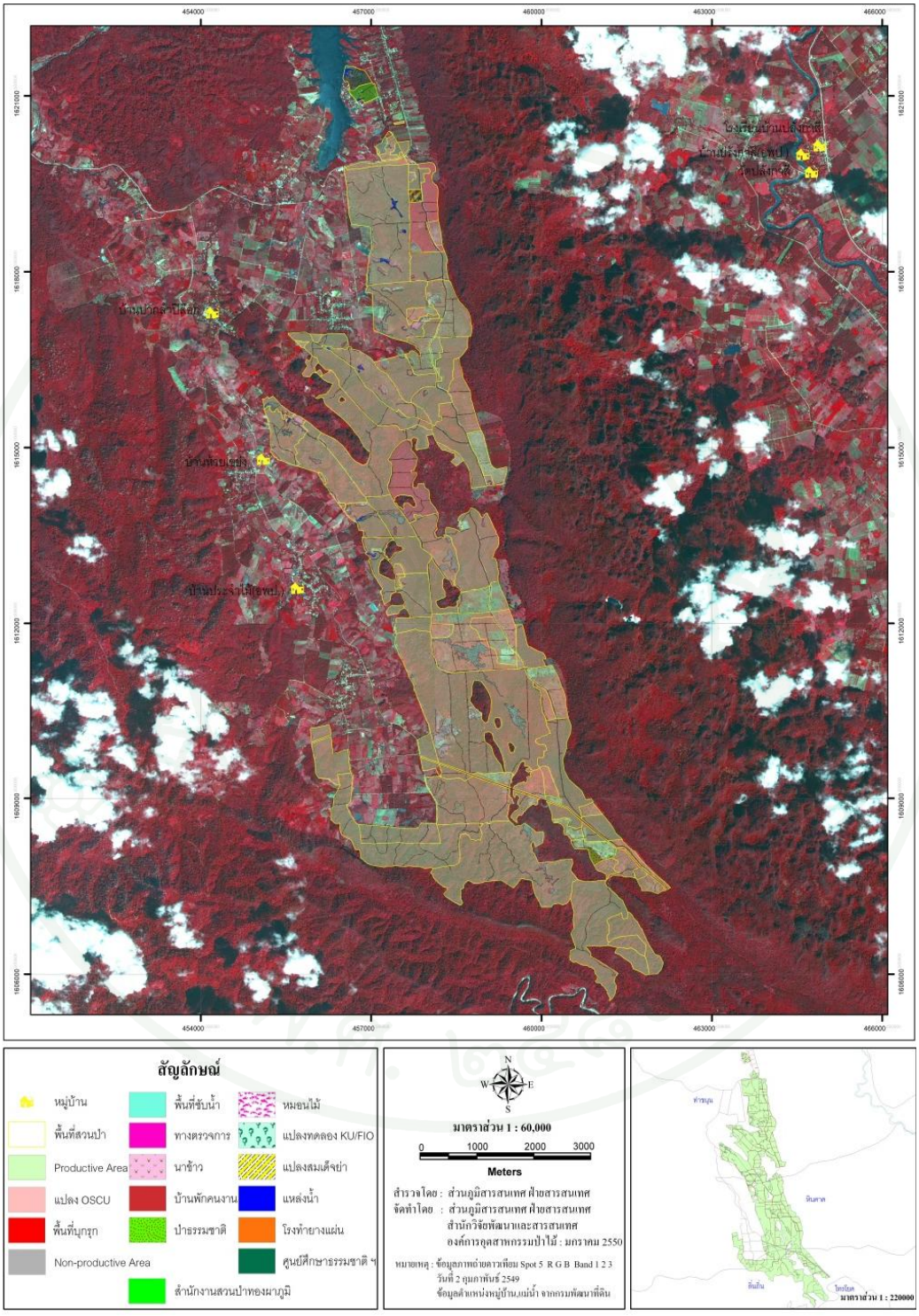
ปัจจุบันสวนป่าทองผาภูมิมีพื้นที่ในความรับผิดชอบตามทะเบียนจำนวน 19,294.63 ไร่ พื้นที่ที่สามารถดำเนินการปลูกสร้างสวนป่าได้ จำนวน 17,093.44 ไร่ และมีพื้นที่เป็นป่าอนุรักษ์จำนวน 315.26 ไร่ (ตารางที่ 6 และภาพที่ 3) โดยมีพื้นที่ปลูกสักจำนวนทั้งสิ้น 13,836.81 ไร่ และมีการกระจายดังแสดงในภาพที่ 1

ตารางที่ 6 การใช้ประโยชน์พื้นที่ของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ประเภทของพื้นที่	พื้นที่(ไร่)
พื้นที่ใช้ประโยชน์ (ปลูกสร้างสวนป่า)	17,093.44
พื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้	707.77
พื้นที่ป่าอนุรักษ์	315.26
พื้นที่ทั้งหมด	19,294.63

ที่มา: สวนป่าทองผาภูมิ (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ที่มา: สวนป่าทองผาภูมิ (ม.ป.ป.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นอกเหนือจากนี้ สวนป่าทองผาภูมิยังมีกิจกรรมหลักๆ (สวนป่าทองผาภูมิ, ม.ป.ป.) ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. งานปลูกสร้าง บำรุง และดูแลรักษาสวนป่า กิจกรรมหลักๆ คือ งานปลูก งานปลูกซ่อม งานกำจัดวัชพืช งานตัดแต่งกิ่ง งานป้องกันไฟป่า งานใส่ปุ๋ย งานสำรวจกำลังผลิต งานป้องกัน กิจกรรมต่าง ๆ จะเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ประชาชนในท้องถิ่นประมาณ 60 ครัวเรือน

2. งานเก็บผลผลิตยางพารา สวนป่าทองผาภูมิได้ทำการผลิตยางแผ่นดิบโดยให้ประชาชนที่สนใจเข้าสมัครกรีดยางพารากับสวนป่า จำนวนทั้งหมด 45 ครอบครัว โดยมีอัตราส่วนแบ่งรายได้สวนป่ากับผู้กรีดยาง เป็น 60:40 ซึ่งในกิจกรรมนี้จะสร้างรายได้ให้แก่ผู้กรีดประมาณปีละ 136,000 บาท/ครอบครัว

3. งานทำไม้สักตัดขยายระยะ สวนป่าทองผาภูมิมีพื้นที่ปลูกไม้สัก จำนวน 13,386.74 ไร่ และได้ทำการปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 จนถึงปัจจุบัน จึงทำให้มีกิจกรรมตัดขยายระยะทุกปี กิจกรรมด้านนี้ได้ผลิตไม้ที่ได้มาจากการปลูกออกสู่ตลาด ปีละประมาณ 1,000-1,500 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นการลดการใช้ประโยชน์จากไม้ธรรมชาติได้จำนวนมาก อีกทั้งยังสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนท้องถิ่นที่มารับจ้างตัดโค่นล้ม ตัดทอน ชักลากรวมกอง จนถึงจัดกองประมูลจำหน่าย จำนวน 11 ครอบครัว รายได้ประมาณ ปีละ 48,000 บาท/ครอบครัว

4. งานศูนย์ศึกษาธรรมชาติ สวนป่าทองผาภูมิมีพื้นที่ปลูกสร้างสวนป่าติดต่อกับแหล่งธรรมชาติที่สวยงาม ติดเขื่อนชิราลงกรณ์ งานสวนป่าจึงได้ดำเนินการสร้างที่พัก และพัฒนาพื้นที่บางส่วนเพื่อให้บริการแก่นักท่องเที่ยวทั่วไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวางแปลงตัวอย่าง

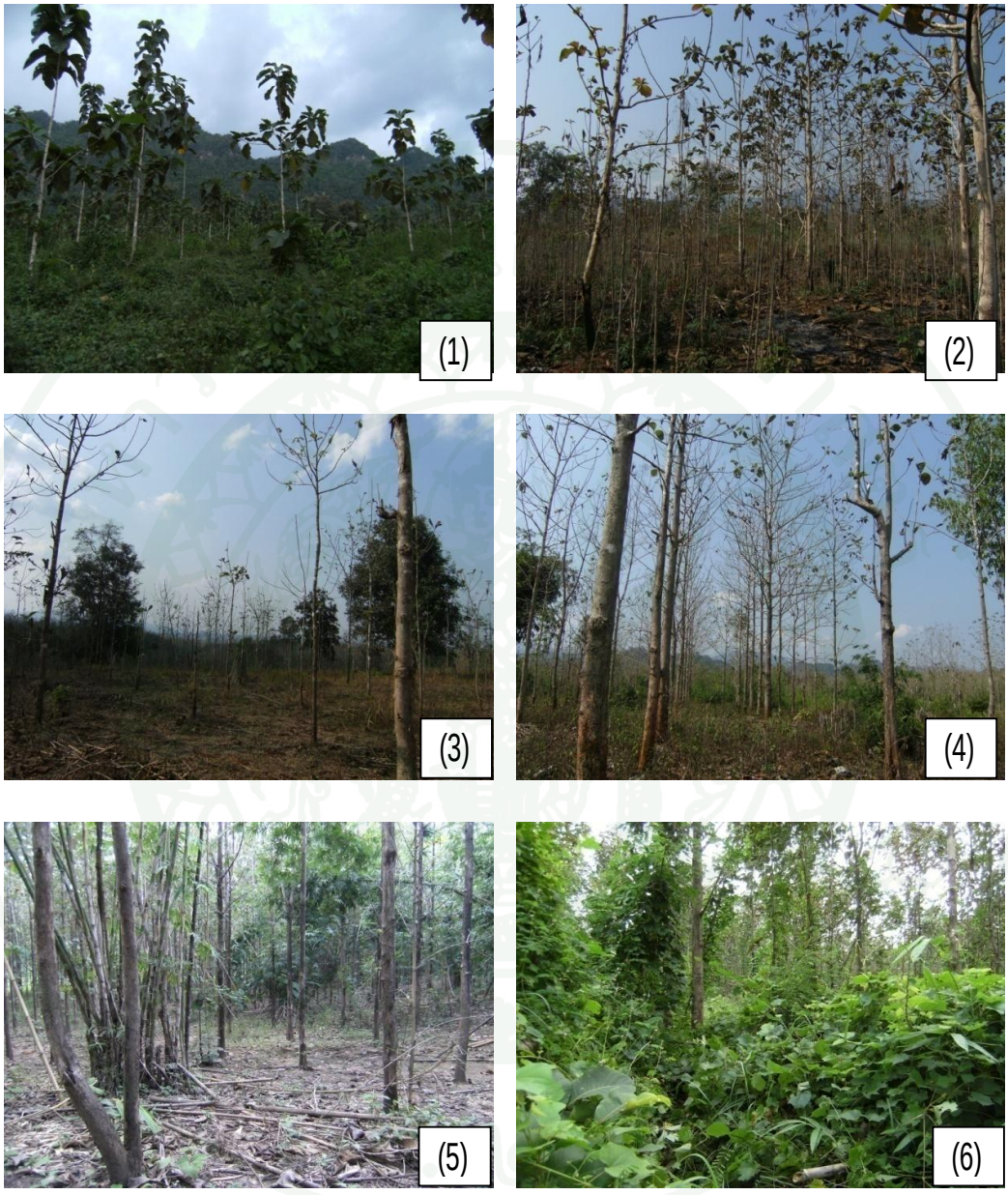
วางแปลงตัวอย่างขนาด 60 × 60 เมตร ในแปลงไม้สักชั้นอายุต่างๆ ของสวนป่าทองผาภูมิ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 12 ชั้นอายุ (ชั้นอายุ 4 ปี 6 ปี 9 ปี 12 ปี 15 ปี 16 ปี 18 ปี 21 ปี 23 ปี 25 ปี 28 ปี และ 31 ปี) ที่มีระยะปลูก 4 × 4 เมตร ชั้นอายุละ 2 แปลง (ภาพที่ 4 และ 5) ซึ่งในแต่ละแปลงจะมีแปลงย่อยขนาด 30 × 30 เมตร จำนวน 4 แปลง เพื่อใช้ในการถ่ายภาพเรือนยอด

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

ทำการเก็บข้อมูลขนาดของไม้สักทุกต้นในแปลงตัวอย่างของแต่ละชั้นอายุ ได้แก่เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height, DBH) ด้วยเทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter tape) และความสูงทั้งหมด (total height; H) ด้วยเครื่องมือวัดความสูง (Haga altimeter) และวัดความกว้างของเรือนยอดของไม้สักทุกต้น 2 ครั้งในแนวตั้งฉากซึ่งกันและกัน (ภาพที่ 6)

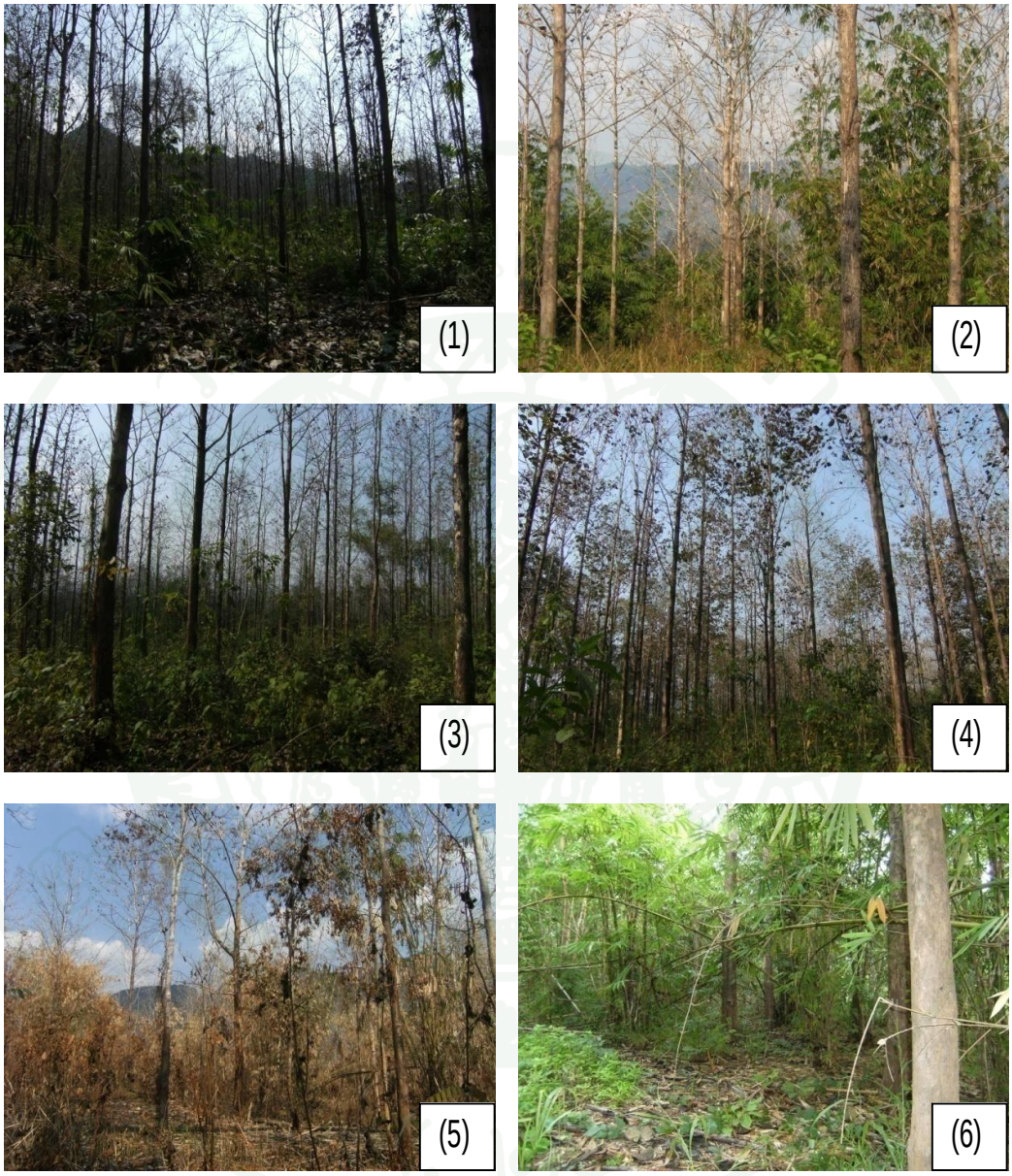
เก็บข้อมูลดัชนีพื้นที่ใบ (leaf area index) ของแปลงตัวอย่างด้วยวิธีการ hemispherical photography โดยการถ่ายภาพเรือนยอดด้วยกล้องดิจิตอลซึ่งติดกับเลนส์ตาปลา (fisheye lens) ดังภาพที่ 7 โดยในแต่ละแปลงตัวอย่าง ถ่ายภาพจำนวน 4 จุด บริเวณกึ่งกลางของแปลงย่อย ทำการตั้งกล้องไว้บนขาตั้งกล้องในลักษณะหงายเลนส์ขึ้นบนท้องฟ้า ตั้งกล้องให้อยู่สูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร ปรับระดับลูกน้ำซึ่งติดไว้ที่ตัวกล้องให้อยู่ในแนวระดับ กำหนดทิศเหนือโดยหมายตำแหน่งไว้ที่เลนส์ เลือกเวลาถ่ายภาพในตอนเช้าก่อนพระอาทิตย์ขึ้นหรือตอนเย็นหลังพระอาทิตย์ตก โดยพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้แสงจากดวงอาทิตย์ส่องเข้ามาในภาพ ทำการถ่ายภาพในช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม้สักมีใบปกคลุมเต็มที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นที่แปลงตัวอย่าง (1) แปลงอายุ 4 ปี (2) แปลงอายุ 6 ปี (3) แปลงอายุ 9 ปี (4) แปลงอายุ 12 ปี (5) แปลงอายุ 15 ปี (6) แปลงอายุ 16 ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ลักษณะพื้นที่แปลงตัวอย่าง (1) แปลงอายุ 18 ปี (2) แปลงอายุ 21 ปี (3) แปลงอายุ 23 ปี (4) แปลงอายุ 25 ปี (5) แปลงอายุ 28 ปี (6) แปลงอายุ 31 ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 6 (1) การวางแปลงตัวอย่าง (2) การเก็บข้อมูลการเติบโตของไม้สักในแปลงตัวอย่าง และ (3) การถ่ายภาพดัชนีพื้นที่ใบด้วยวิธีการ hemispherical photography

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูล

การเติบโต

คำนวณพื้นที่หน้าตัดของไม้สักทุกต้นในแปลงตัวอย่างจากสูตร

$$BA = \sum_{i=1}^{n} \pi \frac{(DBH_i)^2}{4}$$

เมื่อ BA คือ พื้นที่หน้าตัดรวมของไม้สักในแต่ละชั้นอายุต่อหน่วยพื้นที่ หน่วยเป็นตารางเมตรต่อเฮกแตร์

DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height) หน่วยเป็นเมตร

คำนวณพื้นที่เรือนยอดจากความกว้างของเรือนยอด ดังนี้

$$CC = \pi \left[\frac{(x + y)}{4}\right]^2$$

เมื่อ CC คือ crown cover หรือพื้นที่เรือนยอด (ตารางเมตร)

x และ y คือ ความกว้างของเรือนยอดในแนวทิศเหนือ – ใต้ และตะวันออก – ตะวันตก ตามลำดับ (เมตร)

นำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง พื้นที่หน้าตัดรวม และการปกคลุมเรือนยอด (crown cover) มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviations, SD) ของสวนสักในชั้นอายุต่างๆ

ดัชนีพื้นที่ใบ

นำภาพถ่ายดิจิตอลจากการใช้เทคนิค hemispherical photography มาคำนวณหาดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักในแต่ละแปลงตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม Gap Light Analyzer (GLA) version 2.0 (Frazer *et. al.*, 1999) โดยโปรแกรมนี้คำนวณค่าการปกคลุมของเรือนยอดและดัชนีพื้นที่เรือนยอดโดยอาศัยการจำแนกส่วนของท้องฟ้าและส่วนที่ไม่ใช่ท้องฟ้า (sky and non-sky classes) และคำนวณการกระจายของความสว่างของท้องฟ้า (sky-brightness distribution) โดยเลือกใช้ค่ามุม zenith (การวัดมุมของดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมุมระหว่างแนวดิ่งกับดวงอาทิตย์) ทั้งนี้ผลรวมระหว่างมุม zenith กับมุมมองดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 90 องศา โดยมุม zenith ที่ใช้ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณมีอยู่ 2 ลักษณะ คือ (1) LAI 4 Ring และ (2) LAI 5 Ring สำหรับการศึกษาครั้งนี้คำนวณโดยเลือกใช้ LAI 4 Ring ซึ่งเหมาะสมกับดัชนีพื้นที่ผิวใบหรือพื้นที่เรือนยอดของป่าเขตร้อนที่มีมุม zenith รวมระหว่าง 0–60 องศา (Stenberg *et. al.*, 1994)

การประเมินมวลชีวภาพ

1. มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

ประเมินมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของไม้สักจากสมการแอลโลเมตรี (allometry) ของไม้สักที่ปลูกในพื้นที่สวนป่าทองผาภูมิดังแสดงในตารางที่ 7 (สาพิศ และคณะ, 2553)

ทั้งนี้ทำการประเมินมวลชีวภาพส่วนของลำต้น กิ่ง และใบของไม้สักจากสมการที่ (1) – (3) ตามลำดับ และประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากผลรวมของมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบ

ตารางที่ 7 สมการแอลโลเมตรีของมวลชีวภาพส่วนต่างๆ และปริมาตรของไม้สัก

Y	สมการ	r^2	n
(1) มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม)	$y = 0.0201x^{0.9781}$	0.9946	21
(2) มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)	$y = 0.0047x^{0.8876}$	0.6911	21
(3) มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัม)	$y = 0.004x^{0.8916}$	0.8271	21
(4) ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)	$y = 0.00008x^{0.9122}$	0.9988	21

หมายเหตุ y คือ มวลชีวภาพส่วนต่างๆ หรือปริมาตร (หน่วยเป็นกิโลกรัม หรือ ลูกบาศก์เมตรต่อต้น ตามลำดับ)

x คือ ตัวแปรอิสระในรูป DBH^2H เมื่อ DBH คือเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร) และ H คือความสูงทั้งหมด (เมตร)

ที่มา สาพิศ และคณะ (2553)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. มวลชีวภาพรวม

ประเมินมวลชีวภาพของรากของไม้สักจากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดิน และมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ดังนี้

$$W_T = W_A + (W_A B)$$

เมื่อ W_T คือ มวลชีวภาพรวม (ตันต่อเฮกแตร์)

W_A คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ตันต่อเฮกแตร์)

B คือ อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดิน และมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในที่นี้ใช้ค่าอัตราส่วนของไม้สักซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.27 (คณะวนศาสตร์, 2554)

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

คำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ จากข้อมูลปริมาณมวลชีวภาพของทุกส่วน ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี จากสูตรดังนี้

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ = มวลชีวภาพ x ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

โดยที่ไม้สักอายุต่ำกว่า 10 ปี ใช้ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยของไม้สักชั้นอายุ 6 ปี (ร้อยละ 44.35 ของน้ำหนักแห้ง) ไม้สักที่อายุ 10 – 20 ปี ใช้ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยของไม้สักชั้นอายุ 14 ปี (ร้อยละ 49.16 ของน้ำหนักแห้ง) และไม้สักที่อายุมากกว่า 21 ปี ใช้ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยของไม้สักชั้นอายุ 21 ปี (ร้อยละ 50.07 ของน้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นข้อมูลไม้สัก ณ สวนป่าทองผาภูมิ ศึกษาโดยทศพร และคณะ (2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี

คำนวณความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม ดังนี้

$$MAI_B = \frac{B_t}{t}$$

$$MAI_C = \frac{C_t}{t}$$

เมื่อ MAI_B คือ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

MAI_C คือ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

B_t คือ มวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์)

C_t คือ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติของความสูงทั้งหมด เส้นผ่านศูนย์กลางที่เพียงอก มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพรวม การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม ของไม้สักแต่ละชั้นอายุ โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) ตลอดจนวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละชั้นอายุ โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักในสวนป่าทองผาภูมิ

ในประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าทองผาภูมิ ใช้หลักเกณฑ์ตามข้อกำหนดของ IPCC (1996) และ IPCC (2003) ในระดับ Tier 3 ซึ่งเป็นการคำนวณโดยใช้ข้อมูลเฉพาะพื้นที่ จากข้อมูลความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมของไม้สักในแต่ละชั้นอายุ ดังนี้

$$B_t = (MAI_B \times t) \times a$$

$$C_t = (MAI_C \times t) \times a$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อ MAI_B คือ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

MAI_C คือ ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)

B_t คือ มวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์)

C_t คือ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวม ที่อายุ t ปี (ตันต่อเฮกแตร์)

a คือ ขนาดพื้นที่ในแต่ละชั้นอายุ (เฮกแตร์)

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนของชั้นอายุนั้นๆ ใช้ข้อมูลการเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในชั้นอายุใกล้เคียง และประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมของไม้สักในสวนป่าทองผาภูมิจากค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยในแต่ละชั้นอายุ และพื้นที่ปลูกสักในแต่ละชั้นอายุตามสมการข้างต้น

การประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากตัวแปรต่าง ๆ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพอยู่เหนือพื้นดินกับค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ พื้นที่หน้าตัด และดัชนีพื้นที่ใบที่ได้จากข้อมูลภาคสนาม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

การเติบโต

การเติบโตทางความสูง

จากการศึกษาการเติบโตด้านความสูงของไม้สักชั้นอายุต่างๆ 12 ชั้นอายุ (ชั้นอายุ 4 ปี 6 ปี 9 ปี 12 ปี 15 ปี 16 ปี 18 ปี 21 ปี 23 ปี 25 ปี 28 ปี และ 31 ปี) พบว่าความสูงเฉลี่ยของไม้สักแต่ละชั้นอายุมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยไม้สักชั้นอายุ 28 ปี มีความสูงเฉลี่ย มากที่สุด (26.04 เมตร) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (4.83 เมตร) โดยที่ความสูงเฉลี่ยของไม้สัก ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ ยกเว้นในชั้นอายุ 9 ปี (7.24 เมตร) และชั้นอายุ 21 ปี (13.75 เมตร) (ตารางที่ 8) มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าในชั้นอายุใกล้เคียง การที่ไม้สักในชั้นอายุนี้มีการเติบโตด้านความสูงเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความแตกต่างของคุณภาพพื้นที่ (site quality) ทำให้การเติบโตโดยเฉพาะความสูงแตกต่างกัน (บุญเลิศ, 2534) เช่นแปลงไม้สักอายุ 15 ปี มีความสูงเฉลี่ยมากกว่า หรือค่อนข้างใกล้เคียงกับชั้นอายุมากกว่า 16 ปี ที่ศึกษาในครั้งนี้ซึ่งเป็นชั้นอายุที่มีการตัดขยายระยะแล้ว(ตารางผนวกที่ 1) ในทางตรงข้ามความสูงเฉลี่ยของไม้สักในชั้นอายุ 21 ปี (13.75 เมตร) มีค่าต่ำกว่าความสูงเฉลี่ยของไม้สักในชั้นอายุอื่นๆ (ชั้นอายุ 15 ปี 16 ปี 18 ปี และมากกว่า 21 ปี) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เนื่องมาจากในชั้นอายุอายุ 21 ปี เป็นแปลงที่มีการเติบโต จัดอยู่ในชั้นคุณภาพ (site index) ค่อนข้างเลว (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2539) ในขณะที่ชั้นอายุ 9 ปี ความสูงเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างแปลงตัวอย่างในชั้นอายุเดียวกัน (ตารางผนวกที่ 2) จากผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้ถึงการแปรผันของความสูงเฉลี่ยของไม้สักอันเนื่องมาจากปัจจัยของสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกันของสวนป่าทองผาภูมิ

เมื่อเปรียบเทียบการเติบโตทางด้านความสูงของไม้สักจากการศึกษาของ จุรีพร (2550) พบว่า การเติบโตด้านความสูงของไม้สักอายุ 23 ปี 25 ปี 28 ปี และ 31 ปี ของสวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง (15.3, 15.2, 15.1 และ 13.8 เมตร ตามลำดับ) มีค่าน้อยกว่าการเติบโตด้านความสูงไม้สักของสวนป่าทองผาภูมิ เนื่องจากไม้สักในแปลงของสวนป่าแม่เมาะ มีการเติบโตอยู่ในชั้นคุณภาพปานกลาง – ค่อนข้างเลว ในขณะที่แปงไม้สักที่สวนป่าทองผาภูมิส่วนใหญ่อยู่ในชั้นคุณภาพปานกลาง – ดี (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2539) นอกจากนี้แล้วอาจเกิดจากความแตกต่างทางด้านสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และการจัดการทางด้านวนวัฒน์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้สักชั้นอายุต่างๆ 12 ชั้นอายุ พบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยของไม้สักแต่ละชั้นอายุมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) เช่นเดียวกับความสูงเฉลี่ย โดยไม้สักชั้นอายุ 28 ปี มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยมากที่สุด (33.14 เซนติเมตร) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (4.56 เซนติเมตร) เช่นกัน เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุในช่วงก่อนที่มีการตัดขยายระยะ (ก่อนอายุ 15 ปี) ยกเว้นในชั้นอายุ 6 และ 9 ปี ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน (8.63 และ 9.01 เซนติเมตร ตามลำดับ) ในขณะที่ไม้สักชั้นอายุ 15 ปี มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยค่อนข้างสูงใกล้เคียงกับชั้นอายุมากกว่า 15 ปี ที่ศึกษาในครั้งนี้ เช่นเดียวกับการเติบโตทางด้านความสูง ทั้งที่แปลงอายุมากกว่า 15 ปี มีการตัดขยายระยะแล้วทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าและการแปรผันของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างของสภาพพื้นที่เช่นเดียวกับผลการศึกษาทางด้านความสูง (ตารางที่ 8)

ภายหลังการตัดขยายระยะ พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยมีแนวโน้มไม่ค่อยชัดเจนนัก เช่นในแปลงอายุ 21 ปี และแปลงอายุ 28 ปี มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ (14.38 และ 18.58 เซนติเมตร ตามลำดับ) กว่าแปลงปลูกอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของสภาพพื้นที่ ดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ไม้สักชั้นอายุ 28 ปี ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยสูงที่สุด (33.14 เซนติเมตร) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับไม้สักอายุ 20 ปี ระยะปลูก 6 × 6 เมตร ที่ปลูกที่สวนผลิตเมล็ดพันธุ์แม่กา จังหวัดพะเยา ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยถึง 31.88 เซนติเมตร (พรศักดิ์ และคณะ, 2548) ทั้งนี้เนื่องมาจากระยะปลูกเริ่มต้นที่กว้างกว่า กอปรกับการปลูกและการจัดการในสวนผลิตเมล็ดพันธุ์ไม้สักที่มีความประณีตมากกว่าสวนป่าทั่วไปจึงทำให้การเติบโตที่ดีกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ความหนาแน่น ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	ความหนาแน่น (ต้น/เฮกแตร์)	ความสูง (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
4	450	$4.83^{a} \pm 0.11$	$4.56^{a} \pm 0.48$
6	358	$8.13^{ab} \pm 1.41$	$9.01^{ab} \pm 1.97$
9	528	$7.27^{ab} \pm 1.57$	$8.63^{ab} \pm 2.88$
12	493	$10.32^{b} \pm 1.30$	$12.73^{bc} \pm 0.84$
15	607	$18.04^{d} \pm 0.20$	$17.74^{de} \pm 1.13$
16	376	$16.66^{cd} \pm 0.47$	$16.78^{c} \pm 0.32$
18	329	$19.47^{d} \pm 0.47$	$22.28^{ef} \pm 0.69$
21	313	$13.75^{c} \pm 0.70$	$18.21^{de} \pm 2.26$
23	232	$23.89^{e} \pm 0.75$	$28.6^{gh} \pm 0.17$
25	238	$24.16^{e} \pm 1.07$	$30.74^{h} \pm 1.46$
28	111	$26.04^{e} \pm 4.19$	$33.14^{h} \pm 5.54$
31	178	$18.58^{d} \pm 1.15$	$24.74^{fg} \pm 0.07$
p-value		$< 0.01^{**}$	$< 0.01^{**}$

หมายเหตุ ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พื้นที่หน้าตัด

จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้สักแต่ละชั้นอายุ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยไม้สักชั้นอายุ 25 ปี มีค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดรวมมากที่สุด (31.49 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำที่สุด (1.04 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) พื้นที่หน้าตัดรวมมีการแปรผันไปตามเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย และความหนาแน่นของไม้สักในแต่ละชั้นอายุ (ตารางที่ 8 และ 9) เช่นในไม้สักชั้นอายุ 6 และ 9 ปี ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน (8.75 และ 8.59 เซนติเมตร ตามลำดับ) แต่กลับมีพื้นที่หน้าตัดรวมที่แตกต่างกัน โดยในชั้นอายุ 9 ปี มีพื้นที่หน้าตัดรวมเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับชั้นอายุ 6 ปี เนื่องจากความหนาแน่นของไม้สักภายในชั้นอายุ 6 ปี มีจำนวนต้นน้อยกว่า

เมื่อมีการตัดขยายระยะ พบว่า พื้นที่หน้าตัดรวมมีการแปรผันเช่นเดียวกับชั้นอายุที่ ไม่มีการตัดขยายระยะ โดยมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย ยกเว้นในชั้นอายุ 31 ปี ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยค่อนข้างสูง (24.70 เซนติเมตร) แต่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดรวมน้อย (2.35 ตารางเมตรต่อ เฮกแตร์) เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำที่สุดเพียง 164 - 203 ต้นต่อเฮกแตร์ เท่านั้น (ตารางผนวกที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาพื้นที่หน้าตัดของ Koonkhunthod *et al.* (2007) พบว่า พื้นที่หน้าตัดของไม้สักอายุ 31 ปี (19.55 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) ของสวนป่าทองผาภูมิ มีค่ามากกว่าไม้สักอายุ 37 ปี (9.4 ตารางเมตรต่อเฮกแตร์) ของสวนป่าทางภาคเหนือ เนื่องมาจากความหนาแน่นของไม้สักในแปลงของสวนป่าทางภาคเหนือ (316.7 ต้นต่อเฮกแตร์) มีมากกว่าของสวนป่าทองผาภูมิ (183 ต้นต่อเฮกแตร์) จึงทำให้การเติบโตของไม้สักเกิดการแก่งแย่ง นอกจากนี้อาจเกิดจากคุณภาพพื้นที่ และพันธุกรรมของไม้สัก อีกด้วย

พื้นที่เรือนยอด

พื้นที่เรือนยอดเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุในช่วงก่อนที่มีการตัดขยายระยะ แต่ภายหลังจากนั้นมีแนวโน้มไม่ค่อยแน่นอน โดยไม้สักชั้นอายุ 25 ปี มีขนาดพื้นที่เรือนยอดเฉลี่ยมากที่สุด (24.51 ตารางเมตร) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำที่สุด (3.55 ตารางเมตร) เป็นที่น่าสังเกตว่า 31 ปี (15.36 ตารางเมตร) มีพื้นที่เรือนยอดเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ ทั้งที่มีการเติบโตทางด้านความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ค่อนข้างสูงกว่าชั้นอายุอื่น (ตารางที่ 10) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแปลงดังกล่าวมีอายุมากและมีไม้ไผ่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าพื้นที่เรือนยอดเฉลี่ยของไม้สักแต่ละชั้นอายุมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 พื้นที่หน้าตัดรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ

อายุ (ปี)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม./เฮกแตร์)
4	$1.04^{a} \pm 0.25$
6	$3.96^{ab} \pm 1.75$
9	$3.86^{ab} \pm 2.44$
12	$8.11^{bc} \pm 0.74$
15	$14.75^{de} \pm 1.35$
16	$12.76^{cde} \pm 0.51$
18	$15.60^{ef} \pm 0.64$
21	$10.30^{cd} \pm 2.17$
23	$24.68^{g} \pm 2.95$
25	$31.49^{h} \pm 4.40$
28	$19.55^{f} \pm 1.28$
31	$30.44^{h} \pm 2.01$
p-value	<0.01

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัด (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 พื้นที่เรือนยอดของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	พื้นที่เรือนยอด (ตร.ม./ต้น)
4	$3.55^{a} \pm 0.93$
6	$9.82^{abc} \pm 3.60$
9	$4.80^{a} \pm 1.43$
12	$8.26^{ab} \pm 1.19$
15	$17.80^{cde} \pm 1.90$
16	$15.11^{bcd} \pm 0.04$
18	$17.80^{cde} \pm 0.62$
21	$10.54^{abc} \pm 0.53$
23	$20.61^{de} \pm 1.32$
25	$24.51^{de} \pm 3.17$
28	$22.25^{e} \pm 9.28$
31	$15.36^{bcd} \pm 3.99$
p-value	<0.01

หมายเหตุ พื้นที่เรือนยอด (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดัชนีพื้นที่ใบ

จากผลการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ลักษณะโครงสร้างของเรือนยอดเพื่อการเติบโต พบว่า ดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักแต่ละชั้นอายุมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยไม้สักชั้นอายุ 31 ปี มีดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยมากที่สุด (3.05) และไม้สักชั้นอายุ 9 ปี และ 4 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (0.32 และ 0.39 ตามลำดับ) (ตารางที่ 11 และภาพที่ 7) ดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้สักมีการเพิ่มขึ้นตามการเติบโตของไม้สักในช่วงก่อนที่มีการตัดขยายระยะ ซึ่งความแน่นของต้นไม้ในแต่ละชั้นอายุมีค่าใกล้เคียงกัน ดังเช่นในชั้นอายุ 9 ปี มีการเติบโตทั้งความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยส่งผลให้ดัชนีพื้นที่ใบมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.32 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าในแปลงอายุใกล้เคียง (ตารางที่ 11) และเมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยของไม้สักอายุ 19 ปี ณ สวนป่าทองผาภูมิ ที่ยังไม่ผ่านการตัดขยายระยะเช่นกันจากการศึกษาของคมสัน (2543) ซึ่งมีดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยเท่ากับ 1.70 พบว่ามีค่าน้อยกว่าไม้สักแปลงอายุ 15 ปี ในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งยังไม่ผ่านการตัดขยายระยะ เช่นกัน

เมื่อภายหลังการตัดขยายระยะ พบว่า ค่าดัชนีพื้นที่ใบมีการแปรผันตามขนาดและความหนาแน่นของไม้สักภายในแปลง โดยที่ชั้นอายุ 21 ปี มีค่าเฉลี่ยของดัชนีพื้นที่ใบต่ำ (1.40) เนื่องจาก ชั้นอายุดังกล่าวต้นไม้มีขนาดเล็ก สำหรับชั้นอายุ 31 ปี นั้นแม้ว่าจะมีความหนาแน่นของไม้สักน้อยแต่ต้นไม้มีขนาดใหญ่ กอปรกับภายในแปลงมีไผ่ขึ้นเป็นจำนวนมาก (2,991.67 ลำต่อเฮกแตร์) ค่าดัชนีพื้นที่ใบเฉลี่ยที่ได้จึงมีค่าดัชนีพื้นที่ใบของไผ่รวมอยู่ด้วย

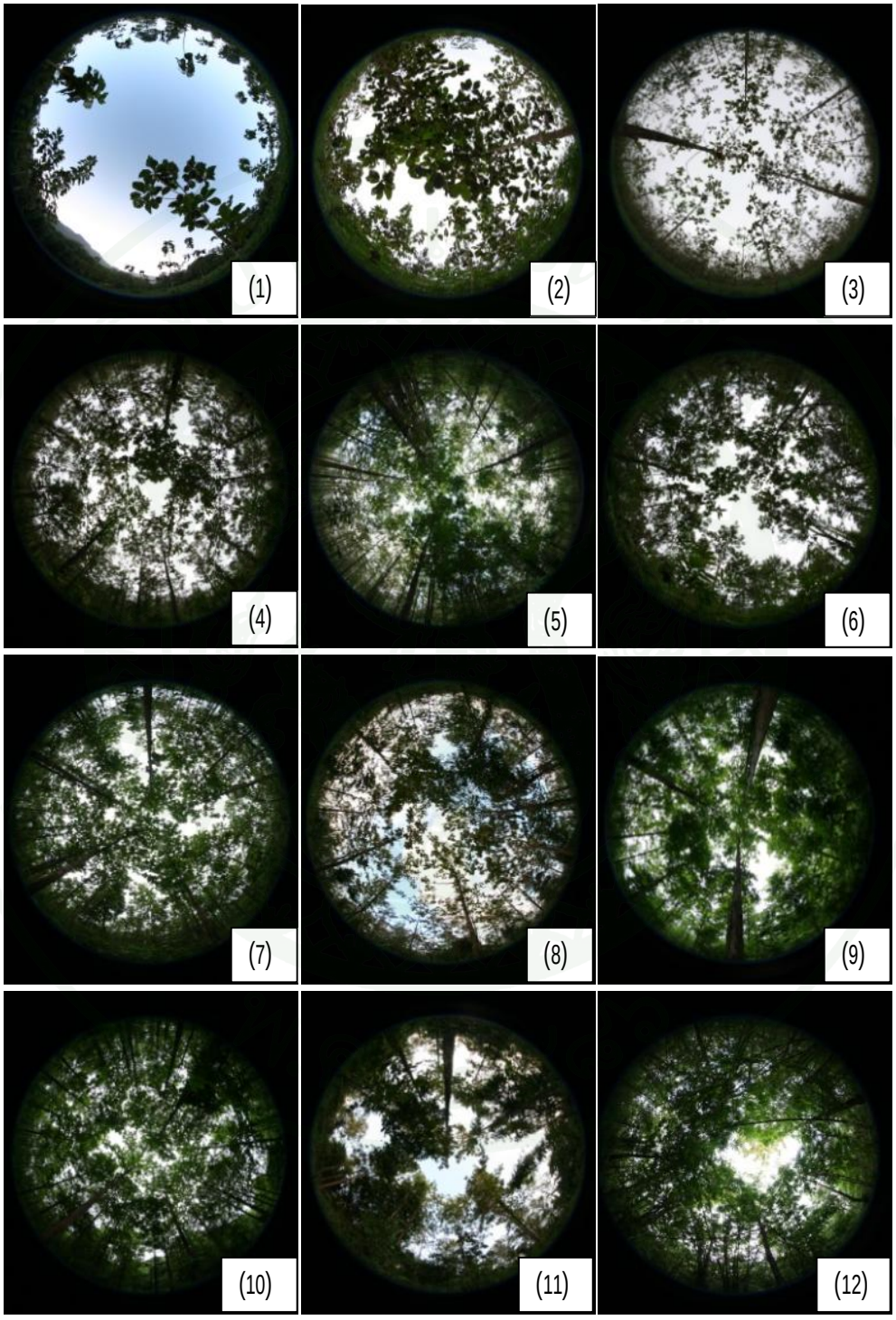
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักชั้นอายุต่างๆ

อายุ (ปี)	ดัชนีพื้นที่ใบ
4	$0.39^{a} \pm 0.02$
6	$0.79^{a} \pm 0.20$
9	$0.32^{a} \pm 0.15$
12	$1.32^{b} \pm 0.48$
15	$2.29^{cd} \pm 0.05$
16	$1.88^{c} \pm 0.14$
18	$2.24^{cd} \pm 0.12$
21	$1.40^{b} \pm 0.13$
23	$2.36^{cd} \pm 0.39$
25	$2.70^{de} \pm 0.03$
28	$2.20^{c} \pm 0.04$
31	$3.05^{e} \pm 0.12$
p-value	<0.01

หมายเหตุ ดัชนีพื้นที่ใบ (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 7 ดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักชั้นอายุต่างๆ (1) อายุ 4 ปี (2) อายุ 6 ปี (3) อายุ 9 ปี (4) อายุ 12 ปี (5) อายุ 15 ปี (6) อายุ 16 ปี (7) อายุ 18 ปี (8) อายุ 21 ปี (9) อายุ 23 ปี (10) อายุ 25 ปี (11) อายุ 28 ปี (12) อายุ 31 ปี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลชีวภาพ

การศึกษามวลชีวภาพต่อต้นของไม้สักทั้งหมดในแต่ละชั้นอายุ พบว่ามวลชีวภาพทุกๆ ส่วน และปริมาตรของลำต้นของไม้สักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ระหว่างชั้นอายุ จะเห็นได้ว่ามวลชีวภาพต่อต้นของไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุ (ตารางที่ 12) ความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพรวมต่อต้นกับอายุมีรูปร่างเป็นแบบ sigmoid curve ดังแสดงในภาพที่ 8 ทั้งนี้เนื่องจากไม้สักจะมีอัตราการเติบโตในระยะต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตที่ไม่เท่ากัน โดยในช่วงแรกไม้สักยังมีขนาดเล็กการเติบโตจึงเป็นไปอย่างช้าๆ ต่อมาการเติบโตของไม้สักจะเพิ่มขึ้นจนมีลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อไม้สักเติบโตเต็มที่แล้วจะมีอัตราการเติบโตที่คงที่ จากผลการศึกษาในครั้งนี้ยังพบว่า ไม้สักชั้นอายุ 28 ปี มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมมากที่สุด (652.100 และ 828.167 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำที่สุด (4.229 กิโลกรัมต่อต้น) ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุ 28 ปี มีค่าสูงที่สุด (29.577 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) และในชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำสุด (1.057 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี) และปริมาตรไม้ในชั้นอายุ 28 ปีมีค่ามากที่สุด (1.012 ลูกบากศ์เมตรต่อต้น) ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับ 0.036 ลูกบากศ์เมตรต่อต้นต่อปี (ตารงที่ 12) นอกจากนี้ ในบางชั้นอายุยังพบความแตกต่างระหว่างแปลงตัวอย่าง (ตารางผนวกที่ 4 และ 5)

เมื่อวิเคราะห์มวลชีวภาพของไม้สักทั้งหมดในแต่ละชั้นอายุ พบว่ามวลชีวภาพทุกๆ ส่วน และปริมาตรของลำต้นของไม้สักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ระหว่างชั้นอายุ โดยไม้สักชั้นอายุ 25 ปี มีมวลชีวภาพรวมมากที่สุด (137.21 ตันต่อเฮกแตร์) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำที่สุด (1.90 ตันต่อเฮกแตร์) เช่นเดียวกับแนวโน้มของปริมาตรไม้ (ตารางที่ 13) เกือบทุกชั้นอายุมีมวลชีวภาพของลำต้มมากกว่าร้อยละ 80 ของมวลชีวภาพรวม โดยที่อัตราส่วนของมวลชีวภาพของลำต้นต่อมวลชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุ (ภาพที่ 9) มวลชีวภาพมีการแปรผันไปตามขนาดและความหนาแน่นของไม้สักในแต่ละชั้นอายุ โดยชั้นอายุที่ยังไม่มีการตัดขยายระยะมวลชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุไม้สักที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในชั้นอายุ 15 ปี มีมวลชีวภาพมากกว่าชั้นอายุอื่นๆ เนื่องจากมีความหนาแน่นมากและไม้สักมีขนาดใหญ่กว่าในชั้นอายุอื่นๆ เมื่อวิเคราะห์ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวม และปริมาตรของลำต้น พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยไม้สักชั้นอายุ 15 ปี มีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวมสูงที่สุด (7.22 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี) และในชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำสุด (0.47 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี) จะเห็นได้ว่าชั้นอายุ 15 ปี นอกจากจะมีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีสูงที่สุดแล้วยังมีมวลชีวภาพรวมที่ค่อนข้างสูง (108.22 ตันต่อเฮกแตร์) (ตารางที่ 13) เนื่องจากชั้นอายุดังกล่าวยังไม่มีการตัดขยายระยะและมีอัตราการรอดตายสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ร้อยละ 98) ทำให้มีความหนาแน่นของต้นไม้สูงถึง 607 ต้นต่อเฮกแตร์ ทั้งนี้ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวมในชั้นอายุ 15 ปี มีมากกว่าค่าเฉลี่ยของไม้สักที่มีรอบตัดฟัน 30 ปี ที่ปลูกในพื้นที่เหมาะสมมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.01 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี (คณะวนศาสตร์, 2554)

ในขณะที่ในแปลงที่มีการตัดขยายระยะแล้ว มวลชีวภาพรวมมีการแปรผันไปตามขนาดของต้นไม้ สภาพของพื้นที่ที่แตกต่างกัน และความหนาแน่นของไม้สักที่เหลืออยู่ภายในแปลง ดังเช่นชั้นอายุ 16 และ 21 ปี มีมวลชีวภาพรวมเพียง 54.82 และ 41.36 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ หรือมีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 3.43 และ 1.97 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากชั้นอายุ 16 ปี มีการตัดขยายระยะครั้งแรกในปี พ.ศ. 2549 ทำให้มีไม้สักเหลือเพียง 376 ต้นต่อเฮกแตร์ และเมื่อพื้นที่เปิดโล่งทำให้มีไผ่ขึ้นในพื้นที่จึงอาจส่งผลต่อการเติบโตของไม้สัก ในขณะที่ชั้นอายุ 21 ปี มีมวลชีวภาพรวมต่ำ เนื่องจากไม้สักในชั้นอายุดังกล่าวมีขนาดเล็ก และในแปลงที่ทำการศึกษามีลักษณะเป็นเนินเขา มีไผ่ขึ้นในพื้นที่เป็นจำนวนมาก จึงส่งผลต่อการเติบโตของไม้สักในชั้นอายุดังกล่าว โดยความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพไม้สักที่ตัดขยายระยะแล้ว ส่วนใหญ่ เช่น อายุ 16 ปี 21 ปี 28 ปี และ 31 ปี มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของไม้สักที่มีรอบตัดฟัน 30 ปี ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมน้อย (3.80 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี) (คณะวนศาสตร์, 2554) ยกเว้นในบางชั้นอายุ เช่น อายุ 23 ปี และ 25 ปี มีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของไม้สักที่มีรอบตัดฟัน 30 ปี ที่ปลูกในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมมาก (คณะวนศาสตร์, 2554)

นอกจากนี้ ยังพบว่ามวลชีวภาพ และปริมาตรของไม้สักในบางชั้นอายุ เช่น ชั้นอายุ 6 ปี 9 ปี และ 28 ปี มีความแตกต่างระหว่างแปลงสูงมาก (ตารางผนวกที่ 4 - 7) โดยในแปลงอายุ 9 ปี ความแตกต่างของมวลชีวภาพ และปริมาตร เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่น และการเติบโตของต้นไม้ ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพพื้นที่ ในขณะที่ชั้นอายุ 28 ปี ซึ่งผ่านการตัดขยายระยะแล้ว ความแตกต่างของมวลชีวภาพ และปริมาตรไม้เกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันมากกว่า 2 เท่า ทั้งนี้การศึกษาครั้งนี้วางแปลงตัวอย่างเพียงชั้นอายุละ 2 แปลง เนื่องจากทำการศึกษามากถึง 12 ชั้นอายุ หากมีการวางแปลงตัวอย่างมากขึ้น น่าจะช่วยให้ข้อมูลมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 มวลชีวภาพ ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ต่อต้น ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ

อายุ	มวลชีวภาพ (กิโลกรัม/ต้น)					ปริมาตร	ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี	
							มวลชีวภาพรวม	ปริมาตร
(ปี)	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือพื้นดิน	รวม	(ลบ.ม./ต้น)	(กิโลกรัม/ต้น/ปี)	(ลบ.ม/ต้น/ปี)
4	2.635^{a}	0.370^{a}	0.325^{a}	3.330^{a}	4.229^{a}	0.007^{a}	1.057^{a}	0.002^{a}
6	15.165^{ab}	1.860^{a}	1.625^{a}	18.650^{ab}	23.685^{ab}	0.038^{ab}	3.948^{b}	0.006^{ab}
9	13.745^{ab}	1.685^{a}	1.475^{a}	16.905^{ab}	21.469^{ab}	0.034^{ab}	2.385^{ab}	0.004^{ab}
12	37.155^{ab}	4.195^{a}	3.690^{a}	45.040^{ab}	57.200^{ab}	0.087^{abc}	4.767^{ab}	0.007^{abc}
15	118.055^{abc}	11.775^{ab}	10.400^{ab}	140.230^{abc}	178.092^{abc}	0.252^{abc}	11.873^{abcd}	0.017^{bc}
16	95.605^{abc}	9.825^{ab}	8.670^{ab}	114.100^{ab}	144.907^{ab}	0.209^{abc}	9.057^{abc}	0.013^{abc}
18	168.365^{abcd}	16.930^{abc}	14.950^{abc}	200.245^{abcd}	254.311^{abcd}	0.362^{bcd}	14.128^{bcd}	0.02^{cd}
21	87.910^{ab}	9.220^{ab}	8.131^{ab}	105.261^{ab}	133.682^{ab}	0.194^{abc}	6.366^{ab}	0.009^{abc}
23	332.215^{cde}	31.385^{cd}	27.805^{cd}	391.405^{cde}	497.084^{cde}	0.683^{de}	21.612^{cde}	0.03^{de}
25	390.455^{de}	36.290^{de}	32.170^{de}	458.915^{de}	582.822^{de}	0.794^{ef}	23.313^{de}	0.032^{de}
28	558.755^{e}	49.435^{e}	43.910^{e}	652.100^{e}	828.167^{e}	1.012^{f}	29.577^{e}	0.036^{e}
31	253.015^{bcd}	23.485^{bcd}	20.815^{bcd}	297.315^{bcd}	377.590^{bcd}	0.427^{cd}	12.180^{abcd}	0.014^{abc}
p-value	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

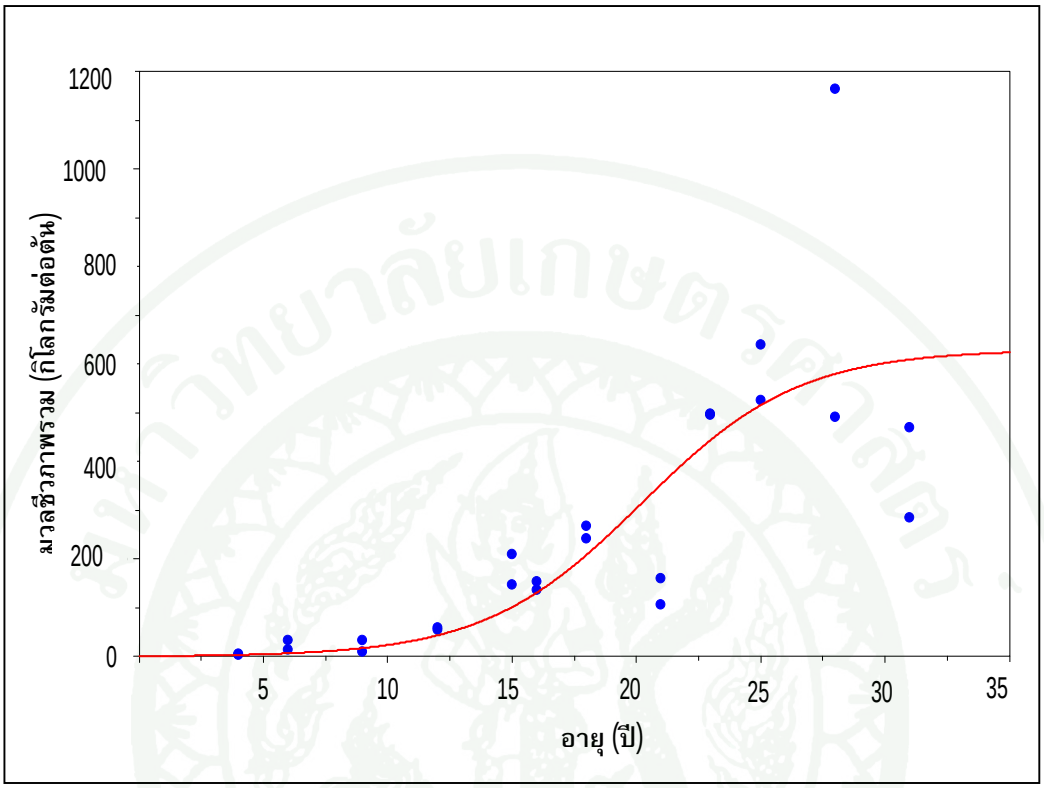
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 มวลชีวภาพ ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ต่อเฮกแตร์ ของไม้สักชั้นอายุต่างๆ

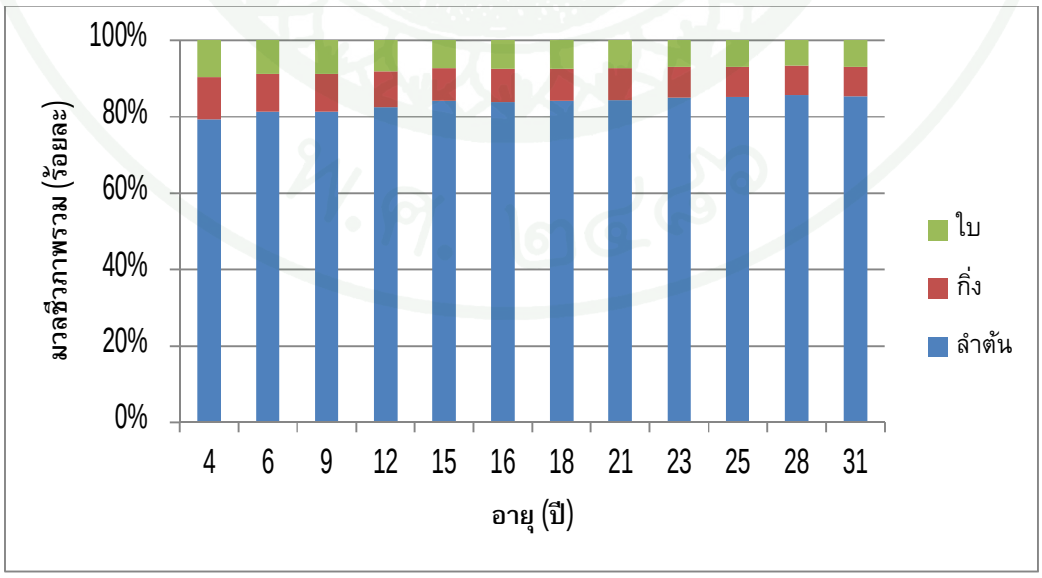
อายุ	มวลชีวภาพ (ตัน/เฮกแตร์)					ปริมาตร	ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี	
							มวลชีวภาพรวม	ปริมาตร
(ปี)	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือพื้นดิน	รวม	(ลบ.ม./เฮกแตร์)	(ตัน/เฮกแตร์/ปี)	(ลบ.ม/เฮกแตร์/ปี)
4	1.90^{a}	3.27^{a}	0.15^{a}	1.49^{a}	1.90^{a}	3.27^{a}	0.47^{a}	0.82^{a}
6	8.34^{a}	13.29^{a}	0.58^{ab}	6.57^{a}	8.34^{a}	13.29^{a}	1.39^{ab}	2.22^{ab}
9	11.74^{ab}	18.65^{ab}	0.81^{ab}	9.25^{ab}	11.74^{ab}	18.65^{ab}	1.31^{ab}	2.07^{ab}
12	28.04^{abc}	42.71^{abc}	1.81^{abc}	22.08^{abc}	28.04^{abc}	42.71^{abc}	2.34^{abc}	3.56^{ab}
15	108.22^{efg}	153.20^{ef}	6.32^{ef}	85.22^{efg}	108.22^{efg}	153.20^{ef}	7.22^{e}	10.21^{e}
16	54.82^{abcde}	78.89^{cd}	3.28^{bcd}	43.17^{abcde}	54.82^{abcde}	78.89^{cd}	3.43^{bcd}	4.93^{bcd}
18	83.69^{cdefg}	119.26^{de}	4.92^{def}	65.91^{cdefg}	83.69^{cdefg}	119.26^{de}	4.65^{cd}	6.63^{cd}
21	41.36^{abcd}	59.97^{abcd}	2.52^{abcd}	34.07^{abcd}	41.36^{abcd}	59.97^{abcd}	1.97^{ab}	2.86^{ab}
23	115.29^{fg}	158.50^{ef}	6.45^{ef}	90.77^{fg}	115.29^{fg}	158.50^{ef}	5.012^{de}	6.89^{cd}
25	137.21^{g}	186.93^{f}	7.58^{f}	108.05^{g}	137.21^{g}	186.93^{f}	5.49^{de}	7.48^{d}
28	96.70^{defg}	117.14^{de}	5.11^{def}	76.11^{defg}	96.70^{defg}	117.14^{de}	3.45^{bcd}	4.18^{bc}
31	68.68^{bcdef}	76.37^{bcd}	3.77^{cde}	54.07^{bcdef}	68.68^{bcdef}	76.37^{bcd}	2.22^{abc}	2.46^{ab}
p-value	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ



ภาพที่ 9 ร้อยละของมวลชีวภาพในแต่ละส่วนของไม้สักแต่ละชั้นอายุต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของไม้สักทั้ง12 ชั้นอายุ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับมวลชีวภาพ จากการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ พบว่าการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพทุกๆ ส่วนของไม้สักมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ระหว่างชั้นอายุ โดยไม้สักชั้นอายุ 25 ปี มีการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพรวมมากที่สุด (68.70 ตันต่อเฮกแตร์) และไม้สักชั้นอายุ 4 ปี มีค่าต่ำที่สุด (0.84 ตันต่อเฮกแตร์) เช่นเดียวกับมวลชีวภาพ ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น (ตารางที่ 14 และภาพที่ 10) รวมทั้งการแปรผันของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักชั้นอายุเดียวกันจากความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่ (ตารางผนวกที่ 8)

จากการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของนิวัฒน์ (2553) มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนของลำต้นไม้สักอายุ 23 ปี และ 25 ปี ของสวนป่าเกริงกระเวีย อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มีค่า 23.13 และ 27.81 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ เห็นได้ว่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนของลำต้นมีค่าน้อยกว่าไม้สักชั้นอายุเดียวกันกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องมาจากความหนาแน่นของไม้ภายในแปลงที่มีความแตกต่างกัน และวนวัฒนวิธีที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของทั้งสองพื้นที่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของนาฏสุดา (2550) ซึ่งพบว่า ไม้สักอายุ 14 ปี ที่สวนป่าสัก อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี ระยะปลูก 4 x 4 เมตร มีการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมีค่า 12.10 ตันต่อ เฮกแตร์ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับไม้สักอายุ 12 ปี ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนมีความแตกต่างจากปริมาณคาร์บอน ในแต่ละชั้นอายุ (ร้อยละ 44.35 – 50.07 ของน้ำหนักแห้ง) และมวลชีวภาพซึ่งแปรผันตามขนาด และความหนาแน่นของต้นไม้ โดยในช่วงก่อนที่มีการตัดขยายระยะการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของไม้สัก ยกเว้นแปลงอายุ 9 ปี ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชั้นอายุอื่นเช่นเดียวกับมวลชีวภาพ เนื่องจากต้นไม้มีขนาดเล็ก เมื่อวิเคราะห์ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพรวม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) โดยไม้สักชั้นอายุ 15 ปี มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด (3.55 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี) และในชั้นอายุ 4 ปี มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (0.21 ตันต่อ เฮกแตร์ต่อปี) ดังแสดงในตารางที่ 8

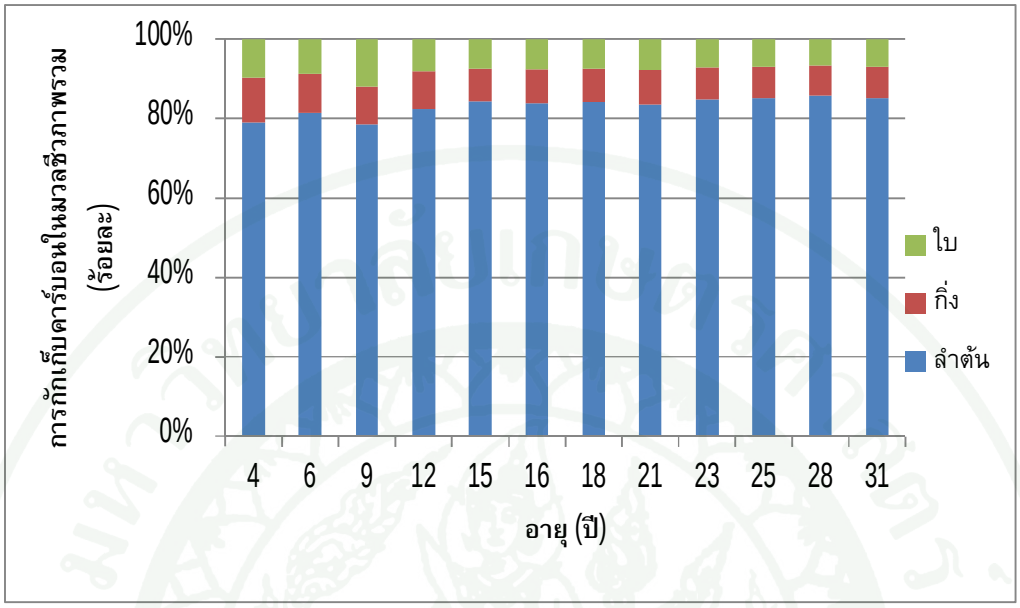
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ

อายุ	การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ (ตัน/เฮกแตร์)					ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี
(ปี)	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือพื้นดิน	รวม	(ตัน/เฮกแตร์/ปี)
4	0.53^{a}	0.08^{a}	0.07^{a}	0.67^{a}	0.84^{a}	0.21^{a}
6	2.37^{a}	0.29^{ab}	0.26^{ab}	2.92^{a}	3.70^{a}	0.62^{ab}
9	3.34^{a}	0.41^{ab}	0.51^{abc}	4.25^{a}	5.21^{a}	0.58^{ab}
12	8.95^{ab}	1.02^{abc}	0.89^{abc}	10.86^{ab}	13.79^{ab}	1.15^{abc}
15	35.27^{def}	3.52^{ef}	3.11^{ef}	41.90^{def}	53.20^{def}	3.55^{e}
16	17.79^{abcd}	1.83^{bcd}	1.61^{bcd}	21.23^{abcd}	26.95^{abcd}	1.68^{bcd}
18	27.24^{bcdef}	2.74^{def}	2.42^{def}	32.40^{bcdef}	41.14^{bcdef}	2.29^{cd}
21	13.62^{abc}	1.43^{abcd}	1.26^{abcd}	16.31^{abc}	20.71^{abc}	0.99^{ab}
23	38.58^{ef}	3.65^{ef}	3.23^{ef}	45.45^{ef}	57.72^{ef}	2.51^{de}
25	46.02^{f}	4.28^{f}	3.80^{f}	54.10^{f}	68.70^{f}	2.75^{de}
28	32.69^{cdef}	2.88^{def}	2.56^{def}	38.12^{cdef}	48.42^{cdef}	1.73^{bcd}
31	23.06^{bcde}	2.13^{cde}	1.89^{cde}	27.08^{bcde}	34.39^{bcde}	1.11^{abc}
p-value	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**	<0.01**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่แสดงด้วยอักษรเหมือนกันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ร้อยละของการกักเก็บคาร์บอนในแต่ละส่วนของไม้สักชั้นอายุต่างๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักในสวนป่าทองผาภูมิ

จากการศึกษามวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สัก พบว่า ในปี พ.ศ. 2552 สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มีพื้นที่ปลูกไม้สักทั้งหมด 2,213.89 เฮกแตร์ มีมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน 105,648.62 ตัน และมวลชีวภาพรวม 133,642.90 ตัน เมื่อประเมินเป็นการกักเก็บคาร์บอนของมวลชีวภาพส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมีค่าเท่ากับ 52,172.99 ตัน และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมมีค่าเท่ากับ 66,219.56 ตัน โดยในชั้นอายุ 16 ปี มีพื้นที่ปลูกไม้สักมากที่สุดเท่ากับ 340.38 เฮกแตร์ จึงมีมวลชีวภาพรวมและการกับเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมสูงที่สุด (18,661.16 และ 9,173.83 ตัน ตามลำดับ) และในชั้นอายุ 3 ปี มีพื้นที่ปลูกไม้สักเท่ากับ 48.00 เฮกแตร์ แต่มีมวลชีวภาพรวม และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมต่อพื้นที่ต่ำที่สุดจึงมีมวลชีวภาพรวมและการกับเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมต่ำสุด (68.24 และ 30.27 ตัน ตามลำดับ) ในขณะที่ชั้นอายุ 13 ปี มีพื้นที่ปลูกน้อยที่สุดเพียง 9.60 เฮกแตร์ แต่มวลชีวภาพรวม และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมมีค่ามากกว่า เนื่องจากใช้ข้อมูลมวลชีวภาพรวม และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมต่อพื้นที่ของชั้นอายุ 12 ปี ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง (ตารางที่ 15) ทั้งนี้ หากสวนป่าทองผาภูมิมีการตัดฟันไม้ออกในอัตราที่ใกล้เคียงกับความเพิ่มพูนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี และมีการปลูกทดแทนย่อมทำให้สวนป่าทองผาภูมิเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย นอกจากนี้หากนำไม้สักไปใช้ประโยชน์เนื้อไม้ ที่มีอายุยืนนาน เช่น การสร้างบ้าน ทำเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ย่อมทำให้ไม้สักเหล่านี้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้นานตลอดอายุใช้งานของผลิตภัณฑ์เหล่านั้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักในสวนป่าทองผาภูมิ

อายุ	พื้นที่	มวลชีวภาพ (ตัน)		การกักเก็บคาร์บอน (ตัน)	
(ปี)	(เฮกแตร์)	เหนือพื้นดิน	รวม	เหนือพื้นดิน	รวม
3	48.00	53.64	68.24	23.94	30.27
4	50.88	75.81	96.45	33.84	42.78
5	94.67	518.32	658.07	229.97	291.85
6	145.65	956.92	1,214.93	424.57	538.82
7	15.15	116.12	147.44	51.52	65.39
8	49.07	403.46	512.27	185.38	227.19
9	138.98	1,285.57	1,632.25	590.67	723.90
12	82.69	1,825.80	2,318.73	897.60	1,139.89
13	9.60	229.63	291.63	112.89	143.36
14	35.01	2,784.49	3,536.20	1,368.96	1,738.40
15	134.27	11,441.82	14,530.73	5,625.24	7,143.31
16	340.38	14,692.50	18,661.16	7,224.57	9,173.83
17	120.51	6,513.95	8,272.69	3,202.65	4,066.85
18	20.82	1,372.14	1,742.49	674.57	856.61
20	57.06	1,851.46	2,247.86	886.33	1,125.51
21	126.03	4,293.84	5,213.17	2,055.55	2,610.23
22	123.50	7,565.35	9,485.33	3,739.62	4,749.30
23	113.01	10,257.92	13,028.56	5,136.30	6,523.40
25	72.64	7,848.39	9,967.27	3,929.46	4,990.61
27	89.38	6,559.33	8,334.22	3,285.48	4,172.94
28	97.28	7,403.49	9,406.81	3,708.31	4,709.99
29	165.66	13,057.82	16,591.15	6,540.49	8,307.19
31	83.65	4,522.96	5,744.99	2,265.24	2,876.52
รวม	2,213.89	105,648.62	133,642.90	52,172.99	66,219.56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนจากตัวแปรต่าง ๆ

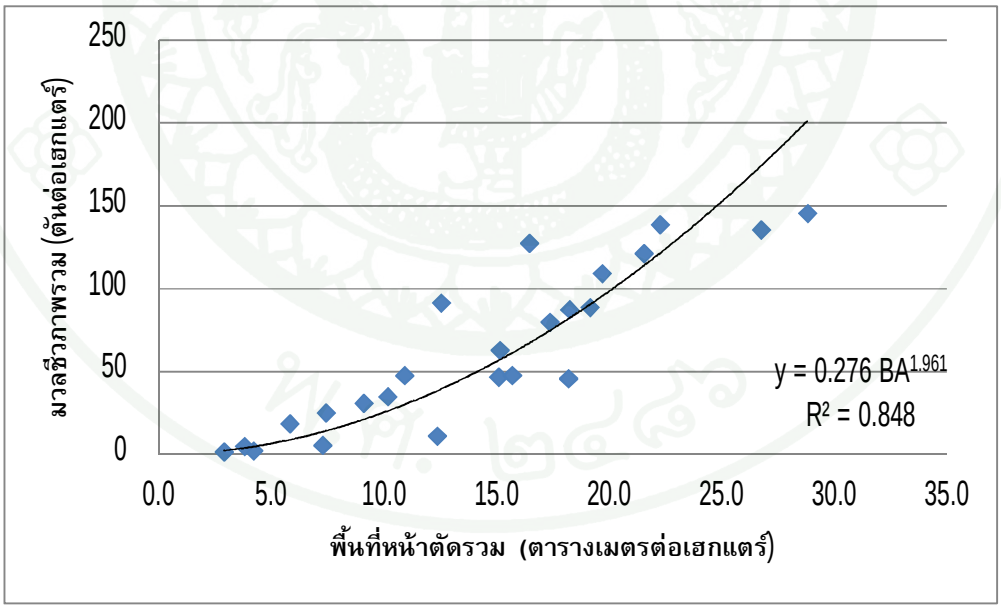
การประเมินมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้พื้นที่หน้าตัด

พื้นที่หน้าตัดเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ชี้วัดการเติบโตและผลผลิตของป่าไม้ ที่สามารถตรวจวัดได้ง่าย ในการศึกษาครั้งนี้จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ที่ทำการศึกษา พบว่า มวลชีวภาพรวมมีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญยิ่งสถิติ ($p<0.01$) (ภาพที่ 11) โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการยกกำลัง (power function) โดยมีรูปแบบสมการ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2) ดังนี้

$$W_t = 0.276\ BA^{1.961} \qquad r^2=0.848,\ n = 24 \qquad p < 0.01$$

เมื่อ W_t คือ มวลชีวภาพรวม (ตันต่อเฮกแตร์)

BA คือ พื้นที่หน้าตัดรวม (ตรต่อเฮกแตร์ตารางเม)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

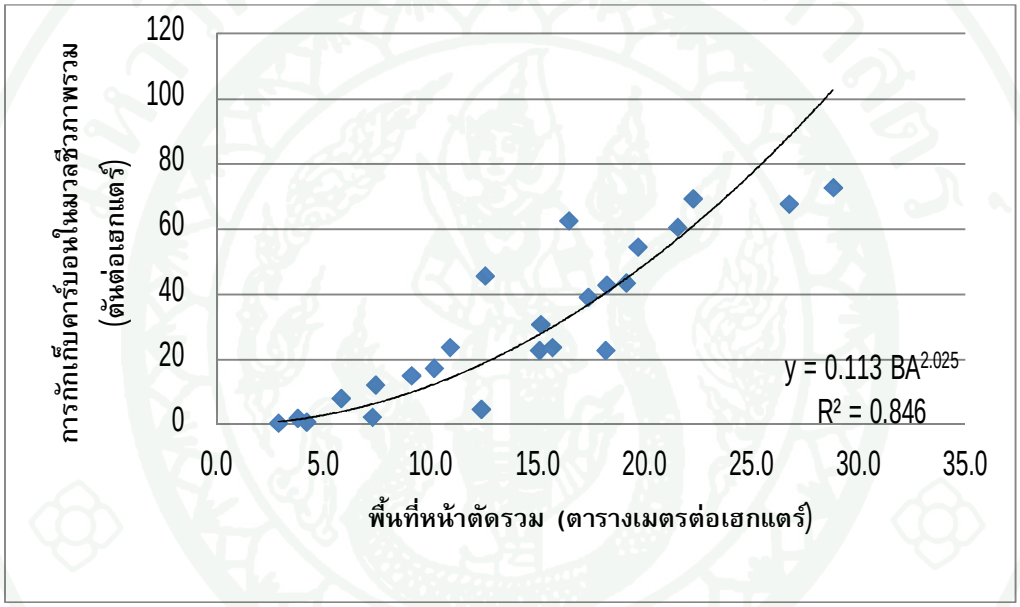
เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างพื้นที่หน้าตัดและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้สักชั้นอายุต่างๆ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

($p<0.01$) (ภาพที่ 12) โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการยกกำลัง (power function) โดยมีรูปแบบสมการ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2) เช่นกัน ดังนี้

$$C_t = 0.113\ BA^{2.025} \qquad r^2=0.846,\ n = 24 \qquad p < 0.01$$

เมื่อ C_t คือ การกักเก็บคาร์บอนมวลชีวภาพรวม (ตันต่อเฮกแตร์)
BA คือ พื้นที่หน้าตัดรวม (ตารางเมตรต่อเฮกแตร์)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดรวมและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

พื้นที่หน้าตัดเป็นตัวแปรที่ได้คำนวณจากการเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกจากการสำรวจภาคสนามที่สะดวกในการเก็บข้อมูลและง่ายต่อการวิเคราะห์และนำไปใช้ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่หน้าตัดกับมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน แสดงให้เห็นว่าสามารถนำพื้นที่หน้าตัดไปใช้ประเมินมวลชีวภาพได้เช่นเดียวกับการใช้สมการมวลชีวภาพเพื่อประเมินมวลชีวภาพ และ/หรือ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเป็นรายต้น แต่เนื่องจากการใช้สมการมวลชีวภาพอาศัยตัวแปรทางด้านความสูง ซึ่งทำการวัดได้ยาก และข้อมูลที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อนมาก ทำให้ปริมาณมวลชีวภาพ และ/หรือ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความผิดพลาดได้มากกว่าการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกอย่างเดียว ทั้งนี้การพัฒนาสมการแอลโลเมตรี เพื่อใช้ประเมินมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพโดยใช้ตัวแปร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

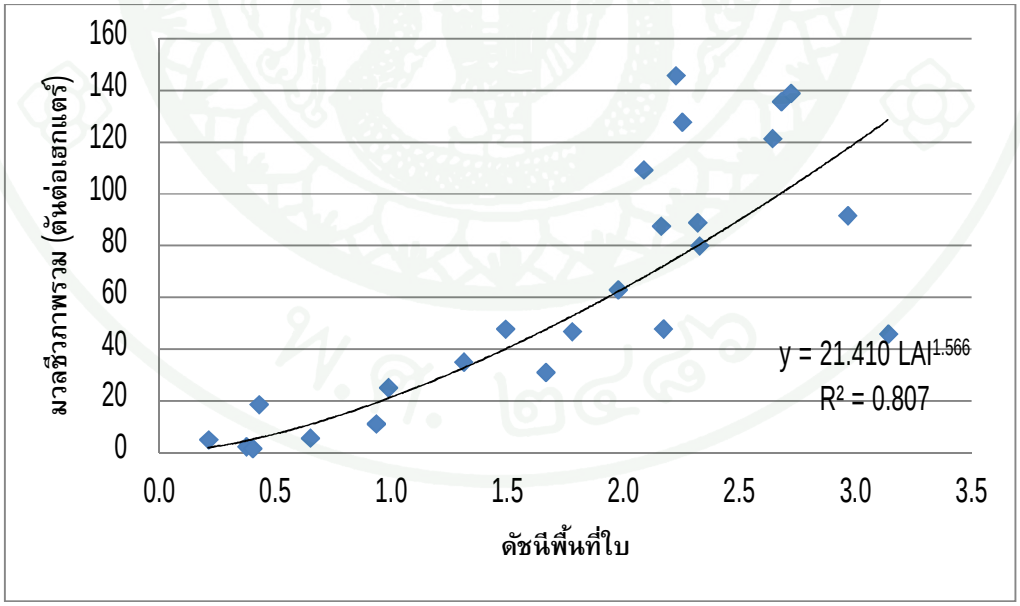
อิสระเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเพียงอย่างเดียวได้รับความนิยมมากขึ้น(Brown, 1997) แต่การนำสมการความสัมพันธ์ข้างต้นไปใช้ในพื้นที่อื่นๆ อาจต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติม

การประเมินมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพโดยใช้ดัชนีพื้นที่ใบ

ดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ชี้วัดการเติบโตและผลผลิตของป่าไม้ ที่เหมาะสำหรับการประเมินในพื้นที่กว้าง ในการศึกษาครั้งนี้จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ที่ทำการศึกษา พบว่า มวลชีวภาพรวมมีความสัมพันธ์กับดัชนีพื้นที่ใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) (ภาพที่ 13) โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการยกกำลัง (power function) โดยมีรูปแบบสมการ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2) ดังนี้

$$W_t = 21.410\ LAI^{1.566} \qquad r^2=0.807,\ n=24\ p < 0.01$$

เมื่อ W_t คือ มวลชีวภาพรวม (ตันต่อเฮกแตร์)
LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบ (ตารางเมตรต่อตารางเมตร)



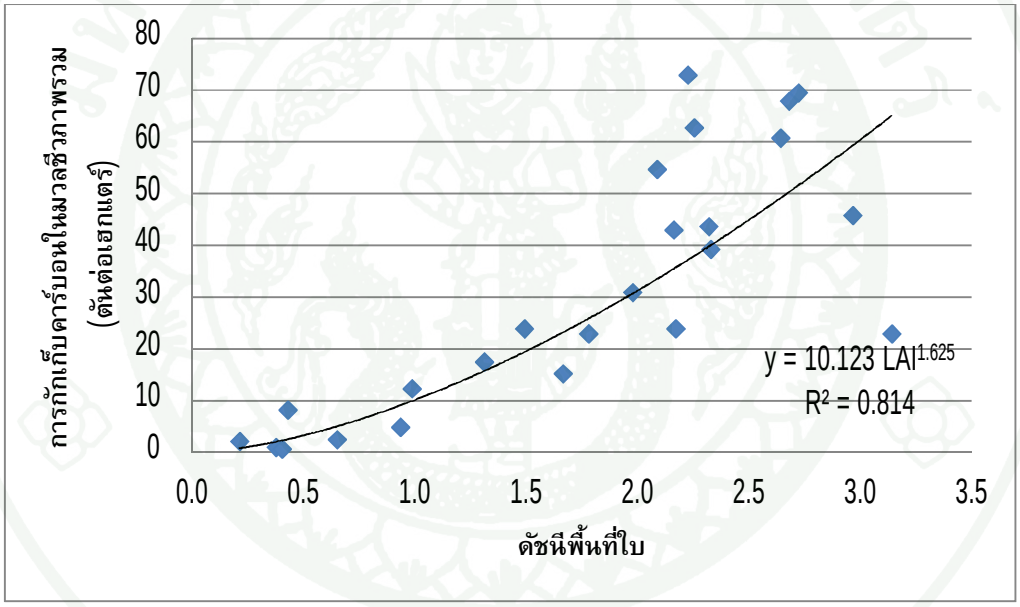
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างดัชนีพื้นที่ใบ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของไม้สักชั้นอายุต่างๆ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งสถิติ ($p<0.01$) (ภาพที่ 14) โดยมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการยกกำลัง (power function) โดยมีรูปแบบสมการ และค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination, r^2) เช่นกัน ดังนี้

$$C_t = 10.123\ LAI^{1.625} \qquad r^2=0.814\ ,\ n=24 \qquad p < 0.01$$

เมื่อ C_t คือ การกักเก็บคาร์บอนมวลชีวภาพรวม (ตันต่อเฮกแตร์)
LAI คือ ดัชนีพื้นที่ใบ (ตารางเมตรต่อตารางเมตร)



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของไม้สักชั้นอายุต่างๆ ในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ดัชนีพื้นที่ใบเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ชี้วัดการเติบโตและผลผลิตของป่าไม้ และมีวิธีการศึกษาได้หลายวิธีการ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ปัจจุบันการศึกษาดัชนีพื้นที่ใบโดยเทคนิค hemispherical photography เป็นวิธีการหนึ่งที่ให้ความถูกต้องสูงและสะดวกในการประเมินดัชนีพื้นที่ใบจากการสำรวจภาคสนามเป็นพื้นที่กว้าง จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีพื้นที่ใบและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน หรือการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน แสดงให้เห็นว่าสามารถนำดัชนีพื้นที่ใบไปใช้ประเมินมวลชีวภาพได้ และยังสามารถนำดัชนีพื้นที่ใบไปสร้างความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณ (vegetation index) จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม โดยเทคนิคการสำรวจระยะไกล (remote

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

sensing) เพื่อประเมินมวลชีวภาพ หรือการกักเก็บคาร์บอนเป็นพื้นที่กว้างต่อไป เช่น การนำเทคนิคการสำรวจระยะไกลมาประยุกต์เพื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพรวมและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพกับช่วงชั้นการปกคลุมเรือนยอดไม้ในบริเวณลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่างซึ่งประกอบด้วยป่าดิบเขา ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง ของลดาวัลย์ และคณะ (2553) พบว่าค่าช่วงชั้นการปกคลุมเรือนยอด (forest canopy density class) เมื่อนำมาประเมินมวลชีวภาพรวมของป่า และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด เท่ากับ 0.719 และ 0.897 ตามลำดับ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ใบกับมวลชีวภาพรวม และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของไม้สัก แต่การใช้เทคนิคทางด้านสำรวจระยะไกลสามารถประเมินมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในพื้นที่กว้างได้สะดวก และรวดเร็วกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ความสูงทั้งหมด เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก มวลชีวภาพของทุกๆ ส่วน ปริมาตรของลำต้น การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สัก ตลอดจนความเพิ่มพูนเฉลี่ยของมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าสักชั้นอายุต่างๆ ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี มีความแตกต่างระหว่างชั้นอายุ โดยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนของไม้สักส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่า โดยการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมเฉลี่ยระหว่าง 0.84 – 7.21 ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี แต่มีบางชั้นอายุที่มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเพิ่งมีการตัดขยายระยะ และ/หรือ เกิดจากความแตกต่างของคุณภาพพื้นที่ปลูก

2. ในการประเมินมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้สักในปี พ.ศ. 2552 ของสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีพื้นที่ปลูกไม้สักทั้งหมด 2,213.89 เฮกแตร์ พบว่า มีปริมาณมวลชีวภาพเหนือดินเท่ากับ 105,630.74 ตัน และมวลชีวภาพรวม 133,702.67 ตัน เมื่อคำนวณเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินมีค่าเท่ากับ 52,198.15 ตัน และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมมีค่าเท่ากับ 66,248.15 ตัน

3. จากการวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) พบว่า มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดรวม หรือ ดัชนีพื้นที่ใบ ในรูปสมการยกกำลังอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) ซึ่งสามารถใช้ตัวแปรดังกล่าวในการประเมินมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าสักได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ในการจัดการสวนป่าทองผาภูมิให้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญของประเทศไทย ควรมีการตัดฟันไม้ออกในอัตราที่ใกล้เคียงกับความเพิ่มพูนที่เกิดขึ้นในแต่ละปี และมีการปลูกทดแทนย่อมทำให้สวนป่าทองผาภูมิ นอกจากนี้หากนำไม้สักไปใช้ประโยชน์เนื้อไม้ที่มีอายุยืนนาน เช่น การสร้างบ้าน ทำเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ย่อมทำให้ไม้สักเหล่านี้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้นานตลอดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์เหล่านั้น

2. จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับพื้นที่หน้าตัด หรือดัชนีพื้นที่ใบ แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการนำค่าพื้นที่หน้าตัด ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะดวกในทางปฏิบัติ และดัชนีพื้นที่ใบซึ่งสามารถดำเนินการเป็นพื้นที่กว้างได้ดีกว่า ไปใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้สักของสวนป่าในพื้นที่ขนาดใหญ่ต่อไป

3. ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพ และดัชนีพืชพรรณ โดยเทคนิคการสำรวจระยะไกลเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2535. **สัมมนา 50 ปี สวนสักห้วยทากเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา มหาราชินี.** อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

_____. 2552. **คู่มือการปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2554. **ข้อมูลสถิติกรมป่าไม้.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพ

กรมพัฒนาที่ดิน. 2537.**รายงานการสำรวจดินจังหวัดกาญจนบุรี.** กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

กอบศักดิ์ วันธงไชย. 2540. **ผลของการตัดสางขยายระยะต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส กับไม้ประดู่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัณฑรีย์ บุญประกอบ. 2548ก. ความเชื่อมโยงของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับอนุสัญญาความหลากหลายทางชีวภาพ. เอกสารเสนอใน**การประชุมเชิงปฏิบัติการความหลากหลายทางชีวภาพด้านป่าไม้และสัตว์ป่า.** ณ โรงแรมรีเจนท์ ชะอำ วันที่ 22 สิงหาคม 2548.

_____. 2548ข. **การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**: ประมวลสถานภาพการศึกษา. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

กันตินันท์ ผิวสอาด. 2548. **คู่มือการวัดการเจริญเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า.** สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

กิติชัย เจริญขวัญ. 2531. **ความหนาแน่นและลักษณะโครงสร้างของผลผลิตของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 2 ปี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณะวนศาสตร์. 2553. **ดัชนีชี้วัดความสมบูรณ์ของป่าชายเลน.** รายงานฉบับสมบูรณ์. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะวนศาสตร์. 2554. **คู่มือศักยภาพของพรรณไม้ สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้.** อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

คณิต ม่วงนิล. 2531. **การวิเคราะห์ผลผลิตและเศรษฐกิจของการปลูกป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 3 ปี ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่างกัน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คมสัน เรืองฤทธิ์สาระกุล. 2543. **ความผันแปรตามฤดูกาลของดัชนีพื้นที่ผิวใบ ความเข้มแสงสัมพันธ์ และ Sap flow ของไม้สักในสวนป่าสักอายุ 19 ปี ที่ผ่านการตัดสางขยายระยะด้วยวิธีการต่าง ๆ ณ สวนป่าทองผาภูมิ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุรีพร สิริธัชชเยศ. 2550. **ตัวแบบการเติบโตและผลผลิตของไม้สักในสวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลิตา ศรีลัดดา. 2548. **อิทธิพลของโครงสร้างเรือนยอดต่อการเติบโต และการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติในสวนป่าชายเลน อำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชิงชัย วิริยะบัญชา และ ทศพร วัชรางกูร. 2544. ระบบการประเมินหาปริมาณการสะสมของธาตุคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ของประเทศไทย I. มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, น. 1–15. *ใน* **การประชุมทางวิชาการประจำปี 2544 วิกฤตสิ่งแวดล้อม.** คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.

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

ทศพร วัชรางกูร, ชิงชัย วิริยะบัญชา และ กันตินันท์ ผิวสอาด. 2548. การประมาณปริมาณการสะสมของคาร์บอนในต้นไม้ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย, น. 137-157. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีเกียวโต"** ณ โรงแรมมารวยการ์เด้น กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 4-5 สิงหาคม 2548. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นาฏสุดา ภูมิจำนง. 2547. แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้ และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต. *ใน* **เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้**. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในราก และคาร์บอนในดินของสวนป่าไม้สัก. **วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ** 5(2): 109-121.

นิวัฒน์ ภูผาสุข. 2553. **การประเมินการเก็บกับคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนป่าไม้สัก : กรณีศึกษาสวนป่าเกริงกระเวีย อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญเลิศ ศรีสุขใส. 2534. **การเจริญเติบโตและผลผลิตของไม้สักในสวนป่า อายุ 18 ปี องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

ประนอม ผาสุข. 2541. การใช้ภาพถ่ายเรือนยอดประมาณดัชนีพื้นที่ผิวใบของป่าเบญจพรรณผสมไผ่และสวนป่าสัก จังหวัดกาญจนบุรี, น. 40-58. *ใน* นิสิตปริญญาโท-เอก สาขาวิชาวนวัฒนวิทยา (ผู้รวบรวม). **สัมมนาวนวัฒน์ 579,697 ภาคปลาย ปีกการศึกษา 2540-2541**. คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. 2522. **วิธีการวิเคราะห์ลักษณะการเจริญเติบโตของพืช**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ. 2538. **ผลผลิตและการหมุนเวียนธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ.

พรศักดิ์ มีแก้ว, ประพาย แก่นนาค และ ประสิทธิ์ เพียรอนุรักษ์. 2548. การทดลองถิ่นไม้สัก, น. 7-20. *ใน* **รายงานวนวัฒนวิจัย ประจำปี 2548** . กรมป่าไม้.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รัศมี นันทนิ. ม.ป.ป. **การสืบต่อพันธุ์ และการเจริญเติบโตทางธรรมชาติของกล้าไม้ไผ่ผากท้องที่สวนป่าทองผาภูมิ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.** ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลดาวัลย์ พวงจิตร, เชาวลิน ศิลปทอง, กัมปนาท ดีอุดมจันทร์, อมรชัย ประกอบยา, ยุทธภูมิ โพธิราชา และกฤษกร อุ้ยนิรันดรกุล. 2553. **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการพัฒนาเส้นอ้างอิงสำหรับประเทศไทยตามกลไก** Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries (REDD). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2539. **ผลผลิตและประเมินผลผลิตของสวนป่า องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.** คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สคาร ทีจันทึก. 2540. **สมบัติของชั้นผิวหน้าและการเจริญเติบโตของพรรณไม้ที่ปลูกแบบผสม ในสวนป่าทองผาภูมิ กาญจนบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมหวัง หวังเศรษฐกุล. 2540. **การเพิ่มปริมาณกล้าสักจากเมล็ดพันธุกรรมดีโดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สวนป่าทองผาภูมิ. ม.ป.ป. **สวนป่าทองผาภูมิ.** องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, จงรัก วัชรินทร์รัตน์ และ ธีระพงศ์ ชุมแสงศรี. 2553. **รายงานฉบับสมบูรณ์ การพัฒนาเทคนิคเพื่อการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ธิติ วิสารัตน์, สำเริง ปานอุทัย, ภาณุมาศ ลาดปาละ, สิริรัตน์ จันทร์มหเสถียร และ ศุภรัตน์ สำราญ. 2548. วัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง, น. 77-94. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ "ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีเกียวโต"** ณ โรงแรมมารวยการ์เด้น กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 4-5 สิงหาคม 2548. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มปป. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

เสริมพงศ์ นวลงาม. 2545. **บทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าต่อการกักเก็บคาร์บอนและคุณสมบัติของดินบางประการ ที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่าจังหวัดนครราชสีมา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชาต ขาวสะอาด. 2531. **ข้อมูลการเจริญเติบโตของไม้สักในสวนป่าภาคเหนือ**. ศูนย์ปรับปรุงพันธุ์ ไม้สัก งาว, ลำปาง.

_____, สมเกียรติ จันทร์ไพแสง, วีระพงษ์ สวงโท, ทวี ไชยเรืองศิริกุล และประสิทธิ์ เพียรอนุรักษ์. 2536. ไม้สัก, น. 4-24. *ใน* **การปลูกไม้ป่า: หนังสือคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐตามโครงการพัฒนาป่าชุมชน พ.ศ**. 2536. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

_____, สมเกียรติ จันทร์ไพแสง, วีระพงษ์ สวงโท, ทวี ไชยเรืองศิริกุล และประสิทธิ์ เพียรอนุรักษ์. 2538. **ไม้สัก**. วนสาร 53 (ฉบับพิเศษ): 71-86 น.

อรวรรณ พรานชัย. 2546. **การฟื้นฟูป่าชายเลนบนพื้นที่นากุ้งร้างบริเวณอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรุณี ภู่สุดแสวง. 2545. **การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสรีระ และโครงสร้างเรือนยอดของไม้ตีนเป็ดที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่างกัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aboal, J.R., J.R. Arevalo and A. Fernandez. 2005. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants 200 (3): 264-274.

Araujo, T.M., N. Higuchi and J.A. Carvalho. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para, Brazil. Forest Ecology and Management 117 (1-3): 43-52.

Arevalo, C.B.M., T.A. Volk, E. Bevilacqua and L. Abrahamson. 2007. Development and validation of aboveground biomass estimations for four Salix clones in central New York. Biomass and Bioenergy 31 (1): 1-12.

Atipanumpai, L. 1989. *Acacia mangium*: studies on the genetic variation in ecological and physiological characteristics of fast- growing plantation tree species. Acta Forestalia Fennica 206, 90 p.

Brown, S. 1997. Estimation Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: a Primer (FAO Forestry Paper-134). FAO, United Nations, Rome.

Buckley, L. 2007. Carbon emissions reach record high. Available Source: http://www.earth-policy.org/Indicators/CO2/2004.htm, July 12, 2007.

Cole, S. P., K. C. Woo, D. Eamus, C. E. Harwood and M. W. Haines. 1994. Field measurement of net photosynthesis and related parameters in four provenances of *Acacia auriculiformis*. Australian Journal of Botany 42: 457 – 470

Cole, T.G. and J.J. Ewel. 2006. Allometric equations for four valuable tropical tree species. Forest Ecology and Management 229 (1-3): 351-360.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Frazer, G. W., Canham, C.D., and Lertzman, K. P. 1999. Gap light analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Copyright © 1999: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.

Goodale, C.L., M.J. Apps, R.A. Birdsey, C.B. Field, L.S. Heath, R.A. Houghton, J.C. Jenkins, G.H. Kohlmaier, W. Kurz, S. Liu, G. Nabuurs, S. Nilsson and A.Z. Shvidenko. 2002. Forest carbon sinks in the northern hemisphere. Ecol. App. 12: 891-899.

Grace, J. and Y. Balmahi. 2002. Global change-carbon dioxide goes with the flow. Nature 416: 594-595.

Hall, D.O., J.M.O.Scurlock, H.R. Bolhar-Nordenkampf, R.C. Leegood and S.P. Long. 1993. Photosynthesis and Production in a Changing Environment: A Field and Laboratory Manual. Chapman & Hall, London.

IPCC. 1996. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

_____. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry. Institute for Global Environment Strategies (IGES), Hayama.

_____. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change. IGES, Japan.

Keiding, H., E.B. Lauridsen and H. Wellendorf. 1989. Evaluation of a series of teak and gmelina provenance trial. Commonw. For. Inst. 2: 30-69.

Ketterings, Q.M., R. Coe, N.M. Van, Y. Ambagau and C.A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forest. Forest Ecology and Management. 146 (1-3): 199-209.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kira, T. and T. Shidei. 1967. Primary production and turnover to organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. Japanese Journal of Ecology. 17:70-87.

Koonkhunthod, N., K. Sakurai and S. Tanaka. 2007. Composition and diversity of woody regeneration in a 37-year-old teak (*Tectona grandis* L.) plantation in Northern Thailand. Forest Ecology and Mamgement. 247: 246–254.

Kozlowski, T.T., P.J. Kramer and S.G. Pallardy. 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press Inc., USA.

Locatelli, B., M. Kanninen, M. Brockhaus, C.J.P. Colfer, D. Murdiyarso and H. Santoso. 2008. Facing an uncertain future: How forests and people can adapt to climate change. Forest Perspectives No.5. CIFOR, Bogor.

Meunpong, P., C. Wachrinrat and B. Thaiutsa, M. Kanzaki and K. Meekaew. 2010. Carbon Pools of Indigenous and Exotic Tress Species in a Forest Plantation, Prachuap Khirikhan, Thailand. Kasetsart Journal: Natural Science . 44 : 1044 - 1057

Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum. 15: 473-497.

Nabuurs, G.J., O. Masera, K. Andrasko, P. Benitez-Ponce, R. Boer, M. Dutschke, E. Elsiddig, J. Ford-Robertson, P. Frumhoff, T. Kajalainen, O. Krankina, W.A. Kurz, M. Matsumoto, W. Oyhantcabal, N.H. Ravindranath, M.J. Sanz Sanchez and X. Zhang. 2007. Forests. *In* B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer (eds.), Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nair, K.R. and H.K. Mukerji. 1957. A statistical study of variability of physical and mechanical properties of *Tectona grandis* (teak) grown at different localities of India and Burma and the effects of the variabilities on the choice of the sampling plan. Indian Forest Records (Statistical) . 1(1): 41-49.

Norman, J.M. and G.S. Campbell. 1991. Canopy structure, pp. 301-325. In R.E. Pearcy, J. Ehleringer, H.A. Mooney and P.W. Rundel eds. Plant Physiology Ecology : Field Method and Instrumentation. Chapman and Hall, London.

Odum, E.P. 1963. Organic production and turnover in old – field succession. Ecology.

Ogawa, H. and T. Kira, 1977. Method of Estimating Foorest Biomass. JIPB Systhesis : 16. The University of Toykyo Press, Toykyo. 44 p.

Overman, J.P.M., H.J.L. Witte and J.G. Saldarriaga. 1994. Evaluation of regression models for above ground biomass determination in Amazon rainforest. Journal of Tropical Ecology. 10: 207-218

Petsri, S., N. Pumijumnong, C. Wacharinrat and S. Thoranisorn. 2007. Aboveground carbon content in mixed deciduous forest and teak plantations. Environment and Natural Resources Journal. 5(1): 1-10.

Phillips, O.L., Y. Malh, N. Higuchi, W.F. Laurance, V. Nóñez, R.M. Vásquez, S.G. Laurance, L. V. Ferreira, M. Stern, S. Brown and J. Grace. 1998. Changes in the balance of tropical forests: Evidence from long-term plots. Science. 282: 439-442.

Pumijumnong, N. and J. Techamahasaranont. 2009. Climate Change impact on forest area in Thailand, pp. 143 – 157. *In* L. Puangchit and S. Diloksumpun (eds.), Tropical Forestry Change in a Changing World Volume 2: Tropical Forests and Climate Change. Proceeding or the FORTROP II International Conference. Kasetsart University, Bankkok.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Royampaeng, S. 2001. Phsiology of Intraspecific and Interspecifio Hybrids of Acacia auriculiformis A. Cunn.ex Benth. Ph.D. Thesis, Northern Territory University.

Sampson, N. and T. Hamilton. 1992. Can trees really help fight global warming. American Forests. 98:13-16.

Scott, C.W. and W.D. McGregor. 1952. Fast-grown wood, its features and value, with special reference to conifer planting in the United Kingdom since 1919. Oxford Journals. 26(2): 123-140

Walker, J.C.F., B.G. Butterfield, T.A.G. Langrish, J.M. Harris and J.M. Uprichard. 1993. Primary Wood Processing. Chapman & Hall, London.

Watson, C. 2009. Forest Carbon Accounting: Overview & Principles. UNDP: CDM Capacity Development in Eastern and Southern Africa. Available Source: http://www.undp.org/climatechange/carbon-finance/Docs/Forest%20Carbon%20Accounting%20-%20Overview%20&%20Principles.pdf, 15 February 2010

.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 การตัดขยายระยะไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ ณ สวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

แปลงปี พ.ศ.	อายุ (ปี)	ปี พ.ศ. ที่ตัดขยายระยะ		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2548	4	-	-	-
2546	6	-	-	-
2544	8	-	-	-
2543	9	-	-	-
2540	12	-	-	-
2537	15	-	-	-
2536	16	2549	-	-
2534	18	2550	-	-
2531	21	2546	-	-
2529	23	n.a.	2544	-
2527	25	n.a.	2542	-
2524	28	n.a.	2544	2549
2521	31	n.a.	2541	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 ความหนาแน่น ความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height, DBH) ของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	แปลงที่	ความหนาแน่น (ต้นต่อเฮกแตร์)	ความสูง (เมตร)	DBH (เซนติเมตร)
4	1	442	4.75	4.89
	2	458	4.90	4.22
6	1	375	7.14	7.62
	2	342	9.13	10.40
9	1	564	8.38	10.67
	2	492	6.15	6.59
12	1	564	9.40	13.32
	2	422	11.24	12.14
15	1	603	18.18	16.95
	2	611	17.90	18.54
16	1	411	16.32	16.55
	2	342	16.99	17.00
18	1	328	19.80	22.77
	2	331	19.13	21.79
21	1	328	13.26	16.62
	2	297	14.24	19.81
23	1	244	24.43	28.48
	2	219	23.36	28.71
25	1	217	24.92	31.77
	2	258	23.40	29.71
28	1	97	23.07	29.22
	2	125	29.00	37.05
31	1	161	17.77	24.78
	2	194	19.39	24.69

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 พื้นที่หน้าตัดรวม พื้นที่เรือนยอด และดัชนีพื้นที่ใบของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	แปลงที่	พื้นที่หน้าตัดรวม (ตารางเมตร/เฮกแตร์)	พื้นที่เรือนยอด (ตารางเมตร)	ดัชนีพื้นที่ใบ (ตารางเมตร/ตารางเมตร)
4	1	1.22	4.2	0.37
	2	0.87	2.89	0.40
6	1	2.72	7.27	0.65
	2	5.20	12.36	0.93
9	1	5.59	5.81	0.43
	2	2.13	3.79	0.21
12	1	8.64	9.1	1.66
	2	7.59	7.42	0.99
15	1	13.80	19.14	2.32
	2	15.70	16.45	2.25
16	1	12.40	15.14	1.98
	2	13.13	15.08	1.78
18	1	15.14	18.23	2.16
	2	16.05	17.36	2.33
21	1	8.77	10.16	1.31
	2	11.84	10.91	1.49
23	1	26.77	21.54	2.64
	2	22.60	19.68	2.09
25	1	28.38	22.26	2.72
	2	34.60	26.75	2.68
28	1	18.64	15.69	2.17
	2	20.46	28.81	2.22
31	1	31.86	18.18	3.14
	2	29.02	12.54	2.96

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 มวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ (เฉลี่ยรายต้น)

อายุ (ปี)	มวลชีวภาพ (กิโลกรัม/ต้น)					ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวม (กิโลกรัม/ต้น/ปี)
	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือพื้นดิน	รวม	
4	3.20	0.44	0.39	4.03	5.12	1.28
	2.07	0.30	0.26	2.63	3.34	0.84
6	9.48	1.22	1.06	11.76	14.94	2.49
	20.85	2.50	2.19	25.54	32.44	5.41
9	21.17	2.53	2.22	25.92	32.92	3.66
	6.32	0.84	0.73	7.89	10.02	1.11
12	35.61	4.06	3.57	43.24	54.91	4.58
	38.70	4.33	3.81	46.84	59.49	4.96
15	96.85	10.18	8.97	116.00	147.32	9.82
	139.26	13.37	11.83	164.46	208.86	13.92
16	101.44	10.13	8.95	120.52	153.06	9.57
	89.77	9.52	8.39	107.68	136.75	8.55
18	176.82	17.72	15.65	210.19	266.94	14.83
	159.91	16.14	14.25	190.30	241.68	13.43
21	69.87	7.55	6.65	84.07	106.77	5.08
	105.95	10.89	9.61	126.45	160.60	7.65
23	331.67	31.37	27.79	390.83	496.35	21.58
	332.76	31.40	27.82	391.98	497.81	21.64
25	429.78	39.59	35.11	504.48	640.69	25.63
	351.13	32.99	29.23	413.35	524.95	21.00
28	328.11	31.12	27.56	386.79	491.22	17.54
	789.40	67.75	60.26	917.41	1165.11	41.61
31	188.64	18.77	16.59	224.00	284.48	9.18
	317.39	28.20	25.04	370.63	470.70	15.18

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาตร และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ (เฉลี่ยรายต้น)

อายุ (ปี)	ปริมาตร (ลบ.ม./ต้น)	ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของปริมาตร (ลบ.ม./ต้น/ปี)
4	0.009	0.002
	0.006	0.001
6	0.024	0.004
	0.051	0.009
9	0.052	0.006
	0.017	0.002
12	0.084	0.007
	0.090	0.008
15	0.215	0.014
	0.289	0.019
16	0.217	0.014
	0.201	0.013
18	0.380	0.021
	0.345	0.019
21	0.156	0.007
	0.232	0.011
23	0.683	0.030
	0.684	0.030
25	0.868	0.035
	0.719	0.029
28	0.677	0.024
	1.348	0.048
31	0.403	0.013
	0.452	0.015

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 6 มวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI)) ของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	มวลชีวภาพ (ตัน/เฮกแตร์)					ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพรวม (ตัน/เฮกแตร์/ปี)
	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือพื้นดิน	รวม	
4	1.41	0.19	0.17	1.77	2.26	0.57
	0.95	0.14	0.12	1.21	1.53	0.38
6	3.56	0.46	0.40	4.42	5.60	0.93
	7.12	0.85	0.75	8.72	11.08	1.85
9	11.94	1.43	1.25	14.62	18.56	2.06
	3.11	0.41	0.36	3.88	4.93	0.55
12	20.08	2.29	2.01	24.38	30.97	2.58
	16.34	1.83	1.61	19.78	25.12	2.09
15	58.38	6.14	5.41	69.93	88.80	5.92
	85.10	8.17	7.23	100.50	127.64	8.51
16	41.70	4.16	3.68	49.54	62.92	3.93
	30.67	3.25	2.87	36.79	46.72	2.92
18	57.96	5.81	5.13	68.90	87.50	4.86
	52.86	5.34	4.71	62.91	79.89	4.44
21	22.90	2.47	2.18	27.55	35.00	1.67
	34.49	3.24	2.86	40.59	47.73	2.27
23	81.07	7.67	6.79	95.53	121.33	5.28
	73.02	6.89	6.10	86.01	109.24	4.75
25	93.12	8.58	7.61	109.31	138.82	5.55
	90.71	8.52	7.55	106.78	135.61	5.42
28	31.90	3.03	2.68	37.61	47.76	1.71
	98.60	8.47	7.53	114.60	145.64	5.20
31	30.39	3.02	2.67	36.08	45.83	1.48
	61.71	5.48	4.87	72.06	91.53	2.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ (ปี)	ปริมาตร (ลบ.ม./เฮกแตร์)	ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของปริมาตร (ลบ.ม./เฮกแตร์/ปี)
4	3.85	0.96
	2.69	0.67
6	9.13	1.52
	17.44	2.91
9	29.14	3.24
	8.17	0.91
12	47.39	3.95
	38.02	3.17
15	129.73	8.65
	176.67	11.78
16	89.17	5.57
	68.62	4.29
18	124.43	6.91
	114.09	6.34
21	51.11	2.43
	68.83	3.28
23	166.90	7.26
	150.09	6.53
25	188.04	7.52
	185.83	7.43
28	65.81	2.35
	168.48	6.02
31	64.92	2.09
	87.82	2.83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 8 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ และความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของไม้สักชั้นอายุต่าง ๆ

อายุ	การกักเก็บคาร์บอน (ตันต่อเฮกแตร์)					ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ
	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	เหนือพื้นดิน	รวม	(ตันต่อเฮกแตร์ต่อปี)
4	0.63	0.09	0.08	0.80	1.00	0.25
	0.42	0.06	0.05	0.53	0.68	0.17
6	1.58	0.20	0.18	1.96	2.48	0.41
	3.16	0.38	0.33	3.87	4.91	0.82
9	5.29	0.63	0.56	6.48	8.23	0.91
	1.38	0.18	0.46	2.02	2.18	0.24
12	9.87	1.13	0.99	11.99	15.22	1.27
	8.03	0.90	0.79	9.72	12.35	1.03
15	28.70	3.02	2.66	34.38	43.65	2.91
	41.84	4.02	3.55	49.41	62.75	4.18
16	20.50	2.05	1.81	24.36	30.93	1.93
	15.08	1.60	1.41	18.09	22.97	1.44
18	28.49	2.86	2.52	33.87	43.01	2.39
	25.99	2.62	2.32	30.93	39.27	2.18
21	11.47	1.24	1.09	13.80	17.52	0.83
	15.77	1.62	1.43	18.82	23.90	1.14
23	40.59	3.84	3.40	47.83	60.75	2.64
	36.56	3.45	3.06	43.07	54.70	2.38
25	46.62	4.29	3.81	54.72	69.51	2.78
	45.42	4.27	3.78	53.47	67.90	2.72
28	15.97	1.51	1.34	18.82	23.91	0.85
	49.41	4.24	3.77	57.42	72.92	2.60
31	15.22	1.51	1.34	18.07	22.95	0.74
	30.90	2.75	2.44	36.09	45.83	1.48

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวชนิตา ทองฝาก
วัน เดือน ปี ที่เกิด	24 เมษายน 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดนนทบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	58/2 หมู่ที่ 1 ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ประวัติการทำงาน	พนักงานราชการ ตำแหน่งนักวิชาการป่าไม้ สำนักอุทยานแห่งชาติ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช (ระยะเวลา สิงหาคม 2551 ถึง เมษายน 2552) ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการการพัฒนาเทคนิคเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก (ระยะเวลา เมษายน 2552 ถึง มีนาคม 2553)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการขยายส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของคาร์บอน น้ำ และพลังงานในระบบนิเวศ: การประเมินความสมดุลและความไม่แน่นอน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยสอน ระดับบัณฑิตศึกษา ประจำภาคปลาย ประจำปีการศึกษา 2553 ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ประจำปี 2555 ของคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์