

นัยของการจัดการผลผลิตมวลชีวภาพและการเก็บสะสมคาร์บอน  
ในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาสดูเลนซิสที่ปลูกในที่ดินรกร้าง 3 ประเภท  
ในประเทศไทย

MANAGEMENT IMPLICATION IN BIOMASS PRODUCTION AND  
CARBON SEQUESTRATION OF EUCALYPTUS CAMALDULENSIS  
DEHN, PLANTATIONS PLANTED ON 3 WASTELAND TYPES IN  
THAILAND

.....

พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู<sup>1</sup>

**ABSTRACT**

Management implication in biomass production and carbon sequestration in *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types in Thailand was carried out at Takuapa wasteland after tin mining on the sand deposit soils, Ratchaburi wasteland after an over-cutting trees for small-sized firewood production and on lateritic soils and at Somdet wasteland abandoned after slashing and burning forest land for cassava planting and on sandy loam soils. Various experimental treatments were applied for planting this tree species and growth together with survival of trees were recorded periodically for 8 periods in each site for all nearly 5 years. The investigations included the biomass production in response to the treatments applied and change with the stand ages along with the estimation of carbon sequestration in total biomass production of this tree species. The results of investigation suggested that biomass production of this tree species varied correspondingly to the treatments applied in different site quality of the wasteland and stand ages due to the difference in soil fertility conditions in the 3 wasteland types and in 3 sites by which they were in the range of very infertile to the moderate ones in sand deposit, lateritic and sandy loam soils respectively. The appropriate treatments suggested for ameliorating these wastelands besides the plowing prior to tree transplanting in every sites, mulching with *Imperata cylindrica* grass elevated biomass production to be better than other treatments as well as mixing slime with chemical fertilizer and

---

<sup>1</sup> อติตอจารย์ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Corresponding e-mail: fforpss@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 2 มิถุนายน 2551

รับลงพิมพ์ 12 มิถุนายน 2551

compost filled into the planting holes exhibited the largest biomass production in sand deposit soils of wasteland after tin mining at Takuapa. Biomass production of this tree species on wasteland with lateritic soils at Ratchaburi highly varied due to the heterogeneous distribution of laterite in soil horizon, however intercropping with some agronomic crops as well as mixed planting in alternate rows with some slow growing tree species, demonstrated the best biomass production in this wasteland type as the former treatment was helpful by frequent hoe plowing and the latter one was beneficial from the wide planting space. On the wasteland with sandy loam soils at Somdet, narrow planting space or high stand density provided the greatest biomass production as compared to other treatments. The investigation was carried out further to obtain the management options by finding out the optimal rotation length for regulating the biomass production for economic benefit and other uses. The analyses were achieved from the relationships between biomass accumulation and stand age using a simple logistic growth model together with the CAI and MAI determination in all stands. The analyses were also for enhancing the potential of the sites for biomass production and carbon sequestration due to stand ages. The studies recommended two management options for these plantations as for tree harvesting at the optimal rotation length or for reserving the carbon sequestration sources in the sites for either economic or environmental conservation purposes. Thus, the studies were considered to demonstrate the management implication in biomass production and carbon sequestration starting from tree planting to harvesting for alternative use or reservation of trees planted in the rehabilitation scheme of 3 wasteland types in Thailand.

## บทคัดย่อ

การศึกษานัยของการจัดการผลผลิตมวลชีวภาพและการเก็บสะสมคาร์บอนในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิสที่ปลูกในที่ดินรกร้าง 3 ประเภทในประเทศไทย ได้ดำเนินการที่ตะกั่วป่าในที่ดินรกร้างภายหลังการทำเหมืองแร่ดีบุกและเป็นดินทรายจัด ที่ราชบุรีในที่ดินรกร้างภายหลังการตัดไม้พืชนขนาดเล็กจนเกินกำลังผลิตของป่าและเป็นดินลูกรังและในที่ดินรกร้างภายหลังการตัดไม้เฒ่าป่าและปลูกมันสำปะหลังแล้วทิ้งร้างไว้และเป็นดินร่วนปนทราย โดยการใช้มาตรการต่างๆในการทดลองปลูก ทำการเก็บข้อมูลการเติบโตและการรอดตายของต้นไม้เป็นระยะๆรวมทั้งที่ละ 8 ครั้งจนกระทั่งต้นไม้มีอายุประมาณเกือบ 5 ปีและศึกษาปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้รับจากการใช้มาตรการเหล่านั้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของสวนป่าและประมาณหาปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมอยู่ในมวลชีวภาพทุกส่วนรวมกันของต้นไม้ การศึกษาพบว่าปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพของต้นไม้ชนิดนี้ผันแปรไปตามการตอบสนองต่อมาตรการต่างๆที่ใช้ในที่ดินรกร้างที่มีคุณภาพของท้องที่ที่แตกต่างกันและตามอายุของสวนป่าเนื่องจากที่ดินรกร้างทั้ง 3 ประเภทและใน 3 ท้องที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินตั้งแต่เล็กน้อยมากถึงปานกลางตามลำดับในที่ดินที่เป็นทรายจัด ดินลูกรังและดินร่วนปนทราย มาตรการที่ใช้ได้ผลดีในที่ดินเหล่านี้นอกจากการไถพรวนดินก่อนการปลูกต้นไม้ชนิดนี้ในทุกท้องที่แล้วนั้น การคลุมดินด้วยหญ้าคาทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้นและได้ผลผลิตสูงสุดที่สุดเมื่อทำการผสมดินเลนแห้งเข้ากับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักแล้วบรรจุลงในหลุมปลูกในที่ดินที่เป็นดินทรายจัดที่ตะกั่วป่า การปลูกในที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังที่ราชบุรีนั้นพบว่ามีผลผลิตผันแปรมากจากความไม่สม่ำเสมอของดินลูกรังในชั้นดินแต่การปลูกพืชเกษตรบางชนิดควบและมีการพรวนดินช่วยให้ได้ผลผลิตสูงขึ้นเช่นเดียวกับการปลูกด้วยระยะปลูกที่ห่างขึ้นเพื่อปลูกต้นไม้ชนิดอื่นที่โตช้ากว่าแทรกในระหว่างแถว ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินร่วนปนทรายที่สมเด็จพระการปลูกด้วยระยะปลูกแคบหรือปลูกด้วยความหนาแน่นสูงทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่ามาตรการอื่นๆ ได้ทำการวิเคราะห์นัยของการจัดการผลผลิตมวลชีวภาพต่อไปจากการศึกษาหาอายุการตัดฟันที่เหมาะสมเพื่อนำผลผลิตมวลชีวภาพของต้นไม้ไปใช้ประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจและทางด้านอื่น ซึ่งได้จากการวิเคราะห์การสะสมมวลชีวภาพตามอายุโดยการใช้โมเดลในรูปลอจิสติกส์ร่วมกับการวิเคราะห์หาอัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพรายคาบและอัตราการเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีในทุกท้องที่ ซึ่งนอกจากจะทำให้ทราบศักยภาพของที่ดินรกร้างแต่ละประเภทในการสะสมผลผลิตมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุและคุณภาพของท้องที่แล้วยังทราบปริมาณการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมทุกส่วนของต้นไม้ด้วย ได้เสนอทางเลือกในการใช้ประโยชน์จากสวนป่าที่ปลูกในที่ดินรกร้างทั้ง 3 ประเภทนี้ใน 2 แนวทางคือทำไม้ออกเมื่อมีอายุการตัดฟันที่เหมาะสมหรือเก็บต้นไม้ไว้ต่อไปเพื่อเป็นแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนในที่ดินรกร้างทุกแห่งให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจและการปรับปรุงสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้จึงเป็นการแสดงถึงนัยของการจัดการผลผลิตและการเก็บสะสมคาร์บอนตั้งแต่การปลูกไปจนกระทั่งถึงการเลือกตัดฟันต้นไม้ไปใช้ประโยชน์หรือเก็บไว้จากโครงการฟื้นฟูที่ดินรกร้างทั้ง 3 ประเภทในประเทศไทย

## คำนำ

การทำลายป่าเพื่อใช้ในกิจกรรมทางด้านการเกษตรและทางอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การทำเหมืองแร่ดีบุกที่แพร่หลายอยู่ในบางจังหวัดในภาคใต้ การทำอุตสาหกรรมดินเผาในจังหวัดราชบุรีซึ่งมีการตัดไม้เพื่อเป็นไม้ฟืนจนเกินกำลังผลิตของป่า และการทำไร่มันสำปะหลังในหลาย ๆ จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้ก่อให้เกิดผลกระทบหลายประการต่อสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ที่เห็นได้ชัดที่สุดคือก่อให้เกิดการขาดแคลนไม้ใช้สอยในครัวเรือนขาดแคลนไม้ฟืนเพื่อใช้ในการหุงต้มและเพื่อการทำอุตสาหกรรมดินเผา ดินถูกทำลายลงจนแทบหมดสภาพความอุดมสมบูรณ์ เกิดการทับถมของอนุภาคดินในร่องน้ำ ทำให้แม่น้ำลำคลองตื้นเขินและเกิดอุทกภัยเป็นประจำทุกปี มีการละทิ้งที่ดินที่เสื่อมสภาพอันไม่เหมาะสมสำหรับการเกษตรและอุตสาหกรรมอย่างเดิมต่อไปได้ให้เป็นที่รกร้างว่างเปล่า ที่เป็นที่ยู้งกันในเรื่องที่เรียกกันว่า Wasteland หรือ spoil land หรือ degraded land ให้พบเห็นได้ทั่วไป ที่เป็นปัญหาและได้รับการกล่าวขวัญกันในเรื่องนี้ อย่างแพร่หลายคือก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน อันเนื่องมาจากการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศเป็นปริมาณมากจากกิจกรรมทั้งทางการเกษตรและการอุตสาหกรรม การปลูกป่าขึ้นมาใหม่ในที่รกร้างว่างเปล่านั้น นอกจากจะช่วยบรรเทาภาวะขาดแคลนไม้สำหรับใช้สอยแล้วจะเป็นการช่วยในการฟื้นฟูสภาวะแวดล้อมที่เสื่อมโทรมลงได้ทางหนึ่ง

การวัดผลสำเร็จของการปลูกป่าไม่ว่าจะปลูกลงไปในที่ใดก็ตามโดยปกติจะวัดออกมาเป็น

ผลผลิตของเนื้อไม้ซึ่งจะนำไปจัดการให้ได้ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจ แต่โดยธรรมชาติของการผลิตเนื้อไม้นั้นเกิดจากการสะสมคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ คาร์บอนที่สะสมอยู่ในต้นไม้นี้เป็นผลมาจากกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศโดยต้นไม้ซึ่งเป็นพืชสีเขียวที่มีคลอโรฟิลล์ประกอบอยู่ในใบไม้ไปทำปฏิกิริยากับน้ำที่ต้นไม้ดูดขึ้นมาจากดินและใช้แสงอาทิตย์เป็นตัวทำปฏิกิริยา ทำให้คาร์บอนถูกเก็บสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้พร้อมทั้งเก็บสะสมพลังงานไว้ในส่วนต่าง ๆ นั้นด้วย การวัดปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอนในต้นไม้จึงเป็นการเก็บสะสมคาร์บอนเอาไว้ชั่วคราวเรียกว่า carbon sequestration หรือ carbon storage แต่คาร์บอนที่มีอยู่ในบรรยากาศมีการเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัวตั้งแต่โลกนี้ได้พัฒนาเข้ามาสู่ยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานจากการเผาซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel) ร่วมกับการเกษตรที่มีการตัดไม้เผาป่าและ/หรือมีการไถพรวนดินอย่างรุนแรงด้วยเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในทางธรรมชาตินั้นคาร์บอนที่ถูกต้นไม้ตรึงหรือเก็บสะสมไว้นั้นมีการเคลื่อนย้ายเข้าออกได้ (flux) คือมีการเคลื่อนย้ายเข้ามาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเคลื่อนย้ายออกไปในรูปของก๊าซเช่นกัน ซึ่งกระบวนการนำคาร์บอนไดออกไซด์เข้ามาในการสังเคราะห์แสงและในขณะเดียวกันก็มีการเคลื่อนย้ายออกไปในการหายใจของทั้งต้นไม้ที่มีชีวิตอยู่และส่วนที่ตายลงแล้วในขณะที่มีการสลายตัวลงเรียกว่าเกิด decomposition ยกเว้นแต่ว่าการกลับไปเป็นก๊าซสู่บรรยากาศด้วยการเผาไหม้ เช่น การเผาป่าซึ่งอาจจะเกิดจากไฟป่าในธรรมชาติ หรือมนุษย์ทำการเผาป่าที่มีการตัด

ไม้ลงหรือไม่ตัดลงก็ตาม เส้นทางตามธรรมชาติของการเคลื่อนย้ายคาร์บอนเช่นนี้เรียกว่าเกิดการหมุนเวียน หรือ carbon cycling และจะเกิดเป็นนิจลิน ถ้าไม่มีอะไรไปขัดขวางกระบวนการดังกล่าว การวัดผลของการปลูกป่าด้วยการวัดการเก็บสะสมและการหมุนเวียนของคาร์บอนจึงเป็นการวัดผลสำเร็จของการปลูกป่าอย่างหนึ่ง ที่นอกจากจะทราบปริมาณผลผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลผลิตทางด้านชีวภาพ (biological yield/production) แล้ว ยังเป็นการประเมินถึงศักยภาพของต้นไม้ชนิดที่เลือกมาปลูกนั้นว่ามีประสิทธิภาพในการช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของ คาร์บอนอย่างไรด้วย

การเก็บกักหรือการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศภาคพื้นดินนั้นเป็นการเคลื่อนย้ายคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิจากบรรยากาศโดยพืชและโดยจุลินทรีย์ในดิน และการป้องกันไม่ให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิออกไปจากระบบนิเวศภาคพื้นดินไปสู่บรรยากาศนั้นมนุษย์เราสามารถที่จะเก็บสะสมคาร์บอนในภาคพื้นดินได้ เพื่อที่จะลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และเพื่อดำรงไว้ซึ่งผลประโยชน์อื่นที่มีเพิ่มเติมเช่นการปรับปรุงถิ่นฐานและที่อยู่อาศัยและคุณภาพของน้ำและอากาศที่มักจะได้รับจากโครงการดังกล่าวอีกด้วย

โดยหลักการแล้วการเก็บสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศภาคพื้นดินคือการส่งเสริมการดูดซับ (uptake) คาร์บอนไดออกไซด์โดยพืชที่เติบโตอยู่ในดินและในน้ำจืด และส่งเสริมการเก็บสะสมคาร์บอนในดินในที่ ๆ สามารถจะเก็บไว้ได้อย่างถาวรตลอดไป การเก็บสะสมคาร์บอนบนภาคพื้นดินนี้จะไปชดเชยผลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> emissions offset) ที่

มีราคาถูกลงกว่าวิธีการใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ ในช่วงแรก ๆ มีการใช้วิธีการปลูกต้นไม้ ทำการเพาะปลูกโดยปราศจากการไถพรวนดินและการอนุรักษ์ป่าไม้ ได้มีการศึกษาวิจัยที่มีความก้าวหน้ามากขึ้นในการพัฒนาพันธุ์ไม้โตเร็วและพืชจำพวกหญ้าและมีการถอดรหัสพันธุกรรม (genome deciphering) จุลินทรีย์ในดินที่มีความสามารถในการเก็บสะสมคาร์บอนในต่างประเทศหลายประเทศมีการวิจัยและพัฒนาการเก็บสะสมคาร์บอนโดยเน้นการปลูกป่าและการฟื้นฟูที่ดินเหมืองแร่และดินที่เสื่อมสภาพอื่น ๆ ตลอดจนมีการวิเคราะห์หาเทคนิคในการจัดการที่ดินรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งรวมไปถึงการเกษตรแบบปราศจากการไถพรวนดิน การปลูกป่า การปรับปรุงพื้นที่เลี้ยงปศุสัตว์ การฟื้นฟูที่ชุ่มน้ำและที่ดินซึ่งมีน้ำท่วมขังบริเวณฝั่งแม่น้ำ เป็นต้น

การปฏิบัติทางป่าไม้ที่มีศักยภาพในการเก็บสะสมคาร์บอน ซึ่งจะอำนวยความสะดวกในด้านกลไกการเกิดปฏิกิริยาเรือนกระจกได้แก่ (1) การปลูกป่าในที่ ๆ ไม่เคยเป็นป่ามาก่อน (afforestation) เช่น การแปลงพื้นที่เพาะปลูกทางเกษตรที่ไม่ค่อยได้ผลไปเป็นพื้นที่ปลูกป่าแทนนั้น จะไปเพิ่มการเก็บสะสมคาร์บอนจากระบบการเก็บสะสม (2) การปลูกป่าในที่ ๆ เคยเป็นป่ามาก่อน (reforestation) ในช่วงเวลาที่ผ่านมาไม่นานนัก รวมทั้งการปลูกต้นไม้ทันทีในที่ที่มีการทำไม้ออก เช่นในพื้นที่ที่ถูกไฟเผาอย่างรุนแรงจนอาจจะไม่สามารถทำให้ต้นไม้เกิดการทดแทนจากการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติขึ้นมาได้โดยไม่มี การเข้าไปช่วยปลูกขึ้น ในการนี้จะช่วยเพิ่มการเก็บสะสมคาร์บอนได้จากกระบวนการเก็บสะสม (3) การรักษาป่าไม้ (forest preservation) หรือ หลีกเลี่ยงการทำลายป่า (deforestation avoidance)

นั้นเป็นการป้องกันป่าไม้ให้ถูกคุกคามจากการทำไม้หรือการตัดไม้ทำลายป่า จะเป็นการหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยการอนุรักษ์สต็อกของคาร์บอนที่มีอยู่แล้วในที่นั้น ๆ (4) การจัดการป่าไม้ (forest management) เป็นการตัดแปลงการปฏิบัติการทางป่าไม้ที่ผลิตเนื้อไม้เป็นหลักให้ช่วยส่งเสริมการเก็บสะสมคาร์บอนไปตามเวลา เช่นการขยายรอบตัดฟันให้ยาวขึ้นหรือใช้วิธีการทำไม้ที่มีผลกระทบน้อยจะช่วยให้เพิ่มการสะสมคาร์บอนโดยการเก็บสะสมและอาจจะหลีกเลี่ยงการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์โดยการปรับเปลี่ยนการจัดการป่าไม้ให้เหมาะสม

### วัตถุประสงค์ของการนำเสนอเรื่องนี้

ด้วยเหตุที่งานวิจัยด้านการทดลองปลูกป่าในที่ดินรกร้างประเภทต่าง ๆ นั้นได้สิ้นสุดลงเป็นเวลานานแล้ว แต่การเผยแพร่ไม่ค่อยแพร่หลายจึงได้นำเรื่องนี้มาวิเคราะห์เพิ่มเติมและนำเสนอใหม่เพื่อเผยแพร่แก่ผู้สนใจในวงกว้างขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่สำคัญของโลกร้อนและเรื่องของการปลูกป่าเพื่อที่จะช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว แต่ปัญหาในการปลูกป่าไม้ยูคาลิปตัสที่กำลังมีการถกเถียงกันอยู่ในขณะนี้ว่าจะมีผลเสียต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ นานานั้น การศึกษานี้ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการตอบคำถามดังกล่าว และไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการกระตุ้นหรือส่งเสริมในการปลูกป่าไม้ชนิดนี้แต่อย่างใด ในที่นี้จะนำเสนอเฉพาะความรู้ทางด้านวิชาการที่ผ่านการศึกษาวิจัยมาแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส ที่เป็นผลจากการศึกษาส่วนหนึ่งของความร่วมมือระหว่างประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่น ผ่านโปรแกรมการวิจัยทาง

วิทยาศาสตร์นานาชาติของกระทรวงศึกษาธิการและวัฒนธรรมแห่งประเทศไทยและจากการส่งเสริมของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (Yoda and Sahunafu, 1991) เหตุผลทางด้านวิชาการในการฟื้นฟูป่าที่คืนรกร้างนี้ก็เพื่อที่จะนำพืชพรรณไม้กลับเข้ามาสู่ระบบนิเวศธรรมชาติในที่ดินที่ในอดีตเคยมีพืชพรรณไม้ต่าง ๆ ครอบคลุมอยู่ แต่เนื่องจากความรุนแรงของการที่ที่ดินหรือป่าไม้ที่ขึ้นอยู่ในที่ดินนั้นถูกทำลายด้วยความรุนแรงที่แตกต่างกันจึงจำเป็นต้องทดลองใช้มาตรการ (treatments) ต่าง ๆ ที่สามารถปฏิบัติได้โดยง่ายและเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก การฟื้นฟูป่าที่ดินที่ไม่มีพืชพรรณไม้ปกคลุมอยู่อย่างมีนัยสำคัญจะต้องเริ่มต้นด้วยการค่อย ๆ ทำให้ที่ดินนั้นมีการฟื้นตัวกลับคืนมาซึ่งโดยธรรมชาติอาจจะมีการขึ้นทดแทนของพืชพรรณไม้มาเองโดยธรรมชาติ (natural regeneration/succession) อย่างช้า ๆ ดังนั้นเพื่อกระตุ้นการทดแทนให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเลียนแบบธรรมชาติที่มักจะมีพืชพรรณไม้ประเภทเบิกนำ (pioneer species) ซึ่งมีการเติบโตเร็ว ไม่ต้องการความอุดมสมบูรณ์ของดินมากนักและสามารถทนต่อสภาพของสิ่งแวดล้อมที่ค่อนข้างเสื่อมโทรมได้ดีในขณะเดียวกันก็ต้องการชนิดพรรณไม้ที่สามารถใช้ประโยชน์ในทางเศรษฐกิจโดยตรงได้ก็จะเป็นการผสมผสานการฟื้นฟูป่าที่คืนรกร้างได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงได้เลือกไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) มาเป็นไม้ทดลองหลัก เนื่องจากเป็นต้นไม้ที่มีสมบัติครบตามเป้าหมาย นอกจากนี้ในการทดลองในสภาวะที่มีทรัพยากรทุกด้านจำกัดแต่ต้องการทราบผลลัพธ์โดยเร็วในเวลาอันสั้น ก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่เลือก



ต้นไม้นี้มาทำการทดลอง ซึ่งคาดว่าจะแสดงผลตอบสนองต่อการใช้มาตรการต่าง ๆ ให้ทราบโดยเร็ว และด้วยเหตุที่ไม้นี้จัดอยู่ในประเภทของยูคาลิปตัสที่สามารถขึ้นได้ดีในที่แห้งแล้ง โตเร็วในช่วงแรกสามารถใช้น้ำได้ดีและทนต่อช่วงแล้งได้นาน (Florence, 1996)

ในรายงานผลการวิจัยข้างต้น (Yoda and Sahunalu, 1991) นั้นได้วิเคราะห์และแสดงผลเฉพาะในด้านผลผลิตมวลชีวภาพของทุกแปลง และทุกมาตรการที่ใช้ในการฟื้นฟู (Kanzaki et al., 1991) แต่ไม่ได้วิเคราะห์ต่อไปถึงการเติบโตของต้นไม้นี้ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แสดงผลการศึกษาด้านการเก็บกักคาร์บอนและการหมุนเวียนของคาร์บอนเฉพาะบางมาตรการในการฟื้นฟูที่ดินรกร้างประเภทต่าง ๆ บางแปลงเท่านั้น (Kawaguchi et al., 1991) ดังนั้นในบทความนี้จะเน้นเฉพาะผลลัพธ์ที่ได้ในรูปของผลผลิตมวลชีวภาพและการเก็บกักสะสมคาร์บอนเป็นหลัก และวิเคราะห์ถึงนัยของการจัดการผลผลิตมวลชีวภาพและการเก็บสะสมคาร์บอนในสวนป่าเหล่านั้น ส่วนผลลัพธ์ทางด้านกร่อนผิวดิน การปรับปรุงดิน การหมุนเวียนของธาตุอาหารและอื่น ๆ จะได้นำเสนอในโอกาสต่อไปในอนาคต

### การศึกษาทดลอง

ระหว่างปี 2527 ถึงปี 2532 คณะนักวิจัยในโครงการวิจัยภายใต้ความร่วมมือระหว่างไทยและญี่ปุ่นซึ่งประกอบไปด้วยนักวิจัยฝ่ายไทยจากคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จากกรมป่าไม้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้และกรมพัฒนาที่ดินและนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยกรุงโอซาก้าและ

มหาวิทยาลัยเกียวโต ได้ร่วมมือกันดำเนินการวิจัยโครงการการปรับปรุงกำลังผลิตทางชีวภาพของที่ดินรกร้างเขตร้อนในประเทศไทย (Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand) โดยได้เลือกที่ดินรกร้าง 3 ประเภทใน 4 ท้องที่ซึ่งทำการทดลองทั้งพืชเกษตรและพืชป่าไม้ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะพืชป่าไม้ใน 3 ท้องที่โดยเน้นเฉพาะไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชันชันเท่านั้น และมีรายละเอียดโดยสังเขปคือ

1. ที่ดินรกร้างภายหลังการทำเหมืองแร่ดิบบุกที่อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา เป็นที่ดินที่ทิ้งร้างไว้หลังจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ของที่นี่ที่ได้รับประทานบัตรได้สิ้นสุดลง และผู้ได้รับประทานบัตรได้บริจาคที่ดินนี้ให้แก่คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาวิจัยและเป็นสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์ รายละเอียดของที่ตั้งตลอดจนสภาพทางภูมิประเทศ สภาพลมฟ้าอากาศ ลักษณะของพืชพรรณเดิมที่มีอยู่และสมบัติของดินศึกษาได้จาก รายงานของโครงการดังกล่าว (ดูในรายงานของ Yoda and Sahunalu, 1991) กล่าวโดยสรุปแล้วเป็นที่ดินที่ป่าต้องถูกทำลายลง เพื่อการทำเหมืองแร่ดิบบุก ดินในที่เช่นนี้ไม่มีลักษณะที่เรียกว่า ดิน (soil) อีกต่อไปตามความหมายของนักวิชาการด้านปฐพีวิทยา สิ่งที่ยังไว้ในพื้นที่คืออนุภาคของทราย (sand deposit) ดินเลน (slime) และกรวด (gravel) ขนาดต่าง ๆ ไม่มีชั้นดินเนื่องจากการขุดแร่ได้มีการขุดคุ้ยและคลุกเคล้าดินจากระดับลึกมาก และเนื้อดินถูกชำระด้วยน้ำเพื่อการแยกแร่ออกจากดิน (Tanpibal and Sahunalu, 1989) ดินมีอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารต่าง ๆ ต่ำมาก ในพื้นที่มีพืชพรรณไม้ขึ้น

อยู่น้อยมากจนแทบจะกล่าวได้ว่าไม่มีอยู่เลยก็ได้  
ดำเนินการทดลองในที่ ๆ เป็นทรายจัด (siliceous  
deposit) หลังจากมีการปรับที่ดินให้ราบแล้ว  
มาตรการที่ใช้และชื่อแปลง เพื่อความสะดวกใน  
การเรียกชื่อมาตรการต่าง ๆ จะใช้ตัวย่อของ  
แปลงดังแสดงใน Table 1

2. ที่ดินรกร้างภายหลังการตัดไม้พื้น  
จนเกินกำลังผลิตของป่าและเป็นดินลูกรังที่อำเภอ  
เมือง จังหวัดราชบุรี เป็นที่ดินที่มีลูกรัง (lateritic  
soil) ประกอบอยู่ในชั้นดินจนถึงระดับลึก ป่าเดิม  
เป็นป่าเต็งรังที่เสื่อมโทรมมากอันเกิดจากการตัดไม้  
ไปใช้เป็นฟืนขนาดเล็ก เรียกว่า ฟืนตะเกียบ (มี  
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร  
ยาวประมาณ 1 เมตร) ซึ่งมีการตัดซ้ำ ๆ หลาย  
ครั้งในรอบปี ไปเป็นเชื้อเพลิงในเตาเผา  
เครื่องปั้นดินเผาและเผาปูนขาว เป็นอุตสาหกรรม  
สำคัญของจังหวัดราชบุรี พืชพรรณไม้เดิมที่  
หลงเหลืออยู่ในพื้นที่ได้แก่ไม้เต็ง ไม้รัง ไม้มะค่า  
แต่ มีขนาดสูงไม่เกิน 3 เมตร ขึ้นปะปนอยู่กับ  
พืชพรรณไม้ของป่าละเมาะ เช่น เล็บเหยี่ยว  
หนามคุดเค้าและไผ่รวกที่มีอยู่ประปราย ลักษณะ  
สำคัญของดินลูกรังคือมีอนุภาคที่เป็นกรวดและ  
ความหนาแน่นรวมสูง มีธาตุอาหารต่าง ๆ เมื่อ  
ทำให้กรวดแตกตัวแล้วปานกลาง รายละเอียด  
อื่นๆดูได้จากรายงานฉบับเดียวกันกับข้างบนนี้  
มาตรการต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ใน  
Table 2

3. ที่ดินรกร้างภายหลังการตัดไม้เผาป่า  
เพื่อปลูกมันสำปะหลังแล้วหลายรอบแล้วทิ้งร้าง  
ไว้ที่อำเภอสมเด็จ จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นดินร่วน  
ปนทราย (sandy loam soil) มีอนุภาคดินเหนียว  
เล็กน้อย มีอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารต่าง ๆ ค่อนข้าง  
ต่ำถึงปานกลาง ป่าธรรมชาติที่เหลืออยู่ใน

บริเวณใกล้เคียงเป็นป่าเต็งรังที่อยู่ในสภาพป่ารุ่น  
พื้นที่ทดลองเป็นส่วนหนึ่งของสวนป่าสมเด็จพระ  
องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ซึ่งได้ดำเนินการปลูก  
ป่าอยู่แล้วในระบบหมู่บ้านป่าไม้และปลูกไม้ยางนา  
ไม้ประดู่ ไม้เลื่อยและไม้ยูคาลิปตัส คามาตุเลนซิส  
โดยปลูกควบกับมันสำปะหลังในช่วง 1-3 ปีแรก  
เนื่องจากพื้นที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
จึงมีสภาพลมฟ้าอากาศที่ค่อนข้างแห้งแล้ง รายละเอียด  
อื่น ๆ ของท้องที่ตรวจสอบได้จากรายงาน  
ข้างต้นมาตรการต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง แสดงไว้  
ใน Table 3

### การประเมินผลการทดลองและประมาณหา ปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอน

โครงการนี้ได้เริ่มทำการเก็บข้อมูลการ  
เติบโต และการรอดตายของต้นไม้ทุกชนิดที่ปลูก  
ทดลอง ตั้งแต่เริ่มต้นในเดือนพฤษภาคม 2528  
ในสองท้องที่แรกและในเดือนมิถุนายนปีเดียวกัน  
ในท้องที่หลังสุด และทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะ ๆ  
รวมทั้งสิ้น 8 ครั้งตั้งแต่เริ่มการทดลอง ไปสิ้นสุด  
การเก็บข้อมูลในเดือนตุลาคม 2532 ในสองท้องที่  
แรกและในเดือนพฤศจิกายนปีเดียวกันในท้องที่  
หลังสุด รวมแล้วจำนวนต้นไม้มีอายุตั้งแต่เริ่มปลูก  
จนสิ้นสุดการทดลองคือ อายุ 4.41 ปีที่ตะกั่วป่า  
อายุ 4.40 ปีที่ราชบุรีและอายุ 4.39 ปีที่สมเด็จพระ  
องค์การเด็บ โตนันทำการวัดขนาดเส้นผ่า  
ศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับขีดดิน ( $D_0$ ) ที่ระดับ 30  
เซนติเมตรเหนือพื้นดิน ( $D_{30}$ ) และที่ระดับความสูง  
1.30 เซนติเมตรเหนือพื้นดิน (DBH) วัดความ  
สูงทั้งหมดของลำต้น (H) และวัดความสูงของ  
ลำต้นถึงระดับกิ่งแรก (HB) ของต้นไม้ทุกต้นใน  
ทุกแปลง นับจำนวนต้นไม้ที่ตายลงในกรณี  
ที่ตรวจสอบแล้วว่าไม่มีการแตกหน่อมาใหม่อีก



**Table 1** Experimental treatments in wasteland after tin mining, Takuapa site, plot size was 600 m<sup>2</sup> and tree planting space was 2x2 m.

Plot	Tree species <sup>1</sup>	Plowing <sup>2</sup>	Chemical fertilizer <sup>3</sup>	Compost <sup>4</sup>	Mulching <sup>5</sup>	Soil dressing <sup>6</sup>	Intercropping	Cover cropping <sup>7</sup>
TE-01	Ec	-	-	-	-	-	-	-
TE-02	Ec	-	-	-	13.3-33.3	-	-	-
TE-1	Ec	+	-	-	-	-	-	-
TE-2	Ec	+	1.67	-	-	-	-	-
TE-3	Ec	+	1.67	12.5	-	-	-	-
TE-4	Ec	+	1.67	12.5	-	+	-	-
TE-5	Ec	+	1.67	-	-	-	Pineapple	-
TE-6	Ec	+	1.67	-	-	-	-	Stylosanthes

1: Ec=*Eucalyptus camaldulensis*, 6-month old saplings were transplanted in May, 1985.

2: Plowing by farm tractor in May, 1985 and by hoe from 1986 at the time of fertilizer application.

3: Chemical fertilizer, 15:15:15 N: P: K.

4: Compost, Bangkok compost No 1 made of city waste.

5: Mulching by *Imperata cylindrica* grass (33.3 t. f.wt.ha<sup>-1</sup>) on the plot in December, 1985 and added the new grass in December, 1986 (13.3 t. f.wt.ha<sup>-1</sup>), in January, 1988 (16.7 t. f.wt.ha<sup>-1</sup>) and January, 1989 (16.7 t. f.wt.ha<sup>-1</sup>).

6: Soil dressing by mixing dry clayey soil (slime) with the same amount of chemical fertilizer and compost used in other plots and put into each 0.5x0.5x0.5 m transplanting hole.

7: Seeds of *Stylosanthes hamata* were repeatedly sown from 1985 to 1988 in the plot.

**Table 2** Experimental treatments in lateritic soil wasteland at Ratchaburi site. Planting space was 2x2 m.

Plot	Size (m <sup>2</sup> )	Tree species <sup>1</sup>	Removal of original veg. <sup>2</sup>	Plowing <sup>3</sup>	Chemical fertilizer <sup>4</sup>	Compost <sup>5</sup>	Intercropping	Coppicing
RE-01	500	Nat.	-	-	-	-	-	-
RE-02	400	Nat.	+cut	-	-	-	-	-
RE-03	660	Ec	+cut	-	-	-	-	-
RE-04	440x3	Ec	+bull.	+	-	-	-	-
RE-1	924	Ec	+bull.	+	0.75	-	-	-
RE-2	924	Ec	+bull.	+	-	2.5	-	-
RE-3	924	Ec	+bull.	+	-	-	Cassia	-
RE-4	924	Ec	+bull.	+	-	-	Cassava	-
RE-5	924	Ec+Pm	+bull.	+	-	-	-	-
RE-6	924	Ec	+bull.	+	-	-	-	From187

1: Nat. is natural regeneration experiment, Ec: *Eucalyptus camaldulensis*, 6-month old saplings transplanted in May, 1985 by 2x2 m spacing, except RE-5. Pm: *Pterocarpus macrocarpus*, one-year old saplings, transplanted in May-June, 1985 by alternate rows of 2x4 m spacing.

2: Removal of original vegetation by cutting trees at 30 cm height in RE-02 and RE-03, .The original vegetation was removed by bulldozer and burnt outside the plots. Transplanting in RE-03 was done by drilling with drilling bar into laterite layer without plowing.

3: Plowing by farm tractor in March, 1985 and by hoes from 1986 after fertilizer application, except in RE-04.

4: Chemical fertilizer, 15:15:15 N: P: K with the rate of 0.75 t.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>.

5: Bangkok compost No. 1 with the rate of 2.5 t.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>.

Intercropped plants were *Cassia angustifolia* in RE-3 and Cassava spp in RE-4.

Coppicing was carried out in 1987 by varying cutting stump height in 3 levels: 0, 30 and 60 cm aboveground in RE-6.

Table 3 Experimental treatments in sandy loam soil wasteland abandoned after cassava planting at Somdet site. Plot size was 800 m<sup>2</sup>.

Plot	Tree species <sup>1</sup>	Weeding <sup>2</sup>	Plowing fertilizer <sup>3</sup>	Chemical	Compost <sup>4</sup>	Intercropping <sup>5</sup>	Coppicing <sup>6</sup>
SE-01	Nat.	-	-				
SE-02	Nat.	+	-				
SE-03	Nat.	+	-				
SE-1	Ec+Am	+	-				
SE-2	Ec+Pm	+	-				
SE-3	Am+Pm	+	-				
SE-4	Ec	+	-				
SE-5	Ec	+	+			Peanut	
SE-6	Ec	+	+			Sorghum, Kenaf	
SE-7	Ec	+	-				Fromi87
SE-8	Ec	+	-				Fromi87
SE-9	Ec	+	+	0.25			
SE-10	Ec+Pm	+	+	0.25	1.25		
SE-11	Ec	+	+		1.25		
SE-12	Am	+	-				

1: Nat. Natural regeneration after soil grading by bulldozer and plowing by farm tractor.

Ec: *Eucalyptus camaldulensis*, 6-month old saplings were transplanted in June, 1985 with 2x2 m spacing, except in SE-1, 2, 3, 5, 6 and 10 that 2x4 m spacing was adopted.

Pm: *Pterocarpus macrocarpus*, 6-month old saplings were transplanted in June, 1985 in alternate rows with Ec or Am (*Acacia mangium*) using 2x2 m spacing among trees and 2x4 m spacing between rows.

2: Weeding in SE-02 and SE-03 for promoting natural succession, left all cut weeds inside the plot of SE-02 and left outside the plot in SE-03. For other plots cut weeds were left inside the plots.

3: Chemical fertilizer, 15:15:15 N: P: K with the rate of application as stated in the table (t.ha<sup>-1</sup>. yr<sup>-1</sup>)

4: Bangkok compost No. 1 with the rate as stated in the table (t.ha<sup>-1</sup>. yr<sup>-1</sup>).

5: Intercropping for 3 crops in 3 years and then stopped.

6: Coppicing by cutting at the stump height of 0 and 30 cm in SE-7, 60 and 90 cm in SE-8 by dividing the plot into 2 portions, each half of the plot.

## 1. ปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของสวนป่า

เพื่อประเมินปริมาณผลผลิตทางชีวภาพ (biological yield/production) ได้ทำการประมาณหามวลชีวภาพ (biomass) ของต้นไม้จากการใช้สมการแอลโลเมตรี (allometric equations) ที่เตรียมได้จากการตัดต้นไม้ตัวอย่างจากแปลงทดลองที่อยู่ใกล้เคียง และขุดรากไม้บางต้นเพื่อหาสมการการประมาณหามวลชีวภาพของรากด้วย ทั้งนี้ โดยการสุ่มตัวอย่างต้นไม้ตัดลงและขุดศึกษารากเป็นระยะ ๆ ตั้งแต่ปี 2528 ถึงปี 2532 เทคนิคการศึกษารากดูได้จากรายงานข้างต้น สมการแอลโลเมตรีที่ได้และนำไปใช้ในการศึกษานี้แสดงไว้ใน Table 4 จำนวนมวลชีวภาพของต้นไม้รายต้นในแต่ละแปลงจากผลของการวัดขนาดของต้นไม้ในบริเวณต่าง ๆ ของลำต้นดังกล่าวแล้ว ไปคำนวณหา มวลชีวภาพโดยการใช้สมการแอลโลเมตรี แล้วแปลงเป็นปริมาณต่อพื้นที่มาตรฐาน (ต่อเฮกตาร์) ทุกแปลง ในรายงานข้างต้นได้แสดงผลเฉพาะผลผลิตมวลชีวภาพและการรอดตายของต้นไม้ของแต่ละแปลงเท่านั้น ในที่นี้ได้วิเคราะห์ปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามอายุของสวนป่าเนื่องจากการทดลองในท้องที่ต่าง ๆ ทั้งสามแห่งได้เริ่มต้นและสิ้นสุดลงในเวลาต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้อาจจะทำให้ไม่ทราบว่าผลผลิตที่ได้ในขณะนั้นว่าเป็นผลผลิตที่สูงสุดจริงหรือไม่ในอนาคตจะเป็นอย่างไรและเมื่อใดจึงจะสามารถจัดการสวนป่าเหล่านั้นให้ได้ผลผลิตตามที่ต้องการจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากข้อมูลที่มีอยู่แล้วในทุกท้องที่

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตมวลชีวภาพไปตามอายุของสวนป่า เพื่อหาระยะ

เวลาดังกล่าวได้นำผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนของแต่ละแปลงที่ได้จากการประมาณมาทุกช่วงเวลาของการตรวจวัด มาศึกษาความสัมพันธ์ โดยใช้โมเดลการเติบโตที่อยู่ในรูปสมการลอจิสติกอย่างง่าย (simple logistic equation) คือ  $y = k / (1 + e^{-ax})$

เมื่อ  $y$  คือผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนของแต่ละแปลง (ตันต่อเฮกตาร์)  $x$  คือระยะเวลาของการวัดหรืออายุของสวนป่า (ปี)  $k$ ,  $m$  และ  $a$  คือค่าคงที่ของสมการ ซึ่งค่า  $k$  จะแสดงถึงผลผลิตมวลชีวภาพรวมสูงสุดที่เป็นไปได้เมื่อสวนป่ามีอายุไม่จำกัดหรือค่า asymptote ของเส้นโค้งการเติบโต ค่า  $k$  ในที่นี้บางทีเรียกว่า carrying capacity ของท้องที่ ซึ่งแสดงถึงความสามารถหรือศักยภาพของท้องที่ที่จะทำให้ต้นไม้ชนิดนี้มีผลผลิตสูงที่สุด ส่วนค่า  $a$  จะแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของการสะสมผลผลิตมวลชีวภาพไปตามเวลา และค่า  $m$  เป็นตัวแสดงถึงรูปร่างของเส้นโค้งซึ่งจะเป็นไปในรูปตัว S จึงเรียกเส้นโค้งในลักษณะนี้อีกอย่างหนึ่งว่า sigmoid curve หรือ S-curve ซึ่งจะโค้งโค้งขึ้นหรือปานออกไปตามเวลาที่การสะสมมวลชีวภาพรวมทุกส่วนเปลี่ยนไป

## 2. การเก็บกักคาร์บอนในมวลชีวภาพ

ในที่นี้ได้แปลงค่ามวลชีวภาพไปเป็นค่าคาร์บอนที่เก็บสะสม (carbon sequestration) ในแต่ละแปลงโดยใช้ค่าคงที่ 0.5 เป็นตัวคูณเข้ากับค่ามวลชีวภาพรวมทุกส่วนที่ได้ประเมินมาแล้ว ตัวแปลงค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าที่มีการใช้โดยทั่วไปตามเกณฑ์ของ IPCC (1996) และในการศึกษาของนักวิจัยบางคนเช่น Laclau (2003), Houghton and Hackler (2000), Fang *et al.* (2001) และ

**Table 4** Constant parameters of the allometric relations:  $y = Ax^b$ , where y is biomass of various parts of tree (g), x is  $(D_{30})^2H$ , where  $D_{30}$  is stem diameter at 30 cm aboveground (cm), H is total tree height (m), A and b are constants,  $r^2$  is coefficient of determination.

Site/Soil type	Tree parts	Constants		$r^2$
		A	b	
Takuapa/sand deposit	Stem	30.65	0.814	0.990
	Branch	3.588	0.922	0.936
	Leaf	25.17	0.673	0.923
	Root	30.78	0.835	0.975
Ratchaburi/lateritic	Stem	16.77	0.930	0.995
	Branch	4.848	0.926	0.979
	Leaf	23.25	0.681	0.968
	Root	21.62	0.815	0.988
Somdet/sandy loam	Stem	17.59	0.958	0.996
	Branch	4.429	0.895	0.909
	Leaf	25.46	0.638	0.903
	Root	19.76	0.796	0.977

Hu and Wang (2008) เป็นต้น ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่าการเก็บสะสมคาร์บอนในแต่ละแปลงที่ใช้มาตรการในการทดลองปลูกป่าไม้ชนิดนี้ ในการฟื้นฟูที่ดินรกร้างทุกประเภทจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพรวมทุกส่วนและตามอายุของสวนป่า

### ผลและวิจารณ์ผล

**ผลผลิตมวลชีวภาพ และสัดส่วนของการกระจายมวลชีวภาพของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส ความอุดมสมบูรณ์ตามมาตรการที่ใช้ในที่ดินรกร้างประเภทต่าง ๆ**

1. ผลผลิตมวลชีวภาพของลำต้น มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพรวมทุกส่วนและอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินต่อมวลชีวภาพใต้พื้นดินหรือราก (S/R)

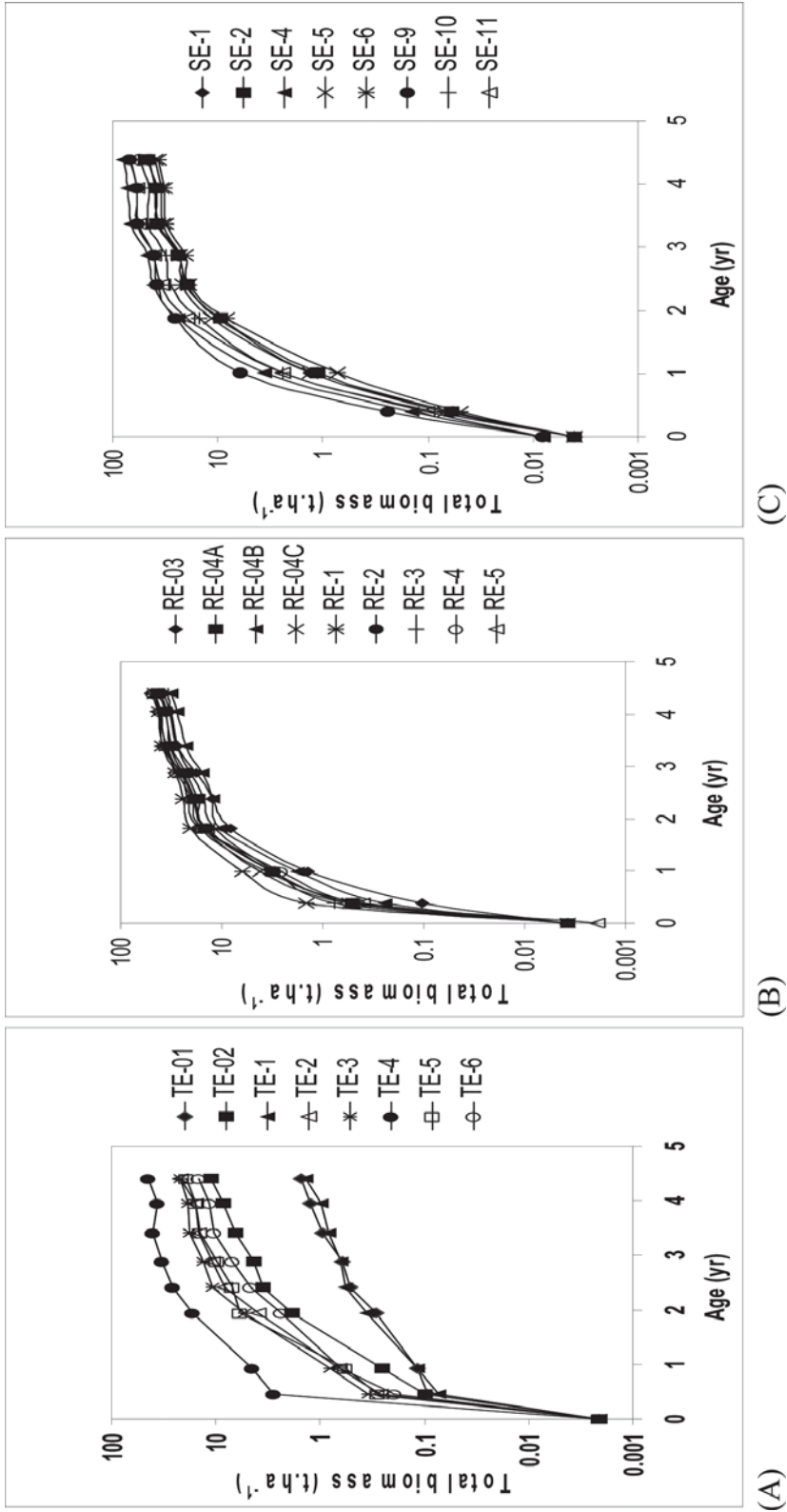
เพื่อเชื่อมโยงผลการศึกษาที่ได้รายงานไปแล้วโดย Kanzaki *et al.* (1991) ในที่นี้จะแสดงปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพของไม้ชนิดนี้ที่ปลูกในที่ดินรกร้างทั้ง 3 ประเภท ใน 3 ท้องที่ตั้งตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงสิ้นสุดการทดลองอีกครั้ง ดังแสดงไว้ใน Figure 1 อายุของต้นไม้มือสิ้นสุดการทดลองในสามท้องที่ต่างกันเล็กน้อย ผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเพิ่มขึ้นช้าลงในช่วงหลังโดยมีความแตกต่างชัดเจนมาก โดยแบ่งเป็นกลุ่มจากผลของการใช้มาตรการต่างกัน ในที่ดินที่เป็นดินทรายจัด (ตะกั่วป่า) แต่ค่อนข้างใกล้เคียงกันในระหว่างมาตรการต่าง ๆ แต่ก็สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้ ในที่ดินที่เป็นดินลูกรัง (ราชบุรี) และในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทราย (สมเด็จพระ) ผลผลิตมวลชีวภาพของลำต้น

ผลผลิตมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพรวมทุกส่วน ตลอดจนอัตราส่วนระหว่างผลผลิตเหนือพื้นดินต่อส่วนที่อยู่ใต้พื้นดิน (ราก) เมื่อมีอายุดังกล่าวที่เวลาสิ้นสุดการทดลอง แสดงไว้ใน Table 5 ซึ่งจะมีผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้จากการตอบสนองต่อมาตรการต่าง ๆ น้อยที่สุดในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัด (ตะกั่วป่า) ปานกลางในที่ดินที่เป็นดินลูกรัง (ราชบุรี) และสูงที่สุดในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทราย (สมเด็จพระ) โดยมีความผันแปรของผลผลิตระหว่างแปลงต่าง ๆ ในแต่ละประเภทของที่ดินรกร้างแตกต่างกัน แปลงที่มีผลผลิตน้อยที่สุดนั้น ได้จากการใช้มาตรการน้อยที่สุดคือการไม่มีการไถพรวนหรือไถพรวนดินอย่างเดียวในทุกประเภทของดินและทุกท้องที่แปลงที่มีผลผลิตปานกลางและสูงสุดจะแตกต่างกันไปแล้วแต่มาตรการที่ใช้

ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัด ที่น่าสนใจที่สุดคือแปลงที่มีการคลุมดินด้วยหญ้าคา (TE-02) ที่ทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้นเป็นประมาณ 8 เท่าของแปลงที่มีและไม่มีการไถพรวนดินซึ่งมีผลผลิตต่ำที่สุด ซึ่งการคลุมดินนี้ได้ช่วยเก็บความชื้นในดินให้ดีขึ้นในดินทรายจัดและแปลงที่ใช้ดินเลนคลุกกับปุ๋ยทั้งสองอย่างบรรจุในหลุมปลูก (TE-4) ได้ช่วยให้มีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นพร้อม ๆ กับเก็บความชื้นในหลุมปลูกจากดินเลนที่เป็นอนุภาคดินทรายแป้ง (silt) และอนุภาคดินเหนียว (clay) ผสมกันอยู่ ทำให้ต้นไม้มือชนิดนี้ตั้งตัวได้ดีตั้งแต่แรกและเติบโตได้ดีตลอด (Figure 1)

ในที่ดินที่เป็นดินลูกรังนั้น ได้ผลผลิตค่อนข้างต่ำในแปลงที่ไถพรวนดินอย่างเดียว (RE-04A, RE-04B และ RE-04C) ซึ่งมีผลผลิตมวลชีวภาพรวมเฉลี่ย 39.809 ตันต่อเฮกแตร์แต่มากกว่าในแปลงที่เจาะหลุมปลูกด้วยชะแลง (RE-03)





**Figure 1** Biomass production of *E. camaldulensis* plantations on 3 wasteland types and 3 sites (A) Takuapa/sand deposit, (B) Ratchaburi/ lateritic, (C) Somdet/sandy loam. For experimental treatments and soil types see tables 1-3.

**Table 5** Stem biomass, aboveground biomass, total biomass production and shoot/root ratio (S/R) of *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types. For experimental treatments see tables 1-3.

Site/Soil type	Age (yrs)	Plot	Biomass (t.ha <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>			S/R <sup>2</sup>
			Stem	Aboveground	Total	
Takuapa/sand deposit	4.41	TE-01	0.553	0.945	1.534	1.602
		TE-02	4.111	6.571	11.181	1.425
		TE-1	0.486	0.833	1.355	1.621
		TE-2	8.194	12.880	22.249	1.375
		TE-3	8.084	12.691	21.954	1.370
		TE-4	16.385	25.527	44.537	1.343
		TE-5	7.151	11.241	19.424	1.374
		TE-6	5.420	8.560	14.718	1.390
		Average	6.298	9.907	17.119	1.437
Ratchaburi/lateritic	4.40	RE-03	17.136	26.546	36.830	2.581
		RE-04A	19.940	30.678	42.428	2.611
		RE-04B	14.400	22.443	31.213	2.559
		RE-04C	21.576	33.130	45.785	2.618
		RE-1	21.704	33.211	45.813	2.636
		RE-2	18.566	28.555	39.478	2.614
		RE-3	15.770	24.511	34.065	2.566
		RE-4	22.877	34.837	47.915	2.664
		RE-5	24.283	36.034	48.877	2.806
				Average	19.584	29.994
Somdet/sandy loam	4.39	SE-1	28.557	36.474	45.611	4.001
		SE-2	28.796	36.766	45.946	4.005
		SE-4	48.985	62.612	78.275	3.997
		SE-5	24.162	31.069	39.000	3.917
		SE-6	22.871	29.484	37.064	3.890
		SE-9	42.483	54.796	68.925	3.878
		SE-10	35.019	44.459	55.358	4.079
		SE-11	41.167	53.316	67.213	3.837
		Average	34.005	43.662	54.674	3.951

<sup>1</sup> Modified from Kanzaki *et al.* (1991)<sup>2</sup> Present study

ส่วนแปลงที่ปลูกมะขามแขกคลุมดิน (RE-3) มีผลผลิตต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากดินลูกรังมีความไม่สม่ำเสมอในชั้นดิน (heterogeneity) สูงมาก (Sakurai *et al.*, 1991) และแปลงที่ใส่ปุ๋ยหมัก (RE-2) มีผลผลิตสูงกว่าแปลงที่กล่าวแล้วทั้งหมดเล็กน้อย ดังนั้นทั้งสี่แปลงที่มีมาตรการต่างกันนี้จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันที่มีผลผลิตต่ำ (ต่ำกว่า 40 ตันต่อเฮกตาร์) ส่วนแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี (RE-1) จะมีผลผลิตสูงปานกลาง และแปลงที่ปลูกมันสำปะหลังควบ (RE-4) กับแปลงที่ปลูกไม้ประดู่แทรกแถวเว้นแถว (RE-5) จะมีผลผลิตสูงสุดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะว่าการปลูกมันสำปะหลังทุกครั้งมีการพรวนดินด้วยจอบก่อนปลูกทุกครั้ง ซึ่งช่วยให้ดินลูกรังร่วนซุยขึ้น ส่วนในแปลงที่ปลูกไม้ประดู่แทรกนั้น มีระยะปลูกห่างกว่าแปลงอื่น ๆ คือระยะระหว่างต้น 2 เมตรและระหว่างแถว 4 เมตร (1,250 ต้นต่อเฮกตาร์) และไม่ได้รับผลกระทบจากไม้ประดู่ที่ปลูกแทรกเพราะว่าไม้ประดู่โตช้ามาก จึงน่าจะเป็นเพราะว่าไม้ชนิดนี้มีการแข่งขันระหว่างแถวน้อยลงจึงโตดีกว่าในแปลงอื่น ๆ

ในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทรายนั้น มีผลผลิตมวลชีวภาพที่ตอบสนองต่อมาตรการที่ใช้ในรูปแบบต่าง ๆ (Table 3) ได้อย่างดีใกล้เคียงกัน ทำให้ได้ผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนค่อนข้างสูงถึงสูงมาก แต่ก็มีควมผันแปรในระหว่างมาตรการแต่ละอย่างอยู่บ้าง (Table 5) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่มคือกลุ่มที่ (1) ได้แก่แปลงที่มีการปลูกพืชเกษตรควบ (SE-5, SE-6) จะมีผลผลิตมวลชีวภาพรวมต่ำที่สุดใกล้เคียงกัน กลุ่มที่ (2) มีผลผลิตค่อนข้างต่ำคือแปลงที่ปลูกไม้ยืนต้นชนิดอื่นเช่นไม้ประดู่หรือไม้กระถินเทพาแทรก (SE-1, SE-2) กลุ่มที่ (3) คือแปลงที่ปลูกไม้ยืนต้นตระกูลถั่วแทรกและใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิดใส่ในแปลงปลูกด้วย (SE-10) ซึ่ง

มีผลผลิตในเกณฑ์สูง ซึ่งทั้งสามกลุ่มนี้มีระยะปลูกกว้างคือ 2x4 เมตร (1,250 ต้นต่อเฮกตาร์) กลุ่มที่ (4) คือแปลงที่มีการใช้ปุ๋ยทั้งปุ๋ยเคมีและ/หรือปุ๋ยหมักเทศบาลและปลูกด้วยระยะปลูก 2x2 เมตร หรือ 2,500 ต้นต่อเฮกตาร์ (SE-9, SE-11) ซึ่งมีผลผลิตสูงมาก และกลุ่มที่ (5) ซึ่งมีอยู่แปลงเดียวคือแปลงที่ปลูกด้วยระยะปลูก 2x2 ม. (2,500 ต้นต่อเฮกตาร์) ที่มีการไถพรวนดินในตอนก่อนการปลูกและมีการกำจัดวัชพืชตามปกติ (SE-4) ที่มีผลผลิตมวลชีวภาพรวมสูงที่สุดในท้องที่นี้ ทั้งนี้แสดงนัยให้เห็นว่าในที่ดินรกร้างเช่นนี้สามารถจะปลูกต้นไม้ชนิดนี้ได้ดีและมีผลผลิตสูงขึ้นได้ด้วยวิธีที่ง่ายที่สุดคือการควบคุมความหนาแน่นของการปลูก (stand density control) หรือการใช้ระยะปลูกอย่างเดียวกันนั้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีผลของการแก่งแย่งระหว่างพืชชนิดเดียวกันที่มีต่อผลผลิต (intraspecific competition-density effect theory หรือ Logistic theory of C-D effect) ของ Shinozaki and Kira (1956) และผลการวิเคราะห์การเติบโตของไม้ชนิดนี้ในท้องที่เดียวกันนี้โดย Thoranisor *et al.* (1990) ที่สรุปว่ายิ่งปลูกด้วยความหนาแน่นสูงจะยิ่งได้ผลผลิตรวมต่อพื้นที่สูง แต่ต้องเป็นระดับความหนาแน่นที่เหมาะสม

สำหรับอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินต่อส่วนที่อยู่ใต้ดิน (ราก) หรือ S/R ที่ได้ศึกษาเพิ่มมาใหม่นั้นในที่ดินที่เป็นทรายจัดจะแคบคือมีค่าต่ำกว่า 2 (เฉลี่ย 1.437) มีอัตราส่วนกว้างขึ้นเป็นมากกว่า 2 แต่ไม่เกิน 3 (เฉลี่ย 2.628) ในที่ดินที่เป็นลูกรังและมีอัตราส่วนกว้างที่สุดประมาณ 4 (เฉลี่ย 3.951) ในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทราย แต่มีความผันแปรในแต่ละแปลงบ้างในทุกท้องที่ ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่า

ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดนั้นราก 1 ส่วนสามารถที่จะรองรับส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินได้ไม่เกินหรือน้อยกว่า 2 ส่วนซึ่งใกล้เคียงกันมากหรือมีอัตราส่วนที่แคบที่สุดเมื่อเทียบเคียงกันระหว่างในที่ดินรกร้างทั้งสามประเภท (Table 5) ทั้งนี้เพราะว่าในที่ดินประเภทนี้ต้นไม้จำเป็นจะต้องพัฒนารากให้มีมากเพียงพอในการดูดน้ำและอาหารที่มีอย่างจำกัดในดินเป็นทรายจัดที่เปิดโล่งและขาดแคลนทั้งธาตุอาหารและน้ำ ให้เพียงพอต่อการหล่อเลี้ยงส่วนที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง (คือใบ) และส่วนที่จะลำเลียงสิ่งที่สังเคราะห์ได้ไปหล่อเลี้ยงส่วนอื่น ๆ (ลำต้นและกิ่งตลอดจนรากด้วย) และอัตราส่วนนี้จะเปลี่ยนจากสูงประมาณ 1.6 ในแปลงที่มีและไม่มีกรไถพรวน (TE-01, TE-1) ไปมีค่าประมาณ 1.3 เมื่อมีการใช้มาตรการต่าง ๆ และต่ำที่สุดในแปลงที่ใช้มาตรการสูงสุด(TE-4) ส่วนในที่ดินอีกสองประเภทนั้นอัตราส่วนนี้จะใกล้เคียงกันมากในทุกแปลงแต่ที่น้ำสังเกตคือในที่ดินที่เป็นดินลูกรังนั้นแปลงที่ปลูกผสมกับไม้ประดู่ (RE-5) ที่มีระยะปลูกที่ห่างกว่า (มีความหนาแน่นของจำนวนต้นน้อยกว่า) ที่มีอัตราส่วนนี้สูงสุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าราก 1 ส่วนสามารถจะช่วยหล่อเลี้ยงส่วนที่เป็นลำต้น กิ่งและใบรวมกันได้มากขึ้นไปตามความแตกต่างของประเภทที่ดินรกร้าง และถ้ามีการปลูกด้วยความหนาแน่นน้อยลงจะยิ่งทำให้รากของต้นไม้ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการหล่อเลี้ยงส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ได้มากขึ้นในสภาพของที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังที่มีธาตุอาหารและการอุ้มน้ำค่อนข้างน้อย ถ้ามีการลดการแก่งแย่งให้น้อยลงก็จะยิ่งทำให้รากหาอาหารและน้ำได้ดีและทำให้ได้ผลผลิตสูงมากขึ้น ส่วนแปลงที่มีแต่การไถพรวนดินอย่างเดียวหนึ่งใน

สามแปลง (RE-04B) มีอัตราส่วนนี้ต่ำที่สุดเนื่องจากมีระยะปลูกถี่ในที่ดินรกร้างประเภทนี้สำหรับอัตราส่วนนี้ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินร่วนปนทรายที่มีประมาณ 4 (Table 5) นั้นเป็นสัดส่วนที่สูงมากกว่าในไม้ชนิดเดียวกันที่ปลูกในที่ดินรกร้างประเภทอื่นอีกสองประเภทแรก ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของรากในการเกี่ยวถูและลำจุนส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินได้ดีมากที่สุดในสภาพที่ขึ้นอยู่ในดินร่วนปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินค่อนข้างต่ำและอุ้มน้ำได้น้อยมีฤดูแล้งค่อนข้างยาวในท้องที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

## 2. ปริมาณการกระจายของผลผลิตมวลชีวภาพในแต่ละส่วนของต้นไม้

สำหรับเปอร์เซ็นต์การกระจายของปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพในแต่ละส่วนของต้นไม้เมื่อสิ้นสุดการทดลองซึ่งศึกษาเพิ่มเติมมาในคราวนี้นั้นแสดงอยู่ใน Figure 2 ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดนั้นทำให้ได้ผลผลิตมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ แตกต่างกันไปตามมาตรการที่ใช้ซึ่งในแปลงที่มีผลผลิตรวมสูงสุด (TE-4) นั้นจะมีผลผลิตในแต่ละส่วนสูงสุดเช่นเดียวกัน แต่เปอร์เซ็นต์การกระจายของมวลชีวภาพแสดงลักษณะที่น่าสนใจสำหรับต้นไม้ชนิดนี้ที่ปลูกบนดินทรายจัด กล่าวคือ เปอร์เซ็นต์ของมวลชีวภาพของรากและลำต้นต่อมวลชีวภาพรวมนั้นต่างกันเล็กน้อย แต่เปอร์เซ็นต์ของมวลชีวภาพของกิ่งและใบต่อมวลชีวภาพรวมนั้นมีความแตกต่างกันในแต่ละมาตรการที่ใช้อย่างชัดเจน (Figure 2A) กล่าวคือมวลชีวภาพของกิ่งในแปลงที่ไม่ใช้มาตรการใด ๆ (TE-01) กับแปลงที่มีการไถพรวนอย่างเดียว (TE-1) มีเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวน้อยที่สุดแต่แปลงอื่น ๆ จะมีเปอร์เซ็นต์นี้สูงขึ้นเล็กน้อย

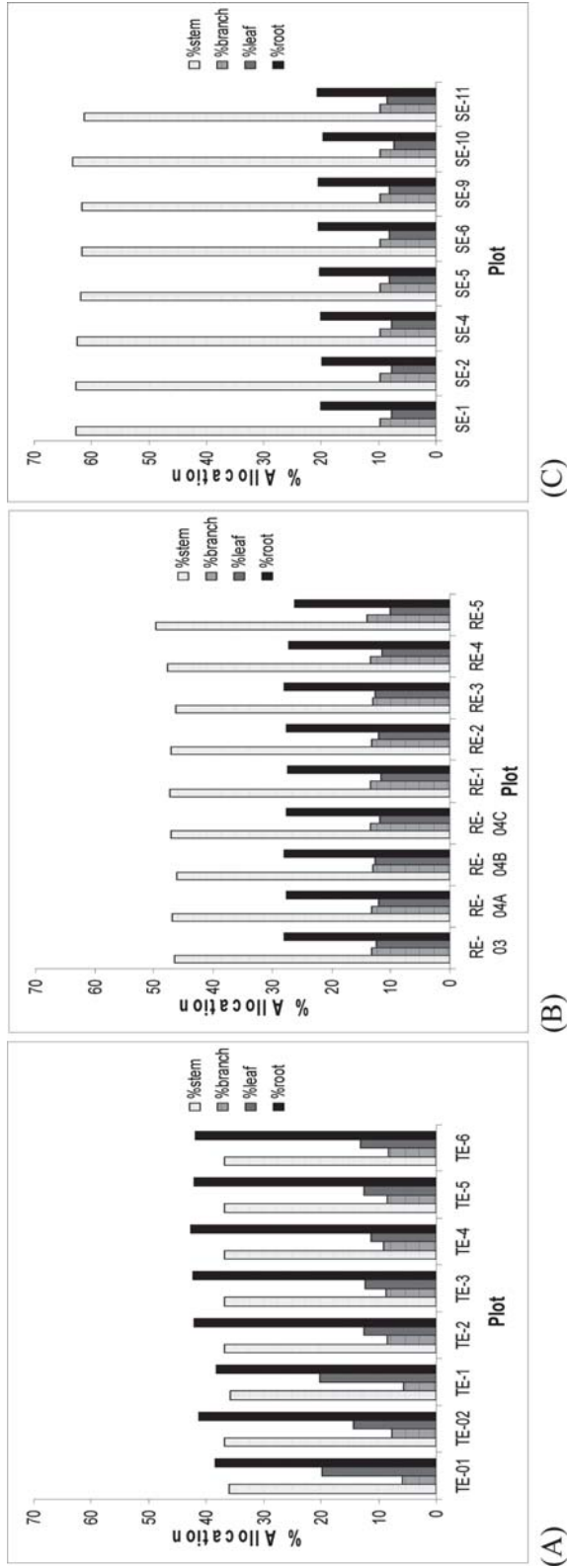


Figure 2 Percentage allocation of biomass in various parts of *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types and 3 sites, (A) Takuapa/sand deposit, (B) Ratchaburi/lateritic, (C) Somdet/sandy loam. For experimental treatments see tables 1-3.

ในการทำงานเดียวกันมวลชีวภาพของใบของต้นไม้ชนิดนี้ในแปลงที่มีกึ่งน้อยจะมีใบเป็นเปอร์เซ็นต์สูงสุดและมีเปอร์เซ็นต์ของใบน้อยลงในแปลงที่มีกึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้น (Figure 2A) อย่างไรก็ตามเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตมวลชีวภาพโดยรวมจะเป็นไปในลักษณะตามลำดับคือในราก>ลำต้น>ใบ>กึ่ง การที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลชีวภาพของรากต่อมวลชีวภาพรวมสูงมากนั้นเป็นลักษณะที่สำคัญสำหรับต้นไม้ชนิดนี้ที่จะต้องปรับตัวให้สามารถขึ้นอยู่ได้ในที่ดินที่เป็นทรายจัดและมีความสามารถอุ้มน้ำได้น้อยหรือเกิดความเครียดของน้ำ (water stress) บ่อย ๆ ในบริเวณโชนของราก และการที่มีเปอร์เซ็นต์ของใบต่อมวลชีวภาพรวมค่อนข้างสูงก็จะช่วยให้ต้นไม้มีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้มากขึ้นเพื่อให้มีอาหารและพลังงานเพียงพอเพื่อให้รอดตายอยู่ได้ในสภาพที่ดินดังกล่าวซึ่งเป็นสภาพที่ไม่ใคร่เหมาะต่อการเติบโตของต้นไม้

เปอร์เซ็นต์การกระจายของผลผลิตมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ชนิดนี้ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังและในที่ดินที่เป็นทรายจัดนั้นจะมีในลำต้น>ราก>กึ่ง>ใบ (ภาพที่ 2B และ 2C) ซึ่งเป็นลักษณะที่ต่างจากผลผลิตที่ได้จากการปลูกในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดที่ตะกั่วป่าและมีผลผลิตทุกส่วนมากกว่าผลผลิตที่ได้จากการปลูกในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัด และการแจกแจงนี้ก็ใกล้เคียงกันในทุก ๆ แปลงที่ใช้มาตรการต่างกัน แต่มีเปอร์เซ็นต์ของส่วนที่เป็นลำต้นสูงมากและสูงกว่าไม้ชนิดเดียวกันที่ปลูกในที่ดินรกร้างที่เป็นดินร่วนปนทราย โดยมีเปอร์เซ็นต์ของกึ่งมากกว่าในที่ดินทรายจัดแต่น้อยกว่าในที่ดินที่เป็นดินลูกรัง ส่วนใบและรากมีเปอร์เซ็นต์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการปลูกในที่ดินในสองกรณี

ที่กล่าวแล้ว

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปลูกป่าไม้ชนิดนี้ในที่ดินรกร้างทั้งสามประเภทดังกล่าวแล้วจะมีการตอบสนองแตกต่างกันไปแล้วแต่มาตรการที่ใช้ จึงควรพิจารณาให้รอบคอบในการใช้มาตรการต่าง ๆ อย่างไรก็ตามมาตรการการควบคุมความหนาแน่นหรือใช้ระยะปลูกที่เหมาะสมเป็นมาตรการที่ง่ายในทางปฏิบัติซึ่งจะช่วยให้ต้นไม้ที่ปลูกมีอัตราการเติบโตและผลผลิตสูงตามที่ต้องการได้ดีกว่าการใช้มาตรการอื่น ๆ สำหรับการใช้ปุ๋ยนั้น Florence (1996) กล่าวว่าไม้พืชมหลายชนิดที่ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยในตอนที่ทำกรปลูก แต่ไม่ได้หมายความว่าดินขาดธาตุอาหาร แต่พืชมีความสามารถในการดูดกิน (uptake) ธาตุอาหารและแสดงการสร้างคาร์บอนในที่ ๆ มีธาตุอาหารอยู่หรือสามารถจะเข้าไปถึงธาตุอาหารได้ดี ซึ่งแหล่งของธาตุอาหารที่พืชสามารถเข้าถึงได้ดีนั้นมักจะมีสมบัติทางกายภาพของดินที่ไม่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ และมีการแก่งแย่งน้ำและธาตุอาหารลดลงจากการกำจัดหรือหยุดยั้งการเติบโตของวัชพืชมที่เป็นตัวปัญหาออกไปแล้ว โดยทั่วไปแล้วยังใช้ปุ๋ยแต่เนิ่นๆ เท่าไรก็ดีเท่านั้น การตอบสนองที่พอเหมาะจะเกิดขึ้นเมื่อใช้ปุ๋ยตอนปลูกหรือหลังจากปลูกไปแล้วเล็กน้อย (Florence, 1996)

การทดลองใช้ปุ๋ยในการปลูกไม้ชนิดนี้ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานใดปรากฏในเอกสาร แต่ในออสเตรเลียมีรายงานว่าผลผลิตของ *E. nitens* เมื่ออายุ 5 ปี มีการเพิ่มพูนรายคาบหรือ current annual increment (CAI) ของเนื้อไม้สูงถึง 45 ลบ.ม. ต่อเฮกแตร์เมื่อมีการไถพรวนดิน กำจัดวัชพืชมโดยใช้สารเคมีและใช้ปุ๋ย N และ P เป็นเวลา 3.5 ปี ซึ่งปริมาณเนื้อไม้ที่สูงมากขนาดนี้จะมาก



กว่าชนิดอื่น ๆ ที่ปลูกพร้อมกัน (เช่น *E. globules*, *E. regnans* และ *E. delegatensis*) ทั้งนี้เนื่องจากผลของการขยายดัชนีพื้นที่ผิวใบ (leaf area index) ที่สูงกว่าและทำให้สามารถรับแสงได้สูงมากกว่า (Turnbull *et al.*, 1988, 1993) Bonny (1991) ก็อธิบายว่าการใช้มาตรการสูงมาก (superculture) กับไม้ *E. grandis* ใน New South Wales นั้นยังมีมาตรการสูงเท่าใดยิ่งโตดีเท่านั้น ปรากฏผลว่าการเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีหรือ mean annual increment (MAI) สูงสุดของไม้ชนิดนี้จะสูงถึง 34 ลบ.ม.ต่อเฮกแตร์ เมื่อมีอายุ 8 ปี ซึ่งสูงเป็นสองเท่าของแปลงควบคุม ในทำนองเดียวกันใน Southern Queensland นั้นหมู่ไม้ *E. grandis* จะมี MAI 34 ลบ.ม.ต่อเฮกแตร์เมื่ออายุ 3 ปี ซึ่งตอบสนองต่อการปรับปรุงพื้นที่ปลูกคือใช้ปุ๋ยมากพร้อมกับควบคุมวัชพืชและแมลง (Cromer *et al.*, 1991)

### ผลผลิตมวลชีวภาพในอนาคตและแนวทางการจัดการสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส กามาลดูเลนซิสที่ปลูกในที่ดินรกร้างประเภทต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลผลิตกับอายุของสวนป่าตามรูปแบบดังกล่าว ได้ค่าคงที่ของสมการในแต่ละแปลงดังแสดงไว้ใน Table 6 ซึ่งจากค่าคงที่เหล่านี้จะสามารถประมาณหาผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนที่เวลาใดเวลาหนึ่งในปัจจุบันและในอนาคตได้ตามที่ต้องการ จากการวิเคราะห์พบว่ามาตรการต่าง ๆ ที่ใช้ในที่ดินรกร้างทั้งสามประเภทนี้สามารถนำเอาโมเดลนี้ไปใช้ได้กับทุกแปลงทดลอง โดยทุกแปลงมีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตรวมทุกส่วนเป็นไปในรูปเส้นโค้งแบบ S-curve อย่างใกล้ชิด (good fit) โดยมีค่าความผิดพลาดมาตรฐานของ

การประมาณ (standard error of estimate,  $S_{y,x}$ ) โดยใช้สมการนี้ น้อยถึงน้อยมาก (Table 6) และ มีค่าคงที่ทั้งสามค่า (k, m และ a) ของสมการแตกต่างกันไปแล้วแต่ความสมบูรณ์ของดินและมาตรการที่ใช้ในแต่ละแปลงในแต่ละท้องที่ในระหว่างที่ดินรกร้างทั้งสามประเภทจะเห็นว่าค่า k จะเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของความสมบูรณ์ของดินและความเหมาะสมของท้องที่ คือมีค่าน้อยที่สุดในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดปานกลางในที่ดินที่เป็นลูกรังและสูงสุดในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทราย และภายในแต่ละท้องที่ก็มีความผันแปรไปตามมาตรการต่าง ๆ ที่ใช้ (Table 6) นอกจากนี้มีอัตราการสะสมมวลชีวภาพรวมรายปี (ค่า a) เพิ่มขึ้นไปตามลำดับจากมีค่าน้อยในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดหลังจากการทำเหมืองแร่ไปมีค่าปานกลางในที่ดินที่เป็นดินลูกรังและมีค่าสูงในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทราย แต่รูปร่างของกราฟเส้นโค้ง (ซึ่งสังเกตได้จากค่า m เฉลี่ยจากทุกแปลง) จะมีลักษณะปานออกในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดแต่จะชันมากขึ้นเล็กน้อยในที่ดินรกร้างสองประเภทหลัง แต่ส่วนมากแล้วจะมีลักษณะเป็นรูปตัว S ใกล้เคียงกันและมีผลผลิตสูงสุดเมื่อเส้นโค้งส่วนบนสุดเข้าใกล้ค่า k หลังจากมีอายุเลย 5 ปีขึ้นไปในทุกท้องที่

จากการประมาณผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนของไม้ชนิดนี้ ในที่ดินประเภทต่าง ๆ ในทุกมาตรการที่ใช้ไปจนกระทั่งสวนป่านี้มีอายุ 10 ปี โดยใช้ค่าคงที่ k, m และ a ที่กล่าวแล้ว (Table 6) แล้วศึกษาอัตราการสะสมเพิ่มพูนของผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนที่แสดงถึงอัตราการสะสมมวลชีวภาพไปตามอายุในแต่ละช่วงเวลาในรูปของการเพิ่มพูนรายคาบหรือการเพิ่มพูนในรอบปีปัจจุบัน (periodic or current annual

Table 6 Constant parameters of the relationships between total biomass production and stand age:  $y = k/1 + me^{-ax}$ , where y is total biomass ( $t \cdot ha^{-1}$ ), x is stand age (yrs), k, m and a are constants, e is base of natural logarithm,  $S_{y,x}$  is standard error of estimate. The model was applied for biomass production estimation of *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types. For experimental treatments see tables 1-3.

Site/Soil type	Plot	Constants			$S_{y,x}$	
		k	m	a		
Takuapa/sand deposit	TE-01	2.038	33.610	1.022	$\pm 0.069$	
	TE-02	17.358	87.948	1.162	$\pm 1.886$	
	TE-1	3.238	38.526	0.760	$\pm 0.080$	
	TE-2	27.035	108.998	1.427	$\pm 1.747$	
	TE-3	23.526	101.313	1.661	$\pm 1.299$	
	TE-4	45.150	115.153	2.077	$\pm 2.891$	
	TE-5	20.022	89.338	1.644	$\pm 1.173$	
	TE-6	15.034	87.613	1.525	$\pm 0.541$	
	Average	19.175	82.812	1.410	$\pm 1.211$	
Ratchaburi/lateritic	RE-03	47.287	96.588	1.373	$\pm 2.181$	
	RE-04A	47.069	89.640	1.596	$\pm 3.365$	
	RE-04B	41.262	81.501	1.339	$\pm 2.667$	
	RE-04C	50.059	93.301	1.638	$\pm 2.975$	
	RE-1	47.263	89.521	1.879	$\pm 4.113$	
	RE-2	45.091	85.210	1.534	$\pm 3.504$	
	RE-3	40.113	80.887	1.470	$\pm 2.842$	
	RE-4	52.056	96.678	1.659	$\pm 3.514$	
	RE-5	52.031	129.961	1.808	$\pm 4.318$	
		Average	46.915	93.699	1.588	$\pm 3.275$
Somdet/sandy loam	SE-1	50.085	104.611	1.608	$\pm 2.359$	
	SE-2	50.078	106.412	1.626	$\pm 2.518$	
	SE-4	82.051	90.934	1.752	$\pm 3.819$	
	SE-5	40.012	95.867	1.882	$\pm 2.479$	
	SE-6	43.146	93.801	1.477	$\pm 3.532$	
	SE-9	72.039	81.866	1.756	$\pm 5.074$	
	SE-10	58.025	109.982	1.789	$\pm 4.055$	
	SE-11	72.079	84.452	1.645	$\pm 3.928$	
		Average	58.439	95.991	1.692	$\pm 3.471$

increment, CAI) และอัตราการเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) ของแต่ละแปลงจากสูตร  $CAI = (y_t - y_{t-1}) / (t - (t-1))$

เมื่อ CAI คืออัตราการสะสมเพิ่มพูนมวลชีวภาพรวมทุกส่วนรายคาบหรือการสะสมเพิ่มพูนในรอบปี (ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี)  $y_t$  คือผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วน (ต้นต่อเฮกแตร์) ที่เวลา  $t$  (ปี) ซึ่งเป็นเวลาปัจจุบัน  $y_{t-1}$  คือผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วน (ต้นต่อเฮกแตร์) ที่เวลาผ่านมา 1 คาบหรือ 1 ปี  $(t-1)$  และ  $MAI = (y_t - y_0) / (t - t_0)$

เมื่อ MAI คืออัตราการสะสมเพิ่มพูนมวลชีวภาพรวมทุกส่วนเฉลี่ย (ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี)  $y_t$  คือผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วน (ต้นต่อเฮกแตร์) ที่เวลา  $t$  (ปี)  $y_0$  คือผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนที่เวลาเริ่มต้นคือเวลา  $t_0$  (ต้นต่อเฮกแตร์)

เมื่อศึกษาอัตราการสะสมเพิ่มพูนทั้งสองรูปแบบนี้ในเวลาเดียวกันทุกๆ ช่วงเวลาหรืออายุ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในสเกลเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพรวมทุกส่วนตามอายุ จะพบว่าเส้นโค้งของอัตราการสะสมเพิ่มพูนทั้งสองแบบนี้มีอัตราสูงสุดต่างกัน และที่อายุต่างกัน กล่าวคืออัตราการสะสมรายคาบ (CAI) จะสูงที่สุดเมื่อสวนป่าทุกแห่งมีอายุน้อยอยู่และมีค่าสูงกว่าอัตราการสะสมเฉลี่ยรายปี (MAI) และจะมีอายุที่อัตราดังกล่าวสูงสูดน้อยลงเมื่อสภาพของท้องที่ที่เหมาะสมมากขึ้นตามความสมบูรณ์ของดิน (Table 7) แต่ทุกอัตราจะลดลงหลังจากนั้นโดย CAI จะลดลงอย่างรวดเร็วและเร็วกว่า MAI ในทุกแปลงจนไปตัดกันที่จุดใดจุดหนึ่ง จุดตัดกันของอัตราการสะสมทั้งสองแบบนี้ จุดใดจุดหนึ่งซึ่งเป็นเวลาใดเวลาหนึ่งในสเกลของ

อายุเดียวกันนั้น จะแสดงถึงระยะเวลาที่ต้นไม้ในแปลงนั้นมีอัตราการสะสมเพิ่มพูนทั้งสองรูปแบบที่มีค่าเท่ากัน จุดนี้เป็นจุดที่ใช้ตัดสินใจในการกำหนดอายุการตัดฟัน (cutting age) ของต้นไม้หรือบางครั้งเรียกว่าเป็นความยาวของรอบตัดฟันที่เหมาะสม (optimal rotation length) เมื่อลากเส้นจากจุดตัดกันนี้ลงไปหาแกนของอายุในกราฟก็จะได้อายุการตัดฟันหรือ ความยาวของรอบตัดฟันที่เหมาะสมดังกล่าว ทั้งนี้เนื่องจากว่าเมื่อเลยจุดนี้ไปแล้ว อัตราการสะสมเพิ่มพูนทั้งสองแบบจะลดลงไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดต่ำสุด ซึ่งแสดงว่าต้นไม้ในแปลงนั้น ๆ ไม่มีการเติบโตหรือไม่มีการสะสมเพิ่มพูนมวลชีวภาพรวมทุกส่วนต่อไปอีกแล้ว แต่จะยังคงเก็บสะสมมวลชีวภาพอยู่ต่อไปเรื่อย ๆ ในอัตราที่น้อยลง ในทางการจัดการป่าไม้จึงกำหนดจุดนี้เป็นจุดที่ทำให้ได้ผลผลิตจากการตัดฟันที่เหมาะสม ซึ่งการตัดฟันในที่นี้อาจจะเป็นการตัดฟันออกมาบางส่วน (partial cutting) เช่นการตัดสงขยาในระยะ (thinning) หรือการตัดหมด (clear cutting) อย่างเช่นในกรณีของสวนป่าไม้โตเร็วชนิดนี้ที่นิยมทำไม้โดยการตัดหมดเมื่ออายุน้อยหรือใช้อายุตัดฟันสั้น เนื่องจากว่าเป็นไม้โตเร็วและใช้ไม้ขนาดเล็ก แต่ถ้าต้องการใช้ไม้ชนิดนี้ที่เป็นไม้ขนาดใหญ่ก็สามารถจะตัดออกบางส่วนซึ่งจะต้องพิจารณาต่อไปว่าจะตัดออกกี่เปอร์เซ็นต์ หรือใช้แนวทางการจัดการสต็อกไม้ชนิดนี้ตามที่เคยนำเสนอไปแล้ว (พงษ์ศักดิ์, 2544)

ตัวอย่างของการวิเคราะห์ในลักษณะดังกล่าวแล้วที่เลือกมาบางแปลงแสดงไว้ใน Figure 3 ในที่นี้คือในแปลงที่มีผลผลิตมวลชีวภาพรวมเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ซึ่งมีอายุต่างกัน) ต่ำที่สุดและสูงที่สุดในที่ดินรกร้างทั้งสามประเภทสำหรับอายุการตัดฟันที่ได้จากการใช้เกณฑ์ดังกล่าว

**Table 7** Estimated age of *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types at the stage of attainment in maximum CAI (current annual increment) and maximum MAI (mean annual increment) of total biomass production. For experimental treatments see tables 1-3.

Site/Soil type	Plot	Age at		Age at	
		max.CAI (yrs)	Max.CAI (t.ha <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> )	max.MAI (yrs)	Max.MAI (t.ha <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> )
Takuapa/sand deposit	TE-01	3.95	0.510	5.00	0.327
	TE-02	3.95	4.950	5.00	2.707
	TE-1	5.00	0.612	7.00	0.377
	TE-2	3.41	9.443	4.41	5.045
	TE-3	2.89	9.531	3.95	5.150
	TE-4	2.41	22.213	2.89	11.768
	TE-5	2.89	8.081	3.95	4.045
	TE-6	3.41	5.511	3.95	3.097
	Average	3.49	7.606	4.52	4.065
Ratchaburi/lateritic	RE-03	4.05	14.618	4.40	8.630
	RE-04A	3.39	17.449	4.05	10.070
	RE-04B	3.39	13.525	4.40	7.539
	RE-04C	2.87	19.995	4.05	10.880
	RE-1	2.87	20.825	3.39	11.934
	RE-2	3.39	16.557	4.05	9.383
	RE-3	3.39	16.557	4.05	10.880
	RE-4	2.87	21.086	4.05	11.377
	RE-5	2.87	23.090	3.39	11.847
		Average	3.23	17.891	3.98
Somdet/sandy loam	SE-1	3.38	19.184	3.94	10.602
	SE-2	2.88	19.466	3.94	10.690
	SE-4	2.88	35.302	3.38	19.247
	SE-5	2.88	17.785	3.38	10.035
	SE-6	3.38	15.732	4.39	8.495
	SE-9	2.88	30.760	3.38	17.264
	SE-10	2.88	25.572	3.38	13.470
	SE-11	2.88	29.234	3.38	15.987
		Average	3.01	24.129	3.65

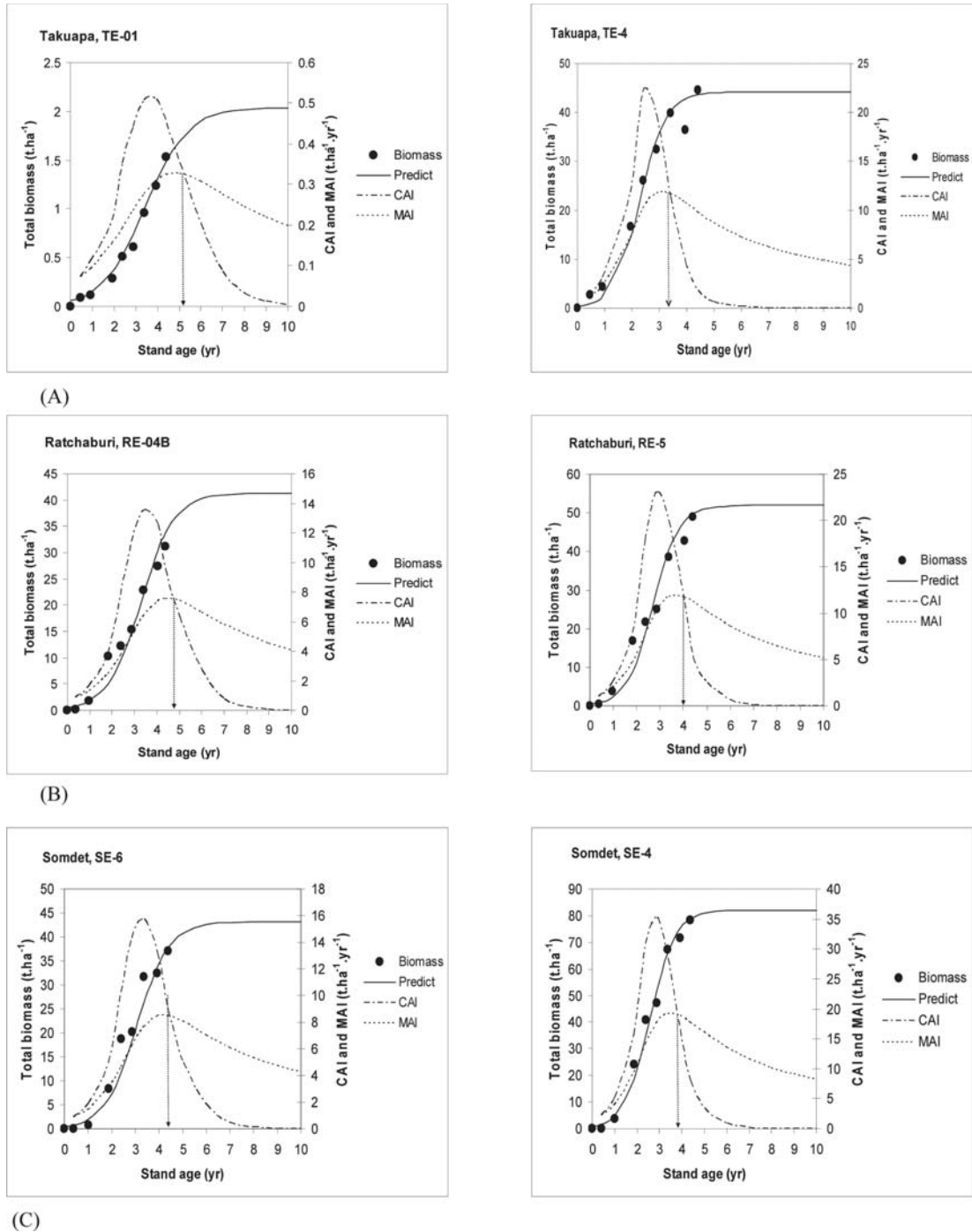


Figure 3 Sample of total biomass accumulation by stand age, CAI and MAI in *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types and 3 sites, (A) Takuapa/ sand deposit, (B) Ratchaburi/lateritic, (C) Somdet/sandy loam where they are minimum (left) and maximum (right) biomass production plots respectively. Black points are actually estimated total biomass production, full curves are predicted trends of biomass production fitted by the logistic model as shown in table 6, dotted line with arrow indicates an optimal rotation length.

และผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วน แสดงไว้ใน Table 8 ซึ่งได้ประเมินผลผลิตที่เป็นลำต้นมาด้วยการใช้เปอร์เซ็นต์ของการแจกแจงมวลชีวภาพตามส่วนต่างๆที่แสดงไว้ใน Figure 2 หรือจากอัตราส่วนที่คำนวณได้จากการใช้ Table 5 ผลผลิตของส่วนที่เป็นลำต้นที่ได้นี้สามารถจะนำไปประเมินผลทางเศรษฐกิจต่อไปได้เพราะว่าเป็นส่วนที่จะนำไปซื้อขายได้โดยตรงซึ่งต้องแปลงให้เป็นน้ำหนักสดตามธรรมเนียมการซื้อขายไม้ชนิดนี้ในปัจจุบัน (ในการศึกษานี้ได้หาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักสดของลำต้นไว้เท่ากับ 0.433, 0.439 และ 0.463 ที่ตะกั่วป่าราชบุรีและสมเด็จพระเจ้าตาก) ส่วนผลผลิตของส่วนอื่น ๆ ที่เหลือจะเป็นผลผลิตที่อำนวยความสะดวกทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ในการเก็บกักพลังงาน ธาตุอาหาร การหมุนเวียนของพลังงาน และธาตุอาหาร การปกคลุมดิน การดักเก็บน้ำฝน (rainfall interception) โดยเรือนยอด เป็นต้น ตัวอย่างของการวิเคราะห์การหมุนเวียนธาตุอาหารของสวนป่าไม้ชนิดนี้ที่ปลูกด้วยความหนาแน่นต่าง ๆ ดูได้จากรายงานของพงษ์ศักดิ์ (2545) สิ่งที่น่าสนใจที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะนี้คือ จะพบว่าในแปลงที่มีการใช้มาตรการสูงสุดในแต่ละท้องที่ที่มีสภาพดินต่างกันจะทำให้มีอายุตัดฟันสั้นลง และมีอายุตัดฟันยาวขึ้นในแปลงที่มีการใช้มาตรการน้อยที่สุดเช่นในแปลงที่มีการไถพรวนอย่างเดียวในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัด (TE-1) จะต้องมีอายุตัดฟันถึง 7.2 ปีจึงจะมีอัตราการเพิ่มพูนของมวลชีวภาพรวมทั้งสองแบบเท่ากัน และจะได้ผลผลิตรวมเพียง 2.787 ตันต่อเฮกเตอร์เท่านั้น ในขณะที่เดียวกันแปลงที่ใช้มาตรการสูงสุด (TE-4) จะมีอายุตัดฟันเพียง 3.5 ปีและจะได้ผลผลิตรวมสูงมากถึงประมาณ 41.797 ตัน

ต่อเฮกเตอร์ (Table 8) ในที่ดินที่เป็นดินลูกรังนั้นผลผลิตที่จะได้สูงสุดถึง 47.103 ตันต่อเฮกเตอร์และมีอายุตัดฟัน 4 ปีได้จากแปลงที่ปลูกห่างด้วยระยะปลูก 2x4 ม (RE-5) แต่ในแปลงที่มีระยะปลูกแคบ 2x2 ม. นั้นแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีเพิ่มเติม (RE-1) จะมีอายุตัดฟันสั้นเพียง 3.6 ปีและได้ผลผลิตค่อนข้างสูงประมาณ 42.835 ตันต่อเฮกเตอร์ ในทำนองเดียวกันถ้าปลูกโดยไม่มีการไถพรวนดิน (RE-03) จะขยายอายุการตัดฟันไปเป็น 5.6 ปีจึงจะได้ผลผลิตสูงถึง 45.286 ตันต่อเฮกเตอร์ ส่วนแปลงที่มีอายุตัดฟันยาวที่สุดคือแปลงที่มีผลผลิตรวมต่ำสุดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แต่จะมีอายุตัดฟันยาวถึง 4.8 ปีซึ่งจะได้ผลผลิตรวมเพียง 36.450 ตันต่อเฮกเตอร์เท่านั้น สำหรับในที่ดินที่เป็นดินร่วนปนทรายนั้นแปลงที่มีระยะปลูกห่างจะมีอายุตัดฟันสั้นที่สุดคือ 3.8 ปี (SE-10) แต่แปลงที่ปลูกแคบ จะมีอายุตัดฟันสั้นเท่ากันแต่จะได้ผลผลิตรวมสูงที่สุดถึง 73.456 ตันต่อเฮกเตอร์ (SE-4) เช่นเดียวกับแปลงที่มีอายุตัดฟันยาวมากถึง 4.4 ปีคือแปลงที่ปลูกห่างและปลูกพืชเกษตรควบและได้ผลผลิตเพียง 37.818 ตันต่อเฮกเตอร์เท่านั้น (SE-6) เมื่อเทียบเคียงกันระหว่างที่ดินรกร้างทั้งสามประเภทจะพบว่าในที่ดินรกร้างที่มีสภาพดินเลวจะมีอายุตัดฟันยาวกว่าในที่ดินรกร้างที่มีสภาพดินค่อนข้างดีหรือดินมีสมบัติเหมาะสมสำหรับต้นไม้ชนิดนี้ โดยเฉพาะแล้วในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำเหมืองแร่มีอายุตัดฟันยาวกว่าในที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังและดินร่วนปนทรายตามลำดับและได้ผลผลิตต่ำเรียงไปหาสูงตามลำดับเช่นเดียวกัน (Table 8) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าถ้ามีการจัดการทำไม้ออกตามเกณฑ์ดังกล่าวนั้นจะเป็นช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าที่สวนป่าไม้ชนิดนี้ยังมี



**Table 7** Estimated age of *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types at the stage of attainment in maximum CAI (current annual increment) and maximum MAI (mean annual increment) of total biomass production. For experimental treatments see tables 1-3.

Site/Soil type	Plot	Age at		Age at	
		max.CAI (yrs)	Max.CAI (t.ha <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> )	max.MAI (yrs)	Max.MAI (t.ha <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> )
Takuapa/sand deposit	TE-01	3.95	0.510	5.00	0.327
	TE-02	3.95	4.950	5.00	2.707
	TE-1	5.00	0.612	7.00	0.377
	TE-2	3.41	9.443	4.41	5.045
	TE-3	2.89	9.531	3.95	5.150
	TE-4	2.41	22.213	2.89	11.768
	TE-5	2.89	8.081	3.95	4.045
	TE-6	3.41	5.511	3.95	3.097
	Average	3.49	7.606	4.52	4.065
Ratchaburi/lateritic	RE-03	4.05	14.618	4.40	8.630
	RE-04A	3.39	17.449	4.05	10.070
	RE-04B	3.39	13.525	4.40	7.539
	RE-04C	2.87	19.995	4.05	10.880
	RE-1	2.87	20.825	3.39	11.934
	RE-2	3.39	16.557	4.05	9.383
	RE-3	3.39	16.557	4.05	10.880
	RE-4	2.87	21.086	4.05	11.377
	RE-5	2.87	23.090	3.39	11.847
		Average	3.23	17.891	3.98
Somdet/sandy loam	SE-1	3.38	19.184	3.94	10.602
	SE-2	2.88	19.466	3.94	10.690
	SE-4	2.88	35.302	3.38	19.247
	SE-5	2.88	17.785	3.38	10.035
	SE-6	3.38	15.732	4.39	8.495
	SE-9	2.88	30.760	3.38	17.264
	SE-10	2.88	25.572	3.38	13.470
	SE-11	2.88	29.234	3.38	15.987
	Average	3.01	24.129	3.65	13.224

การสะสมมวลชีวภาพรวมต่อไปโดยที่ยังไม่ถึงระดับสูงสุด ซึ่งถ้าเป็นสวนป่าเพื่อการอนุรักษ์ก็จะต้องเก็บไว้ต่อไปเพื่อให้ได้ปริมาณการสะสมมวลชีวภาพที่สูงที่สุดเท่าที่สวนป่านั้นจะสะสมได้ Cannell and Milne (1995) กล่าวว่าช่วงเวลาที่มีการเพิ่มพูนทั้งสองแบบตัดกันนั้นจะเป็นเพียงช่วงเวลาก่อนที่ต้นไม้จะสะสมคาร์บอนได้สูงสุด ซึ่งเท่ากับว่าถ้ามีการทำไม้ออกในช่วงเวลานั้นก็จะเท่ากับนำเอาคาร์บอนออกไปเป็นปริมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณที่สวนป่าจะสะสมได้เต็มที่ถ้าไม่มีการทำไม้ออก แต่คาร์บอนที่นำออกไปนั้นเมื่อไปอยู่ในรูปผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ก็จะยังคงมีคาร์บอนเก็บสะสมอยู่จนกว่าจะมีการผุพังหรือสลายตัวไป ซึ่งจะปลดปล่อยคาร์บอนเข้าไปสู่บรรยากาศต่อไป ดังนั้นการปลูกต้นไม้เป็นสวนป่าเพื่อนำไปเป็นไม้ใช้สอยเป็นการช่วยในการเก็บสะสมคาร์บอนวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธี

### การสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสที่ปลูกในที่ดินรกร้าง 3 ประเภท ใน 3 ท้องที่

การเก็บสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้ชนิดนี้จะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับการเติบโตและการสะสมผลผลิตมวลชีวภาพ เนื่องจากการสร้างมวลชีวภาพกับการสะสมคาร์บอนเป็นกระบวนการเดียวกัน ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์แสง ในที่นี้ได้ประมาณหาปริมาณของคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพโดยใช้ค่าคงที่ 0.5 ในทุกส่วนรวมกันตามเกณฑ์ที่ IPCC (1996) และคนอื่นๆ นำมาใช้ (เช่น Houghton and Hackler, 2000; Fang et al., 2001; Laclau, 2003; Hu and Wang, 2008; Pibumrung et al., 2008 เป็นต้น) แม้จะมีรายงานว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสจะมีปริมาณ

คาร์บอนอยู่ในส่วนต่างๆทั้งในต้นที่โตเต็มที่และต้นที่ยังมีอายุน้อยอยู่โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 461.2-462.2 กรัมคาร์บอนต่อ 1 กิโลกรัมมวลชีวภาพ (Kojima et al., 2002) ซึ่งเท่ากับค่าคงที่ประมาณ 0.46 ก็ตาม แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกันมากกับค่าคงที่ที่นำมาใช้ในที่นี่ ปริมาณคาร์บอนที่ควรเก็บสะสมได้หรือศักยภาพของสวนป่าไม้ชนิดนี้ในทุกแปลงและทุกกรณีจากการใช้โมเดลการสะสมมวลชีวภาพในรูปลอจิสติกดังกล่าวแล้วไปประมาณหา จะได้ปริมาณคาร์บอนดังแสดงใน Table 9 โดยในที่นี้ได้ประมาณมาใน 5 ชั้นอายุ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอนนั้นจะเพิ่มขึ้นจากอายุน้อยไปหาอายุมากขึ้นเช่นเดียวกับการสะสมมวลชีวภาพ ถ้าปล่อยให้สวนป่ามีอายุถึง 9 ปีก็จะมีปริมาณการสะสมสูงมากใกล้เคียงกับระดับสูงสุดที่เกิดกับการสะสมมวลชีวภาพ ปริมาณคาร์บอนที่สวนป่าใดๆสามารถจะเก็บสะสมได้นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการเติบโต และชนิดของต้นไม้ การจัดการสวนป่าที่ดีจะทำให้ได้อัตราการเติบโตที่สูงชนิดของต้นไม้ที่เป็นชนิดโตเร็วที่ขึ้นอยู่ในดินที่เหมาะสมและมีปริมาณน้ำในดินที่มากเพียงพอ (Lambert and Turner, 2000) ในที่นี้กล่าวได้ว่าสภาพของที่ดินรกร้างทุกแห่งนั้นไม่อยู่ในสภาพที่เรียกว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับไม้ชนิดนี้ แต่การใช้มาตรการต่าง ๆ ก็ได้ช่วยให้มีการเติบโตที่ดีขึ้นและมีการสะสมคาร์บอนมากขึ้นตามสภาพของท้องที่และมาตรการที่ใช้ส่วนชนิดของต้นไม้ในที่นี้ถือว่าเป็นชนิดที่เหมาะสมชนิดหนึ่งในการฟื้นฟูดินรกร้าง และสร้างโอกาสในการเก็บสะสมคาร์บอนได้ดีกว่าทิ้งให้ที่ดินเหล่านี้รกร้างว่างเปล่า

ในประเทศไทยมีการศึกษาปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอนอยู่บ้าง แต่เป็นการประเมินในป่าธรรมชาติเช่น Ogawa et al. (1961) และ

**Table 9** Carbon sequestration in total biomass of *E. camaldulensis* plantations planted on 3 wasteland types as estimated for 5 age classes from the biomass accumulation model as shown in table 6. For experimental treatments see tables 1-3.

Site/Soil type	Plot	Carbon sequestration (t.ha <sup>-1</sup> )					
		Age class (yrs)					
		1	3	5	7	9	
Takuapa/sand deposit	TE-01	0.078	0.397	0.847	0.993	1.016	
	TE-02	0.304	2.348	6.865	8.460	8.657	
	TE-1	0.085	0.328	0.870	1.362	1.555	
	TE-2	0.497	5.386	12.435	13.450	13.513	
	TE-3	0.581	6.940	11.475	11.752	11.763	
	TE-4	1.463	18.404	22.495	22.573	22.575	
	TE-5	0.548	6.090	9.776	10.002	10.011	
	TE-6	0.375	3.949	7.208	7.502	7.516	
	Average	0.491	5.480	8.996	9.512	9.576	
Ratchaburi/lateritic	RE-03	0.928	9.201	21.480	23.492	23.634	
	RE-04A	1.228	13.478	22.834	23.505	23.533	
	RE-04B	0.922	8.355	18.738	20.489	20.621	
	RE-04C	1.309	14.860	24.399	25.005	25.028	
	RE-1	1.610	17.915	23.457	23.627	23.631	
	RE-2	1.164	12.163	21.685	22.504	22.544	
	RE-3	1.023	10.114	19.066	20.002	20.054	
	RE-4	1.341	15.615	25.414	26.005	26.027	
	RE-5	1.166	16.543	25.621	26.005	26.015	
		Average	1.188	13.138	22.522	23.313	23.454
Somdet/sandy loam	SE-1	1.141	13.602	24.225	25.009	25.041	
	SE-2	1.141	13.826	24.276	25.008	25.038	
	SE-4	2.445	27.813	40.447	41.008	41.025	
	SE-5	1.283	14.949	19.850	20.002	20.006	
	SE-6	0.963	10.201	20.389	21.508	21.570	
	SE-9	2.379	25.334	35.572	36.006	36.019	
	SE-10	1.497	19.174	28.603	29.001	29.012	
	SE-11	2.084	22.431	35.243	36.009	36.038	
		Average	1.617	18.416	28.576	29.194	29.219

Tsutsumi *et al.* (1983) ซึ่งมีการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนมาจากแต่ละส่วนของต้นไม้และพืชชนิดต่างๆ ในแต่ละป่าและกลุ่มพืชแล้วจึงแปลงไปเป็นปริมาณเก็บสะสมทั้งหมดจากปริมาณมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของป่าและกลุ่มพืชนั้น ๆ ทั้งนี้ได้รายงานไว้ว่าในป่าเต็งรังโปรง (Dipterocarp savanna forest) ป่าเต็งรังผสม (Mixed savanna forest) ป่าดิบแล้งริมห้วย (Gallery forest) ป่าดิบเขา (Hill evergreen forest) หุบหญ้าแฉก (*Eragrostis* grassland) หุบหญ้าแฝก (*Themeda* grassland) และกลุ่มพงอ้อ (*Arundo donax* thicket) ในบริเวณภาคเหนือของไทยนั้นเมื่อประมาณหาปริมาณคาร์บอนเก็บสะสมอยู่ในทุกส่วนรวมกันจะได้เท่ากับ 38.45, 46.43, 221.55, 136.40, 7.31, 23.82 และ 90.01 ตันต่อเฮกตาร์ตามลำดับ (Ogawa *et al.*, 1961) และในป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) ที่ลุ่มน้ำพรหมจังหวัดชัยภูมิซึ่งเป็นแปลงที่ไม่มีการตัดและเผาป่า (แปลงควบคุม) ประมาณหาปริมาณคาร์บอนได้เท่ากับ 159.70 ตันต่อเฮกตาร์ในพืชพรรณไม้เหนือพื้นดินทั้งหมดและในส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินซึ่งเป็นรากของต้นไม้และของพืชอื่น ๆ รวมกันมี 21.53 ตันต่อเฮกตาร์ ส่วนในแปลงที่ทำการตัดและเผาป่ามีอยู่เฉลี่ย 93.86 ตันต่อเฮกตาร์ของต้นไม้ทั้งหมด แต่มีส่วนที่เป็นเถาวัลย์ยืนต้น (Lianas) อยู่ 4.4 ตันต่อเฮกตาร์และพืชชั้นล่างอยู่ 2.29 ตันต่อเฮกตาร์ (Tsutsumi *et al.*, 1983) ส่วนในป่าธรรมชาติซึ่งเป็นป่าดิบเขา (Hill evergreen forest) และป่าเบญจพรรณ (Mixed deciduous forest) สวนป่าและพื้นที่การเกษตรในลุ่มน้ำย่อยน้ำยาวที่จังหวัดน่านนั้นประมาณหาปริมาณคาร์บอนจากค่าคงที่ 0.5 คูณเข้ากับปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมดได้เท่ากับ 135.87,

29.92 และ 6.10 Mg/ha (คือ ตันต่อเฮกตาร์) จากการศึกษาของ Pibumrung *et al.* (2008) ซึ่งเมื่อเทียบเคียงกับสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาเลนซิส ที่ประมาณผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนได้สูงสุดที่สมเด็จเมื่ออายุ 9 ปี (ในแปลง SE-4) คือ 82.05 ตันต่อเฮกแตร์นั้นจะมีคาร์บอนสะสมอยู่ 41.025 ตันต่อเฮกแตร์ (Table 9) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับในป่าเต็งรังโปรงและป่าเต็งรังผสม แต่ก็ยังนับว่าน้อยกว่าในป่าธรรมชาติอื่นๆ ทุกป่าที่กล่าวแล้วซึ่งเป็นป่าธรรมชาติที่อยู่ในระยะไคลแมกซ์ไปแล้ว ยกเว้นในหุบหญ้าแฉกและหุบหญ้าแฝกที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าและยกเว้นกลุ่มพงอ้อที่มีคาร์บอนสูงมาก แต่ทั้งหมดเป็นหุบหญ้าที่มีมวลชีวภาพเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและอาจจะถูกไฟไหม้ไปในช่วงฤดูแล้ง ส่วนในพื้นที่สวนป่าในการศึกษาของ Pibumrung *et al.* (2008) นั้นได้รวมสวนป่าไม้หลายชนิดเข้าด้วยกันแล้วเฉลี่ย (ไม้สัก ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ประดู่และอื่น ๆ) ซึ่งเมื่อรวมเข้ากับปริมาณรากฝอยอีก 18.50 Mg/ha จะได้ปริมาณคาร์บอนรวมเป็น 48.42 Mg/ha ซึ่งไม่ได้ศึกษารากทั้งหมดของสวนป่าและไม่ระบุอายุของสวนป่า จะสูงกว่าในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาเลนซิสอายุ 9 ปีที่สมเด็จ (SE-4 ใน Table 9) เล็กน้อย ส่วนในพื้นที่การเกษตรในการศึกษาของ Pibumrung *et al.* (2008) นั้นเป็นเพียงคาร์บอนในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินที่มีเก็บสะสมอยู่น้อยแม้จะรวมส่วนที่อยู่ใต้ดินหรือราก (โดยเฉพาะรากฝอยที่ประมาณได้ 1.91 Mg/ha) แล้วจะมีคาร์บอนสะสมอยู่ประมาณ 8.01 Mg/ha ซึ่งนับว่าน้อยกว่าใน SE-4 มากแม้จะรวมเอาพื้นที่ที่ทิ้งร้างไว้ให้มีการทดแทนตามธรรมชาติ (fallow area) และพื้นที่ปลูกไม้ยืนต้น (สวนลิ้นจี่) และนาข้าวกับพื้นที่ปลูกข้าวโพดมาประเมินด้วยก็ตาม ซึ่งเมื่อ

เทียบเคียงอย่างคร่าว ๆ แล้วจะมีคาร์บอนสะสมอยู่ใกล้เคียงกับสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสที่ปลูกในที่ดินที่เป็นทรายจัดและคลุมดินโดยหญ้าคาเมื่อมีอายุ 7 ปี (TE-02) หรือใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยจากทุกมาตรการที่ใช้เมื่อประเมินที่อายุ 5 ปีในที่ดินรกร้างดังกล่าวที่ตะกั่วป่า (Table 9)

สำหรับในสวนป่าไม้ชนิดอื่น ๆ ที่มีการศึกษาปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอนนั้น มีในสวนป่าไม้สน (*Pinus ponderosa*) และไม้ไซเปรส (*Austrocedrus chilensis*) ใน Patagonia ตะวันตกเฉียงใต้ในประเทศอาร์เจนตินา ซึ่งได้ใช้ค่าคงที่ 0.5 เป็นตัวแปลงค่ามวลชีวภาพไปเป็นปริมาณคาร์บอนนั้น Laclau (2003) ประเมินคาร์บอนที่เก็บสะสมในทุกส่วนรวมกันได้เท่ากับ 52.3 และ 73.2 Mg/ha (คือ ต้นต่อเฮกแตร์) ในสวนป่าทั้งสองชนิดตามลำดับซึ่งเป็นการประเมินมาจากหลายสวนป่าโดยเฉลี่ยในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ 600-1500 มม.ต่อปีและเป็นสวนป่าที่มีอายุมาก (เฉลี่ย 14.1 ปีและ 45 ปีในสวนป่าไม้สนและไม้ไซเปรสตามลำดับ) ในประเทศจีน Fang *et al.* (2007) ประเมินคาร์บอนเก็บสะสมในสวนป่าไม้ Poplar ที่ปลูกด้วยระยะปลูกต่างกัน 4 ระดับและวิเคราะห์หาคาร์บอนจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้แยกกันพบว่ามีการ์บอนประกอบอยู่เฉลี่ย 50.125, 47.875, 42.942 และ 47.633% ในลำต้น กิ่ง ใบ และราก ตามลำดับ และพบว่ามีคาร์บอนเก็บสะสมอยู่ในสวนป่าชนิดนี้เพิ่มขึ้นตามอายุ (4-10 ปี) และตามความหนาแน่นของการปลูกป่า (500, 625, 833 และ 1111 ต้นต่อเฮกแตร์ตามลำดับ) โดยมีคาร์บอนน้อยที่สุดในทุกส่วนรวมกันเมื่อประเมินที่อายุ 4 ปีและความหนาแน่น 500 ต้นต่อเฮกแตร์คือ 17.1 ต้นต่อเฮกแตร์ สูงสุดที่อายุ 10 ปีและความหนาแน่น

1111 ต้นต่อเฮกแตร์คือ 71.9 ต้นต่อเฮกแตร์ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่สูงกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสที่ประมาณได้เมื่ออายุ 9 ปีทุกแปลงเนื่องจากเป็นต้นไม้ต่างชนิดและปลูกด้วยความหนาแน่นที่น้อยกว่านอกเหนือจากเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่เก็บสะสมในส่วนต่าง ๆ ที่ต่างกับไม้ยูคาลิปตัสที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ (Table 9) ซึ่งนับว่าเป็นต้นไม้ที่โตเร็วมากชนิดหนึ่ง เพราะว่าจะประเมินที่อายุ 10 ปีเท่านั้น ไม้ยูคาลิปตัสที่มีผลผลิตสูงสุดที่สมเด็จ (SE-4) ในการศึกษาี้จะได้มวลชีวภาพรวมเพียง 82.05 ต้นต่อเฮกแตร์ ในขณะที่ไม้ Poplar จะได้มวลชีวภาพรวมถึง 146 ต้นต่อเฮกแตร์ (Fang *et al.*, 2007) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออัตราการสะสมเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของคาร์บอน (MAI) สูงสุดเมื่ออายุ 4 ปีในระดับความหนาแน่นของการปลูก 1111, 833 และ 625 ต้นต่อเฮกแตร์คือ 11.0, 10.1 และ 9.4 ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี แต่ที่ระดับความหนาแน่นของการปลูก 500 ต้นต่อเฮกแตร์ จะมี MAI สูงสุดที่อายุ 5 ปี (8.1 ต้นต่อเฮกแตร์ต่อปี) สำหรับอายุตัดฟันที่เหมาะสม (optimal rotation length) ของไม้ Poplar นี้ Fang *et al.* (2007) กล่าวว่าในระยะปลูก 3x3 ม. (1111 ต้นต่อเฮกแตร์) และ 4x4 ม. (625 ต้นต่อเฮกแตร์) จะอยู่ในระหว่าง 6-7 ปีเพราะว่าเป็นการตัดฟันแบบตัดหมดให้แตกหน่อ แต่ถ้าปลูกห่างออกไปกว่านี้ (เช่น 3x4 ม. หรือ 833 ต้นต่อเฮกแตร์ หรือ 4x5 ม. หรือ 500 ต้นต่อเฮกแตร์) จะยาวออกไปมากกว่า 7-8 ปี ดังนั้นถ้าจะลดอายุการตัดฟันลงต้องปลูกให้ชิดมากขึ้นเช่น 2X2 หรือ 2X3 ม. สำหรับไม้ชนิดนี้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ้าเลือกชนิดต้นไม้ที่เหมาะสมหรือโตเร็ว ปลูกในท้องที่ที่มีสภาพเหมาะสมหรือสมบูรณ์และมีการจัดการในการ

ปลูกเช่นการใช้ระยะปลูกหรือความหนาแน่นของสวนป่าที่เหมาะสม ก็จะทำให้ได้ผลผลิตและการเก็บสะสมคาร์บอนสูงตามไปด้วย ในพื้นที่รกร้างว่างเปล่านั้นไม่ควรจะทิ้งร้างไว้โดยเปล่าประโยชน์ ควรจะปลูกต้นไม้หรือปลูกป่าขึ้นเพื่อประโยชน์ในการผลิตไม้สำหรับใช้สอยและช่วยในการเก็บสะสมคาร์บอนไปในตัวด้วย

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่านัยของการจัดการที่ดินรกร้างโดยการปลูกป่าเพื่อผลผลิตและการเก็บสะสมคาร์บอนให้ได้ผลลัพท์ที่สูงตามต้องการนั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ อายุความหนาแน่นของการปลูก คุณภาพของท้องที่และมาตรการทางวนวัฒน (เช่นการไถพรวนดิน การคลุมดิน การใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช การปลูกพืชคลุมดินและการปลูกพืชแทรก เป็นต้น) ส่วนการที่จะจัดการกับผลผลิตที่ได้นั้นก็ขึ้นอยู่กับทางเลือกในการจัดการ (management options) ซึ่งมีอยู่ 2 แนวทางคือ (1) จะนำผลผลิตออกไปใช้ประโยชน์ในทางเศรษฐกิจหรือ (2) เก็บไว้เพื่อประโยชน์ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่นการเก็บสะสมคาร์บอน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะตัดสินได้จากภาวะวิเคราะห์หาอายุหรือความยาวของอายุตัดฟันดังที่ได้นำเสนอในรายงานนี้

## สรุป

ผลการศึกษานัยของการจัดการผลผลิตมวลชีวภาพ และปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอนในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสที่ปลูกในที่ดินรกร้าง 3 ประเภทใน 3 ท้องที่โดยใช้มาตรการต่าง ๆ สรุปได้ดังนี้คือ ผลผลิตมวลชีวภาพรวมทุกส่วนเพิ่มขึ้นตามอายุของสวนป่าแต่แตกต่างกัน

กันในด้าน เปอร์เซนต์ของการกระจายของมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ อัตราส่วนระหว่างส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินกับส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินหรือราก อัตราการเปลี่ยนแปลงของการสะสมมวลชีวภาพไปตามอายุ อัตราการสะสมรายคาบและรายปีเฉลี่ยและอายุของการตัดฟันที่เหมาะสมถ้ามีการทำไม้ออก ซึ่งมีผลต่อไปถึงการเก็บสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพด้วย ซึ่งความผันแปรเหล่านี้จะเป็นไปตามประเภทของที่ดินรกร้างและมาตรการที่ใช้ในการปลูกป่า ในที่ดินรกร้างแต่ละประเภทโดยในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการทำเหมืองแร่ดีบุกจะได้ผลผลิตมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ และโดยรวมน้อยที่สุดและมีผลการประเมินทุกรูปแบบต่ำที่สุดแต่ทุกผลลัพท์จากการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นในที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังและสูงสุดที่ดินรกร้างที่เป็นดินร่วนปนทราย การไถพรวนดินอย่างเดียวและปรับระดับความหนาแน่นของการปลูกป่าไม้ชนิดนี้จะเพียงพอต่อการเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพ เนื่องจากเป็นมาตรการที่ปฏิบัติได้ง่ายที่สุด การใช้ปุ๋ยไม่ว่าจะเป็นปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยหมักจะไม่มีผลในการปรับปรุงปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพจากการทดลองนี้มากนัก ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดสามารถทำการปรับปรุงผลผลิตของต้นไม้ให้สูงขึ้นได้ง่าย ๆ โดยการคลุมดินด้วยหญ้าคาเท่านั้น และผลผลิตจะมีปริมาณสูงสุดได้ในแปลงที่ผสมปุ๋ยเคมีและปุ๋ยหมักกับดินเลนบรรจุลงในหลุมปลูก ในที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังภายหลังการทำไม้ออกอย่างหนักนั้นจะมีความไม่สม่ำเสมอของลูกรังที่กระจายอยู่ในชั้นดินมากทำให้ผลผลิตที่ได้ผันแปรสูงในแปลงที่ใช้มาตรการเดียวกัน มาตรการต่าง ๆ ที่ใช้ไม่แสดงผลการตอบสนองที่ต่างกันอย่างชัดเจน แต่แปลง



ที่ปลูกด้วยระยะปลูกห่างจะมีผลผลิตสูงสุด ส่วนในที่ดินรกร้างที่เป็นดินร่วนปนทรายที่ป่าถูกตัดแล้วเผาและปลูกมันสำปะหลังมาหลายปีแล้วทิ้งร้างไว้วันนั้นจะทำให้ต้นไม้มันชนิดนี้มีผลผลิตสูงกว่าในที่ดินรกร้างที่เป็นดินทรายจัดและที่เป็นดินลูกรัง โดยมาตรการที่ง่ายและเป็นมาตรการปกติที่ใช้ในการปลูกป่าโดยทั่วไปคือมีการไถพรวนดินก่อนการปลูก ใช้ระยะปลูกถี่และกำจัดวัชพืชสามครั้งต่อปีในช่วงสามปีแรก ก็นับว่าเพียงพอต่อการปรับปรุงผลผลิตในที่ดินรกร้างประเภทนี้ และการเก็บสะสมคาร์บอนขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงและความผันแปรของปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพที่ประมาณได้ ได้ประเมินปริมาณการเก็บสะสมคาร์บอนใน 5 ชั้นอายุของสวนป่าไม้มันชนิดนี้ที่ปลูกในที่ดินรกร้างทั้งสามประเภทมาด้วยจากการใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงมวลชีวภาพรวมทุกส่วนตามอายุ ส่วนการจัดการผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้มีทางเลือก (management options) อยู่ 2 แนวทางคือการทำไม้ออกไปใช้ประโยชน์ทางด้านการใช้สอยโดยตรงกับการเก็บไว้เพื่อสงวนแหล่งเก็บสะสมคาร์บอนในสวนป่าที่ปลูกขึ้นในที่ดินรกร้างนั้น ๆ

### เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2544. แนวทางการควบคุมสต็อกไม้ในการตัดสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาโดเลนซิส.วารสารวิชาการป่าไม้ 3(2):86-100.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2545. ผลของความหนาแน่นของการปลูกป่าต่อผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสคามาโดเลนซิส. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Bonny, L. 1991. **Growth of *Eucalyptus grandis* plantations following intensive silvicultural treatments applied in the first six years.** Research paper 12. (Forestry Commission of New South Wales: Sydney).
- Cannell, M. G. R. and R. Milne. 1995. Carbon pools and sequestration in forest ecosystems in Britain. **Forestry** 68:361-378.
- Crommer, R. N., P. A. Ryan, T. H. Booth, D. M. Cameron and S. J. Rance. 1991. **Limitations to Productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in subtropical Australia.** In: productivity in perspective: Proc. of the third Australian Forest Soils and Nutrition Conference (Ed. P.J.Ryan) pp. 133-146. (Forestry Commission of New South Wales: Sydney).
- Fang, J., A. Chang, C. Peng, S. Zhao and L.Ci. 2001. Change in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. **Science** 292:2320-2322.
- Florence, R.G. 1996. **Ecology and Silviculture of Eucalypt Forests.** CSIRO, Australia.
- Houghton, R.A. and J. L. Hackler. 2000. Changes in terrestrial carbon storage in the United States. I. the roles of agriculture and forestry. **Glob. Ecol. Biogeogr.** 9:125-144.



- Hu, H., and G. G. Wang. 2008. Changes in forest biomass carbon storage in the South Carolina piedmont between 1936 and 2005. **For.Ecol. and Mgt.** 255: 1400-1408.
- IPCC.1996. Climate change 1995. **Economic and Social Dimensions of Climate Change.** University press, Cambridge.
- Kanzaki, M., K. Kimura, H.Kawaguchi, P.Sahunalu, P.Dhanmanonda, V. Tanpibal, B. Prachaiyo, B. Puriyakorn, K. Muangnil, P. Preechapanya, S. Thoranisorn, T. Yoneda, H. Sato and K. Yoda. 1991 **Biomass production and survival of trees planted in tropical wasteland in Thailand.** Chapter 4. pp.49-92. In: K.Yoda and P. Sahunalu (eds.). Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand. Osaka City University, Osaka, Japan.
- Kawaguchi, H., V. Tanpibal and P. Sahunalu. 1991. **Primary production and carbon cycling.** Chapter 17. pp. 335-343. In: K.Yoda and P. Sahunalu (eds.)> Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand. Osaka City University, Osaka, Japan.
- Kojima, T., Y. Tanaka, S. Katoh, K. Tahara, N. Takahashi and K. Yamada. 2002. Estimation of water requirement for unit carbon fixed by *Eucalyptus camaldulensis* in semi arid land of western Australia. **Science in China (Series D: Earth Science).** 45 (Sup.):142-147.
- Laclau, P. 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwest Patagonia. **For.Ecol. and Mgt.** 180:317-333.
- Lambert, M. and J. Turner. 2000. Commercial forest plantations on saline lands. CSIRO, Australia.
- Ogawa, H., K. Yoda and T. Kira. 1961. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Nature and Life in SE Asia** 1:21-157.
- Pibumrung, P., N. Gajasen and A. Popan.2008. Profiles of carbon stocks in forest, reforestation and agricultural land, Northern Thailand. **J.For.Res.** 19(1): 11-18.
- Sakurai, K., B. Puriyakorn, P. Preechapanya, V. Tanpibal, K. Muangnil, T. Attanadana, T. Naganawa, S. Araki and B. Prachaiyo. 1991. **Soil profile descriptions and its physical properties.** Chapter 12.pp. 215-247. In: K. Yoda and P. Sahunalu (eds.). Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand. Dept. of Biology, Osaka City University, Osaka, Japan.
- Shinozaki, K. and T. Kira. 1956. **Intraspecific competition among higher plants.** VII. Logistic theory of the C-D effect. J.

- Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D. 7:35-72.
- Tanpibal, V. and P. Sahunalu. 1989. **Characteristics and management of tin mine tailings in Thailand.** Soil Technology. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, W. Germany.2:17-26.
- Thoranisorn, S., K.Yoda and P.Sahunalu. 1990. Density effects and self thinning in even-aged pure stand of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. **Bot. Mag. Tokyo.** 103:283-295.
- Tsutsumi, T., K. Yoda, P.Sahunalu, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. **Forest: felling, burning and regeneration.** Chapter 3. pp.13-62. In: K.Kyuma and C.Pairintra (eds.). Shifting cultivation, an experiment at Namphrom, northeast Thailand, and its implication for upland farming in the monsoon tropics. Kyoto University, Japan.
- Turnbull, C.R. A., C. L. Beadle, T. Bird and D.E. McLeod. 1988. Volume production in intensively managed eucalypt plantations. **Apita** 41:447-450.
- Turnbull, C. R. A., D. E. McLeod, C. L. Beadle, D. A. Ratkowsky, D. C. Mumery and T. Bird. 1993. Comparative early growth of *Eucalyptus* species of the subgenera *Monocalyptus* and *Symphyomyrtus* in intensively managed plantations in Southern Tasmania. **Australian Forestry** 56:276-286.
- Yoda, K. and P. Sahunalu (eds.). 1991. **Improvement of biological productivity of tropical wastelands in Thailand.** Dept.of Biology, Osaka City University, Osaka, Japan.
- .....