

ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารของป่าเต็งรังในประเทศไทย

II. ผลผลิตขั้นปฐมภูมิและการหายใจของสังคมพืช

PRODUCTION AND NUTRIENT CIRCULATION OF DRY DIPTEROCARP FORESTS IN THAILAND

II. Primary Productivity and Community Respiration

พงษ์ศักดิ์ สหุนาฬ¹

Pongsak Sahunalu

ABSTRACT

Studies on net and gross primary productivity and community respiration of 52 stands; classified into 6 sub-community types of dry dipterocarp forest communities were carried out by an indirect estimation using the relationships between net primary productivity and leaf biomass and between net and gross primary productivity postulated by Yoda (1971) and further estimating the community respiration by simply deducting the net primary productivity from gross primary productivity and converted into CO₂ release. The estimations focusing particularly on the communities with trees over 10 cm DBH revealed that mean net primary productivity of this forest community was approximately 5.772 ± 1.162 ton/ha.yr with the highest rate in *Dipterocarpus obtusifolius-Shorea obtusa-Pinus merkusii* sub-community type (6.711 ton/ha.yr) and lowest in xeric sub-type of *Shorea obtusa* community (3.601 ton/ha.yr). Mean gross primary productivity was found to be in similar trend but approximately 1.9 times higher than mean net primary productivity in every sub-type. Mean community respiration was estimated at 5.480 ± 1.424 ton/ha.yr with approximately 1/2 times of mean gross primary productivity and estimated CO₂ release was averaged by 8.925 ± 2.320 ton/ha.yr with the approximation of 1.6 times of community respiration and net primary productivity and 0.8 times of gross primary productivity.

บทคัดย่อ

การศึกษาปริมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ ผลผลิตขั้นปฐมภูมিরวม และปริมาณการหายใจของสังคมพืชในป่าเต็งรัง จำนวน 52 หน่อไม้ และในสังคมย่อย 6 สังคม โดยการประมาณทางอ้อมจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิกับปริมาณมวลชีวภาพของใบ และระหว่างผลผลิตขั้นปฐมภูมিরวมกับผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิที่เสนอโดย Yoda (1971) และประมาณหาอัตราการหายใจของสังคมพืช จากผลต่างระหว่างผลผลิตขั้นปฐมภูมিরวมกับผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ แล้วแปลงค่าปริมาณการหายใจของสังคมพืชไปเป็น CO₂ ที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจำกัดเฉพาะจากพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป พบว่าอัตราการผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิเฉลี่ยจะมีอยู่ประมาณ 5.722 ± 1.162 ตัน/เฮกแตร์.ปี โดยมีอัตราที่สูงสุดในป่าเต็งรังที่เป็นสังคมของไม้เหียง-เต็ง-สนสองใบ (6.711 ตัน/เฮกแตร์.ปี) และต่ำสุดในป่าเต็งรังที่มีไม้เต็งเป็นไม้เด่นขึ้นอยู่ที่แห้งแล้ง (3.601 ตัน/เฮกแตร์.ปี) และพบว่าอัตราการผลผลิตขั้นปฐมภูมিরวม จะมีแนวโน้มอย่างเดียวกัน แต่จะสูงกว่าอัตราการผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิประมาณ 1.9 เท่าในทุกสังคมพืช สำหรับอัตราการหายใจโดย

¹ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กทม. 10900

เฉลี่ยจะมีอยู่ประมาณ 5.480 ± 1.424 ตัน/เฮกแตร์/ปี โดยจะสูญเสียอินทรีย์วัตถุไปโดยการหายใจประมาณ 1/2 ของปริมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิรวม และประมาณเป็น CO_2 ปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยเฉลี่ยได้ 8.925 ± 2.320 ตัน/เฮกแตร์/ปี ซึ่งคิดเป็น 1.6 เท่าของอัตราการหายใจรายปี และของอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ และเป็น 0.8 เท่าของอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิรวมรายปี

คำนำ

ตามที่ได้อธิบายมาแล้ว ในรายงานฉบับก่อน (พงษ์ศักดิ์ และ มณฑล, 2523) ว่าทรัพยากรป่าไม้นั้น อำนวยประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่มวลมนุษย และสิ่งแวดล้อมของโลก และสิ่งสำคัญอย่างเด่นชัดที่สุดที่พรรณไม้มิให้แก่โลกของสิ่งที่มีชีวิตคืออินทรีย์วัตถุซึ่งได้จากขบวนการสังเคราะห์แสงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าเป็นผลผลิตในทางชีววิทยา ผลผลิตที่ได้จากขบวนการนี้ ส่วนหนึ่งจะให้ประโยชน์ต่อมนุษย์ และผู้บริโภคบางชนิด และอีกส่วนหนึ่งจะใช้เป็นวัตถุดิบที่พืชพรรณจะนำไปใช้เพื่อการดำรงชีวิต อย่างไรก็ตามอินทรีย์วัตถุที่ผลิตได้โดยพืชพรรณนั้นเป็นแหล่งของอาหารและพลังงาน ผลผลิตดังกล่าวนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งเราสามารถจะติดตามการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ เรียกว่าเรศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตของพืชพรรณไม้ในสังคมใดสังคมหนึ่ง ซึ่งมีเวลามาเกี่ยวข้องกับเรียกว่าอัตราการผลิต หรือกำลังผลิต และเนื่องจากเป็นผลผลิตขั้นต้นที่เกิดจากพืชสีเขียวในระบบนิเวศของป่าจึงเรียกว่า อัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิ (primary productivity) ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ อัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity) ซึ่งเป็นอัตราการผลิตอินทรีย์วัตถุหรือวัตถุแห้ง (dry matter) หรือมวลชีวภาพ (biomass) ที่เหลือจากการที่สังคมพืชได้สร้างผลผลิตขั้นปฐมภูมิรวม (gross primary productivity) ซึ่งเกิดจากขบวนการสังเคราะห์แสงโดยตรงแล้วหักลบด้วยผลผลิตส่วนหนึ่งที่สังคมพืชได้ใช้ในการหายใจ (community respira-

tion) แล้วสะสมอยู่เป็นโครงสร้างส่วนต่างๆ ของพืชที่มนุษย์ และผู้บริโภคอื่นๆ นำไปใช้โดยตรง เช่น ใช้ลำต้นและกิ่งในรูปเนื้อไม้ ใบไม้ใช้เป็นอาหารของสัตว์แมลงหรือเป็นพืชผักของมนุษย์ หรือแปรรูปไปใช้ด้านอื่นๆ เป็นต้น ส่วนของอินทรีย์วัตถุที่หายไปโดยการหายใจนั้นจะปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นขบวนการที่กลับกันกับขบวนการสังเคราะห์แสง

ในปัจจุบันนี้ปัญหาเรื่องปฏิกิริยาเรือนกระจก (greenhouse effect) ได้รับความกล่าวขวัญถึงกันมาก อันเนื่องมาจากการที่ป่าไม้ที่ปกคลุมโลกน้อยมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก และมูลเหตุที่กล่าวถึงมากที่สุด คือ ป่าไม้ในเขตร้อนถูกทำลาย ทำให้คุณภาพของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในบรรยากาศเปลี่ยนไปโดยมีก๊าซนี้สะสมอยู่ในบรรยากาศมากขึ้น เป็นเหตุให้รังสีของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับได้มีการสะท้อนกลับได้น้อย และทำให้โลกร้อนขึ้น (global warming) แต่โดยข้อเท็จจริงแล้วยังไม่เป็นที่ทราบกันแน่ชัดนักว่า ในสภาพธรรมชาตินั้นสังคมพืชป่าที่อยู่ในสภาวะปกติ และเป็นป่าที่สมบูรณ์นั้นมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปเนื่องจากการหายใจของสังคมพืชเท่าไร เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยไปจากโลกนั้นออกไปจากหลายแหล่งด้วยกัน ดังนั้น การศึกษาส่วนนี้จะเน้นเฉพาะในป่าไม้เขตร้อนประเภทเดียวเท่านั้น คือ ป่าเต็งรัง ซึ่งเป็นป่าที่มีลักษณะเด่นเฉพาะตัวและขึ้นอยู่ในเขตร้อนของประเทศแถบเอเชียอาคเนย์บางประเทศ เช่น ไทย ลาว พม่า และอินเดีย บางส่วนเท่านั้น

แนวความคิดและหลักการในการวัดอัตราการ

ผลิตอินทรีย์วัตถุของสังคมพืชบนพื้นโลกนี้นั้น มีนักนิเวศวิทยาหลายท่านได้กล่าวไว้ในหลายแหล่งด้วยกัน แต่ที่น่าสนใจและสามารถจะทำการศึกษาได้ง่าย คือวิธีการที่ Ogawa (1977) ได้เสนอไว้ คือ

$$\Delta P_n = \Delta y + \Delta L + \Delta G$$

$$\text{หรือ } \Delta P_n = \Delta P_g - \Delta R$$

ในเมื่อ ΔP_n คือ อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (net primary productivity) ระหว่างช่วงเวลา (Δt) ΔP_g คือ อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิรวม (gross primary productivity) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน Δy คือ อัตราการเพิ่มพูนมวลชีวภาพ (biomass increment) ΔL คือ อัตราการสูญเสียอินทรีย์วัตถุหรือมวลชีวภาพไปโดยการตาย และการร่วงหล่นของซากพืช (loss by death and litterfall) ΔG คืออัตราการสูญเสียอินทรีย์วัตถุหรือมวลชีวภาพไปโดยการกักกินของสัตว์ (loss by grazing of heterotrophic organisms) และ ΔR คือ อัตราการสูญเสียอินทรีย์วัตถุ หรือมวลชีวภาพไปโดยการหายใจของสังคมพืช (community respiration) ซึ่งอัตราทั้งสองอย่างนี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันกับสองอย่างแรก และทุกค่ามีหน่วยเป็นน้ำหนักของวัตถุแห้ง (กก. หรือ ตัน) ต่อหน่วยพื้นที่ (ตารางเมตร, ไร่ หรือ เฮกแตร์) ต่อหน่วยเวลา (นิยมใช้เวลาเป็นปี สำหรับสังคมพืชป่าไม้) หรือ ton/ha.yr ซึ่งโดยปกติแล้วสมการบนนั้น ต้องทำการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ที่อยู่ด้านขวามือของสมการทุกตัวแล้วรวมกัน เรียกว่าวิธีการรวมค่า (summation method) แต่ต้องอาศัยแปลงตัวอย่างถาวรที่เหมาะสมและใช้ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 ปี ขึ้นไปที่จะสามารถติดตามเก็บข้อมูลแต่ละค่าให้ถูกต้อง แต่สมการเหล่านั้นจะได้จากการวัดปริมาณด้านขวามือโดยตรงคือ วัดอัตราของการผลิตรวม และอัตราการหายใจแยกกันแล้วหักลบกัน ซึ่งแต่ละค่านี้มีเทคนิคและอุปกรณ์ที่จำเป็นแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม Yoda (1971) ได้รายงานไว้

ว่า อัตราการผลิตสุทธิ (net production rate, NPR) นั้น จะมีค่าเท่ากับ $\Delta P_n/y_L$ หรือ คือประสิทธิภาพของปริมาณมวลชีวภาพของใบ (y_L , มีหน่วยเป็นตัน/เฮกแตร์) ที่มีต่ออัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (ΔP_n , มีหน่วยเป็นตัน/เฮกแตร์/ปี) ซึ่งค่า NPR นี้ จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณมวลชีวภาพของใบไม้ (y_L) ของป่าประเภทต่างๆ ตั้งแต่ป่าในเขตหนาวจนถึงเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรในรูป :

$$NPR = \Delta P_n/y_L = A \exp (-Ky_L)$$

และพบว่าค่า A จะเท่ากับ 5.0 (ตัน/เฮกแตร์.ปี) ค่า K เท่ากับ 0.083/ตัน ดังนั้น เมื่อทราบ y_L ก็จะ สามารถหาค่า ΔP_n ได้โดยทางอ้อมจากการคำนวณ และ Yoda (1971) พบต่อไปอีกว่า ΔP_n กับ ΔP_g ของสังคมพืชป่าในแหล่งต่างๆ ทั่วโลก นั้นจะมีความสัมพันธ์กันในรูป $1/\Delta P_n = A + B$ ($1/\Delta P_g$) โดยค่า A จะเท่ากับ 1/42 (เฮกแตร์.ปี/ตัน) และค่า B เท่ากับ 1/0.6 ดังนั้น เมื่อทราบ ΔP_n แล้วก็สามารถจะประมาณหา ΔP_g ได้โดยทางอ้อมจากการคำนวณ และเมื่อทราบทั้ง ΔP_n และ ΔP_g แล้วก็สามารถจะประมาณหา ΔR จากสมการข้างที่กล่าวแล้วข้างต้นนี้ได้โดยตรงคือ

$$\Delta P_g = \Delta P_n + \Delta R \text{ หรือ } \Delta R = \Delta P_g - \Delta P_n$$

ในการศึกษาผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในสังคมพืชป่าเต็งรังประเภทต่างๆ ในประเทศไทยไปแล้วนั้น พงษ์ศักดิ์ และมณฑล (2523) ได้ทำการประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของป่าเต็งรังทั้งสัน 52 หมู่ไม้ โดยแยกเป็นป่าเต็งรังประเภทย่อย 6 ประเภทด้วยกัน และได้ปริมาณมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น (y_S) กิ่ง (y_B) ใบ (y_L) และส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (y_T) ไปแล้ว ในรายงานฉบับนี้ จึงเป็นการประมาณหาอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิรวม และอัตราการหายใจของสังคมพืชป่าเต็งรังทั้ง 52 หมู่ไม้ และประมาณหาปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยไปจากป่าเต็งรัง

ประเภทต่างๆ โดยเน้นเฉพาะพืชพรรณไม้ในป่านี้ ในประเทศไทยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน ตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไปเท่านั้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพิจารณาถึงศักยภาพของป่าเต็งรังในการให้กำลังผลิตในรูปแบบต่าง ๆ และการสร้างดุลยภาพให้แก่สิ่งแวดล้อมต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

จากปริมาณมวลชีวภาพของใบ (y_L) ของป่าเต็งรังทั้ง 52 หมู่ไม้ โดยแยกเป็นสังคมของป่าเต็งรัง 6 สังคมย่อย คือ สังคมของป่าเต็งรังผสมสน (14 หมู่ไม้) สังคมของไม้เหียงเต็ง (7 หมู่ไม้) สังคมของไม้พลวง (5 หมู่ไม้) สังคมของไม้รัง (13 หมู่ไม้) สังคมของไม้เต็ง (11 หมู่ไม้) และสังคมอื่น ๆ (2 หมู่ไม้) ที่รายงานไปแล้ว โดย พงษ์ศักดิ์ และมณฑล (2523) ทำการคำนวณหาอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (ΔP_n) จากค่าคงที่ที่คำนวณได้โดย Yoda (1971) อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิรวม (ΔP_g) จากความสัมพันธ์ระหว่าง ΔP_n กับ ΔP_g ที่พบโดย Yoda (1971) ดังกล่าวแล้วเช่นกัน แล้วทำการคำนวณหาอัตราการหายใจของสังคมพืชป่าเต็งรัง จาก $\Delta R = \Delta P_g - \Delta P_n$ ทั้งนี้ โดยใช้ปริมาณมวลชีวภาพของใบ (y_L , ดัน/เฮกแตร์) ของแต่ละหมู่ไม้ในสังคมนั้น จาก

$$NPR = \Delta P_n / y_L = 5.0 \exp (-0.083 y_L)$$

$$\text{หรือ } \Delta P_n = NPR \cdot y_L = [5.0 \exp (-0.083 y_L)] \cdot y_L$$

$$\text{หรือ } \ln (\Delta P_n) = [\ln 5.0 - 0.083 y_L] \cdot y_L$$

$$\text{หรือ } \ln (\Delta P_n) = (1.609 - 0.083 y_L) \cdot y_L$$

ทั้งนี้ โดย ΔP_n มีหน่วยเป็น ดัน/เฮกแตร์/ปี และ

ประมาณหา ΔP_g จาก

$$1/\Delta P_n = 0.024 + 1.667 (1/\Delta P_g)$$

$$\text{หรือ } \Delta P_g = 1.667 / [(1/\Delta P_n) - 0.024]$$

โดย ΔP_g มีหน่วยเป็นตัน/เฮกแตร์/ปี และคำนวณ

หา ΔR (ตัน/เฮกแตร์/ปี) ต่อไป เนื่องจาก ΔR นั้น โดยปกติวัดเป็นปริมาณคาร์บอน (C) ที่สูญเสียไปโดยการหายใจ ซึ่งจากการวัด CO_2 ที่หายใจออกไปโดยส่วนต่างๆ ของพืชพรรณไม้นั้น Yoda (1967) ใช้ค่าคงที่ของอัตราส่วนระหว่าง C ต่อ CO_2 เท่ากับ 0.614 ดังนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชพรรณไม้ปลดปล่อยออกไปโดยการหายใจจึงประมาณได้จาก

$$CO_2 = C/0.614$$

$$\text{หรือ } CO_2 = \Delta R/0.614 \text{ (ตัน/เฮกแตร์/ปี)}$$

ผลและวิจารณ์

อัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ และอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวมของป่าเต็งรังประเภทต่างๆ ในประเทศไทย

ผลจากการประมาณหาอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (ΔP_n) อัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวม (ΔP_g) โดยทางอ้อมจากปริมาณมวลชีวภาพของใบ (y_L) ของหมู่ไม้ในแต่ละหมู่ไม้ ซึ่งจำกัดเฉพาะพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน ตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป และจำแนกไปตามสังคมย่อยต่างๆ แล้ว ดังแสดงไว้ใน Table 1 เนื่องจากอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของสังคมพืชนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณมวลชีวภาพของใบที่มีอยู่อย่างชัดเจน ดังนั้น หมู่ไม้ใดที่มีปริมาณมวลชีวภาพของใบมาก เช่น สังคมของป่าเต็งรังผสมสน ซึ่งมีมวลชีวภาพของใบโดยเฉลี่ยสูงถึง 1.43 ดัน/เฮกแตร์ (พงษ์ศักดิ์ และมณฑล, 2523) จะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิสูงถึง 6.332 ดัน/เฮกแตร์/ปี ในขณะที่เดียวกันสังคมของป่าเต็งรังที่มีไม้เต็งเป็นไม้เด่น และขึ้นอยู่กับที่แห่งแล้ง ซึ่งมีมวลชีวภาพของใบ

Table 1. Mean net and gross primary productivity ($\pm$ SD) in each dry dipterocarp forest community (for trees over 10 cm DBH)

Community/Sub-community type	ΔP_n ton/ha.yr	ΔP_g ton/ha.yr
1. <i>Pentacme suavis</i> *	5.507 $\pm$ 1.134	10.651 $\pm$ 2.471
1.1 <i>P. suavis</i> , xeric	4.428 $\pm$ 2.097	8.382 $\pm$ 4.383
1.2 <i>P. suavis</i> , mesic	5.704 $\pm$ 0.909	11.063 $\pm$ 2.046
2. <i>Shorea obtusa</i>	5.196 $\pm$ 1.418	10.007 $\pm$ 3.114
2.1 <i>Shorea obtusa</i> , xeric	3.601 $\pm$ 0.327	6.589 $\pm$ 0.499
2.2 <i>Shorea obtusa</i> , mesic	5.549 $\pm$ 1.317	10.766 $\pm$ 2.919
3. <i>Dipterocarpus obtusifolius</i> - <i>S. obtusa</i>	6.103 $\pm$ 1.304	12.011 $\pm$ 2.932
4. <i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.920 $\pm$ 1.175	11.572 $\pm$ 2.676
5. Pine-Dipterocarp	6.332 $\pm$ 0.728	12.481 $\pm$ 1.712
5.1 <i>D. obtusifolius</i> - <i>Pinus merkusii</i>	5.817 $\pm$ 0.422	11.299 $\pm$ 0.950
5.2 <i>P. merkusii</i> - <i>D. tuberculatus</i>	6.575 $\pm$ 0.445	13.022 $\pm$ 1.051
5.3 <i>D. tuberculatus</i> - <i>P. kesiya</i>	5.971 $\pm$ 0.706	11.640 $\pm$ 1.591
5.4 <i>D. obtusifolius</i> - <i>S. obtusa</i> - <i>P. merkusii</i>	6.711 $\pm$ 0.874	13.368 $\pm$ 2.116
6. Others	5.221 $\pm$ 0.523	9.957 $\pm$ 1.138
Overall stand	5.772 $\pm$ 1.162	11.252 $\pm$ 2.504

* Nomenclature was changed to *Shorea siamensis* by Smitinand (1980)

เพียง 0.77 ตัน/เฮกแตร์ จะมีอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิเพียง 3.601 ตัน/เฮกแตร์.ปี เท่านั้น ซึ่งเป็นอัตราที่ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาป่าเต็งรังทุกหมู่ไม้มและในทุกสังคมย่อย ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพของใบอยู่เท่ากับ 1.28 ± 0.28 ตัน/เฮกแตร์ (พงษ์ศักดิ์ และมณฑล, 2523) นั้น จะมีอัตราผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิเท่ากับ 5.772 ± 1.162 ตัน/เฮกแตร์.ปี อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่าเต็งรังที่ประมาณได้นี้ไม่สามารถเปรียบเทียบกับป่าชนิดอื่นๆ ที่มีรายงานอยู่ในเอกสารของ Kira และคณะ (1967) ได้ เนื่องจากว่าในการศึกษานี้ได้จำกัดเฉพาะพืชพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินตั้งแต่ 10 ซม.ขึ้นไป ซึ่งเป็นพรรณไม้ขนาดใหญ่ โดยไม่ได้รวมพรรณไม้ขนาดเล็กกว่านี้เข้าไปด้วย อย่างไรก็ตามเชื่อว่าป่าเต็งรังนั้นเป็นป่าธรรมชาติที่โปร่งที่สุดในบรรดาป่าเขตร้อนทั้งหมดจึงเป็นไปได้ที่ป่า

ประเภทนี้จะมีอัตราหรือกำลังผลิตต่ำที่สุด Kira และคณะ (1967) รายงานไว้ว่าป่าดิบชื้นที่เขาช่องจังหวัดตรัง มีกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิสูงถึง 29.8 ตัน/เฮกแตร์.ปี ซึ่งถือว่าเป็นป่าที่ควรจะมีกำลังผลิตรูปนี้สูงที่สุดในประเทศไทย เพราะว่าแม้แต่ป่าดิบชื้นใน Pasoh ประเทศมาเลเซีย นั้น ก็จะมีกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิเพียง 21.1 ตัน/เฮกแตร์.ปี เท่านั้น (Kira, 1987) และป่าดิบแล้ง ที่น้ำพรม จังหวัดชัยภูมิ จะมีกำลังผลิตรูปนี้เพียง 12.13 ตัน/เฮกแตร์.ปี ซึ่งเป็นอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิที่รวมทั้งส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินด้วย (Tsutsumi และคณะ, 1983) ดังนั้น ป่าเต็งรังในประเทศไทยในการศึกษาค้างนี้จะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิเพียง 19.4 % ของอัตราหรือกำลังผลิตของป่าดิบชื้นที่เขาช่องเท่านั้น หรือแม้แต่ในป่าเต็งรังที่ขึ้นผสมไม้สนเขาที่มีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิสูงสุดในบรรดาป่าเต็งรังทั้งหมดก็จะมีเพียง

21.3 % ของป่าดิบชื้นที่เขาช่อง จังหวัดตรัง เท่านั้น อย่างไรก็ตามอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิของป่าดิบชื้นที่เขาช่องนั้น ประมาณได้จากพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน ตั้งแต่ 4.5 ซม. ขึ้นไป ดังนั้น ถ้าหากรวมพรรณไม้ที่มีขนาดนี้เข้าไปในป่าเต็งรังด้วย ก็อาจจะทำให้ป่าเต็งรังมีอัตราหรือกำลังผลิตในรูปนี้ไม่เกิน 25 % ของป่าดิบชื้น เมื่อเปรียบเทียบป่าเต็งรังกับป่าปลูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส ตามาลคูลเลนซิส อายุ 5-6 ปี ที่ศึกษาโดย Thoranisorn และคณะ (1991) ซึ่งพบว่าสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสนี้ จะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิสูงสุดคือ 44.9 ตัน/เฮกแตร์.ปี และต่ำสุดคือ 16.8 ตัน/เฮกแตร์.ปี ในสวนป่าที่ปลูกด้วยความหนาแน่น 10,000 ตัน/เฮกแตร์ (ระยะปลูก 1 x 1 เมตร) และในระดับความหนาแน่น 4,445 และ 625 ตัน/เฮกแตร์ (ระยะปลูก 1.5 x 1.5 และ 4 x 4 เมตร ซึ่งมีอัตราเท่ากัน) ตามลำดับ และ Kawaguchi และคณะ (1991) พบว่าสวนป่าไม้ชนิดเดียวกันนี้เมื่อปลูกบนที่ดินรกร้างภายหลังการทำเหมืองแร่ดินกโดยใช้ระยะปลูก 2 x 2 เมตร และใช้มาตรการต่างๆ ค่อดิน (เช่น ไถพรวน ใส่ปุ๋ย คลุมดินด้วยหญ้าคา เป็นต้น) จะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิอยู่ระหว่าง 0.5 - 7.2 ตัน/เฮกแตร์.ปี (เฉพาะส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน) และบนที่ดินรกร้างประเภทดินลูกรังจะมีอัตรานี้เท่ากับ 12.2 ตัน/เฮกแตร์.ปี เมื่อเปรียบเทียบกับในสวนป่าไม้ชนิดเดียวกันที่ปลูกบนที่ดินรกร้างภายหลังการทำไร่เลื่อนลอยในที่ต่ำ ซึ่งจะมีอัตรานี้เท่ากับ 16.3 ตัน/เฮกแตร์.ปี อย่างไรก็ตามอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิที่ประมาณได้ในป่าเต็งรังนี้ เป็นเพียงค่าที่ประมาณได้โดยทางอ้อมและอาจจะถือว่าเป็นศักยภาพของป่าเต็งรังที่สามารถจะให้กำลังผลิตได้ต่ำที่สุด เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาโดยละเอียดต่อไปในอนาคต

เมื่อพิจารณาอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวมของสังคมต่างๆ ของป่าเต็งรัง (Table 1) ซึ่งได้จากการประมาณโดยทางอ้อมจากอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิที่คำนวณได้มาแล้วนั้น พบว่าโดยเฉลี่ยแล้ว ป่าเต็งรังในประเทศไทยจะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวมประมาณ 11.252 ± 2.504 ตัน/เฮกแตร์.ปี โดยมีแนวโน้มแบบเดียวกันกับอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิที่กล่าวแล้วคือ ในสังคมของป่าเต็งรังผสมสนเขาจะมีอัตราที่สูงที่สุด และสังคมของป่าเต็งรังที่มีไม้เต็งเป็นไม้เด่นขึ้นอยู่ในที่แห้งแล้งจะมีอัตราที่ต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับป่าดิบชื้นที่เขาช่อง จังหวัดตรัง ซึ่งมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวมสูงถึง 124.4 ตัน/เฮกแตร์.ปี (Kira และคณะ, 1967) แล้ว ป่าเต็งรังจะมีอัตรานี้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.05 % หรือสูงสุดเพียง 10.03 % ของป่าดิบชื้นที่เขาช่อง จังหวัดตรัง เท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับป่าดิบชื้นที่ Pasoh ประเทศมาเลเซีย (Kira, 1987) ซึ่งมีอัตรานี้เท่ากับ 83.4 ตัน/เฮกแตร์.ปี (เหนือพื้นดิน) นั้น ป่าเต็งรังจะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 13.5 % หรือสูงสุดเพียง 14.97 % เท่านั้น และจะน้อยกว่าในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนดินเหมืองแร่อายุ 4 ปี 8 เดือน ที่ไม่ได้ใช้มาตรการใดๆ นอกจากการคลุมดินด้วยหญ้าคาที่รายงานไว้โดย Kawaguchi และคณะ (1991) เสียอีก อย่างไรก็ตามอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวมที่ประมาณได้ในป่าเต็งรังนี้ ก็ถือว่าเป็นศักยภาพที่ป่าเต็งรังจะให้กำลังผลิตรวมนี้ได้ต่ำที่สุดภายใต้สภาวะการณ์ต่างๆ ที่กำหนด และคาดว่าจะไม่สูงไปกว่ากำลังผลิตของป่าปลูกของไม้โตเร็วบางชนิดแต่อย่างใด

อัตราการหายใจของสังคมพืชพรรณไม้ในป่าเต็งรังประเภทต่างๆ ในประเทศไทย

จากการศึกษาอัตราการหายใจของสังคมพืช

ป่าเต็งรัง (ΔR) โดยทางอ้อมจากความแตกต่างระหว่างอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมিরวมกับอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิได้ ΔR ซึ่งอยู่ในรูปของวัตถุแห้ง (dry matter) ที่สูญเสียไปโดยการหายใจต่อพื้นที่ 1 เฮกแตร์ต่อปี ของพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป ดังแสดงไว้ใน Table 2 ซึ่งจะเห็นว่าในป่าเต็งรังโดยเฉลี่ยแล้วนั้นจะมีอินทรีย์วัตถุสูญเสียไปโดยการหายใจปีละ 5.480 ตัน/เฮกแตร์ และสูญเสียมากที่สุดในป่าเต็งรังผสมสนเขา ซึ่งมีปริมาณมวลชีวภาพของใบมากที่สุด (พงษ์ศักดิ์ และมณฑล, 2523) และมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและขั้นปฐมภูมিরวมสูงสุด และในทำนองเดียวกันจะสูญเสียน้อยที่สุดในป่าเต็งรังที่มีมวลชีวภาพของใบน้อยที่สุด คือป่าเต็งรังที่เป็นสังคมของไม้เต็งที่ขึ้นในที่แห้งแล้ง อย่างไรก็ตาม Hagihara และ Hozumi (1983) กล่าวว่าปริมาณการหายใจของสวนป่าไม้ *Chamaecyparis obtusa* อายุ 18 ปี มีทั้งสิ้น 25.7 ตัน/เฮกแตร์ปี ซึ่งประมาณ 60 % ของปริมาณการหายใจนั้นมาจากใบไม้ และในหนุไม้ *Abies sachalinensis* จะมีปริมาณการหายใจของใบไม้ถึง 2/3 ของปริมาณการหายใจทั้งหมด (Yoda และคณะ, 1965) แต่ในป่าเขตร้อน (Yoda, 1983) ป่าไม้ไผ่จะไม่ผลิตใบในเขตอบอุ่น (Yoda, 1978) และสวนป่าไม้บีชในยุโรป (Moller และคณะ, 1954) จะมีปริมาณการหายใจจากใบไม้ถึง 1/2 แต่ในสวนป่าไม้ loblolly pine จะมี 1/3 (Kinerson และคณะ, 1977) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงปริมาณการหายใจทั้งหมดแล้วจะเห็นว่าในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนที่ดินรกร้างภายหลังการทำเหมืองแร่ดินจะอยู่ในช่วง 1.5-40.3 ตัน/เฮกแตร์ปี (เฉพาะส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน) ในขณะที่ปลูกบนที่ดินรกร้างที่เป็นดินลูกรังจะมีอยู่ 68.8 ตัน/เฮกแตร์ปี และบนที่ดินรกร้างภายหลังการทำไร่เลื่อนลอย

ในที่ต่ำจะสูงถึง 84.0 ตัน/เฮกแตร์ปี (Kawaguchi และคณะ, 1991) ซึ่งจะสูงกว่าป่าดิบชื้น ที่ Pasoh ประเทศมาเลเซียที่มีอัตราการหายใจอยู่เพียง 62.3 ตัน/เฮกแตร์ปี (Kira, 1987) ดังนั้น ป่าเต็งรังซึ่งเป็นป่าผลัดใบที่ขึ้นอยู่ในที่แห้งแล้ง และเป็นป่าโปร่งจึงมีปริมาณการสูญเสียอินทรีย์วัตถุไปโดยการหายใจค่อนข้างน้อย และยังเป็นการศึกษาเฉพาะจากพรรณไม้ที่มีขนาดจำกัดดังกล่าวแล้ว จึงยังมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลนี้ก็เป็นเพียงค่าที่ประมาณได้เช่นเดียวกับค่าอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งสองรูปแบบที่กล่าวแล้ว

เมื่อพิจารณาต่อไปว่า ป่าเต็งรังนั้นโดยทั่วไปจะปลดปล่อย CO_2 ให้แก่บรรยากาศจากการหายใจจากพรรณไม้ขึ้นดินส่วนเดียวเท่านั้นว่าจะเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด จึงได้ทำการประมาณหาปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศจากสังคมต่างๆ ของป่าเต็งรัง ซึ่งแนวโน้มนี้จะเป็นไปอย่างเดียวกันกับอัตราการหายใจ เพียงแต่ว่า CO_2 ที่ประมาณได้นี้จะเท่ากับ 1.6 เท่าของอัตราการหายใจที่ประมาณได้ เมื่อคิดจากค่า $C/CO_2 = 0.614$ ดังนั้นปริมาณ CO_2 ที่ป่าเต็งรังทั่วไปในประเทศไทยจะปลดปล่อยสู่บรรยากาศในอัตราประมาณ 8.925 ตัน/เฮกแตร์ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพรรณไม้ที่มีขนาดจำกัดตามที่กล่าวแล้ว ถ้าป่านี้อยู่ในสภาพปกติคือ ไม่เสื่อมโทรมไปกว่านี้ และจะมากน้อยต่างกันไปแล้วแต่สังคมย่อยของป่าเต็งรัง อัตราการปลดปล่อย CO_2 ในป่าเต็งรังนี้ เมื่อเทียบกับอัตราการหายใจของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนดินเหมืองแร่ ซึ่งเมื่อประมาณจากข้อมูลของ Kawaguchi และคณะ (1991) จะอยู่ในช่วงระหว่าง 2.12 ถึง 65.64 ตัน/เฮกแตร์ปี จากสวนป่าไม้ชนิดเดียวกันนี้บนที่ดินลูกรังได้ 112.05 ตัน/เฮกแตร์ปี บนที่ดินรกร้างภายหลังการทำไร่เลื่อนลอยในที่ต่ำได้ 136.81 ตัน/เฮกแตร์ปี และจากป่า

Table 2. Mean community respiration and their estimated CO₂ release (trees over 10 cm DBH)

Community/Sub-community type	ΔR (ton/ha.yr)	CO ₂ (ton/ha.yr)
1. <i>Pentacme suavis</i> *	5.143 $\pm$ 1.339	8.377 $\pm$ 2.181
1.1 <i>P. suavis</i> , xeric	3.954 $\pm$ 2.287	6.440 $\pm$ 3.724
1.2 <i>P. suavis</i> , mesic	5.360 $\pm$ 1.138	8.729 $\pm$ 1.853
2. <i>Shorea obtusa</i>	4.810 $\pm$ 1.700	7.834 $\pm$ 2.765
2.1 <i>Shorea obtusa</i> , xeric	2.980 $\pm$ 0.250	4.853 $\pm$ 0.407
2.2 <i>Shorea obtusa</i> , mesic	5.217 $\pm$ 1.604	8.500 $\pm$ 2.612
3. <i>Dipterocarpus obtusifolius</i> - <i>S. obtusa</i>	5.908 $\pm$ 1.629	9.622 $\pm$ 2.653
4. <i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5.652 $\pm$ 1.501	9.205 $\pm$ 2.445
5. Pine-Dipterocarp	6.149 $\pm$ 0.985	10.014 $\pm$ 1.604
5.1 <i>D. obtusifolius</i> - <i>Pinus merkusii</i>	5.482 $\pm$ 0.528	8.929 $\pm$ 0.860
5.2 <i>P. merkusii</i> - <i>D. tuberculatus</i>	6.447 $\pm$ 0.605	10.500 $\pm$ 0.986
5.3 <i>D. tuberculatus</i> - <i>P. kesiya</i>	5.489 $\pm$ 0.857	9.233 $\pm$ 1.440
5.4 <i>D. obtusifolius</i> - <i>S. obtusa</i> - <i>P. merkusii</i>	6.657 $\pm$ 1.242	10.842 $\pm$ 2.024
6. Others	4.736 $\pm$ 0.615	7.714 $\pm$ 1.002
Overall stand	5.480 $\pm$ 1.424	8.925 $\pm$ 2.320

Nomenclature was changed to *Shorea siamensis* by Smitinand (1980)

คิบชื้นที่ Pasoh มาเลเซีย จากข้อมูลของ Yoda (1983) ได้ 101.47 ตัน/เฮกแตร์.ปี ดังนั้นปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยโดยป่าเต็งรังทั้งหมดจะน้อยกว่าในป่าคิบชื้น และในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนที่ดินรกร้างในที่ต่างๆ ซึ่งได้ใช้มาตรการต่างๆ ยกเว้นบนที่ดินรกร้างที่เป็นดินภายหลังการทำเหมืองแร่ดีบุก ซึ่งไม่ใช้มาตรการใดๆ เลย ที่มี CO₂ ปล่อยออกมาต่ำกว่าในป่าเต็งรังทุกสังคม แต่ CO₂ ที่ปลดปล่อยโดยขบวนการหายใจในสภาพที่เป็นป่าธรรมชาติ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการรักษาสถานะคุณภาพของการหมุนเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศของป่าประเภทนี้ อย่างไรก็ตาม การประมาณค่าต่างๆ ดังกล่าวนี เป็นการประมาณทางอ้อมย่อมมีข้อจำกัดอยู่ตามค่าคงที่ของความสัมพันธ์ที่มีอยู่ แต่วิธีการโดยการใช้วิธีการวัดแต่ละค่าแล้วหกลบหรือรวมกันที่เรียกว่า summation method นั้น ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความถูกต้อง

เที่ยงตรงเทียบได้กับการวัดโดยตรง (Ogawa, 1977) ดังนั้น กำลังผลิตและอัตราเหล่านี้จะถูกต้องเพียงใด จำเป็นต้องทำการศึกษาแต่ละค่าโดยตรงเพื่อเทียบเคียงต่อไปในอนาคต

สรุป

การประมาณหาอัตรา หรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิและขั้นปฐมภูมิรวม ตลอดจนปริมาณการหายใจของสังคมพืชในป่าเต็งรัง โดยใช้วิธีการประมาณโดยทางอ้อม จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิกับปริมาณมวลชีวภาพของใบ และประมาณค่าไปหาอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิรวม แล้วหาความแตกต่างระหว่างกำลังผลิตทั้งสองอย่างนี้ เพื่อประมาณหาอัตราการหายใจของสังคมพืชในป่าเต็งรังที่จำกัดเฉพาะพรรณไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดินตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไปในทุก

สังคมย่อย สรุปได้ดังนี้

1. อัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิโดยเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 5.772 ± 1.162 ตัน/เฮกแตร์. ปี โดยมีอัตราหรือกำลังผลิตในรูปนี้สูงสุดในสังคมของป่าเต็งรังผสมสน (6.332 ตัน/เฮกแตร์.ปี) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสังคมของป่าไม้เหียง-เต็ง-สนสองใบจะสูงมากกว่าสังคมอื่นๆ ในสังคมเดียวกัน (6.711 ตัน/เฮกแตร์.ปี) และต่ำที่สุดในสังคมของป่าเต็งรังที่มีไม้เต็งเป็นไม้เด่น (5.196 ตัน/เฮกแตร์.ปี) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสังคมของไม้เต็งที่ขึ้นในที่แห้งแล้งจะต่ำที่สุดในสังคมย่อยเดียวกัน (3.601 ตัน/เฮกแตร์.ปี)

2. อัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมিরวมโดยเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 11.252 ± 2.584 ตัน/เฮกแตร์.ปี ซึ่งเทียบได้เท่ากับ 1.9 เท่าของอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ โดยจะมีอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมিরวมนี้สูงสุด และต่ำสุดในแนวโน้มนี้อยู่ร่วมกันกับอัตราหรือกำลังผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ

3. ค่าประมาณของอัตราการหายใจของสังคมพืชในป่าเต็งรัง โดยเฉลี่ยจะมีอยู่ 5.480 ± 1.424 ตัน/เฮกแตร์.ปี ซึ่งเป็นค่าประมาณการหายใจที่สูญเสียไปในรูปอินทรีย์วัตถุ หรือ คาร์บอน (C) และเมื่อแปลงให้เป็นค่าปริมาณ CO_2 ที่ปลดปล่อยไปสู่บรรยากาศโดยสังคมของป่าเต็งรังโดยเฉลี่ยแล้วมีประมาณ 8.925 ± 2.320 ตัน/เฮกแตร์.ปี ซึ่งคิดเป็น 1.6 เท่าของอัตราการหายใจและอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ และ 0.8 เท่าของอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมিরวม และมีแนวโน้มอย่างเดียวกันกับอัตราการผลิตในรูปต่างๆ ของป่าเต็งรังในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ และ มณฑล จำเริญพฤษ. 2523. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารของป่า

เต็งรังในประเทศไทย. I. มวลชีวภาพของสังคมพืชป่าเต็งรังประเภทต่างๆ. รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่มที่ 67. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 45 หน้า

Hagihara, A. and K. Hozumi. 1983. Studies on the primary production in a *Chamaecyparis obtusa* plantation. J. Jap. For. Soc. 65 : 357-365.

Kawaguchi, H., V. Tanpibal and P. Sahunalu. 1991. Primary production and carbon cycling. In: Improvement of Biological Productivity of Tropical Wastelands in Thailand (K. Yoda and P. Sahunalu, eds.), pp 335-343. Dept. of Biology, Osaka City University, Japan.

Kira, T., H. Ogawa, K. Yoda and K. Ogino. 1967. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. IV. Dry matter production, with special reference to the Khao Chong rain forest. Nature and Life in SE Asia, 5 : 149-174.

Kira, T. 1987. Primary production and carbon cycling in a primeval lowland rain forest of peninsular Malaysia. In: Tree Crop Physiology (M.R. Sethuraj and A.S. Raghavendra, eds.), pp. 99-119. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. The Netherlands.

Kinerson, R.S., C.W. Ralston and C.G. Wells. 1977. Carbon cycling in a loblolly pine plantation. Oecologia (Berl.) 29 : 1-15.

Moller, C.M., D. Muller and J. Nielsen. 1954. Graphic presentation of dry matter production of European beech. Forstl. Forsogsv. Danmark, 21 : 327-335.

Ogawa, H. 1977. Principles and methods of estimating primary production in forest : In: Primary Production of Japanese Forests (T. Shidei and T. Kira, eds.), pp 29-35. JIBP Synthesis Vol 16. The University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.

Smitinand, T. 1980. Thai Plant Names. (Botanical names-Vernacular names). Royal Forest Dept., Bangkok. 379 pp.

Thoranisorn, S., P. Sahunalu and K. Yoda. 1991. Litterfall and productivity of *Eucalyptus*

- camaldulensis* in Thailand. Jour. Trop. Ecol. 7 : 275-279.
- Tsutsumi, T., K. Yoda, P. Sahunalu, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. Forest : felling, burning and regeneration. In: Shifting cultivation, and experiment at Nam Phrom, northeast Thailand and it's implication for upland farming in the monsoon tropics (K. Kyuma and C. Pairintra, eds), pp 13-62. Kyoto University, Japan.
- Yoda, K., K. Shinozaki, H. Ogawa, K. Hozumi and T. Kira. 1965. Estimation of the total amount of respiration in woody organs of trees and forest communities. J. Biol. Osaka City Univ. 16 : 15-26.
- Yoda, K. 1967. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. III. Community respiration. Nature and Life in SE Asia 5 : 83-148.
- Yoda, K. 1971. Forest Ecology. (Research on Ecology series 4). Tsukiji Shokan Ltd. Tokyo, Japan. 331 pp. (in Japanese).
- Yoda, K. 1978. Estimation of community respiration. In: Biological production in a warm-temperate evergreen oak forest of Japan (T. Kira, Y. Ono and T. Hosokawa, eds.), pp 112-131, 143-144, JIBP Synthesis Vol. 18. The University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Yoda, K. 1983. Community respiration in a lowland rain forest in Pasoh, peninsular Malaysia. Jap. J. Ecol. 33 : 183-197.