Thai J. For. 10 : 1 – 11 (1991) วารสารวนศาสตร์ 10 : 1–11 (2534)

การสังเคราะห์แสงและการหายใจของกล้าไม้กระถินเทพา 2. ความแตกต่างระหว่างถิ่นกำเนิด

PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF *ACACIA MANGIUM* WILLD. 2. PROVENANCE VARIATIONS

ลดาวัลย์ พวงจิตร[1/] Ladawan Puangchit

ABSTRACT

Genetic variation in the gas exchange characteristics and biomass production of 10 – month – old *Acacia mangium* seedlings was studied under laboratory condition. Six provenances representing the natural range of *A. mangium* were selected for the present study. Gas exchange characteristics at various temperature including net photosynthesis, total photosynthesis, dark respiration and photorespiration were measured and calculated.

Results showed that the response of both total and net photosynthesis to temperature under constant light intensity varied significantly among provenances. Photorespiration and dark respiration point differed among provenances, but were not statistically significant. The provenance from Papua New Guinea (No. 13459) showed remarkably low photosyntheric rate throughout the temperature range. However, this provenance showed distinctly high total biomass production. The result was consistent to field performances.

บทคัดย่อ

ความแตกต่างทางพันธุกรรมเกี่ยวกับคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และผลผลิตมวลชีวภาพของกล้าไม้กระถินเทพา ได้ทำการศึกษากับกล้าไม้กระถินเทพาอายุ 10 เดือน ภายในห้องปฏิบัติการ โดยใช้กล้าไม้กระถินเทพาจาก 6 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ ทำการวัดและคำนวณหาคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ อันได้แก่ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ อัตราการสังเคราะห์แสงรวม อัตราการหายใจในสภาพมืด และอัตราการหายใจในสภาพที่มีการสังเคราะห์แสง ทำการเปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ กับผลผลิตมวลชีวภาพของไม้กระถินเทพา ทั้งกล้าไม้ในห้องปฏิบัติการ และต้นไม้ที่ปลูกในสภาพธรรมชาติที่มีถิ่นกำเนิดจากที่เดียวกัน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงมีความแตกต่างกันในระหว่างถิ่นกำเนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระดับอุณหภูมิที่ทำการศึกษา สำหรับอัตราการหายใจนั้น มีความแตกต่างกันในระหว่างถิ่นกำเนิด แต่ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ กล้าไม้กระถินเทพาจากปาปัวนิวกินี (หมายเลข 13459) มีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำที่สุดในทุกระดับอุณหภูมิ แต่มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของกล้าไม้สูงที่สุด และในสภาพสวนป่าก็มีการเจริญเติบโต ด้านความโต และความสูงมากที่สุดด้วย

[1/] ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กทม. 10903

คำนำ

ขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นไม้ อันได้แก่ ขบวนการสังเคราะห์แสง และขบวนการหายใจนั้น นอกจากจะถูกควบคุมโดยปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ อันได้แก่ แสง อุณหภูมิ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ (สมาวัลย์ 2533) แล้ว ปัจจัยทางพันธุกรรมก็นับเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดความผันแปรของขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซ ปัจจัยทางพันธุกรรมที่สำคัญได้แก่ ชนิดของต้นไม้ ถิ่นกำเนิดของต้นไม้ และชนิดพันธุ์ของต้นไม้ เป็นต้น (Kramer และ Kozlowski 1979)

ความแตกต่างทางพันธุกรรมของขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นไม้ ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพันธุ์ไม้ในเขตหนาว Luukkanen และ Kozlowski (1972) ได้พบความผันแปรของขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่าง clone ของไม้ปอปล่าห์ *(Populus* sp.) และยังได้มีการเสนอแนะถึงความเป็นไปได้ในการใช้ลักษณะทางสรีรวิทยาบางอย่างของต้นไม้เพื่อเป็นพื้นฐานในการคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่มีลักษณะดีในโครงการปรับปรุงพันธุ์ไม้ต่าง ๆ Pelkonen และ Luukkanen (1974) พบว่า พันธุ์ไม้ที่ขึ้นอยู่ในเขตละติจูดที่สูงกว่า (อยู่ใกล้ขั้วโลก) จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยพื้นที่ใบที่สูงกว่าพันธุ์ไม้ชนิดเดียวกัน ที่ขึ้นอยู่ในเขตละติจูดที่ต่ำกว่า (อยู่ห่างขั้วโลก) การศึกษาความแตกต่างทางพันธุกรรมของขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซกับพันธุ์ไม้ในเขตร้อนยังมีน้อยมาก Luukkanen และพณะ (1976) ได้รายงานความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงที่พบในไม้สนสองใบ *(Pinus murkusii)* ที่มาจากถิ่นกำเนิดที่แตกต่างกัน 9 แหล่ง Vannajan (1983) ได้พบความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงของพันธุ์ไม้โตเร็วหลายชนิด เช่น ยูคาลิปตัส *(Eucalyptus* sp.), เลี่ยน *(Melia azedarach)*, กระถินยักษ์ *(Leucaena leucocephala)* และ ซ้อ *(Gmelina arborea)* เป็นต้น

ได้มีความพยายามศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของต้นไม้ โดยเชื่อว่า ต้นไม้ที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงจะมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็วกว่าต้นไม้ที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มีผู้พยายามทำการศึกษามากมาย แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของต้นไม้ ไม่มีแนวทางที่แน่นอน ไม้บางชนิดอาจแสดงความสัมพันธ์ในทางบวก เช่น ไม้ *Pseudotsuga menziesii* (Campbell และ Rediske 1966) ไม้ *Populus* sp. (Faschun 1978) และในทางตรงข้าม ไม้บางชนิดก็แสดงความสัมพันธ์ในทางลบ เช่น ไม้ *Pinus contorta* (Sweet และ Warcing 1968) ไม้ *Pinus sylvestris* (Gordon และ Gatherum 1968) อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงนั้น เป็นค่าที่ได้จากการวัดในเวลาขณะใดขณะหนึ่ง ดังนั้น การนำค่าอัตราการสังเคราะห์แสงมาเป็นตัวกำหนดในการคาดคะเนอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้นั้น จึงควรจะเพิ่มความระมัดระวัง และควรจะต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบสรีระวิทยาของต้นไม้อย่างเพียงพอ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจของกล้าไม้กระถินเทพา ที่มีถิ่นกำเนิดแตกต่างกัน ตลอดจนศึกษาถึงความสัมพันธ์ของอัตราการสังเคราะห์แสง และการเจริญเติบโตของกล้าไม้ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดคุณลักษณะเพื่อใช้ในการคัดเลือกพันธุ์ไม้กระถินเทพาต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

เมล็ดไม้กระถินเทพาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นเมล็ดไม้ที่ได้รับจาก CSIRO ประกอบด้วยเมล็ดไม้จาก 6 ถิ่นกำเนิด ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 เมื่อเพาะเมล็ดไม้เหล่านี้ให้งอกแล้วจึงทำการย้ายกล้าไม้ลงในกระถางพลาสติก และเลี้ยงกล้าไม้ไว้ในเรือนกระจก ซึ่งมีการควบคุมปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ โดยมีอุณหภูมิในเวลากลางวัน และกลางคืนเท่ากับ 30° และ 15° C ตามลำดับ มีความชื้นสัมพันธ์อยู่ระหว่าง 70–90% และมีความยาวของช่วงวันเท่ากับ 13 ชั่วโมง กล้าไม้ได้รับน้ำวันละ 1 ครั้ง และได้รับปุ๋ยน้ำ Superex 5 ความเข้มข้น 0.1% สัปดาห์ละ 1 ครั้ง สำหรับวัสดุที่ใช้ในการเพาะและย้ายชำกล้าไม้ได้แก่ FINNPEAT ST–400 B6 การทดลองทั้งหมดนี้ทำที่สถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์ Hyytiälä ประเทศฟินแลนด์

เมื่อกล้าไม้กระถินเทพามีอายุได้ 10 เดือน จึงทำการสุ่มกล้าไม้ที่แข็งแรง และสมบูรณ์ ถิ่นกำเนิดละ 4 ต้น เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซ

สำหรับวิธีการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซนั้น ใช้วิธีการเดียวกันกับที่ได้อธิบายในการทดลองที่ 1 (ลดาวัลย์ 2533) โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้ระดับความเข้มของแสงคงที่ที่ระดับ 1,000 $\mu mol/m^2/s$ และระดับอุณหภูมิต่างกัน 4 ระดับ คือ 18, 24, 30 และ 36°C

เมื่อเสร็จสิ้นการวัดการแลกเปลี่ยนก๊าซของกล้าไม้ตัวอย่างทุกต้นแล้ว จึงทำการวัดหาพื้นที่ผิวใบของกล้าไม้แต่ละต้น และหาน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ในแต่ละส่วน คือ ต้น ใบ และราก โดยการอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทดสอบหาความแตกต่างทางสถิติของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซของกล้าไม้กระถินเทพาจากต่างถิ่นกำเนิดโดยวิธี One–way Analysis of Variance และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test เปรียบเทียบอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซกับผลผลิตน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ในแต่ละถิ่นกำเนิด นอกจากนั้น ยังได้พยายามเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของต้นไม้กระถินเทพาจากถิ่นกำเนิดเดียวกัน ซึ่งปลูกอยู่ในแปลงทดลองถิ่นกำเนิด สวนป่าลาดกระทิง จังหวัดฉะเชิงเทรา และได้รายงานผลการศึกษาใน Atipanumpai (1986)

ผลและวิจารณ์

ความแตกต่างของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างถิ่นกำเนิด

ค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ อันได้แก่ การสังเคราะห์แสงรวม (Pt) การสังเคราะห์แสงสุทธิ (Pn) การหายใจในสภาพที่มีการสังเคราะห์แสง (Rl) และการหายใจในสภาพมืด (Rd) ที่ได้จากการวัดในการทดลองครั้งนี้ ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2 และ 3

จากการทดลองพบว่า Pn และ Pt ของกล้าไม้กระถินเทพาจากต่างถิ่นกำเนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทุกระดับอุณหภูมิที่ทำการศึกษา (18, 24, 30 และ 36 °C) ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้กระถินเทพาถูกควบคุมโดยพันธุกรรม ความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นนี้ เป็นผลเนื่องมาจากอัตราการสังเคราะห์แสงที่ต่ำมากของกล้าไม้กระถินเทพาจากปาปัวนิวกินี (13459) ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกันในทุกระดับอุณหภูมิ ความแตกต่างของอัตราการสังเคราะห์แสงที่พบในแต่ละถิ่นกำเนิดของกล้าไม้กระถินเทพานี้ ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับระดับและละดิจูดของถิ่นกำเนิดของกล้าไม้ ซึ่งความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ได้พบในกล้าไม้

Table 1. Natural seed sources of *Acacia mangium* provenance used in the present study

Register No.	Location	Latitude (S)	Longitude (E)	Altitude (m)
13229	Claudie River, Queensland, Australia	12° 44'	143° 13'	60
13236	Kurrimine, Queensland, Australia	17° 46'	146° 05'	10
13240	Ellerbeck Rd., Cardwell, Queensland, Australia	18° 14'	145° 58'	60
13459	West of Morehead, Papua New Guinea	8° 45'	141° 58'	30
13460	Oriomo River, Papua New Guinea,	8° 50'	143° 08'	10
13621	Piru, Ceram, Indonesia	3° 04'	128° 12'	150

Table 2. Average total photosynthesis (Pt) and net photosynthesis (Pn) of *A.mangium* in relation to provenances at different temperatures under saturation light intensity. Values in column followed by the same letter are not significantly different at 0.05 level of significance using Duncan's New Multiple Range Test

Prov. no.	Total photosynthesis mg $CO_2/dm^2/h$				Net photosynthesis mg $CO_2/dm^2/h$			
	Temperature (°C)				Temperature (C°)			
	18	24	30	36	18	24	30	36
13229	10.00^{ab}	11.09^{b}	11.87^{b}	11.81^{b}	9.09^{b}	9.99^{b}	10.09^{b}	9.35^{b}
13236	10.26^{b}	11.33^{b}	11.52^{b}	11.42^{b}	9.42^{b}	9.98^{b}	9.78^{b}	9.03^{b}
13240	9.70^{ab}	10.64^{ab}	10.91^{b}	10.80^{b}	8.83^{b}	9.22^{b}	9.05^{b}	8.33^{b}
13459	8.24^{a}	9.14^{a}	9.33^{a}	8.88^{a}	7.21^{a}	7.70^{a}	7.45^{a}	6.27^{a}
13460	9.28^{ab}	10.61^{ab}	11.06^{b}	10.98^{b}	8.32^{ab}	9.07^{b}	8.88^{b}	8.18^{b}
13621	9.74^{ab}	11.49^{b}	12.05^{b}	12.24^{b}	8.27^{ab}	9.29^{b}	9.38^{b}	8.87^{b}
$\bar{X}$	9.49	10.68	11.05	10.95	8.47	9.14	9.02	8.25
S_x	0.25	0.27	0.29	0.34	0.23	0.22	0.23	0.29
F	2.25	4.03*	5.81*	4.28*	2.91*	4.44*	5.48**	4.13*

Significance levels of the F – value : * $p < 0.05$
** $p < 0.01$

Table 3 Average photorespiration (Rl) and dark respiration (Rd) of *A. mangium* in relation to provenances (description as in Table 2)

Prov. no.	Photorespiration $mgCO_2/dm^2/h$				Dark respiration $mgCO_2/dm^2/h$			
	Temperature (°C)				Temperature (C°)			
	18	24	30	36	18	24	30	36
13229	0.92^{a}	1.10^{a}	1.78^{a}	2.46^{a}	0.53^{a}	1.00^{a}	1.41^{a}	1.95^{b}
13236	0.85^{a}	1.36^{a}	1.74^{a}	2.38^{a}	0.48^{a}	0.82^{a}	1.16^{a}	1.77^{b}
13240	0.87^{b}	1.42^{a}	1.86^{a}	2.47^{a}	0.44^{a}	0.82^{a}	1.16^{a}	1.62^{b}
13459	$1.03^{a,b}$	1.44^{a}	1.87^{a}	2.61^{a}	0.50^{a}	0.88^{a}	1.31^{a}	1.90^{b}
13460	$0.96^{a,b}$	1.55^{ab}	2.18^{ab}	2.80^{ab}	0.41^{a}	0.80^{a}	1.10^{a}	1.60^{b}
13621	1.47^{b}	2.21^{b}	2.68^{b}	3.36^{b}	0.51^{a}	0.89^{a}	1.22^{a}	1.80^{b}
X	1.02	1.55	2.04	2.70	0.48	0.85	1.21	1.76
S_x	0.10	0.14	0.14	0.14	0.02	0.04	0.05	0.06
F	2.42	2.27	2.74	4.03*	0.76	0.35	0.67	0.87

Significance levels of the F – value : $* p < 0.05$
$** p < 0.01$

สน Scots pine (Gordon และ Gatherum 1968) การที่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในกล้าไม้กระถินเทพา อาจจะเป็นเพราะว่า สภาพธรรมชาติของถิ่นกำเนิดของไม้กระถินเทพา ซึ่งเป็นสภาพป่าเขตร้อนนั้น ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพธรรมชาติของป่าในเขตหนาว นอกจากนั้น ความยาวของช่วงวันของแหล่งกำเนิดไม้กระถินเทพาแต่ละแหล่งก็ไม่แตกต่างกันด้วย

การตอบสนองของกล้าไม้กระถินเทพาแต่ละถิ่นกำเนิด ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิโดยทั่ว ๆ ไป มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ Pn จะมีอัตราเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนถึงที่ระดับอุณหภูมิ 24 °C Pn ก็จะเริ่มลดลง ยกเว้นถิ่นกำเนิดจากออสเตรเลีย (13229) และถิ่นกำเนิดจากอินโดนีเซีย (13621) ซึ่งค่า Pn ยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงระดับอุณหภูมิที่ 30 °C ค่า Pn จึงเริ่มลดลง ส่วน Pt ของกล้าไม้จากทุกถิ่นกำเนิดจะเพิ่มขึ้นจนถึงที่ระดับอุณหภูมิ 30 °C และจะเริ่มคงที่ หรือลดลงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าระดับอุณหภูมิที่ทำให้กล้าไม้กระถินเทพามี Pn สูงที่สุดนั้น ต่ำกว่าอุณหภูมิประจำวันในถิ่นกำเนิดธรรมชาติของไม้กระถินเทพาทุกแห่ง ดังนั้น ในสภาพธรรมชาติไม้กระถินเทพาจึงไม่อาจมีการสังเคราะห์แสงสูงเต็มประสิทธิภาพได้ อันเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปเป็นปัจจัยจำกัด

สำหรับค่า Rl และ Rd นั้น มีความแตกต่างกันในระหว่างถิ่นกำเนิดของกล้าไม้ แต่ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย ANOVA (ตารางที่ 3) ยกเว้นค่า Rl ที่อุณหภูมิ 36 °C การที่ความแตกต่างของ Rl ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิตินั้น อาจจะเป็นเพราะว่า Rl ของกล้าไม้กระถินเทพามีความผันแปรมาก แม้แต่กล้าไม้ในถิ่นกำเนิดเดียวกัน สำหรับความแตกต่างระหว่างถิ่นกำเนิดของ Rd นั้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอน ๆ ที่วัดได้

จากการทดสอบพบว่า กล้าไม้กระถินเทพาจากถิ่นกำเนิดอินโดนีเซีย (13621) มี Rl สูงที่สุดในทุกระดับอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับค่า Pt จึงอาจกล่าวได้ว่า กล้าไม้จากถิ่นกำเนิดดังกล่าวแม้จะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีอัตราการสูญเสียอันเนื่องมาจากขบวนการหายใจสูงด้วยเช่นกัน จึงมีผลให้ค่า Pn ที่ได้อยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่กล้าไม้จากออสเตรเลีย (13229) มี Pt ต่ำกว่า แต่มี Rl ต่ำมาก เป็นผลให้ Pn มีค่ามากที่สุด

อัตราส่วนของค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ

ค่า Rd ที่วัดได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าต่ำกว่า Rl ซึ่งผลการศึกษาในทำนองเดียวกันนี้พบในไม้สน *Picea abies* (Luukkanen 1978) ในขณะที่ไม้สนสองใบให้ผลในทางกลับกันคือ มี Rd มากกว่า Rl (Luukkanen และคณะ 1976) ตารางที่ 4 แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างอัตราการหายใจทั้งสองแบบ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิ และระหว่างถิ่นกำเนิด แต่ความแตกต่างนี้ไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทดสอบด้วย ANOVA อัตราส่วนระหว่าง Rl และ Rd มีค่าระหว่าง 1.1 – 2.8 และมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่า Rd นั้นเพิ่มรวดเร็วกว่า Rl เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าที่ได้นี้มีค่าสูงกว่าที่รายงานไว้สำหรับไม้สน *Picea abies* โดย Luukkanen (1978) แต่มีค่าใกล้เคียงกับที่ Zelawski (1967) รายงานว่า Rl ของไม้สน *Pinus sylvestris* สูงกว่า Rd 2.8 เท่า จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าอัตราส่วนของ Rl และ Rd มีค่าสูงสุดในกล้าไม้จากถิ่นกำเนิดอินโดนีเซีย (13621) รองลงมาเป็นกล้าไม้จากถิ่นกำเนิดปาปัวนิวกินี (13460) ส่วนถิ่นกำเนิดจากออสเตรเลีย (13229) นั้นมีค่าต่ำที่สุด

อัตราส่วนระหว่างการสังเคราะห์แสงและการหายใจนั้น นับว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดค่าหนึ่งในการศึกษาความผันแปรของถิ่นกำเนิดของกล้าไม้ ซึ่ง Ogren (1984) กล่าวว่าอัตราส่วนระหว่าง Pn และ Rl นั้น เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอัตราส่วนของปฏิกิริยา carboxylase และ oxygenase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า อัตราส่วนของ Pn ต่อ Rl และ Pn ต่อ Rd ของกล้าไม้กระถินเทพาเปลี่ยนแปลงไปตามระดับอุณหภูมิ คือมีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าอัตราการสังเคราะห์แสง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น ในวันที่มีอากาศร้อนจัดมาก ๆ ต้นไม้อาจไม่ได้รับประโยชน์จากขบวนการสังเคราะห์แสงเลย เนื่องจากผลผลิตที่ได้ทั้งหมดล้องสูญเสียไปในขบวนการหายใจ ค่าอัตราส่วนดังกล่าวนี้ยังแตกต่างกันระหว่างถิ่นกำเนิดของกล้าไม้ แต่ไม่แตกต่างเมื่อทดสอบด้วย ANOVA (ตารางที่ 4) ซึ่งแตกต่างจากที่ Zelawski (1976) ศึกษากับกล้าไม้สน *Pinus sylvestris* จากต่างถิ่นกำเนิดที่ประเทศโปแลนด์ และพบว่า อัตราการสังเคราะห์แสง หรืออัตราการหายใจของกล้าไม้แต่เพียงอย่างเดียวจะไม่แสดงความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่เมื่อคำนวณเป็นอัตราส่วนของค่าทั้งสองแล้ว ค่าอัตราส่วนจะแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างถิ่นกำเนิดของกล้าไม้

การแลกเปลี่ยนก๊าซและผลผลิตของกล้าไม้จากต่างถิ่นกำเนิด

การปลูกบำรุงสวนป่าในทางวนวัฒนวิทยาโดยทั่วไปก็มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้ได้ผลผลิตเนื้อไม้มากที่สุด ซึ่งก็คือพยายามลดความแตกต่างระหว่างขบวนการสังเคราะห์แสง และขบวนการหายใจให้มากที่สุด เพื่อที่จะให้มีผลผลิตสุทธิขึ้น (Campbell และ Rediske 1966) พบความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างอัตราการสังเคราะห์แสงและผลผลิตน้ำหนักแห้งของกล้าไม้สน Douglas–

Table 4. Average photorespiration/dark respiration, photorespiration/net photosynthesis and dark respiration/net photosynthesis ratios of *A. mangium* in relation to provenances (description as in Table 2)

Prov. no.	Photorespiration/ dark respiration ratio				Net photosynthesis/ photorespiration ratio				Net photosynthesis/ dark respiration ratio			
	Temperature (°C)				Temperature (°C)				Temperature (°C)			
	18	24	30	36	18	24	30	36	18	24	30	36
13229	1.98^{a}	1.19^{a}	1.34^{a}	1.30^{a}	10.83^{a}	9.12^{c}	5.71^{b}	3.82^{c}	18.41^{a}	10.98^{a}	7.52^{ab}	4.88^{b}
13236	1.75^{a}	1.67^{a}	1.50^{ab}	1.35^{a}	11.78^{a}	7.70^{bc}	5.72^{b}	3.82^{c}	19.48^{a}	12.24^{a}	8.45^{b}	5.12^{b}
13240	2.11^{a}	1.84^{ab}	1.70^{ab}	1.57^{ab}	11.20^{a}	6.86^{abc}	5.17^{ab}	3.61^{bc}	20.42^{a}	11.58^{a}	8.03^{ab}	5.21^{b}
13459	2.28^{a}	1.78^{ab}	1.57^{ab}	1.46^{ab}	7.76^{a}	5.69^{ab}	4.23^{ab}	2.48^{a}	14.84^{a}	9.08^{a}	5.97^{a}	3.38^{a}
13460	2.30^{a}	1.96^{ab}	1.98^{ab}	1.75^{ab}	10.99^{a}	6.75^{ab}	4.49^{ab}	3.14^{abc}	21.28^{a}	11.82^{a}	8.17^{b}	5.11^{b}
13621	2.82^{a}	2.59^{b}	2.20^{b}	1.97^{b}	7.15^{a}	5.03^{a}	3.82^{a}	2.67^{ab}	16.88^{a}	10.74^{a}	7.74^{ab}	5.13^{b}
X	2.23	1.90	1.75	1.59	9.87	6.65	4.78	3.20	18.56	11.08	7.66	4.80
CV,%	27.97	26.42	23.08	20.61	28.53	19.79	19.07	19.47	20.07	20.28	15.31	18.20
F	1.49	1.71	1.70	1.77	2.04	2.31	2.21	2.78	1.87	1.03	2.29	2.67

fir และได้เสนอแนะว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้นั้นสามารถที่จะใช้เป็นคุณลักษณะหนึ่งในการคัดเลือกกล้าไม้เพื่อให้มีการเจริญเติบโตเร็ว

กล้าไม้กระถินเทพาอายุ 10 เดือน ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีผลผลิตน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ของกล้าไม้แตกต่างกันตามถิ่นกำเนิดของกล้าไม้ (รูปที่ 1) ซึ่งกล้าไม้จากปาปัวนิวกินี (13459) มีผลผลิตน้ำหนักแห้งรวม และน้ำหนักแห้งของใบสูงที่สุด ในขณะที่กล้าไม้จากอินโดนีเซีย (13621) มีผลผลิตของลำต้นมากที่สุด และกล้าไม้จากปาปัวนิวกินี (13460) มีผลผลิตรากสูงที่สุด

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า กล้าไม้กระถินเทพาจากปาปัวนิวกินี (13459) ซึ่งมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยพื้นที่ใบต่ำที่สุด (ตารางที่ 2) แต่กลับให้ผลผลิตน้ำหนักแห้งรวมสูงที่สุด ทั้งนี้คาดเนื่องมาจากกล้าไม้จากถิ่นกำเนิดดังกล่าวมีความสามารถพิเศษที่จะนำผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงมาสะสมในรูปผลผลิตน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเพิ่มชุนเนื้อเยื่อส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ความแตกต่างระหว่างถิ่นกำเนิดเกี่ยวกับโครงสร้างของใบ เช่น ลักษณะของปากใบ และจำนวนปากใบ อาจเป็นสาเหตุสำคัญที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของกล้าไม้ นอกจากนั้น ยังพบว่า กล้าไม้กระถินเทพาจากถิ่นกำเนิดที่มีผลผลิตสูง จะมีพื้นที่ผิวใบมากด้วย อย่างไรก็ตาม การวัดอัตราการสังเคราะห์แสงเพียงครั้งเดียว ในช่วงเวลาเดียว ไม่สามารถนำมาเป็นข้อสรุปในการทำนายศักยภาพในการสร้างผลผลิตน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ได้

จากการนำค่าอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยเฉพาะค่า Pn ที่วัดได้จากห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับการเจริญเติบโตของไม้กระถินเทพาในแปลงทดลองถิ่นกำเนิด ซึ่งเป็นต้นไม้จากเมล็ดชุดเดียวกัน อายุ 30 เดือน ซึ่งผลการศึกษาความแตกต่างระหว่างถิ่นกำเนิดด้านการเจริญเติบโตของไม้กระถินเทพานี้ ได้เคยรายงานไว้แล้วใน Atipanumpai (1986) ผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับผลที่ได้ในห้องปฏิบัติการคือกระถินเทพาจากถิ่นกำเนิดที่มีค่า Pn ต่ำ จะมีการเจริญเติบโต ทั้งด้านความโต และความสูง สูงกว่าไม้กระถินเทพาที่มีค่า Pn สูง ดังแสดงในรูปที่ 2 Ladipo และคณะ (1984) ได้ทำการศึกษาในทำนองเดียวกันนี้กับไม้ *Triplochiton scleroxylon* อายุ 4 ปี พบว่าค่า Pn ไม่แสดงความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของต้นไม้ในสภาพธรรมชาติ ในขณะที่ค่า Rd ให้ค่าความสัมพันธ์สูง อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ ไม่สามารถหาค่าความสัมพันธ์ในทางสถิติได้ เพราะเป็นเพียงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่วัดได้จาก 2 การทดลอง

เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างการแลกเปลี่ยนก๊าซ กับผลผลิตของต้นไม้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและเข้าใจถึงขบวนการในการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ ตลอดจนปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการสร้างและสะสมผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ การศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นเพียงพื้นฐานเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อ ๆ ไป

สรุปผล

จากการศึกษาพบว่า ค่า Pt และ Pn ของกล้าไม้กระถินเทพาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความแตกต่างนี้ไม่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งสะดวกของแหล่งกำเนิดธรรมชาติของเมล็ดเหล่านั้น โดยที่กล้าไม้กระถินเทพาจากปาปัวนิวกินี (13459) มีค่า Pt และ Pn ต่ำสุด ในขณะที่กล้าไม้กระถินเทพาจากออสเตรเลีย (13229) มีค่า Pn สูงที่สุด และกล้าไม้จากอินโดนีเซีย (13621) มีค่า Pt สูงที่สุด และในขณะเดียวกันก็มี Rl สูงที่สุดด้วย อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของ Rl และ

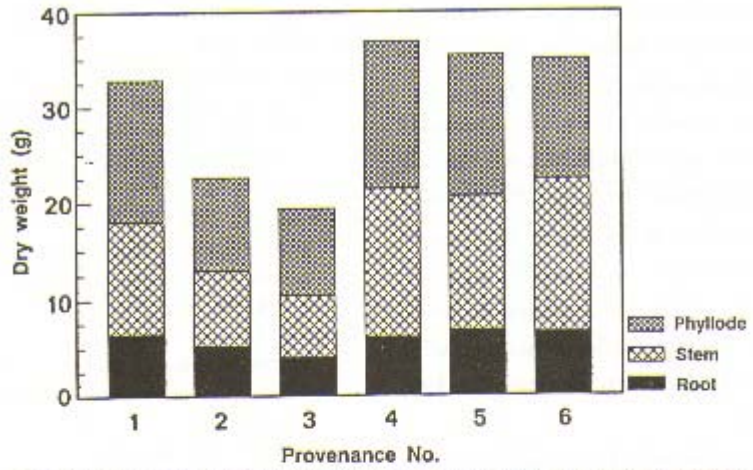

Figure 1. Distribution of dry matter in various parts of 10 – month – old *A. mangium* seedlings in relation to provenance.

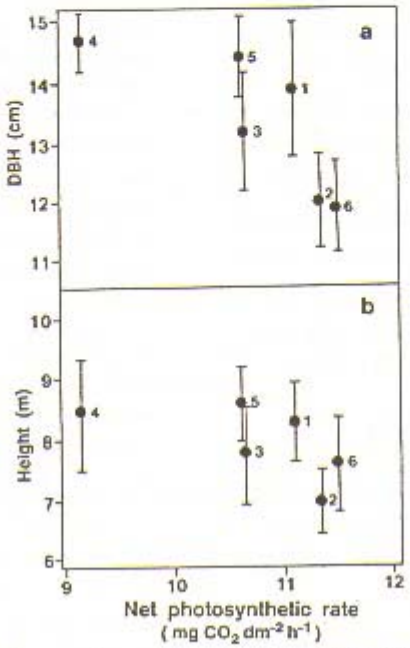

Figure 2. Relationship between the seedling net photosynthetic rate (18 C°, light saturation) and tree diameter (a) or height (b) at 30 months of age in six *A. mangium* provenances in the field. The number indicates the provenance as follows :
1 = 13229, 2 = 13236, 3 = 13240, 4 = 13459, 5 = 13460, 6 = 13621

Rd ของกล้าไม้กระถินเทพาต่างถิ่นกำเนิดไม่แสดงนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะค่า Rd ระหว่างถิ่นกำเนิดมีความแตกต่างกันน้อยมาก

จากอัตราส่วนของค่า Rl และ Rd แสดงให้เห็นว่า Rl จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่า Rd เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกัน อัตราส่วนระหว่าง Pn กับ Rl และ Pn กับ Rd ก็แสดงให้เห็นว่า อัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าอัตราการหายใจ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราส่วนของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซต่าง ๆ นี้ ไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลผลิตน้ำหนักแห้งของกล้าไม้กระถินเทพาจากทั้ง 8 ถิ่นกำเนิดมีความแตกต่างกันในทุก ๆ ส่วนของกล้าไม้ โดยกล้าไม้จากปาปัวนิวกินี (13459) มีผลผลิตน้ำหนักแห้งรวม และผลผลิตน้ำหนักแห้งของใบมากที่สุด แม้ว่าจะมี Pn น้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลผลิตน้ำหนักแห้งมิได้ขึ้นอยู่กับอัตราการสังเคราะห์แสงเพียงอย่างเดียว เมื่อนำค่าอัตราการสังเคราะห์แสงที่วัดได้ในห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับอัตราการเจริญเติบโตทางด้านความโต และความสูงของไม้กระถินเทพาที่มีถิ่นกำเนิดมาจากแหล่งเดียวกัน อายุ 30 เดือน ซึ่งปลูกอยู่ในสภาพสวนป่าในแปลงทดลองถิ่นกำเนิด พบว่าให้ผลสอดคล้องกับผลที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

ลดาวัลย์ อธิพันธุ์อำไพ. 2533. การสังเคราะห์แสงและการหายใจของกล้าไม้กระถินเทพา 1. อิทธิพลของอุณหภูมิของแสง. วารสารวนศาสตร์วิจัย 8(1): 1–11

Atipanumpai, L. 1986. Variation in growth and some morphological characteristics of *Acacia mangium* Willd. grown in Thailand. Techincal Paper No. 60. Department of Silviculture, Kasetsart University. 59 p.

Campbell, R.K. and Rediske, J.H. 1966. Genetic variability of photosynthetic efficiency and dry matter accumulation in seedling Douglas – fir. Silvae Genet. 15 : 65 – 72.

Fasehun, F.E. 1978. Effect of irradiance on growth and photosynthesis of *Populus x euramericana* clones. Can. J. For. Res. 8 : 94 – 99.

Gordon, J.C. and Gatherum, G.E. 1968. Photosynthesis and growth of selected Scotch pine populations. Silva Fenn. 2 : 183 – 194.

Kramer, P.J. and Kozlowski, T.T. 1979. Physiology of Woody Plant. Academic Press, New York. 811 p.

Ladipo, D.D., Grace, J. and Sandford, A.P. 1984. Clonal variation in photosynthetic and respiration rates and diffusion resistances in the tropical hardwood *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. Photosynthetica 18 : 20 – 27.

Luukkanen, O. 1978. Investigations on factors affecting net photosynthesis in trees : Gas exchange in clones of *Picea abies* (L.) Karst. Acta For. Fenn. 162 : 63 p.

Luukkanen, O. and Kozlowski, T.T. 1972. Gas exchange in six *Populus* clones. Silvae Genet. 21 : 220 – 229.

Luukkanen, O., Bhumibhamon, S. and Pelkonen, P. 1976. Photosynthesis in three provenances of *Pinus merkusii*. Silvae Genet. 25 : 7 – 10.

Ogren, W.L. 1984. Photorespiration : Pathways regulation and modification Ann. Rev. Plant Physiol. 35 : 415 – 422.

Pelkonen, P. and Luukkanen, O. 1974. Gas exchange in three population of Norway spruce. Silvae Genen. 25 : 160 – 164

Sweet, G.B. and Wareing, P.F. 1968. A comparison of the rates of growth and

photosynthesis in first – year seedlings of four provenances of *Pinus contorta* Dougl. Ann. Bot. 32 : 735 – 751.

Vannajan, S. 1983. Physiological effects of drought in fast – growing tropical tree species. Seminar Paper, Department of Botany University of Helsinki. 36 p.

Zelawski, W. 1967. A contribution to the question of the CO_2 – evolution during photosynthesis in dependence on light intensity. Bull. Acad. Pol. Sci. Cl. II. 15 : 565 – 570.

Zelawski, W. 1976. Variation in photosynthetic capacity of *Pinus sylvestris*. **In** : Cannell, M.G.R. and Last, F.T. (eds.), Tree physiology and Yield Improvement, pp. 99 – 109. Academic Press, London.