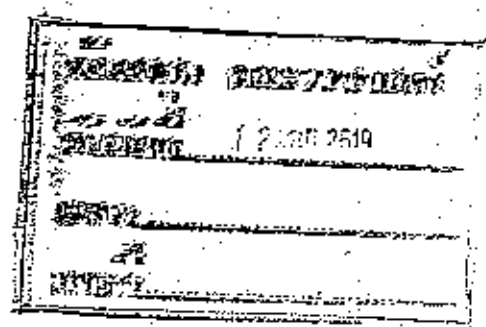


รายงานงานวิจัย
FOREST RESEARCH BULLETIN

เล่มที่
NUMBER 41

เล่มที่ ๔๑
เมษายน ๒๕๑๘

NUMBER 41
APRIL 1976



ความเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งของกล้าไม้สนสามใบภายหลังการใส่ปุ๋ย
DRY WEIGHT INCREMENT OF PINUS KESIYA SEEDLINGS AFTER FERTILIZER APPLICATION

ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

พิทยา
บุญวงศ์
พงษ์ศักดิ์

เพชรมาศ
ไทยอุตสาห์
สพนาพ

PITAYA PETMAK
BUNVONG THAIUTSA
PONGSAK SAHUNALU



คณะวนศาสตร์
FACULTY OF FORESTRY
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
KASETSART UNIVERSITY

FOREST RESEARCH BULLETIN
FACULTY OF FORESTRY, KASETSART UNIVERSITY

- 1969 No 4 Kasem Chunkao: The determination of aggregate stability by waterdrop impact in relation to sediment yields from erosion plots of soils at Mae Huad forest, Lampang.
- No 5 Suvit Sangtongpaow & Catherin McIntyre: Quantitative analysis of the carotenes in Samanea saman's leaves.
- No 6 Thiem Komkris, Vallobh Naraballoh, Kasem Chunkao, Choompool Ngampongsai, and Nipon Tangtham: Effect of fire on soil and water losses at Mae Huad forest, Amphur Ngao, Lampang province.*
- No 7 Lert Chuntanaparb: Effects of improvement felling on increment and natural regeneration of teak forest.*
- 1970 No 8 Charn Boonyasirikool: Form class taper volume table of Casuarina equisetifolia, Forest.*
- No 9 Charn Boonyasirikool: Study on taper values and relative sectional volume of Shorea obtusa, Wall., Pentacme suavis, A. DC., Dipterocarpus obtusifolius, Teijsm., and Dipterocarpus tuberculatus, Roxb. in Mae Huad forest, Changwat Lampang.*
- No 10 Wiraj Chunwarin: Keys for the identification of commercial woods in family Dilleniaceae, Magnoliaceae, Annonaceae, Flacourtiaceae, Hypericaceae, and Guttiferae.*
- No 11 Pongsak Sahunalu: The estimation of site quality of mixed deciduous forest with teak at Mae Huad, Lampang as determined by organic matter and nitrogen content of soils.
- No 12 Pricha Dhammanonda: Determination of aggregate sizes in different ages of plantation at Huay Tak.*
- 1971 No 13 Niwat Ruangpanit: Effects of crown cover on surface runoff and erosion in hill evergreen forest.
- No 14 Pah-Yap Kamnerdratana: Natural entomophagous insects of some economic important forest insects.*
- No 15 Sanit Aksornkoae: A comparison of nitrogen contents and bulk densities in a dry dipterocarps forest at Sakaerat, Pakthongchai, Nakhonratchasima.
- No 16 Kasem Chunkao: An analysis of evapotranspiration of dry evergreen forest at Sakaerat, Thailand.
- No 17 Charn Boonyasirikool: Form class taper volume table of Casuarina Junghuhniana, Mip.*
- No 18 Nipon Tangtham: Structure and growth of once exploited teak forest.*
- No 19 Sathit Wacharakitti, Lert Chuntanaparb, and Prakong Intrachand: Study on the coppicing power and growth of some valuable tree species in dry dipterocarps forest.*
- 1972 No 20 Somsak Sukwong: Estimating past diameter of teak in Lampang.*
- No 21 Sathit Wacharakitti, Kian Badkco, and Songkram Thammincha: Stereogram of mixed deciduous forest with teak.*
- No 22 Choob Khemmark, Sathit Wacharakitti, Sanit Aksornkoae, and Tawee Kaewla-ia-d: Forest production and soil fertility at Nikom Doi Chiang Dao Chiangmai Province.

รายงานงานวิจัย
FOREST RESEARCH BULLETIN

เล่มที่ ๔๑
เมษายน ๒๕๑๘

NUMBER 41
APRIL 1976

ความเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งของกล้าไม้สนสามใบภายใต้การใส่ปุ๋ย
DRY WEIGHT INCREMENT OF PINUS KESIYA SEEDLINGS AFTER
FERTILIZER APPLICATION

พิทยา เพชรมาก

PITAYA PETMAK

บุญวงศ์ ไทยอุตสาห์

BUNVONG THAIUTSA

พงษ์ศักดิ์ สุนทร

PONGSAK SAHUNALU

คณะวนศาสตร์

FACULTY OF FORESTRY

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

KASETSART UNIVERSITY

กรุงเทพฯ ๘

BANGKOK 9 THAILAND

ABSTRACT

This investigation was carried out at the Faculty of Forestry, Kasetsart University aiming to find out the suitable kind and rate of fertilizer for the seedling stage of *Pinus kesiya*. About 10 kilograms of sandy loam soil were used as the media of pot transplanting of 6 - month seedlings. Three kinds of fertilizer namely NPK 6 - 6 - 18, ammonium sulphate, and urea at the rates of 3, 5, and 7 grams per seedlings were investigated together with 5 replications of completely randomized design.

After treating for 24 weeks, all seedlings were determined dry weight and relative growth rate (R.G.R.) separately by allometric method. The results indicated that ammonium sulphate at the rate of 7 grams per seedling was the best kind and rate of fertilizer in increasing dry weight of *Pinus kesiya* seedlings. The R.G.R. responses to different kinds and rates of fertilization were discussed statistically.

คำนิยม

ผลงานวิจัย เรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย เกี่ยวกับดินและอาหารพืชป่าไม้ซึ่งได้รับ
งบประมาณการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ภายใต้โครงการวิจัยที่ ๒.๔.๑/๒๔ เรื่องการวิจัย
ทางวนวัฒนวิทยาและคุณสมบัติของไม้

ในการปฏิบัติงานวิจัยครั้งนี้ คุณศุภพร ศรีสุลาภณ์ และคุณวิทยา เนิลคิด
ได้ช่วยเหลือในภาคข้อมูล อาจารย์ทัศนีย์ อัคระนันท์ ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับการ
วิจารณ์เนื้อหาของสารคดีอาหารพืช คุณบุศรา วนะจำรัส คุณสมจิตร นิยมกุล และคุณแอนนีน มีนังคัง
ได้ช่วยเหลือในภาคพิมพ์และภาพประกอบ

ผู้ทำนิพนธ์งานวิจัยขอขอบคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้อีกครั้งหนึ่ง

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	๑
การทรวรเอกสาร	๑
อุปกรณ์และวิธีการ	๑๘
ผลและวิจารณ์ผล	๓๕
สรุปและขอเสนอแนะ	๒๕
เอกสารอ้างอิง	๓๐
ภาคผนวก	๓๒

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

๑. แผนผังการกำหนด treatments ให้แก่กล้าไม้สนสามใบ ๑๕
๒. วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลอัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งในรูป R.G.R. ของกล้าไม้สนสามใบซึ่งได้รับปุ๋ยแต่ละชนิดในแต่ละระดับเป็นเวลา ๒๔ สัปดาห์. ๑๘
๓. เปรียบเทียบค่า R.G.R. (๑๕/week) เฉลี่ยแต่ละระดับใน treatment เดียวกัน โดยวิธี least significant difference ๒๐
๔. เปรียบเทียบค่า R.G.R. (๑๕/week) เฉลี่ยแต่ละ treatment ในระดับ เดียวกันโดยวิธี least significant difference ๒๑
๕. ข้อมูลในการสร้างสมการสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ กับขนาดของกล้าไม้เพื่อประมาณค่าน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ (P_1) เมื่อระยะเวลาเริ่มใส่ปุ๋ย (t_1) ๒๒

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
๑	เปรียบเทียบค่า R.G.R. ในแต่ละระดับของการใส่ปุ๋ย NEK 6 - 6 - 18	๒๖
๒	เปรียบเทียบค่า R.G.R. ในแต่ละระดับของการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$	๒๖
๓	เปรียบเทียบค่า R.G.R. ในแต่ละระดับของการใส่ปุ๋ย Urea	๒๖
๔	เปรียบเทียบค่า R.G.R. ระหว่าง treatments ในระดับ ๓ กรัม	๒๗
๕	เปรียบเทียบค่า R.G.R. ระหว่าง treatments ในระดับ ๕ กรัม	๒๗
๖	เปรียบเทียบค่า R.G.R. ระหว่าง treatments ในระดับ ๗ กรัม	๒๗
๗	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ กับขนาดของกล้าไม้	๓๔

ในปัจจุบันไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) เป็นไม้พื้นเมือง
โคกบริเวณหนึ่งของไทย ที่เนื้อไม้เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุขุดในการขุดเจาะถนนและนำไปปลูก
เพื่อปรับปรุงพื้นที่บริเวณคันน้ำลำธารที่เสื่อมโทรม โดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำทางภาคเหนือ
ของประเทศไทย กรมป่าไม้เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องนี้ จึงได้เริ่มทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับไม้สน
และไม้โคกบริเวณที่ศึกษาทางเศรษฐกิจอื่น ๆ แต่การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับไม้สนนั้นเพิ่งเริ่มต้นเมื่อไม่นาน
มานี้เอง โดยได้จัดตั้งศูนย์บำรุงพันธุ์ไม้สนและไม้โคกบริเวณเมื่อปี ๒๕๑๒ โดยเน้นหนักไปทาง
ด้านการปรับปรุงพันธุ์ และการปรับปรุงผลผลิตของเมล็ดพันธุ์ที่ดีให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการ

งานเกี่ยวกับเทคนิคการเพาะชำและการปฏิบัติต่อกล้าไม้ในระยะเริ่มแรกก็เห็นว่า
มีความสำคัญและควรได้รับความสนใจอย่างมากเช่นกัน โดยเฉพาะในเรื่องปัญหาการขาดอาหารใน
แปลงเพาะและคุณภาพของกล้าไม้ ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่า การได้กล้าไม้ที่สมบูรณ์และแข็งแรงย่อมเป็นการ
เพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกสร้างสวนป่า เพราะเป็นการช่วยให้กล้าไม้มีความสามารถในการตั้งตัวสูง
มีความต้านทานต่อความแห้งแล้งและโรคหรือแมลงมีความสามารถในการแข่งขันกับวัชพืช ตลอดจน
เป็นการเร่งการเจริญเติบโตของกล้าไม้ให้ทันต่อการย้ายปลูกในกรณีที่มีระยะเวลาเตรียมกล้าไม้
จำกัดด้วย ซึ่งในสภาพเช่นนี้กล้าไม้จะต้องได้รับธาตุอาหาร ตลอดจนปัจจัยต่าง ๆ ในทางเจริญเติบโต
อย่างเหมาะสมและเพียงพอ ประกอบกับในปัจจุบันกรมป่าไม้ได้จัดให้มีศูนย์เพาะชำกล้าไม้การ
ประจำภาคขึ้น เพื่อรับผิดชอบเกี่ยวกับการบริการกล้าไม้แก่สวนป่าต่าง ๆ จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะต้อง
มีการปรับปรุงคุณภาพของกล้าไม้ให้ได้มาตรฐาน และมีปริมาณเพียงพอเพื่อความต้องการ แต่โดยทั่วไปแล้ว
แปลงเพาะถาวรมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับการขาดธาตุอาหารอยู่เสมอ เนื่องจากกล้าไม้ถูกขุดไปใช้
ในแต่ละปี แล้วไม่มีโอกาสหมุนเวียนกลับลงสู่แปลงเพาะได้อีก อย่างไรก็ตามธาตุอาหารในแปลงเพาะ
นี้สามารถจะควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่สมดุลได้ไม่ยากนัก โดยการจัดการแปลงเพาะอย่างเหมาะสม
และมีการใส่ปุ๋ยควบคุมกันไป

ด้วยเหตุนี้ปัญหาเกี่ยวกับระดับธาตุอาหารในแปลงเพาะกล้าไม้ จึงเป็นสิ่งสำคัญ
 ที่ควรศึกษา อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยแก่กล้าไม้ในแปลงเพาะไม่ใช่จะทำให้ผลดีเสมอไป ในบางครั้ง
 กล้าไม้อาจเป็นอันตรายได้ เนื่องจากชนิดปุ๋ยที่ใส่อาจมีปริมาณและเวลาที่ใส่ไม่เหมาะสม การใส่ปุ๋ย
 ในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้กล้าไม้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้กล้าไม้ขาดความแข็งแรง
 เปราะและหักง่าย หรืออาจทำให้เกิดความเป็นพิษแก่กล้าไม้ได้ เนื่องจากสารละลายในดินมีความ
 เหนือจนมากเกินไป

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการทราบว่าปุ๋ยชนิดใด และระดับใด
 จะให้ผลการเจริญเติบโตของกล้าไม้เหมาะสมที่สุด โดยศึกษานิสัยการตอบสนองในรูปของการ
 เพิ่มพูนน้ำหนักแห้งทั้งหมดของกล้าไม้ในลักษณะของ relative growth rate (R.G.R.) ซึ่งเป็น
 ธรรมชาติของการเจริญเติบโตแบบหนึ่ง

การตรวจเอกสาร

โดยทั่วไปแล้วกินในแปลงเพาะมักจะประสบปัญหาการขาดธาตุอาหารโดยเฉพาะธาตุอาหาร N, P และ K ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชทุกชนิดต้องการในปริมาณที่ค่อนข้างมาก (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๘) และเป็นธาตุอาหารที่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ การที่ในแปลงเพาะมักจะขาดธาตุอาหารก็เพราะว่าในการย้ายกล้า และนำกล้าไปปลูกนั้น เป็นการนำออกไปทั้งหมด (completely remove) โดยจะไม่มีส่วนของพืชเหลืออยู่เลย ดังนั้นโอกาสที่จะมีธาตุอาหารหลงเหลืออยู่บนเรือนอยู่ในแปลงเพาะจึงมีน้อยมาก และธาตุอาหารในแปลงเพาะยังสูญเสียไปโดยการถูกชะล้างลงไปยังดินล่างเนื่องจากฝนอีกทางหนึ่งด้วย จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มธาตุอาหารต่าง ๆ ลงไปในแปลงเพาะ การใส่ปุ๋ยลงในแปลงเพาะนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อ (๑) เพิ่มปริมาณอาหารธาตุต่าง ๆ ที่มีไม่เพียงพอในแปลงเพาะ (๒) ส่งเสริมขบวนการทางเคมีเกี่ยวกับกระบวนการถ่ายโอนย้ายธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน (๓) ปรับปรุงคุณภาพของกล้าไม้ และ (๔) ปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน (Remezov; and Pogrebnyak, 1969)

เนื่องจากปุ๋ยเป็นแหล่งให้ธาตุอาหารแก่พืชซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเจริญเติบโต แต่การใส่ปุ๋ยเพื่อเพิ่มธาตุอาหารลงไปในดินให้พืชคนไปใช้ในการเจริญเติบโตนี้ไม่ใช่ว่าจะก่อให้เกิดผลดีเสมอไป คนไม่อาจจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร มีคุณภาพไม่เหมาะสม และอาจเป็นอันตรายถึงตายได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตของพืชไม่โดดเด่นเต็มที่ ตลอดจนปัจจัยเกี่ยวกับตัวปุ๋ยเองด้วย เป็นกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยในปริมาณที่มากเกินไป หรือใส่ในเวลาที่ไม่เหมาะสมทั้ง ๆ ที่จุดประสงค์ของการใส่ปุ๋ยก็เพื่อที่จะส่งเสริมให้ต้นไม้เจริญเติบโต และแข็งแรงขึ้น (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๘) ดังนั้น Baule and Fricker (1970) และ Beaten (1973) จึงแนะนำว่าการใส่ปุ๋ยที่จะให้ประโยชน์มากที่สุดนั้นจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ (๑) สภาพเกี่ยวกับดินในแปลงเพาะ (๒) ระบุความมากน้อยของธาตุอาหารต่าง ๆ ในดิน (๓) ชนิดปุ๋ยที่จะให้ประสิทธิภาพต่อความต้องการของกล้าไม้ได้ดีที่สุด (๔) ปริมาณปุ๋ยที่ได้

เหมาะสมหรือไม่ และ (๕) ระยะเวลาและวิธีการใส่ปุ๋ย

แต่อย่างไรก็ตาม การที่จะทราบว่าในแปลงเพาะกล้าไม้มีความต้องการธาตุอาหารอะไรบ้าง ในปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้น Stoeckeler (1960) ได้จำแนกแนวทางการที่จะทราบความต้องการธาตุอาหารในแปลงเพาะได้โดย (๑) การวิเคราะห์ระดับธาตุอาหารในดินป่าธรรมชาติที่นำการทำให้ไม้ออกใหม่ ๆ (๒) วิเคราะห์ดินในแปลงเพาะที่กล้าไม้มีการเจริญเติบโตอย่างเหมาะสม (๓) ศึกษาแนวโน้มการเจริญเติบโตของกล้าไม้ในแปลงเพาะ โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของกล้าไม้ระหว่างก่อนและหลังการใส่ปุ๋ย (๔) ศึกษาการเจริญเติบโตของกล้าไม้ที่ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยในเรือนกระจก (๕) วิเคราะห์ระดับธาตุอาหารในกล้าไม้ (๖) สังเกตอาการขาดธาตุอาหารที่กล้าไม้แสดงออกมาให้เห็น เช่นการเปลี่ยนสีของใบ

การใส่ปุ๋ยแก่กล้าไม้มีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งให้กล้าไม้มีการเจริญเติบโต และแข็งแรงเป็นสำคัญ ดังนั้นธาตุอาหารที่มีในโตรเจนประกอบอยู่จึงเป็นธาตุที่มีบทบาทในการเจริญเติบโตของพืชอย่างเห็นได้ชัดที่สุด (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๔) จึงเป็นอาหารธาตุที่จำเป็นสำหรับกล้าไม้ เพราะเป็นธาตุที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโต ทาง vegetative growth เช่น ใบ และลำต้น ทำให้ใบมีสีเขียวจึงจะมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง และยังส่งเสริมให้กล้าไม้ตั้งตัวได้เร็วในระยะแรกของการเจริญเติบโต จากการศึกษาการใส่ปุ๋ยในโตรเจนกับกล้าไม้ Douglas fir โดย Gessel (1968) ปรากฏว่าปุ๋ยพวกไนโตรเจนจะเร่งการเจริญเติบโตของกล้าไม้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้สีของใบเขียวเข้มขึ้น และให้ผลตอบสนองเร็วมากภายในระยะเวลาเพียง ๒ สัปดาห์ หลังจากการใส่ปุ๋ยในตอนต้น ๆ ของฤดูกาลเจริญเติบโตของกล้าไม้ นอกจากนี้ปุ๋ยไนโตรเจนจะให้ผลตอบสนองต่อการเจริญเติบโตทางความสูงและความโตโคด้ โดยเฉพาะในสภาพพื้นที่ที่เป็น site เดว Davis (1970) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ยในโตรเจนพวก ammonium sulfate แก่กล้าไม้ slash pine และกล้าไม้ loblolly pine อายุ ๒ ปี ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน Baule and Fricker (1970) ได้รายงานว่ากล้าไม้สนอายุ ๖ ปี จะเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่าง

รวดเร็ว หลังจากได้รับปุ๋ยพวกไนโตรเจน เมื่อเปรียบเทียบกับการใส่ปุ๋ยพวกฟอสเฟต และ
โปแตสเซียม และเพิ่มเติมว่า อาหารธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโต
(limiting factor) ในดินที่ค่อนข้างจะเป็นดินทรายอีกด้วย

การเจริญเติบโตของกล้าไม้ไม่ได้น้อยกว่าธาตุอาหารประเภทไนโตรเจน
เพียงอย่างเดียว กล้าไม้จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในดินมีอย่าง
เพียงพอ และใกล้เคียงกัน หากมีธาตุใดธาตุหนึ่งมากหรือน้อยเกินไป ก็จะมีผลต่อขนาด
การทางสรีระของกล้าไม้ได้ กล้าไม้จะแสดงอาการขาดหรืออาหารเป็นพิษ เนื่องจากมี
ธาตุอาหารอย่างใดอย่างหนึ่งมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาการขาดธาตุอาหารพวก
ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (สรสิทธิ์ วัชรโรพยาน
๒๕๑๔) ส่วนธาตุอาหารประเภทไนโตรเจนนั้นถ้าที่รากถูกไปใช้ในปริมาณมากเกินไปก็ไม่ถึง
ประสงค์ เพราะถ้าหากระดับไนโตรเจนในพืชสูง carbohydrate ที่พืชผลิตได้จาก
ขนาดการสังเคราะห์แสงจะถูกนำไปใช้ในการสร้าง protein ที่เป็น protoplasm เป็น
ส่วนใหญ่ ทำให้ส่วนของ carbohydrate ที่จะนำไปใช้ในการสร้าง cellulose มีไม่
เพียงพอ ทำให้ cell wall ค่อนข้างบาง ขณะเดียวกัน cell จะมีขนาดโต เพราะมี
protoplasm มาก และมีน้ำอยู่เต็ม ซึ่งเรียกสภาวะเช่นนี้ว่าการอมน้ำของพืช มีผลทำให้
พวก fiber มี cell wall บาง และมีความแข็งแรงลดลงทำให้กล้าไม้ไม่ปลงเพาะ
เพราะและหักง่าย และเป็นอันตรายต่อการย้าย และนำไปปลูกในพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีผล
ต่อการเจริญเติบโตของระบบรากอีกด้วย คือจะทำให้การเจริญเติบโตของรากเป็นไปด้วย
อัตราที่ช้ากว่าส่วนเหนือดินของพืช (Stoekeler, 1960 และสรสิทธิ์ วัชรโรพยาน ๒๕๑๔)
ดังนั้นการใส่ปุ๋ยแก่กล้าไม้ไม่ปลงเพาะจึงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของกล้าไม้ด้วยนั้น จึง
จำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเพิ่มธาตุอาหารพวกฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมควบคู่กันไปด้วย เพราะ
ธาตุทั้งสองนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณ lignin ในผนัง cell ของเนื้อไม้ ทำให้กล้าไม้มีความ
แข็งแรง นอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของรากฝอย และรากแขนงในระยะ
แรกของการเจริญเติบโตด้วย ส่วนธาตุอาหารพวกโปแตสเซียมช่วยทำให้กล้าไม้ทนแล้ง

โคก (Baule, and Fricker, 1970)

ดังนั้นในการใส่ปุ๋ยแก่กล้าไม้จึงหวังว่าการใส่ปุ๋ยเพียงชนิดใดชนิดหนึ่ง เพราะนอกจากธาตุอาหารแต่ละชนิดต่างก็มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตแล้ว ธาตุอาหารแต่ละชนิดยังเป็นตัวควบคุมความเป็นประโยชน์ต่อพืชซึ่งกันและกันอีกด้วย Benzain (1965) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใส่ปุ๋ย N, P และ K แก่กล้าไม้ spruce โดยเปรียบเทียบกันระหว่างการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดตามลำพังกับการใส่แบบผสมทั้งในลักษณะ complete และ incomplete fertilizers ปรากฏว่าการใส่ปุ๋ยในโตรเจนแต่อย่างเดียว แก่กล้าไม้ spruce จะให้ผลตอบสนองในทางลบ แต่เมื่อเพิ่มธาตุฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมลงไปจะให้ผลคืออย่างมีนัยสำคัญ ส่วนการใส่ปุ๋ย P รวมกับปุ๋ย NK การเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นเป็น ๒ - ๔ เท่า เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ย P เพียงอย่างเดียว และถ้าใส่ปุ๋ย K รวมกับปุ๋ย NP แก่กล้าไม้จะให้ผลตอบสนองดีขึ้นเป็น ๕ - ๘ เท่า เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ย K แต่เพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับการศึกษาของ Allen (1955) ซึ่งได้ศึกษาผลของการตอบสนองของการใส่ปุ๋ยแก่กล้าไม้ longleaf pine โดยเปรียบเทียบระหว่างการใส่ปุ๋ย N กับ NPK ปรากฏว่ากล้าไม้ให้ผลตอบสนองในรูปน้ำหนักเพียงเล็กน้อยต่อการใส่ปุ๋ย N แต่จะให้ผลตอบสนองสูงขึ้นต่อการใส่ปุ๋ย NPK และให้ผลเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ (Heikurainen, 1964)

นอกจากนี้การตอบสนองของกล้าไม้ต่อการใส่ปุ๋ยยังขึ้นอยู่กับชนิดของกล้าไม้ด้วย Holstener (1970) พบว่า แก่กล้าไม้ norway spruce จะให้ผลตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย N ในทางบวก แต่กล้าไม้พวก Japanese larch และ mountain pine จะให้ผลตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ย N ในทางลบ และจะให้ผลตอบสนองในทางบวกเมื่อใส่ปุ๋ย P และพบต่อไปอีกว่าการใส่ปุ๋ยผสม NPK ธาตุอาหารแต่ละชนิดจะแสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction) ซึ่งกันและกัน จึงต้องพิจารณาในเรื่องความสัมพันธ์ของธาตุอาหารแต่ละชนิดด้วย ดังเช่น Bhatnagar (1966) ได้ศึกษาเกี่ยวกับระดับความต้องการอาหารธาตุ N, P และ K ของกล้าไม้ chir (*Pinus Roxburghii*) ปรากฏว่า แก่กล้าไม้ต้องการ K ในระดับสูงประมาณ 400 lbs/acre ส่วน P และ N แก่กล้าไม้จะต้องการในระดับที่ต่ำกว่า คือประมาณ 200 lbs/acre จึงจะทำให้กล้าไม้เจริญเติบโต แต่การระดับ

อาหารธาตุ K ลดลงเหลือ 200 lbs/acre กล้าไม้จะต้องการ N และ P ในระดับสูง
ขึ้นคือประมาณ 400 lbs/acre หรืออย่างน้อยธาตุใดธาตุหนึ่งต้องมีปริมาณสูงขึ้น จึงจะ
ทำให้กล้าไม้เจริญเติบโตดี แต่ทั้ง N, P และ K มีในปริมาณสูงทั้งหมด ก็จะทำให้
กล้าไม้ชงกการเจริญเติบโต สำหรับปศุวิชาศาสตร์ที่นิยมใช้แปลงเพาะกล้าไม้สนนั้น
Baule; and Fricker (1970) ได้จำแนกไว้คือ (๑) ปุ๋ยที่ให้อาหารธาตุไนโตรเจน
เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการสูญเสียโดยการชะล้างปุ๋ยที่ละลายเป็นพวก ammonium fertili-
zers แทนการใช้พวก nitrate fertilizers เช่น ควรรักษาพวก sulphate of
ammonia, urea หรือ calcium cyanamide เพราะปุ๋ยประเภทนี้กล้าไม้สามารถใช้
ไนโตรเจนจากปุ๋ยในรูปของ NH_4^+ ion และ NH_4^+ นี้จะถูกยึดจับอยู่ที่ผิวอนุภาคของดินได้
โดยเฉพาะดินพวก medium และ heavy soil ซึ่งจะตรงกันข้ามกับปุ๋ยพวก nitrate -
nitrogen เพราะ NO_3^- ion ละลายน้ำได้ง่าย และมักจะถูกชะล้างให้สูญหายไป
อย่างรวดเร็ว และต้องการความชื้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเพื่อช่วยในการละลาย แต่อย่าง
ไรก็ตามในสภาวะที่ดินมีความชื้น อุณหภูมิ และ pH สูง ขณะเดียวกันดินมีการระบายอากาศ
ดี NH_4^+ ก็จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็น NO_3^- ใ้ภายในเวลาเพียงไม่กี่วันโดยขบวนการ nitrifi-
cation และยิ่งสูญเสียโดยการระเหยไปในอากาศโดยขบวนการ denitrification
ด้วย หรือถ้าดินมีสภาพเป็นด่าง ปุ๋ยพวก ammonium ก็จะระเหิดไปในอากาศในรูปของ
แก๊ส ammonia ได้โดยตรง (Baule; and Fricker, 1970 และ สวัสดิ์ วัชรโรทยาน
๒๕๑๔) นอกจากนี้ Stephens; and Waid (1963) ได้ศึกษาการตอบสนองของการ
ใส่ปุ๋ย nitrogen แต่ละชนิดระหว่าง urea, ammonium nitrate, และ ammonium
sulphate โดยวิธี pot experiments ปรากฏว่าถ้าใส่ในระดับต่ำ ๆ ปุ๋ยแต่ละชนิดจะ
ให้ผลไม่แตกต่างกัน ในระดับปานกลาง urea จะให้ผลดีกว่าปุ๋ย nitrogen ชนิดอื่น ๆ
แต่ถ้าใส่ปุ๋ยในระดับสูง ๆ แล้ว urea ก็ยิ่งให้ผลตอบสนองในทางค่าสูงเรื่อย ๆ (๒) ปุ๋ย
ที่ให้อาหารธาตุฟอสฟอรัส ได้แก่พวก basic slag, rock phosphate, dicalcium
phosphate และ super phosphate Pritchett (1966) ได้ศึกษาการตอบสนอง
ของไม้ slash pine อายุ ๑ ปี หลังจากย้ายปลูกในพื้นที่เป็นดินทราย โดยใช้ปุ๋ย

phosphorus พวก rock phosphate และ super phosphate หลังจากใส่ปุ๋ยไปแล้ว ๓ - ๕ ปี ปรากฏว่า ไม้ slash pine คอบสนของคอปุ๋ยที่ใส่โดยพิจารณาจากความโตและความสูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (๓) ปุ๋ยที่ให้อาหารธาตุโปแตสเซียม ได้แก่ potassium sulphate, potassium magnesium sulphate และ potassium chloride แต่ potassium chloride นั้นนอกจากจะให้อาหารธาตุ K แล้วยังให้อาหารธาตุ Cl ด้วย แต่ Cl นั้นพืชต้องการเป็นปริมาณน้อยมาก ดังนั้นการใส่ปุ๋ย KCl จึงควรระวังการเกิด Cl - toxicity ขึ้น จึงมักนิยมใช้กับต้นไม้ใหญ่ หรือไม้ใบกว้าง ซึ่งเป็นพวกที่ต้องการ K สูง ขณะเดียวกันก็มีความทนทานต่อปริมาณของ chloride ได้มาก (Baule, and Frickler, 1970) สำหรับปุ๋ย potassium sulphate นั้นเหมาะสมที่สุด เพราะสามารถใส่กับดินและพืชแทบทุกชนิด ตลอดจนสามารถใส่ไปในระหว่างที่มีการหวานเมล็ดหรือปลอกอกผลไม้ นอกจากนี้ในดินที่ขาดอาหารธาตุ K มาก ๆ และจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยโปแตสเซียมในปริมาณมาก การใส่ K_2SO_4 ความคุ้มกับ KCl ก็จะเป็นการปลอดภัยต่อพืช อันอาจจะเกิดจาก Cl - toxicity ขึ้นได้ แต่การจะใช้ K_2SO_4 เพียงลำพังมักจะไม่นิยมเพราะปุ๋ย K_2SO_4 มีราคาแพง (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๔) และจากการศึกษารวบรวมของ Baule; and Fricker (1970) ปรากฏว่าปุ๋ยพวก K_2SO_4 เหมาะสมและดีกว่า KCl ในการนำไปใช้กับพวกไม้สน เพราะไม้สนจะได้รับอันตรายจาก chloride ได้ง่าย โดยเฉพาะในสวนป่าที่อายุยังน้อยหรือในแปลงเพาะ อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ย KCl ก็มีใช้ว่าจะก่อให้เกิดอันตรายเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของปุ๋ยที่ใส่ อายุของต้นไม้ สภาพของดิน และปริมาณฝนตกหลังจากการใส่ปุ๋ย KCl แล้ว Baule, and Fricker (1970) ยังแนะนำเพิ่มเติมอีกว่าการใส่ปุ๋ยพวก phosphate และ potassium นั้น อาจจะทำให้ในลักษณะปุ๋ยอิสระ หรือจะใส่ในรูปปุ๋ยผสม PK fertilizer ก็ได้ ส่วนปุ๋ย nitrogen นั้นควรใส่ตามลำพัง หลังจากใส่ปุ๋ยพวก P และ K ไปแล้ว แต่เพื่อลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าแรงงานการใส่ปุ๋ยผสมพวก complete fertilizer ก็นิยมใช้ สิ่งที่ต้องคำนึงอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับเลือกชนิดปุ๋ยในแปลงเพาะก็คือ ควรเป็นปุ๋ยชนิดที่ละลายน้ำอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการศึกษาเสียหายเนื่องจากถูกชะล้างไปหมด และอาจเป็นอันตรายแก่กล้าไม้

เนื่องจากมีปริมาณของธาตุอาหารละลายมากเกินไปจนเป็นพิษแก่กล้าไม้ได้ (Benzian, 1966)

ปุ๋ยจะมีประสิทธิภาพต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้หรือไม่อย่างไร ขึ้นอยู่กับปริมาณของปุ๋ยที่ใส่ลงไปด้วย โดยที่ปริมาณปุ๋ยที่ใส่จะค่อนข้างเหมาะสมซึ่งก็ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตลอดจนคุณสมบัติเฉพาะของปุ๋ยแต่ละชนิดด้วย เช่นความสามารถในการละลายน้ำได้ สภาพที่ จะสูญเสียเนื่องจากถูกชะล้างหรือถูกตรึงในดิน เป็นต้น อัตราการใส่ปุ๋ยในแปลงเพาะนั้น Baule; and Fricker (1970) แนะนำว่าอัตราการใส่ปุ๋ยในโตรเจน เพื่อระวังปัญหาการสูญเสียโดยการชะล้าง ควรใส่คราวละน้อย ๆ ระบายที่ใส่แต่ละครั้ง ประมาณ 0.2 - 0.3 dz/ha. N ($2 - 3 \text{ gm/m}^2$) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณอาหารธาตุไนโตรเจนที่ใส่ทั้งหมดไม่ควรมีปริมาณสูงกว่า 0.60 - 0.80 dz/ha. ต่อปี ส่วนการใส่ปุ๋ยที่ให้อาหารธาตุพวกฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม นั้น ควรใส่ในอัตรา 1 - 2 dz/ha. ของ P_2O_5 และ 1 - 2 dz/ha. ของ K_2O แต่ถ้านดินที่เป็นกรดควรใส่ในอัตรา 5 - 10 dz/ha. ของ basic slag หรือ 4 - 8 dz/ha. ของ rock phosphate หรือ 2.5 - 5 dz/ha. ของ dicalcium phosphate ส่วนปุ๋ยโปแตสเซียมควรใส่ในอัตรา 2 - 4 dz/ha. ของ potassium sulphate หรือ 4 - 8 dz/ha. ของ potassium magnesium sulphate แต่ถ้าดินในแปลงเพาะมีสภาพเป็นกลาง ปุ๋ย phosphate ควรใส่ในอัตรา 5 - 10 dz/ha. ของ superphosphate หรือ 2.5 - 5 dz/ha. ของ dicalcium phosphate ส่วนปุ๋ย potassium ก็ใส่ในอัตราเดียวกันกับดินเป็นกรด แต่อย่างไรก็ตามเพื่อลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าแรงงาน การใส่ปุ๋ยผสมพวก complete fertilizers ก็นิยมใช้โดยใช้ในอัตราส่วนของ N, P และ K คือ 1 : 1 : 1.5, 1 : 2 : 3, 1 : 2 : 5, และ 1 : 3 : 5 แต่ Wilde (1958) แนะนำว่าปุ๋ยผสมที่เหมาะสมกับแปลงเพาะป่าไม้ทั่ว ๆ ไปนั้น ควรมีอัตราส่วนของ N, P และ K คือ 3 : 9 : 18, 6 : 6 : 18 และ 0 : 9 : 27

* 1 dz = 100 kg., 1 ha = 10,000 m^2

เวลาและวิธีการใส่ปุ๋ยกับบทบาทสำคัญในการควบคุมประสิทธิภาพของปุ๋ยที่ใส่ เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อกล้าไม้ ปุ๋ยจำนวนเดียวกันเมื่อใส่ผิดเวลาและไม่ถูกที่ จะเป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยกว่าเมื่อใส่ให้ถูกที่และถูกเวลา การใส่ปุ๋ยให้ถูกที่นั้นผู้ใช้จะต้องทราบระดับความต้องการและช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุด เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของปุ๋ยเมื่อใส่ลงไปในดินจะเคลื่อนที่ไปโดยง่ายสักแค่ไหนจะต้องนำมาพิจารณาเกี่ยวกับเวลาและวิธีการใส่ปุ๋ยด้วย แต่ก็เป็นการศึกษาที่จะให้หลักเกณฑ์เป็นกฎตายตัวไปเสียว่าจะใส่ปุ๋ยเวลาใด และใส่อย่างไร แต่อย่างไรก็ตาม สรรสิทธิ์ วัชรโรชยาน (๒๕๑๔) แนะนำหลักเกณฑ์ในการใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ว่าจะต้องคำนึงถึงหลักสำคัญ ๓ ประการคือ (๑) เมื่อใส่ลงไปแล้วพืชสามารถดึงปุ๋ยนั้นไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด (efficient utilization by the plant) (๒) เมื่อใส่ลงไปแล้วไม่เป็นอันตรายต่อพืชที่ปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอันตรายที่เนื่องมาจากการทำให้ใบไหม้ (Salt injury) (๓) เป็นวิธีสะดวกและทำให้ง่าย (Convenience)

ปุ๋ยพวกไนโตรเจนเมื่อใส่ลงไปในดินจะเคลื่อนที่ไต่ได้ง่ายมาก เพราะละลายน้ำไต่ได้ง่าย น้ำในดินเคลื่อนที่ไปถึงไหน ปุ๋ยไนโตรเจนก็จะเคลื่อนที่ตามน้ำไปถึงที่นั้น กล้าไม้สามารถดูดขึ้นมาใช้ได้อย่างรวดเร็วและไม่จำเป็นต้องใส่ให้ใกล้ชิดกับรากจนเกินไป ข้อแต่เพียงให้ดินมีความชื้นเพียงพอ กล้าไม้จะใช้ประโยชน์จากปุ๋ยไนโตรเจนได้เต็มที่เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเคลื่อนที่ไต่ได้ง่าย โอกาสที่จะสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์จากกระบวนการระเหยน้ำก็จะเกิดขึ้นไต่ได้ง่ายเช่นกัน ดังนั้นการใส่ปุ๋ยพวกนี้จึงมักให้แบ่งใส่หลาย ๆ ครั้ง หลังจากกล้าไม้เริ่มออกหรือเริ่มเจริญเติบโต เพราะปุ๋ยไนโตรเจนจะช่วยให้การสร้างเซลล์สำหรับยอดและกิ่งก้าน ซึ่งกล้าไม้มีความต้องการไนโตรเจนสูงในระยะแรก ๆ ของการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่กล้าไม้เกิดขาดธาตุอาหารไนโตรเจนอย่างรวดเร็วก็สามารถแก้ไขได้โดยการใส่ปุ๋ย Nitrogen พวก Urea ไปทางใบโดยวิธีพ่น (Baule, and Fricker, 1970) และถ้าในกรณีที่ใส่ปุ๋ย Nitrogen ที่ละลายน้ำช้า เวลาใส่ก็อาจใส่พร้อม ๆ กับปุ๋ย Phosphorus และ Potassium โดยใส่ลงไปในดินลึกประมาณ ๓ - ๔ นิ้ว ก่อนการเพาะเมล็ดหรือย้ายกล้าประมาณ ๒ - ๓ สัปดาห์ (Benzian, 1965)

ปุ๋ยพวกฟอสเฟตเมื่อใส่ลงไปบนดินแล้ว ทั้ง ๆ ที่ปุ๋ยมีได้ถูกชะล้างให้สูญหายไปไหน แต่กลาไม่ได้รับประโยชน์จากปุ๋ยที่ใส่ลงไปบนดินเพียง ๑๐ - ๓๐ % เท่านั้น (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๘) ทั้งนี้เพราะปุ๋ยจะถูกตรึงกัวยแร่ธาตุต่าง ๆ ในดินแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นสารประกอบฟอสเฟตที่ละลายน้ำยากขึ้น ปุ๋ยฟอสเฟตมีความสำคัญที่ช่วยให้พืชตั้งตัวได้เร็วขึ้น เพราะว่าสิ่งเสริมการเจริญเติบโตของราก การแตกยอดอ่อนของต้นกล้าตลอดจนช่วยสร้างความแข็งแรงให้แก่กล้าในสามารถทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ดังนั้นปุ๋ยฟอสเฟตจึงมีความสำคัญต่อกล้าไม้มากและก็ควรให้แก่กล้าไม้ให้เร็วที่สุด ส่วนใหญ่อ้าวควรจะให้ปุ๋ยพวกนี้แบบโรยลงไปบนดินก่อนการหวานเมล็ดหรือย้ายกล้าชำประมาณ ๒ - ๓ สัปดาห์ แต่ไม่ควรใส่ก่อนให้นานจนเกินไป เพราะปุ๋ยจะถูกตรึงหมดเสียก่อนที่พืชจะใช้เป็นประโยชน์ได้ และการใส่ก็ควรใส่ให้อยู่ใกล้กับบริเวณรากอ่อนที่เจริญเติบโตให้มากที่สุด (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๘ และ Baule, and Fricker, 1970)

ส่วนปุ๋ยพวกโปแตสเซียมนั้นความยากง่ายในการเคลื่อนย้ายในดินจะอยู่ในระดับกลางระหว่างปุ๋ยพวกฟอสเฟตและไนโตรเจน เนื่องจากโปแตสเซียมมีประจุบวก ซึ่งสามารถถูกยึดอยู่ที่ผิว colloid ของดินได้ ดังนั้นจึงไม่เคลื่อนที่รวดเร็วเหมือนอย่างไนโตรเจน แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียอาหารธาตุโปแตสเซียมจะมากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับสภาพต่าง ๆ ของดินด้วย เช่น texture ของดิน ถ้าดินมีเนื้อหยาบเช่นพวก sandy loam โปแตสเซียมจะถูกชะล้างให้สูญหายไปไ้มากและเร็วกว่าดินที่มีเนื้อละเอียด และการใช้ปูนขาวที่มากเกินไปเพื่อปรับระดับ pH ของดินจะทำให้โปแตสเซียมในดินสูญหายเร็วขึ้น ทั้งนี้เพราะ Ca^{++} จะเข้าแทนที่ exchangeable K ในมาอยู่ในรูปของ K^+ ใน soil solution ซึ่งง่ายต่อการชะล้างให้สูญหายไปจากดิน ดังนั้นการใส่ปุ๋ยโปแตสเซียมจึงใส่ได้ทั้ง ๒ แบบ คือใส่ก่อนหวานเมล็ดหรือย้ายชำ (basal dressing) และใส่แบบทยอยหน้า หลังจากกล้าไม้ได้เริ่มการเจริญเติบโตไปแล้ว (top dressing) ก็ได้ ในกรณีนี้กล้าไม้ต้องการโปแตสเซียมสูงเพื่อปรับปรุงคุณภาพของกล้าไม้ให้ดีขึ้น (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๘ และ Baule, and Fricker, 1970) แต่อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยแบบนี้ ๆ ก่อนเพาะหรือก่อนการย้ายชำพึงระวังว่าปุ๋ยจะไปเร่งการเจริญเติบโตของวัชพืช และการเกิดโรค

damping-off กว

สำหรับวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้วัดผลการตอบสนองของกล้าไม้ ต่อปุ๋ยที่ใส่ลงไปในนั้น สามารถทำได้หลายทาง เช่น การวัดความเพิ่มพูนทางน้ำหนักโดยเฉพาะน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ การตรวจวัดขนาดของกล้าไม้ และอัตรา Top : Root ratio เปอร์เซ็นต์ของกล้าไม้ที่โตถึงขนาด อัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตเพื่อนำไปปลูกในท้องที่การทนแล้งและความหนาวเย็น ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสีของใบ (Stoeckeler, 1960)

โดยทั่วไปแล้วในทางการป่าไม้การจัดการเจริญเติบโตของต้นไม้สามารถทำได้ ๒ วิธีใหญ่ ๆ คือ (๑) การวัดในรูปขนาด เช่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง และปริมาตร (๒) วัดในรูปน้ำหนัก (biomass) ซึ่งการจะใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่นในทางการจัดการป่าไม้ก็จะวัดในรูปขนาด แต่ต้องการทราบ productivity หรือ growth ของต้นไม้ก็จะวัดโดยการทำ growth analysis (Kvet et al, 1971) การเจริญเติบโตของพืชนั้น พืชจะเจริญเติบโตทุกส่วนในรูปของการเพิ่มพูนเนื้อเยื่อที่ได้จากการสังเคราะห์แสง ดังนั้นการวัดการเจริญเติบโตที่ถูกต้องก็ควรวัดในรูปของการเพิ่มพูนทางน้ำหนัก การทำ growth analysis เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความเพิ่มพูนสุทธิของผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืช (net photosynthetic production by plants) ภายในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งในการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้ง ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการถาคคคะเน การเจริญเติบโตของพืช และของป่าอย่างกว้างขวางทั่วโลก (Kvet et al, 1971)

การทำ growth analysis สามารถที่จะทราบค่า index และ characteristics ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการบรรยายการเจริญเติบโตของพืช หรือของนแต่ละส่วนของพืช ตลอดจนทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง assimilatory apparatus กับ dry matter production ซึ่งเรียก index และ characteristics นี้ว่า "growth characteristics" ซึ่งเป็น index ที่บ่งบอกถึงการเจริญเติบโตของพืช index เหล่านี้ไดแก

biomass increment, relative growth rate, net assimilation rate, leaf area ratio, leaf area index, chlorophyll index, leaf area duration (Kvet et al 1971) การทำ growth analysis สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษา ๒ ประการ คือ (๑) ศึกษาอิทธิพลของ internal factors ที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งอาจจะศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง สายพันธุ์ ชนิด และสังคมพืช (๒) ศึกษาอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (environmental factors) ต่อการเจริญเติบโตของพืช (Kvet et al 1971)

Index ที่ใช้ในการวัดการเจริญเติบโตของพืชที่เหมาะสมที่สุดคือ relative growth rate (R.G.R.) หรือ efficiency index ของ Blackman (Kvet et al 1971) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงการเจริญเติบโตในรูปอัตราของคอกกเบียบพบคน ซึ่ง Blackman ได้ให้ concept ไว้ว่า อัตราของการสังเคราะห์แสงต่อหน่วยเนื้อที่ใบ และอัตราการหายใจของพืชคงที่ และพื้นที่ใบทั้งหมดมีส่วนสัมพันธ์กับน้ำหนักแห้งทั้งหมดของพืชแล้ว production growth จะเป็นสัดส่วนกับขนาดของพืช คือ growth ที่เพิ่มขึ้นในรูปของน้ำหนักแห้งจะเป็นไปตามกฎของคอกกเบียบพบคน และสามารถเขียนเป็นรูปสูตรทางคณิตศาสตร์ ได้คือ $R' = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt}$ ซึ่งจะเป็นค่าของ relative growth rate ในเวลาใดเวลาหนึ่ง แต่ถาต้องการทราบค่า (mean) relative growth rate ในช่วงเวลาต่าง ๆ ก็จะได้จาก derived R' เป็น $R = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$ ในเมื่อ W_1, W_2 เป็นค่า biomass ที่เวลา t_1 และ t_2 ตามลำดับ (Evans, 1972)

ในการศึกษาการตอบสนองของกล้าไม้สนสามใบต่อการใส่ปุ๋ย ในครั้งนี้ได้เลือกใช้ index ที่แสดงผลการตอบสนองในรูปของ R.G.R. เพื่อจะศึกษาว่าอัตราการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นจากการใส่ปุ๋ย ชนิด และระดับต่าง ๆ นั้น จะแสดงผลอย่างไร มากน้อยเพียงไหน และแตกต่างกันหรือไม่

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาลักษณะของกล้าไม้สนสามใบในรูปของการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งต่อกรโตไต้ปุ๋ยนี้ ทำการทดลองในเรือนกระจก คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนำกล้าไม้สนสามใบซึ่งมีอายุประมาณ ๒ เดือน จากแปลงเพาะสวณป่าตอนบนหลวง อำเภอชองจังหวัดเชียงใหม่ มาปลูกในกระถางเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๓๐ เซนติเมตร โดยใช้ดินในลักษณะเดียวกับพบ คือเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) และวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design โดยใช้ปุ๋ย ๓ ชนิด คือ NPK 6 - 6 - 18, ammonium sulphate, urea และ control ปุ๋ยแต่ละชนิดได้ ๓ ระดับคือ ๓ กรัม ๕ กรัม และ ๗ กรัม รวมเป็น 10 treatments ทั้ง control ด้วย โดยใช้แต่ละ treatment ทำการทดลอง ๕ ซ้ำ (replications) ดังนั้นจึงใช้กล้าไม้ทั้งสิ้นรวม ๕๐ ต้น โดยดำเนินการเป็นต้น ๆ ดังนี้

๑) วันที่ ๔ สิงหาคม ๒๕๕๒ ทำการคัดเลือกกล้าไม้สนสามใบที่มีขนาดความโต ความสูงใกล้เคียงกันจำนวน ๕๐ ต้น ย้ายเข้าไปปลูกในกระถางโดยใช้ดินร่วนปนทรายที่เตรียมไว้เป็น medium จนครบแล้วเขียนเบอร์ประจำต้นที่กระถางตั้งแต่เบอร์ ๑ ถึงเบอร์ ๕๐

๒) ย้ายกระถางทั้งหมดไปเรียงไว้บนรั้วภายในเรือนกระจก โดยเลือกตำแหน่งจางกระถางให้อยู่กึ่งกลางเรือนกระจก เพื่อให้กล้าไม้ทั้งหมดได้รับแสงเท่า ๆ กันแล้วทำการบันทึกข้อมูลความโตที่ระดับคอต้นและความสูงไว้ทุกต้น

๓) เรียงกระถางตามลำดับเบอร์ตามแนวยาวของเรือนกระจก จำนวน ๕ แถว ๆ ละ ๑๐ กระถาง ทำการกำหนด treatment ให้แก่กล้าไม้แต่ละต้นโดยการสุ่มเรียงตามลำดับเบอร์ต้นคือมีสลากทั้งสิ้น ๕๐ สลาก เท่ากับจำนวนกล้า สลากที่หยิบขึ้นมาครั้งแรกจะเป็น treatment ของกล้าไม้ต้นที่ ๑ ทำเช่นนี้จนครบ ๕๐ ต้น หลังจากกำหนด treatment แก่กล้าไม้ครบหมดแล้ว ปรากฏว่ากล้าไม้ที่ได้รับ treatment แต่ละอย่างจะเป็นดังตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑. แผนผังการกำหนด treatments ในบ่อการปลูกตามใบ

Treatments	Pot number					
NPK 6 - 6 - 18	3 gm	15	32	37	40	43
	5 gm	4	16	27	31	41
	7 gm	8	21	28	48	35
$(NH_4)_2SO_4$	3 gm	2	18	24	33	14
	5 gm	13	23	42	50	17
	7 gm	1	22	26	38	45
Urea	3 gm	5	6	11	30	19
	5 gm	12	21	46	9	49
	7 gm	36	39	47	25	10
Control		3	7	29	34	44

๕) วันที่ ๖ สิงหาคม ๒๕๑๔ ทำการใส่ปุ๋ยแก่กล้าไม้แต่ละต้นตาม treatment ที่กำหนดไว้ โดยการนำปุ๋ยมาละลายตามกับน้ำในปริมาณเท่า ๆ กันก่อน เมื่อปุ๋ยละลายหมดแล้ว จึงนำไปใส่แก่กล้าไม้ ทำการรดน้ำตามปกติทุกวัน

๕) บันทึกข้อมูลทางความโต และความสูงทุก ๆ เดือนเพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโต

๖) ประมาณค่าน้ำหนักแห้งจากกล้าไม้ทั้งหมด (W_1) ที่ระยะเวลาเริ่มใส่ปุ๋ย จากสมการสหสัมพันธ์ ที่สร้างขึ้นมาด้วยกล้าไม้ที่เหลือจากการทดลอง โดยอาศัยหลักของ allometric method หลังจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ กับขนาดของกล้าไม้แล้ว และแยกสมการที่ให้ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ออกเป็น ๓ สมการคือ

๖.๑ สมการสหสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักแห้งของต้นคือ

$$W_s = a(D_0)^2 H^b \text{ หรือ } \log W_s = \log a + b \log (D_0)^2 H$$

๖.๒ สมการสหสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักแห้งของใบคือ

$$W_1 = a(D_0)^2 H^b \text{ หรือ } \log W_1 = \log a + b \log (D_0)^2 H$$

๖.๓ สมการสหสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักแห้งของรากคือ

$$W_r = a(D_0)^b \text{ หรือ } \log W_r = \log a + b \log D_0$$

ในเมื่อ

W_s = Dry weight of shoot (g) D_0 = Diameter at ground level (cm)

W_1 = Dry weight of leaf (g) H = Total height (cm)

W_r = Dry weight of root

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ในการประมาณค่าน้ำหนักแห้งคือ

(๑) คัดเลือกกล้าไม้ต้นสามใบที่เหลือจากการทดลองซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน

อย่างสม่ำเสมอตามลำดับ จำนวน ๓ ต้น เพื่อเป็นตัวอย่างในการสร้างสมการ

สหสัมพันธ์

(๒) บันทึกชอมล ขนาดเส้นมาศูนย์กลางที่ระดับผิวดิน และความสูงจากผิวดินจนถึงปลายขอกอคอน ของกล้าไม้ตัวอย่างทั้งหมด

(๓) ชั่งน้ำหนักสดของกล้าไม้ตัวอย่างโดยแยกชั่งเป็นส่วน ๆ คือ ต้น ใบ และราก

(๔) เก็บตัวอย่างของต้น ใบ และราก โดยการสุ่มจากกล้าไม้ตัวอย่างทั้งหมด บันทึกน้ำหนักสดไว้แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ ๗๕°C เป็นเวลา ๔๘ ชั่วโมง เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

(๕) นำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากตัวอย่างแต่ละตัวอย่าง มาเปลี่ยนหาน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ตัวอย่างโดยใช้สูตร

$$D_{wt} = \frac{100 \times F_{wt}}{\% m.c. + 100}$$

ใบแห้ง

D_{wt} = Dry weight (g)

F_{wt} = Fresh weight (g)

% m.c. = moisture content (%)

(๗) ในวันที่ ๒๑ มกราคม ๒๕๑๘ เมื่อกล้าไม้จะได้รับการใส่ปุ๋ยประมาณ ๒ เดือน หรือ ๒๔ สัปดาห์พอดี ทำการชั่งกล้าทั้งหมดโดยใช้น้ำหนักแห้งเอาดินออกเพื่อมิให้รากขาด แล้วนำไปอบหาน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วน คือ ต้น ใบ ราก ในระยะเวลา ๒ โดยอบที่อุณหภูมิ ๗๕°C เป็นเวลา ๔๘ ชั่วโมง

(๘) หาน้ำหนักแห้งทั้งหมดของกล้าไม้ โดยรวมน้ำหนักแห้งของแต่ละส่วนของกล้าไม้ แล้วคำนวณหาอัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งทั้งหมด (Total dryweight) จากสูตร

$$R.G.R. = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

ในเมื่อ

R.G.R. = Relative growth rate (centigram/week)

$\ln W_2 - \ln W_1$ = increase in dry weight per dry weight during time interval from t_1 to t_2 (centigram)

$t_2 - t_1$ = time interval from the beginning to final harvest. (weeks)

๘) วิเคราะห์ข้อมูลอัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งทั้งหมด เพื่อศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยแต่ละชนิดในแต่ละระดับว่าจะให้ผลแตกต่างกันหรือไม่เพียงใด โดยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ analysis of variance

ผลและวิจารณ์ผล

การศึกษาการเพิ่มสูงน้ำหมักแห้งทั้งหมดของกล้าไม้สนสามใบในรูปของ relative growth rate โดยการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในแต่ละระดับโดยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ analysis of variance ปรากฏผลว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในแต่ละระดับให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ ๒) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างแต่ละ treatment โดยวิธี least significant difference ปรากฏผลดังนี้ (ตารางที่ ๓ และตารางที่ ๔)

ตารางที่ ๒ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลอัตราการเพิ่มสูงน้ำหมักแห้ง ในรูป R.G.R. ของกล้าไม้สนสามใบซึ่งได้รับปุ๋ยแต่ละชนิดในแต่ละระดับเป็นเวลา ๒๔ สัปดาห์

SOV.	df.	S.S.	M.S.	F
treatment	9	56.403	6.267	2.866*
Error	40	87.499	2.187	
Total	49	143.902		

๗. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างการใส่ปุ๋ย NPK ในแต่ละระดับ (ภาพที่ ๑) ปรากฏว่า การใส่ปุ๋ย NPK ในแต่ละระดับนั้นให้ผลต่ออัตราการเพิ่มสูงน้ำหมักแห้งในรูปของ relative growth rate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และก็ไม่ผลไม่แตกต่างกันจาก control ด้วย แต่ก็มีแนวโน้มว่าเมื่อระดับปุ๋ยที่สูงขึ้นก็จะทำให้ค่า R.G.R. เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยที่ระดับ 3gm จะให้ผลตอบสนองสูงกว่า control แต่ที่ระดับ ๕ กรัม และ ๘ กรัม จะให้ผลตอบสนองสูงกว่า control

ตารางที่ ๓ เปรียบเทียบค่า R.G.R. (cg/week) เฉลี่ยแต่ละระดับใน treatment เดียวกัน โดยวิธี least significant difference.

Treatment	Control	3 gm	5 gm	7 gm
NPK 6 - 6 - 18	\bar{X}_4	\bar{X}_2	\bar{X}_5	\bar{X}_6
	3.132	2.930	3.410	3.976
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	\bar{X}_4	\bar{X}_8	\bar{X}_7	\bar{X}_{10}
	3.132	4.388	4.136	5.806
Urea	\bar{X}_4	\bar{X}_1	\bar{X}_3	\bar{X}_7
	3.132	1.940	3.114	5.018

ตารางที่ ๔. เปรียบเทียบค่า R.G.R. (cg/week) เฉลี่ยแต่ละ treatment ในระดับ
เดียวกัน โดยวิธี least significant difference

Level	Treatments			
	Urea	Control	NPK 6 - 6 - 18	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
3 gm	\bar{X}_1	\bar{X}_4	\bar{X}_2	\bar{X}_8
	1.940	3.132	2.930	4.388
5 gm	\bar{X}_3	\bar{X}_4	\bar{X}_5	\bar{X}_7
	3.114	3.132	3.410	4.136
7 gm	Control	NPK 6 - 6 - 18	Urea	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
	\bar{X}_4	\bar{X}_6	\bar{X}_9	\bar{X}_{10}
	3.132	3.976	5.018	5.806

การที่อัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ที่ control มีค่าสูงกว่ากล้าไม้ที่ใส่ปุ๋ย NPK 6 - 6 - 18 ที่ระดับ ๓ กรัม/ต้น อาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการทดลองเกี่ยวกับ การเลือกกล้าไม้ ใต้น้ำในต้นที่เลือกกัน จึงทำให้กล้าไม้บางต้นเจริญเติบโตผิดปกติ ทั้ง ๆ ที่ไม่ได้ รับประทานจากการทดลองปรากฏว่ากล้าไม้ต้นที่ ๒๕ มีค่า R.G.R. สูงขึ้น ๕.๑๐ เซ็นติกรัม/สัปดาห์ ในขณะที่ต้นอื่น ๆ ใน treatment. เกี่ยวกันมีค่า R.G.R. เพียง ๔.๑, ๑.๐๐, ๒.๕๓ และ ๒.๓๒ เซ็นติกรัม/สัปดาห์เท่านั้น จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของ control สูงกว่าที่ควรจะเป็น

๒. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ ในแต่ละระดับ (ภาพที่ ๒) ปรากฏว่าการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ ในแต่ละระดับให้ผลต่ออัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งในรูปของ R.G.R. ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และก็ไม่แตกต่างจาก control ด้วย ยกเว้นที่ระดับ ๓ กรัม จะให้ผลแตกต่างจาก control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในแต่ละ ระดับมีแนวโน้มของค่า R.G.R. สูงกว่า control โดยที่ระดับ ๓ กรัม จะให้ค่า R.G.R. สูงที่สุดรองลงมาได้แก่ระดับ ๓ กรัม และ ๕ กรัม ตามลำดับ

การที่ค่า R.G.R. ที่ระดับ ๓ กรัมมีค่าสูงกว่า R.G.R. ที่ระดับ ๕ กรัม อาจเนื่องมาจากความผิดพลาดเกี่ยวกับ size effect ของกล้าไม้ ทำให้ชุดของกล้าไม้ที่ได้รับ treatment เกี่ยวกัน มีความแปรปรวนระหว่างกันมาก

๓. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างการใส่ปุ๋ย urea ในแต่ละระดับ (ภาพที่ ๓) ปรากฏว่า การใส่ปุ๋ย urea ในระดับ ๓ กรัม จะให้ผลต่ออัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งในรูปของ R.G.R. แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยในระดับ ๓ กรัม, ๕ กรัม และไม่ใส่ปุ๋ยเลยอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยในระดับ ๓ กรัม และ ๕ กรัม จะให้ผลไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจาก control ด้วย โดยมีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ยในระดับสูงที่สุด ค่า R.G.R. จะสูงขึ้น ตามลำดับ แต่ที่ระดับ ๓ กรัม และ ๕ กรัม จะให้ค่า R.G.R. ต่ำกว่า control ส่วนที่ระดับ ๓ กรัม จะให้ค่า R.G.R. สูงกว่า control มาก และให้ผลใกล้เคียงเท่ากับการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ ในระดับเดียวกัน

เหตุที่กล้าไม้ซึ่งได้รับปุ๋ย urea ในระดับ ๓ กรัม และ ๕ กรัม ใ้ค่า R.G.R. ต่ำกว่า control อาจเนื่องมาจากดินซึ่งมี pH สูงถึง ๗.๕ ในสภาพเช่นนี้นอกจากจะยับยั้งการเจริญเติบโตของ mycorrhiza แล้ว โอกาสที่กล้าไม้จะเกิดโรค root - rot ก็ มีมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ดินได้รับธาตุอาหารไนโตรเจนในปริมาณสูง (Stoekeler, 1960 และ Baule and Fricker, 1970) ซึ่งจากการสังเกตก็เป็นเช่นนั้น คือกล้าไม้ที่ใส่ปุ๋ย urea มักจะมีใบเหลืองทั้งต้น และกอบ ๆ แห่งเมื่อถอนกล้าดูปรากฏว่าเกิด root - rot ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ผู้นำหนักแห่งทั้งหมดของกล้าไม้ส่วนที่ ได้รับการใส่ปุ๋ย urea ส่วนใหญ่จึงมีค่าต่ำ

๔. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในระดับ ๓ กรัม (ภาพที่ ๔) ปรากฏว่า การใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในระดับ ๓ กรัม ให้ผลต่ออัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งในรูปของ R.G.R. ไม่แตกต่างกัน และไม่แตกต่างจาก control ด้วย ยกเว้นการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ จะให้ผลแตกต่างจากการใส่ปุ๋ย urea อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ $(NH_4)_2SO_4$ ใ้ค่า R.G.R. สูงที่สุด รองลงมาได้แก่การใส่ปุ๋ย NPK และ urea ตามลำดับ

การที่ urea ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหาร N มากที่สุด คือ ๑.๑๘ กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุอาหาร N ในปุ๋ยผสม NPK ซึ่งมี N อยู่ ๐.๑๘ กรัม และใน $(NH_4)_2SO_4$ ซึ่งมี N อยู่ ๐.๖๓ กรัม แต่ใ้ค่าของ R.G.R. ต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจาก pH ของดิน ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง (pH 7.8) ในสภาพเช่นนี้นอกจาก urea จะสูญเสียไปโดยการถูกชะล้างแล้วยังระเหิดหายไปสู่อากาศอีกด้วย (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๘) และยังส่งเสริมให้เกิดโรค root - rot ด้วย ส่วนปุ๋ย NPK นั้น ทั้ง ๆ ที่มีธาตุอาหาร N ต่ำกว่า urea แต่ใ้ค่า R.G.R. สูงกว่า อาจจะเป็นเนื่องจากอิทธิพลของธาตุอาหาร P และ K ซึ่งจะช่วยให้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของกล้าไม้ได้ สำหรับปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ นั้น ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหาร N เพียง ๐.๖๓ กรัมก็ตาม แต่ปุ๋ยนี้เป็นปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับใส่ในดินที่เป็นด่าง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วดินในแปลงเพาะไมสน ควรมี pH ประมาณ

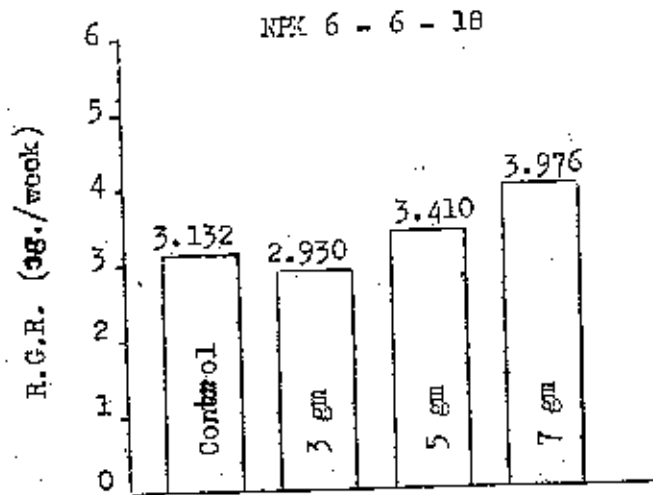
๕.๐ - ๕.๕ เพราะค่า pH สูงกว่านี้โอกาสที่กล้าไม้จะเกิดโรค root - rot ก็มีมากขึ้น (Beule, and Fricker, 1970) นอกจากนี้ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ ยังมีธาตุอาหาร S ประกอบอยู่ด้วย จึงทำให้ค่า R.G.R. สูงกว่าการใส่ปุ๋ย NPK และ Urea

๕. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในระดั้ม ๕ กรัม (ภาพที่ ๕) ปรากฏว่าการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในระดั้ม ๕ กรัม ให้ผลต่ออัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งในรูปของ R.G.R. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีแนวโน้มว่าการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ ให้ค่า R.G.R. สูงที่สุด รองลงมาคือการใส่ปุ๋ย NPK ซึ่งต่างก็ให้ค่า R.G.R. สูงกว่า control ส่วนการใส่ปุ๋ย urea ให้ค่า R.G.R. ต่ำสุด และต่ำกว่า control ด้วย

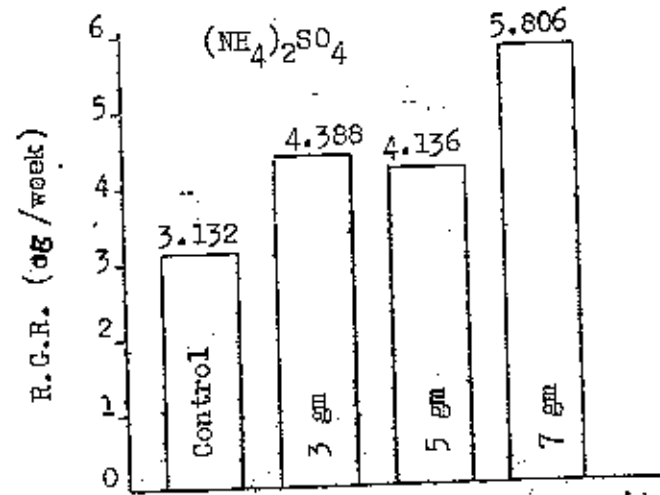
๖. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในระดั้ม ๗ กรัม (ภาพที่ ๖) ปรากฏว่าการใส่ปุ๋ย $(NH_4)_2SO_4$ ให้ค่า R.G.R. สูงสุด รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ย urea และ NPK ตามลำดับ ซึ่งต่างก็ให้ค่า R.G.R. สูงกว่าของ control โดยที่ $(NH_4)_2SO_4$ จะให้ผลแตกต่างจากการใส่ปุ๋ย NPK และไม่ใส่ปุ๋ยเลยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะไม่แตกต่างจากการใส่ปุ๋ย urea ส่วนการใส่ปุ๋ย urea NPK และ control จะให้ค่า R.G.R. ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การที่ใส่ปุ๋ย urea 7 กรัม ทำให้ค่า R.G.R. สูงกว่า การใส่ปุ๋ย NPK ในระดั้มเดียวกัน แต่การใส่ปุ๋ย urea ในระดั้ม ๓ และ ๕ กรัม กลับทำให้ค่า R.G.R. ต่ำกว่าการใส่ปุ๋ย NPK อาจเป็นเพราะว่าการใส่ปุ๋ย urea ในระดั้ม ๓ และ ๕ กรัม ยังไม่เพียงพอแก่ความต้องการของกล้าไม้ เพราะ urea จะสูญหายไปทั้งโดยการถูกระหว่าง และโดยการระเหิดหายไปสู่อากาศเนื่องจากดินมี pH สูง จึงทำให้ปุ๋ย urea สูญหายไปเป็นปริมาณมาก จนไม่เพียงพอแก่ความต้องการของกล้าไม้ได้ ดังนั้นเมื่อใส่ปุ๋ย urea ในปริมาณสูงถึงระดั้มหนึ่งแล้ว ก็จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของกล้าไม้เท่า ๆ กับการใส่ปุ๋ย NPK หรือ $(NH_4)_2SO_4$ จากการทดลองปรากฏว่าเมื่อใส่ปุ๋ย urea ซึ่งมีปริมาณธาตุ

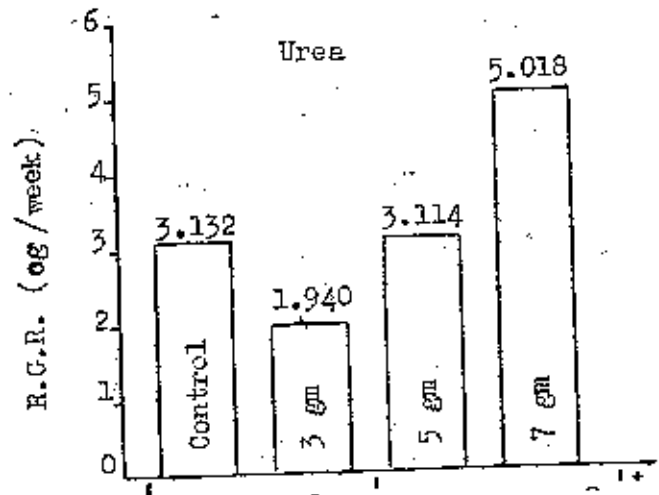
อาหาร N (๑.๒๒ กรัม) สูงถึง ๓.๖ และ ๒.๒ เท่า ของปริมาณธาตุอาหาร N ใน NPK และใน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ตามลำดับ จึงจะทำให้ได้ค่า R.C.R. เท่าเทียมกัน และเท่ากับ urea 7 ๓๓ ซึ่งมีปริมาณธาตุอาหาร N สูงกว่าที่มีอยู่ใน $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ถึง ๒.๒ เท่า แต่กลับให้ผลต่อค่า R.C.R. ต่ำกว่านั้น อาจเนื่องจากว่า urea มีปริมาณการสูญเสียจากดินสูงและระเหิดเร็วกว่าโดยเฉพาะในสภาพที่คืนมี pH สูงกว่า ๕.๕ มาก ๆ ซึ่งในสภาพที่คืนมี pH สูงเช่นนี้ ปุ๋ย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดจะเหมาะสมที่สุดเพื่อปรับระดับ pH ให้ต่ำลง (สรสิทธิ์ วัชรโรทยาน ๒๕๑๔) นอกจากนั้นปุ๋ย $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีธาตุอาหาร S รวมอยู่ด้วย จึงมีส่วนในการเพิ่มค่า R.C.R. ของกล้าไม้ให้สูงขึ้นได้

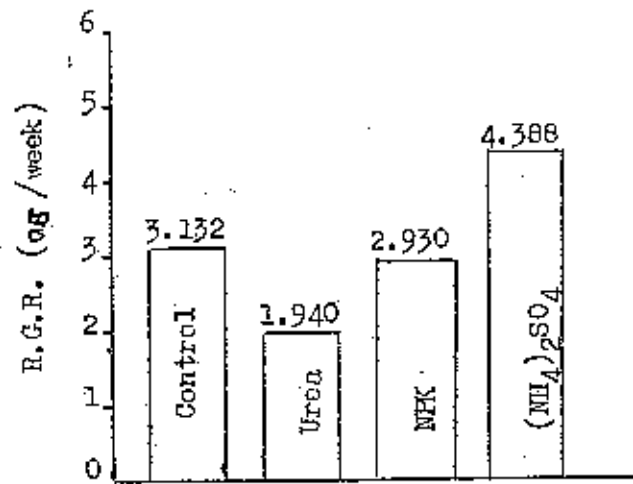


ภาพที่ ๑ เปรียบเทียบค่า R.G.R. ในแต่ละระดับของการใส่ปุ๋ย NPK 6 - 6 - 18

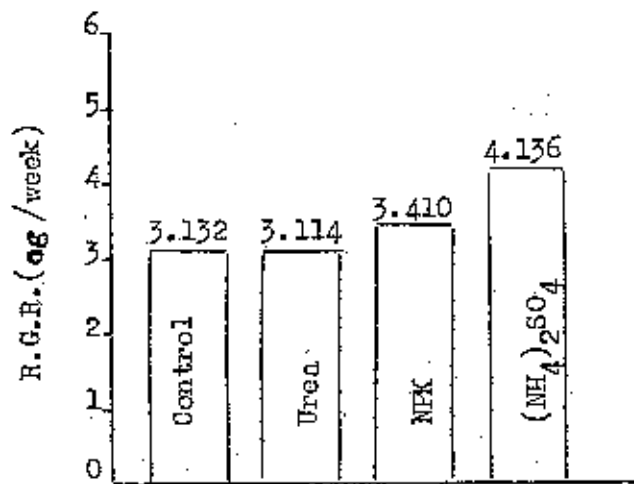


ภาพที่ ๒ เปรียบเทียบค่า R.G.R. ในแต่ละระดับของการใส่ปุ๋ย (NH₄)₂SO₄

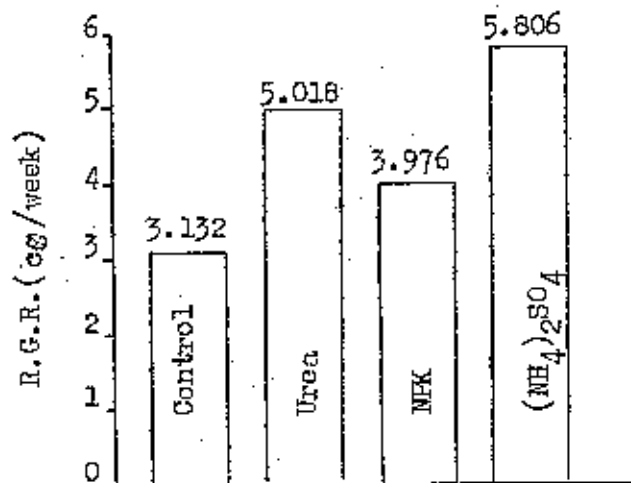




ภาพที่ ๔ เปรียบเทียบค่า R.G.R. ระหว่าง treatments ในระดับ ๓ กรัม



ภาพที่ ๕ เปรียบเทียบค่า R.G.R. ระหว่าง treatments ในระดับ ๕ กรัม



ภาพที่ ๖ เปรียบเทียบค่า R.G.R. ระหว่าง treatments ในระดับ ๙ กรัม

สรุปและข้อ เสนอแนะ

การศึกษาการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งทั้งหมดของกล้าไม้สามใบในรูปของ relative growth rate ต่อการใส่ปุ๋ยแต่ละชนิดในแต่ละระดับ ได้ทำการทดลองในเรือนกระจกคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนำกล้าไม้สามใบซึ่งมีอายุประมาณ ๒ เดือน จากแปลงเพาะสวนป่าคอกบองหลวง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ มาปลูกในกระถางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๓๐ เซนติเมตร โดยใช้ดินร่วนปนทราย (sandy loam) ประมาณกระถางละ ๑๐ กิโลกรัม เป็น medium วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design โดยใช้ปุ๋ย ๓ ชนิดคือ NPK 6 - 6 - 18, ammonium sulphate และ urea ปุ๋ย แต่ละชนิดใส่ ๓ ระดับ ในอัตรา ๓ กรัม ๕ กรัม และ ๘ กรัม รวมเป็น ๑๐ treatments ทั้ง control ด้วย โดยแต่ละ treatment ทำการทดลอง ๕ ซ้ำ (replications) ทำการใส่ปุ๋ย เมื่อวันที่ ๒ สิงหาคม ๒๕๑๕ เมื่อกกล้าไม้ได้รับการใส่ปุ๋ยครบ ๒๔ สัปดาห์ ก็ทำการถอนกล้าไม้ทั้งหมดซึ่งหาหน้ำหนักแห้งทุกส่วน เพื่อหาอัตราการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งทั้งหมด โดยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ analysis of variance และเปรียบเทียบค่า R.G.R. เติบโตระหว่างแต่ละ treatment โดยวิธี least significant difference ปรากฏผลดังนี้

ปุ๋ยที่ให้ผลต่อการเพิ่มพูนน้ำหนักแห้งของกล้าไม้สามใบในรูปของ relative growth rate เมื่อพิจารณาตามผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และพิจารณาตามแนวโน้มของข้อมูลประกอบกันแล้ว ปรากฏว่าปุ๋ย ammonium sulphate ให้ผลดีที่สุดและผลจากการใส่ปุ๋ยในแต่ละระดับมีแนวโน้มสูงกวาค่าเฉลี่ยจากทุก ๆ treatment และสูงกว่าค่าที่ได้จาก control ด้วย รองลงมาได้แก่การใส่ปุ๋ยผสม NPK 6 - 6 - 18 ถึงแม้ว่าการใส่ปุ๋ย NPK ในแต่ละระดับจะให้ผลไม่แตกต่างกันทางสถิติก็ตาม แต่มีแนวโน้มว่าการระดับที่ใส่สูงขึ้นไป ก็จะทำให้ค่า R.G.R. สูงขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะที่ระดับ ๘ กรัม และ ๕ กรัม จะให้ค่า R.G.R. สูงกว่า control ส่วนการใส่ปุ๋ย urea นี้จะให้ผลดีเฉพาะที่ระดับ ๘ กรัมเท่านั้น ซึ่งจะให้ผลแตกต่างจากระดับ ๓ กรัม ๕ กรัม และ control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาในระดับปุ๋ยที่เหมาะสมที่สุด

ของปุ๋ยทุกชนิดปรากฏว่าที่ระดับ ๓ กรัม จะให้ผลดีที่สุด โดยปุ๋ย ammonium sulphate จะให้ค่า R.C.R. สูงที่สุด รองลงมาได้แก่การใส่ปุ๋ย urea และ NPK 6 - 6 - 18 ตามลำดับ โดยที่ปุ๋ย ammonium sulphate จะให้ผลแตกต่างจาก NPK 6 - 6 - 18 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกนั้นให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากการสังเกตปรากฏว่ากล้าไม้ทั้งหมดแสดงอาการขาดธาตุอาหาร คือใบเหลือง ปลายใบไหม้ โดยเฉพาะกล้าไม้ที่ได้รับการใส่ปุ๋ย urea จะแสดงอาการกุดกล้าไม้ที่ได้รับ treatment อื่น ๆ นั่นคือระดับปุ๋ยที่ได้รับปริมาณธาตุอาหาร nitrogen ยังไม่เพียงพอแก่ความต้องการของกล้าไม้ เนื่องจากถูกชะล้างไปหมด ประกอบกับดินมี pH ต่ำ (pH 7.8) ซึ่งนอกจากจะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้แล้วยังทำให้ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารกุดกล้าไม้ลดลงด้วย จึงทำให้กล้าไม้แสดงอาการ กุดกล้าให้เห็น

แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ก็ไม่สามารถที่จะสรุปผลได้อย่างแน่นอน เนื่องจากขาดรายละเอียดเกี่ยวกับสภาพของดินก่อนทำการทดลอง เช่นระดับธาตุอาหารในดิน สภาพความเป็นกรด เป็นด่าง ของ ดิน ตลอดจนวิเคราะห์แต่ละชนิดที่ใส่ไม่เพียงพอถึงเนื้อแท้ของธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ย จึงทำให้การสรุปผลเกี่ยวกับอิทธิพลของธาตุอาหารต่าง ๆ ต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้ไม่สามารถจะกระทำได้ อย่างไรก็ตามการทดลองครั้งนี้อาจศึกษาหารายละเอียดอื่นเพิ่มเติมได้อีก โดยปกติอย่างใดมาวิเคราะห์ธาตุอาหาร ตลอดจนวิเคราะห์ธาตุอาหารในใบก็จะช่วยให้การสรุปผลได้แน่นอนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

สรสิทธิ์ วัชรโรจนาน. ๒๕๑๔. คู่มือประกอบคำบรรยายวิชาความอุดมสมบูรณ์ของดิน ภาค
วิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (โรเนียว)

Allen, R.M. 1955. Response of longleaf Pine Seedlings to Soils and
Fertilizers. Soil Science. 79 : 359 - 362.

Baule, H., and Fricker, C. 1970. The Fertilizer Treatment of Forest
Tree. München : Jacket Design.

Beaten, J.D. 1973. Fertilizer Methods and Application of Forest
Practice. In. Forest Fertilization Symposium Proceeding. Upper
Darby : U.S. Government Printing Office.

Benzain, B. 1965. Experiments on Nutrition Problem in Forest Nurseries.
London : Her Majesty's Stationery Office.

_____ 1966. Experiments in Some English Nurseries. London : The
Fertilizer Society Proceeding.

Bhatnagar, H.P. 1966. Preliminary Studies on Nutritional Requirements
of Chir (Pinus roxburghii). Indian Forester. 92 : 751 - 759.

Davis, M.H. 1970. Effectiveness of Nitrogen Fertilizers and Mulch for
The Amelioration of Severe Planting Sites. In. Tree Growth and
Forest Soils. Corvallis : Oregon State University Press.

Evans, G.C. 1972. The Quantitative Analysis of Plant Growth. London :
Blackwell Scientific Publications.

- Gessel, S.P. 1968. The Use of Nitrogenous Fertilizer with Douglas Fir. VI World Forestry Congress. II : 2431 - 2436.
- Heikurainen, L. 1964. Improvement of Forest Growth on Poorly Drained Peat Soils. In. International Review of Forest Resource. New York : Academic Press.
- Holstener, J.H. 1970. Fertilizing Experiments in Six Norway Spruce Plantations in Jutland. Danmark : Det Forestlige Forsøgsvesen.
- Kvet, J.; Ondok, J.P.; Necas, J.; and Jarvis, P.G. 1971. Method of Growth Analysis. In. Plant Photosynthetic Production. Hague : Academic Press.
- Pritchett, W.L. 1966. Response of Slash Pine to Phosphorus in Sandy Soils. Proceeding of Soil Science Society of America. 30 : 509 - 512.
- Remezov, N.P.; and Pogrebnyak, P.S. 1969. Forest Soil Science. Jerusalem : Israel Program for Scientific Translations.
- Stephen, R.C.; and Waid, J.S. 1963. Pot Experiments on Urea as a Fertilizer I. a Comparison of Responses by Various Plants. Plant and Soil. 16 : 309 - 316.
- Stoedkeler, J.H. 1960. Soil Fertility in Forest Nurseries. Advance in Agronomy. 12 : 128 - 170.
- Wilde, S.A. 1958. Forest Soils. Newyork : Ronald Press Company.

การคำนวณ

ตารางที่ ๕ ข้อมูลในการสร้างสมการสหสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ กับขนาดของกล้าไม้เพื่อประมาณค่าน้ำหนักแห้งของกล้าไม้ (W_1) เมื่อระยะเวลาเริ่มใส่ปุ๋ย (t_1)

NO	$\log D_0$	$\log(D_0)^2 H$	$\log W_s$	$\log W_1$	$\log W_r$
1	- 0.357	0.617	- 0.102	0.218	- 0.158
2	- 0.377	0.636	- 0.003	0.218	- 0.077
3	- 0.398	0.619	- 0.063	0.079	- 0.138
4	- 0.337	0.810	- 0.101	0.427	- 0.074
5	- 0.252	1.040	0.251	0.481	0.077
6	- 0.208	1.160	0.487	0.832	0.478
7	- 0.229	1.175	0.537	0.794	0.439

หากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ กับขนาดของกล้าไม้ปรากฏว่าสามารถแยกสมการที่ให้ความสัมพันธ์ที่สอดคล้องเป็น ๓ สมการคือ

๑. สมการสหสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าน้ำหนักแห้งของต้น คือ

$$W_s = a (D_0)^2 H^b \text{ หรือ}$$

$$\log W_s = 0.995 \log (D_0)^2 H - 0.687$$

$$R^2 = 96.43 \%$$

๒. สมการสหสัมพันธ์เพื่อประมาณน้ำหนักแห้งของใบ คือ

$$W_1 = a (D_0)^2 H^b$$

$$\log W_1 = 1.094 \log (D_0)^2 H - 0.511$$

$$R^2 = 91.97 \%$$

๓. สมการสหสัมพันธ์เพื่อประมาณน้ำหนักแห้งของราก คือ

$$W_r = a (D_0)^b \quad \text{หรือ}$$

$$\log W_r = 3.286 \log D_0 + 1.09$$

$$R^2 = 74.13 \%$$

ในเมื่อ W_g = น้ำหนักแห้งของต้น (กรัม)

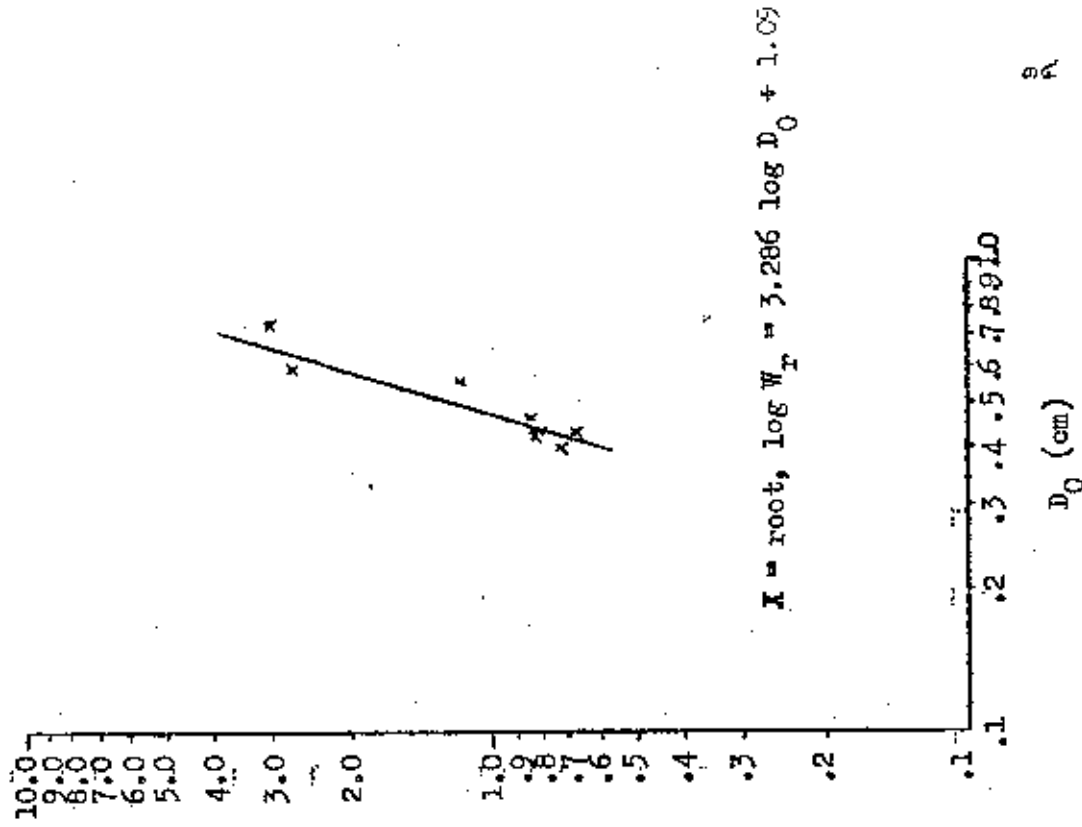
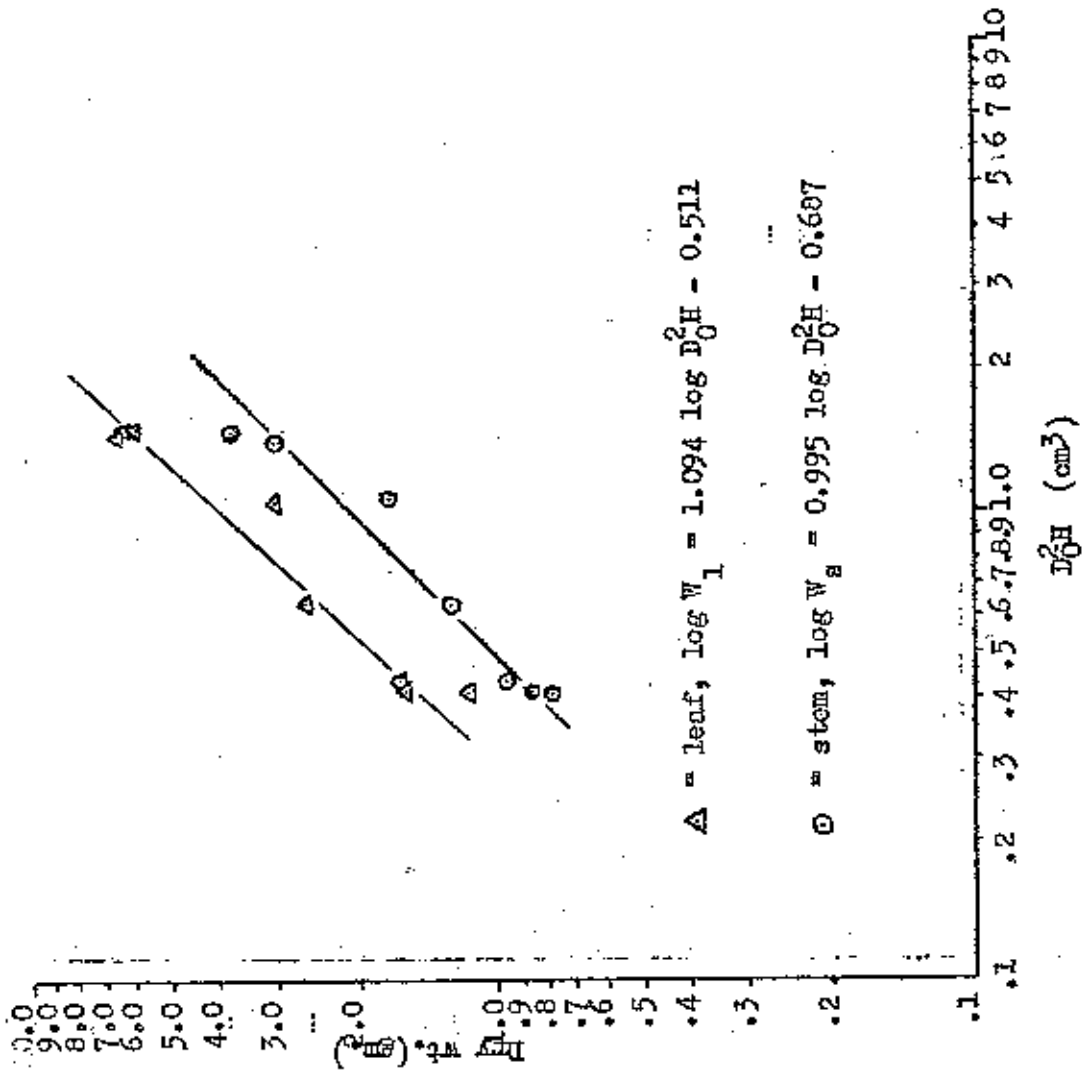
W_1 = น้ำหนักแห้งของใบ (กรัม)

W_r = น้ำหนักแห้งของราก (กรัม)

D_0 = เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับคอคิน (เซ็นติเมตร)

H = ความสูงทั้งหมดจากระดับคอคิน (เซ็นติเมตร)

จากสมการทั้งสามนี้ก็นำไปคาดคะเนน้ำหนักแห้งแต่ละส่วนของกล้าไม้จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของกล้าไม้ที่ระยะเวลา t_1 แล้วนำมารวมกันก็จะได้ น้ำหนักแห้งทั้งหมดของกล้าไม้แต่ละต้นตามต้องการ



ภาพที่ ๘ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ กับขนาดของกอไม้

- No 23 Sanit Aksornkoae, Choob Khemmark, and Tawee Kaewla-iaa: Study on organic matter in teak plantation.*
- 1973 No 24 Kian Eadkeo & Charn Boonyasirikool: Taper values of Dipterocarpus obtusifolius, teijsm.*
- No 25 Wiraj Chunwarin & Damrong Sri-Aran: Macroscopic and microscopic structure of commercial woods in series Thalamiflorae and Disciflorae of Thailand.*
- No 26 Suvit Sangtongproaw : Morphological study of pines in Thailand.*
- No 27 Picha Dhanmanonda: Site Quality of mixed deciduous forest with teak at Mae Huad, Lampang, as determined by soil aggregate.
- No 28 Choempol Ngampongsai: The distribution and development of teak-root in different ages plantation.*
- 1974 No 29 Wiraj Chunwarin & Damrong Sri-Aran: Macroscopic and microscopic structure of important woods in Series Calyciflorae, Inferae, Heteromerae, Bicarpeolatae, Micrombryae, Daynales, and Unisexuales.*
- No 30 Wasan Kaitpraneet & Somsak Sukwong: Height growth of teak (Tectona grandis, Linn. F.) as related to environmental factors.*
- No 31 Somkid Siripatanadilok: Development of teak flower (Tectona grandis, Linn).*
- 1975 No 32 Prakong Inrachandra: Efficiency comparison between mechanize and hand weeding at Ban Dan Lan Hoy Teak Plantation, Sukhothai Province.*
- No 33 Wuthipol Hoamuangkaew: economics of lac production: a case study of the extension and research station of lac at Klangdong, Amphor Packhong, Changwat Nakhonratchasima.*
- No 34 Tawee Kaewla-iaa, Somsak Sukwong: Point sampling trial in dry dipterocarps forest.*
- No 35 Somneug Pongampai: Morphology of some forest trees in Dipterocarpaceae.*
- No 36 Charn Boonyasirikool and Wuthipol Hoamuangkaew : Testing accuracy of some log rules.*
- No 37 Bunvong Thaiutsa, Choob Khemmark, Wisut Suwannapinunt, and Somporn Chaicharus: Soil properties of plantation after thinning.*
- 1976 No 38 Sanit Aksornkoae : Structure of mangrove forest at Amphoe Khlung Changwat Chantaburi, Thailand.
- No 39 Bunvong Thaiutsa, Wisut Suwannapinunt, Wasan Kaitpraneet, Somsak Sukwong : Changes of soil properties in Teak forest under the Different Silvicultural Systems.
- No 40 Pongsak Sahunala : Foliage area estimation of Local Pines

* In Thai with English summary