

นิพนธ์ต้นฉบับ

การกระจายของรากไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาในท้องที่จังหวัดฉะเชิงเทรา

**Root Distribution of Eucalypts Planted on Paddy Bunds
in Chachoengsao Province**

รุ่งเรือง พูลศิริ

พีธีกร สุภาวงศ์

นิติกร กวนคอนสาร

Roongreang Poolsiri

Piteekorn Supawong

Nitigon Kuankhonsarn

คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

รับต้นฉบับ 27 พฤศจิกายน 2552

รับลงพิมพ์ 30 ธันวาคม 2552

ABSTRACT

The root distribution of eucalypts planted in Sanam Chai Khet district, Chachoengsao province was investigated at a clonal test site planted on paddy bunds. Eucalypt clones K7, K51, K58 and K59 were planted in a single row with 1 m spacing between trees. Trees sampled were aged 1.5 years and 3.5 years. Three average trees in each age class were selected and soil was removed in a hole 100x50 cm using 10 cm horizons. Soil was excavated until no roots were visible. Soil with fine (diameter < 2 mm) and coarse (diameter > 2 mm) roots in each horizon was collected and washed with water. All fine and coarse roots were oven-dried and weighed to determine the biomass in each horizon. The study on coarse roots used the trench method. Soil was removed until all coarse roots had disappeared. The amount of coarse root was expressed as coarse root per unit area.

The fine root distribution of K58 had the highest biomass located in the layer from 0 to 60 cm, followed by K7, K59 and K51 located in the layer from 0 to 50 cm. The fine root biomass increased with tree age and decreased with soil depth. The coarse root distribution of K58 had the highest biomass, followed by K59, K51 and K7. Coarse root biomass was distributed in the layer from 0 to 60 cm. The coarse root area, located in the soil layer from 0 to 60 cm, for both ages of K51 had the highest cross sectional area, followed by K58, K59 and K7. The coarse root biomass and cross sectional area increased with tree age and soil depth. In addition, K58, K59 and K7 were clones with shallower rooting compared with K51.

Keywords: root system, eucalypts, paddy bund, agroforestry**บทคัดย่อ**

การกระจายของรากยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนาในท้องที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้ทำการศึกษาในแปลงทดสอบ สายต้นยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา อำเภอสนามชัยเขต ในการทดลองนี้ใช้สายต้นยูคาลิปตัสทั้งสิ้น 4 สายต้น คือ K7, K51, K58 และ K59 โดยสายต้นยูคาลิปตัสปลูกบนคันนาแถวเดียวด้วยระยะห่างระหว่างต้น 1.0 เมตร อายุ 1 ปี 6 เดือน

และ 3 ปี 6 เดือน ทำการเลือกต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยจำนวน 3 ต้นในแต่ละช่วงอายุ ในแต่ละต้นทำการขุดดินขนาด 100x50 เซนติเมตร ลึกชั้นละ 10 เซนติเมตร ลงไปจนไม่พบราก เก็บตัวอย่างดินที่มีรากขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง < 2 มิลลิเมตร) และรากขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง > 2 มิลลิเมตร) ในแต่ละชั้น นำมาทำความสะอาด และนำไปอบแห้งเพื่อหามวลชีวภาพของรากในแต่ละชั้น ส่วนการศึกษาพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ใช้วิธีขุดหลุมเปลาะลึกลงไปจนไม่พบรากขนาดใหญ่ วัดขนาดของรากในแต่ละระดับความลึกของดินเพื่อนำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ต่อหน่วยพื้นที่ต่อไป

ผลการศึกษา พบว่า การกระจายของรากขนาดเล็กของสายต้น K58 มีมวลชีวภาพมากที่สุด และมีการกระจายอยู่ในช่วง 0-60 เซนติเมตร รองลงมาคือ สายต้น K7, K59 และ K51 และมีการกระจายของรากขนาดเล็กอยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร โดยมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กเพิ่มขึ้นตามอายุของไม้ที่เพิ่มขึ้น แต่ลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การกระจายของรากขนาดใหญ่ พบว่า สายต้น K58 มีมวลชีวภาพที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K59, K51 และ K7 และพบการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-60 เซนติเมตร ส่วนพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ของทั้งสองช่วงอายุของสายต้น K51 มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K58, K59 และ K7 ตามลำดับ โดยมีการกระจายของพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 0-60 เซนติเมตร ซึ่งมวลชีวภาพและพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นตามอายุของไม้และระดับความลึกของดินที่ลึกลง นอกจากนี้ยังพบว่า K58, K59 และ K7 เป็นสายต้นที่มีเรือนรากค้ำเมื่อเปรียบเทียบกับ K51

คำสำคัญ: ระบบราก ยูคาลิปตัส คันทนา วนเกษตร

คำนำ

วนเกษตรเป็นระบบการป่าไม้และการเกษตรร่วมทำงานประสานกันบนพื้นที่แห่งเดียวกันในลักษณะของการผสมผสานพบกันครึ่งทางเพื่อให้การใช้ที่ดินและทรัพยากรต่างๆ เกิดประโยชน์ให้มากที่สุด (อำนาจ, 2528; Ong and Black, 1995; Cannell *et al.*, 1996) ซึ่งรูปแบบของการผสมผสานของชนิดไม้และพืชเกษตรมีความแตกต่างกันออกไปตามความต้องการของท้องถิ่น เช่น การปลูกไม้สักร่วมกับข้าวไร่หรือการปลูกยูคาลิปตัสร่วมกับมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การปลูกยูคาลิปตัสบนคันทนาควบคู่ไปกับการปลูกข้าว เป็นรูปแบบหนึ่งของระบบวนเกษตรซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์พื้นที่ว่างเปล่าบนคันทนาปลูกไม้ยืนต้นเพื่อเพิ่มมูลค่าที่ดินและเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

ในระบบวนเกษตรการแก่งแย่งระหว่างรากของต้นไม้กับพืชเกษตรเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้ยาก (Dhyani and Tripathi, 2000) ดังนั้นความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกระจายของรากในหน้าตัดดินจึงมีความจำเป็นเพื่อให้เข้าใจถึงบทบาททางนิเวศน์ของชนิดไม้และการจัดการโดยใช้ระบบวนวัฒน์และวนเกษตรเข้าด้วยกัน (Schroth, 1995) โดยทั่วไปแล้วเกษตรกรมักเลือกชนิดไม้ที่มีระบบรากลึกและไม่หนาแน่นเพื่อลดการแก่งแย่งกับพืชเกษตรที่มีความต้องการน้ำและธาตุอาหารเพื่อการเติบโต (Das and Chaturvedi, 2008) ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาการกระจายของรากขนาดเล็กและรากขนาดใหญ่ในรูปของมวลชีวภาพและพื้นที่หน้าตัดของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ที่ปลูกบนคันทนาในท้องที่จังหวัดฉะเชิงเทรา

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการในแปลงทดสอบสายต้นยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา ตั้งอยู่ที่บ้านหนองกาใน ตำบลคูยงหมี อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา (เส้นรุ้งที่ 13° 38' 8.04" N, เส้นแวงที่ 101° 31' 26.88" E) ในการทดลองนี้สายต้น (clone) ยูคาลิปตัสที่ใช้มีจำนวนทั้งสิ้น 4 สายต้น คือ K51, K59, K7 และ K58 โดยปลูกบนคันนาแถวเดียวด้วยระยะห่างระหว่างต้น 1.0 เมตร ทำการศึกษาการกระจายของรากขนาดเล็ก (< 2 มิลลิเมตร) และรากขนาดใหญ่ (> 2 มิลลิเมตร) เมื่อต้นไม่มีอายุ 1 ปี 6 เดือน และ 3 ปี 6 เดือน

การศึกษาการกระจายของรากขนาดเล็ก

ในการศึกษาการกระจายของรากขนาดเล็ก (< 2 มิลลิเมตร) (McClagherty *et al.*, 1982; Jackson *et al.*, 1997; Makkonen and Helmsaari, 1998; Vanninen and Mäkelä, 1999; Müller and Wagner, 2003) ของไม้ยูคาลิปตัสที่ปลูกบนคันนา ทำการเก็บตัวอย่างรากโดยเลือกต้นไม้ 3 ต้น แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออกเฉลี่ยของหมู่ไม้ทั้งแปลง โดยแบ่งเป็นไม้ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ทำการเก็บตัวอย่างราก โดยขุดหลุมเป็นชั้นๆ ละ 10 เซนติเมตร หลุมมีขนาดเท่ากับ 100x50 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินที่มีรากขนาดเล็กทั้งหมดซึ่งอยู่ในชั้นเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างดินที่เก็บมาล้างน้ำ เพื่อกำจัดดินออก และเก็บรากขนาดเล็กไว้ โดยแยกตามขนาดของต้นไม้ และตามระดับความลึกที่เก็บ แล้วนำตัวอย่างรากที่ล้างแล้วไปอบ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาแยกชั่งน้ำหนักแห้ง โดยชั่งตามขนาดของต้นไม้ และระดับความลึก ทำการบันทึกข้อมูลที่ได้ เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณและวิเคราะห์หามวลชีวภาพและสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดเล็กต่อไป

การศึกษาการกระจายของรากขนาดใหญ่

ในการศึกษาการกระจายของรากขนาดใหญ่ (> 2 มิลลิเมตร) (Pronk *et al.*, 2002; Gautam *et al.*, 2003) ใช้วิธีการขุดหลุมเพลาะ (trench) (Böhm, 1979; van Noordwijk *et al.*, 2000; Achat *et al.*, 2008) จุดเดียวกับที่ทำการศึกษาขนาดเล็ก โดยหลุมที่ขุดมีลักษณะคล้ายหลุมในการศึกษาหน้าตัดดิน ซึ่งทำการขุดจนกว่าไม่พบรากขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ ทำการขุดหลุมกว้างประมาณ 100 เซนติเมตร ตามขนาดความกว้างของคันนา สำหรับความยาวของหลุมนั้น ต้องขุดให้ยาวพอที่จะสามารถลงไปนับ และวัดขนาดของรากได้ เมื่อทำการขุดหลุมเสร็จแล้ว จะต้องทำการแต่งหน้าดินในด้านที่ต้องการทำการศึกษาให้เรียบเพื่อทำการตกริด (grid) และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรากได้ จากนั้นจึงทำการตกริดขนาด 10x10 เซนติเมตรทุกๆ ระดับความลึก ตั้งแต่ที่ผิวดินด้านบนจนถึงระดับที่ไม่พบการกระจายของราก ทำการนับและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรากขนาดใหญ่ ตามระดับชั้นความลึก บันทึกข้อมูลที่วัดได้ เพื่อนำค่าที่ได้มาคำนวณพื้นที่หน้าตัดและสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่ต่อไป ส่วนมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการเดียวกับการศึกษามวลชีวภาพของรากขนาดเล็กและในจุดเดียวกัน

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กและรากขนาดใหญ่ตลอดจนพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่กับระดับความลึกของดินในยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ ในแต่ละช่วงอายุ ตลอดจนเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กและรากขนาดใหญ่ระหว่าง 2 ช่วงอายุ โดยใช้ค่าสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลและวิจารณ์

การกระจายของรากขนาดเล็ก

มวลชีวภาพของรากขนาดเล็กของยูคาลิปตัส สายต้นต่างๆ จำนวน 4 สายต้น ได้แก่ K7, K51, K58 และ K59 อายุ 1 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กมากที่สุด เท่ากับ 159.98 กรัม ต่อตารางเมตร รองลงมาคือ สายต้น K7, K59 และ K51 เท่ากับ 116.59, 77.69 และ 43.96 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ เช่นเดียวกับอายุ 3 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กมากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K7, K59 และ K51 มีค่าเท่ากับ 786.73, 469.29, 292.46 และ 166.96 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดเล็กของ ยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จำนวน 4 สายต้น เมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K7, K59 และ K51 มีการกระจายของรากขนาดเล็กอยู่ในช่วง 0-30 เซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 94.09, 90.72 และ 83.19 ตามลำดับ ส่วน สายต้น K58 มีการกระจายอยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 100 ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K7, K59 และ K51 มีการกระจายของรากขนาดเล็กหนาแน่นอยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร คิดเป็น ร้อยละ 94.54, 100 และ 100 ตามลำดับ ส่วนสายต้น K58 พบกระจายเฉลี่ยในช่วง 60 เซนติเมตรแรก คิดเป็น ร้อยละ 100 ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นได้ว่า มวลชีวภาพของรากขนาดเล็กจะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น และเมื่อไม่มีอายุมากขึ้นมวลชีวภาพของรากขนาดเล็ก จะเพิ่มขึ้นในทุกสายต้น

แต่อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กของสายต้นต่างๆ มีความแตกต่างกันตามช่วงอายุในแต่ละระดับความลึกของดิน โดยพบว่า สายต้น K58 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ระหว่างมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กในแต่ละระดับความลึกของดินระหว่าง 2 ช่วงอายุ ยกเว้นที่ระดับ

ความลึก 10-20 เซนติเมตรที่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่สายต้น K7 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ที่ระดับความลึก 20-30 และ 40-50 เซนติเมตร ส่วนสายต้น K51 ไม่พบความแตกต่างของมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กในแต่ละระดับความลึกของดินระหว่าง 2 ช่วงอายุ และสายต้น K59 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ที่ระดับความลึก 20-30 และ 40-50 เซนติเมตร ในขณะที่ระดับความลึกอื่นๆ พบความแตกต่าง ($p < 0.05$) ระหว่างมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กในแต่ละระดับความลึกของดินระหว่าง 2 ช่วงอายุ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสายต้นต่างๆ ในแต่ละระดับความลึกในแต่ละช่วงอายุ พบว่า สายต้น K59 มีความแตกต่างของมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กในแต่ละระดับความลึกของทั้งสองช่วงอายุ ในขณะที่สายต้น K7 และ K51 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กในแต่ละระดับความลึกเมื่อไม่มีอายุ 1 ปี 6 เดือน ส่วนอายุ 3 ปี 6 เดือน ไม่พบความแตกต่างในทางตรงกันข้ามสายต้น K58 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กในแต่ละระดับความลึกเมื่อไม่มีอายุ 3 ปี 6 เดือน ส่วนอายุ 1 ปี 6 เดือน ไม่พบความแตกต่างในแต่ละระดับความลึก (Table 1)

จากการศึกษาพบว่า การกระจายของรากขนาดเล็กของสายต้นต่างๆ ที่ปลูกบนคันนา มีการกระจายหนาแน่นอยู่ในช่วง 0-30 เซนติเมตรเมื่อไม่มีอายุน้อย แต่เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นรากขนาดเล็กจะกระจายตัวลึกลงไปในช่วง 0-50 เซนติเมตร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในป่าเขตร้อนมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กจะพบอยู่บริเวณบนผิวดินหรือลึกลงไปไม่มากนัก (Stark and Spratt, 1977) โดย Sundarapandian and Swamy (1996) รายงานว่า มวลชีวภาพและผลผลิตของรากในระบบนิเวศป่าเขตร้อนของอินเดีย มีค่าอยู่ 3.9-42.4 ตันต่อ

เฮกเตอร์ โดยมีการกระจายอยู่บริเวณผิวดินชั้นๆ ซึ่งการที่รากขนาดเล็กกระจายอย่างหนาแน่นบริเวณผิวดินในป่าเนื่องด้วยบริเวณนี้มีปริมาณของธาตุอาหารและความชื้นที่มากกว่าดินชั้นล่างๆ (Ford and Deans, 1977) การกระจายของรากขนาดเล็ก (< 2 มิลลิเมตร) ที่ปรากฏในระดับความลึกต่างกัมนั้น เนื่องมาจากลักษณะทางพันธุกรรม นอกจากนี้ชั้นดินของดิน ความชื้น ความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร อินทรีย์วัตถุในดิน และการจัดการดินก็มีผลเช่นเดียวกัน (Huck, 1983; Myers *et al.*, 1994; Lopez *et al.*, 2001; Espeleta and Donovan, 2002; Fujimaki *et al.*, 2004) แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้การกระจายของรากขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดิน (Usman *et al.*, 1999; Pregitzer *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2004) โดยพบว่า บริเวณทั้ง 2 ด้านของคันทาจะมีรากขนาดเล็กกระจายตัวออกมาจากดินให้เห็นเป็นจำนวนมาก แต่รากขนาดเล็กเหล่านี้ไม่มีผลต่อผลผลิตของข้าว เนื่องจากเมื่อถึงฤดูกลุกลเพาะปลูก รากเหล่านี้ก็จะโดนตัดออกจากการเตรียมพื้นที่บริเวณคันทาเพื่อปลูกข้าวต่อไป

การกระจายของรากขนาดใหญ่

มวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่

มวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จำนวน 4 สายต้น ได้แก่ K7, K51, K58 และ K59 อายุ 1 ปี 6 เดือน และ 3 ปี 6 เดือน ดังแสดงใน Table 2 พบว่า เมื่อไม่มีอายุมากขึ้นมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นในทุกสายต้น โดยเมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่มากที่สุด เท่ากับ 703.59 กรัมต่อตารางเมตร รองลงมาคือ สายต้น K59 K51 และ K7 เท่ากับ 519.78, 514.49 และ 451.61 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่มากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น

K7, K59 และ K51 มีค่าเท่ากับ 1,319.81, 1,248.09, 838.93 และ 688.06 กรัม/ตารางเมตร ตามลำดับ

ร้อยละของสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่ของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จำนวน 4 สายต้น อายุ 1 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K58, K51 และ K7 มีการกระจายของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ทั้งสามสายต้น ตามลำดับ ในขณะที่สายต้น K59 พบการกระจายในช่วง 0-60 เซนติเมตร แต่หนาแน่นในช่วง 0-50 เซนติเมตร โดยในช่วง 30-40 เซนติเมตรมีค่าน้อยกว่าระดับความลึกอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 92.34 คล้ายคลึงกับอายุ 3 ปี 6 เดือน ที่พบว่า สายต้น K58 และ K59 มีการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-50 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 90.53 และ 100 ตามลำดับ ส่วนสายต้น K7 มีการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-60 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ในขณะที่สายต้น K51 พบการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-70 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ในช่วง 20-30 และ 40-50 เซนติเมตร ร้อยละของสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่มีค่าน้อยกว่าในระดับความลึกอื่นๆ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความแตกต่างของมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ของสายต้นต่างๆ มีความแตกต่างกันตามช่วงอายุในแต่ละระดับความลึกของดิน โดยพบว่า สายต้น K58 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระหว่างมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร ระหว่าง 2 ช่วงอายุ ส่วนสายต้น K7 พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่ระดับความลึก 20-30 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนสายต้น K59 และ K51 ไม่พบความแตกต่างของมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ระหว่าง 2 ช่วงอายุในแต่ละระดับความลึก เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสายต้นต่างๆ ในแต่ละระดับความลึกตามช่วงอายุต่างๆ พบว่า สายต้น K58 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของมวลชีวภาพของราก

Table 1 Vertical distribution of fine (< 2 mm) root biomass of four eucalypt clones at 1.5 and 3.5 years of age at Sanam Chai Khet district, Chachoengsao province.

Soil Depth (cm)	Fine (< 2 mm) root biomass (g/m ³)											
	K7		K51		K58		K59		K58		K59	
	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5
0-10	60.15±18.89 (51.60) a	110.32±28.36 (23.51) a	23.34±12.01 (53.09) a	43.89±38.67 (26.29) a	34.57±16.47 (21.61) a	182.38±41.16 (23.18) a	39.67±13.10 (51.06) a	98.10±23.14 (33.54) a				
10-20	37.03±12.54 (31.76) a	94.37±63.51 (20.11) a	8.75±8.98 (19.91) b	33.09±26.10 (19.82) a	33.23±18.59 (20.77) a	143.65±49.69 (18.26) ab	21.51±3.38 (27.69) b	62.93±21.15 (21.52) b				
20-30	12.51±2.21 (10.73) b	95.89±21.51 (20.43) a	4.48±2.60 (10.19) b	31.11±23.92 (18.63) a	36.89±15.53 (23.06) a	141.99±17.83 (18.05) ab	9.30±4.33 (11.97) bc	58.46±13.09 (19.99) b				
30-40	4.21±0.41 (3.60) b	55.18±38.09 (11.76) a	3.69±0.86 (8.39) b	29.55±11.17 (17.70) a	34.63±19.96 (21.64) a	131.56±20.59 (16.72) ab	4.32±2.06 (5.56) c	40.40±13.48 (13.81) b				
40-50	2.69±0.64 (2.31) b	87.89±7.17 (18.73) a	3.70* (8.42)	29.32±21.52 (17.56) a	20.67±2.58 (12.92) a	99.05±6.54 (12.59) b	2.89±0.49 (3.72) c	32.57±2.56 (11.14) b				
50-60	-	25.64* (5.46)	-	-	-	88.10±21.73 (11.20) b	-	-				
Total	116.59±24.97 (100)	469.29±39.91 (100)	43.96±10.50 (100)	166.96±22.59 (100)	159.98±14.70 (100)	786.73±40.72 (100)	77.69±15.65 (100)	292.46±27.32 (100)				

Remark: 1. Mean±SD followed by the same letters within a column are not significantly different by DMRT at p<0.05
 2. Values in parentheses represent the percentage of relative abundance of fine root biomass
 3. *n = 1

Table 2 Vertical distribution of coarse (> 2 mm) root biomass of four eucalypt clones at 1.5 and 3.5 years of age at Sanam Chai Khet district, Chachoengsao province.

Soil Depth (cm)	Coarse (> 2 mm) root biomass (g/m ³)							
	K7		K51		K59			
	1.5	3.5	1.5	3.5	1.5	3.5		
0-10	160.41±14.76 (35.52) a	224.03±16.41 (17.95) a	147.40±32.70 (28.65) a	102.89±61.49 (14.96) a	177.81±14.54 (25.27) a	201.99±45.89 (15.31) ab	139.13±57.93 (26.77) a	189.27±66.94 (22.56) a
10-20	119.98±55.87 (26.57) ab	190.79±46.95 (15.29) a	118.79±69.93 (23.09) a	113.98±55.65 (16.57) a	158.55±26.90 (22.53) a	321.63±174.46 (24.37) a	127.78±31.55 (24.58) a	144.27±58.32 (17.20) a
20-30	61.27±56.14 (13.57) bc	191.80±45.59 (15.37) a	72.42±65.48 (14.08) a	25.95±4.76 (3.77) a	142.76±14.79 (20.29) a	245.60±46.32 (18.61) ab	94.29±82.43 (18.14) a	169.75±101.77 (20.23) a
30-40	2.54±1.19 (0.56) c	146.45±97.33 (11.73) a	87.98±92.24 (17.10) a	99.65±61.94 (14.48) a	150.63±41.13 (21.41) a	207.39±40.45 (15.71) ab	44.68±51.45 (8.59) a	159.83±89.17 (19.05) a
40-50	107.41±1.51 (23.78) ab	266.98±58.04 (21.39) a	87.90* (17.08)	39.73±7.14 (5.77) a	73.84±55.38 (10.50) b	218.19±84.33 (16.53) ab	74.10±23.36 (14.26) a	175.82±125.54 (20.96) a
50-60	-	228.04* (18.27)	-	158.96* (23.10)	-	125.01±52.30 (9.47) b	39.80±46.81 (7.66) a	-
60-70	-	-	-	146.90* (21.35)	-	-	-	-
Total	451.61±63.58 (100)	1,248.09±60.91 (100)	514.49±59.54 (100)	688.06±57.35 (100)	703.59±46.78 (100)	1,319.81±95.12 (100)	519.78±59.00 (100)	838.93±78.99 (100)

Remark: 1. Mean±SD followed by the same letters within a column are not significantly different by DMRT at p<0.05
 2. Values in parentheses represent the percentage of relative abundance of coarse root biomass
 3. *n = 1

ขนาดใหญ่ในแต่ละระดับความลึกของทั้ง 2 ช่วงอายุ ในขณะที่สายต้น K7 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ในแต่ละระดับความลึกเมื่อไม่มีอายุ 1 ปี 6 เดือนเท่านั้น ส่วนสายต้น K51 และ K59 ไม่พบความแตกต่างของมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ในแต่ละระดับความลึกของทั้งสองช่วงอายุ

พื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่

การกระจายของพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จำนวน 4 สายต้น ได้แก่ K7, K51, K58 และ K59 อายุ 1 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K58 พื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่มากที่สุด รองลงมาคือ K59, K51 และ K7 ตามลำดับ เมื่ออายุ 3 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K51 มีพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่มากที่สุด รองลงมาคือ K58, K59 และ K7 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า สายต้น K7 มีพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสายต้นอื่นๆ ที่ปลูกพร้อมกัน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน พบว่า ทั้ง 4 สายต้น มีการกระจายของพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 20 เซนติเมตรแรก โดยสายต้น K58 มีพื้นที่เท่ากับ 728.6 ตารางเซนติเมตรต่อตารางเมตร รองลงมาคือ สายต้น K51, K59 และ K7 มีพื้นที่เท่ากับ 565.8, 462.5 และ 403.1 ตารางเซนติเมตรต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน มีการกระจายแตกต่างกันไปตามสายต้นต่างๆ ดังนี้ K51 มีการกระจายสม่ำเสมออยู่ในช่วง 70 เซนติเมตรแรก เท่ากับ 1,151.4 ตารางเซนติเมตร/ตารางเมตร สายต้น K58 มีการกระจายอยู่ในช่วง 0-20 เซนติเมตรแรก เท่ากับ 810.8 ตารางเซนติเมตร/ตารางเมตร สายต้น K7 มีการกระจายอยู่ในช่วง 0-30 เซนติเมตรแรก เท่ากับ 545.8 ตารางเซนติเมตรต่อตารางเมตร ในขณะที่สายต้น K59 มีการกระจายอยู่ในช่วง 40 เซนติเมตรแรก มีค่าเท่ากับ 841.5 ตารางเซนติเมตร/ตารางเมตร (Figure 1A, B) โดยพบว่า

การกระจายของพื้นที่ของรากขนาดใหญ่มีแนวโน้มของการกระจายลดลงตามระดับความลึก แต่อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ของสายต้นต่างๆ มีความแตกต่างกันตามช่วงอายุในแต่ละระดับความลึกของดิน ยกเว้น สายต้น K58 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ในระดับความลึก 40-50 เซนติเมตรเท่านั้น เมื่อพิจารณาความแตกต่างของสายต้นต่างๆ ในแต่ละระดับความลึกในแต่ละช่วงอายุ พบว่าทุกสายต้น ไม่มีความแตกต่างของร้อยละของสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่ในทุกระดับความลึกและทุกช่วงอายุ ยกเว้น สายต้น K58 ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ในแต่ละระดับความลึกของทั้ง 2 ช่วงอายุ

เมื่อพิจารณาถึงร้อยละของสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่ของยูคาลิปตัสสายต้นต่างๆ จำนวน 4 สายต้น เมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน และ 3 ปี 6 เดือน พบว่า สายต้น K58 มีการกระจายของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 0-60 เซนติเมตร โดยพบหนาแน่นในระดับความลึก 0-20 เซนติเมตรทั้งสองช่วงอายุ ในขณะที่สายต้น K7 อายุ 1 ปี 6 เดือน พบการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-20 เซนติเมตร ซึ่งต่างจากอายุ 3 ปี 6 เดือน ที่พบการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-30 เซนติเมตร สายต้น K51 เมื่อไม่มีอายุ 1 ปี 6 เดือน มีการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-20 เซนติเมตรเช่นกัน ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน พบการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-70 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ในช่วงความลึกของดิน 10-20, 40-50 และ 60-70 เซนติเมตร สัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่มีเปอร์เซ็นต์ที่น้อยกว่าในระดับความลึกอื่นๆ และสายต้น K59 อายุ 1 ปี 6 เดือน มีร้อยละของสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่หนาแน่นที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน มีร้อยละของสัดส่วนสัมพัทธ์ของรากขนาดใหญ่หนาแน่นกระจายในช่วง 0-40 เซนติเมตร (Figure 2) จากลักษณะ

การกระจายของรากขนาดใหญ่ดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่า สายต้น K58, K7 และ K59 มีระบบรากตื้น เนื่องจากพบการกระจายอยู่ในดินชั้นบนเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่สายต้น K51 มีระบบรากลึก เนื่องจากมีการกระจาย

ของรากขนาดใหญ่ทั้งดินบนและดินล่างแต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการปลูกยูคาลิปตัสบนคันทนา ซึ่งอาจทำให้รูปแบบการกระจายของรากผิดไปจากการปลูกบนพื้นที่ราบในรูปแบบของสวนป่า

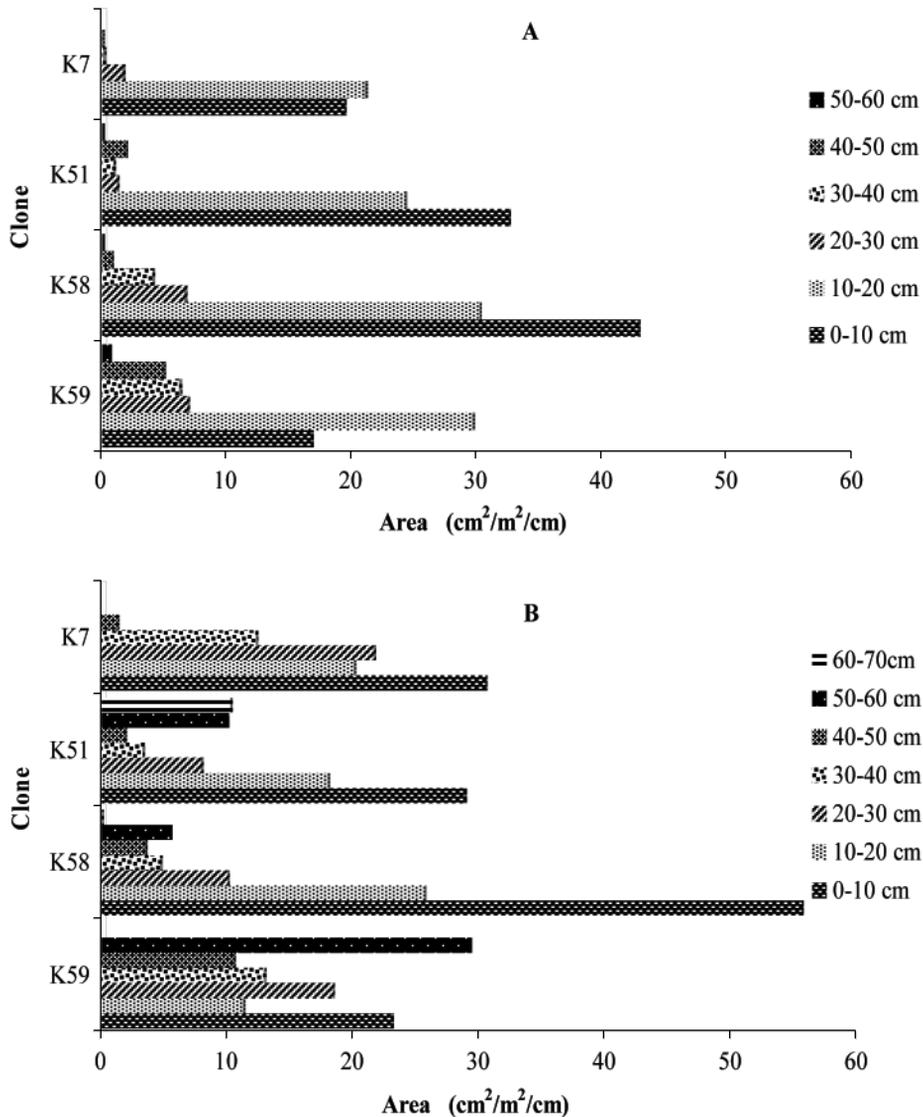


Figure 1 Vertical distribution of coarse root area of four eucalypt clones at 1.5 years of age (A) and 3.5 years of age (B) in various soil depths at Sanam Chai Khet district, Chachoengsao province.

จากการศึกษาการกระจายของรากขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง > 2 มิลลิเมตร) ของยูคาลิปตัส สายต้นต่างๆ ทั้งในรูปของมวลชีวภาพและพื้นที่หน้าตัด พบว่า มวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นตามอายุ ขนาดของต้นไม้ สายพันธุ์ การปฏิบัติต่อต้นไม้ และ ลักษณะของพื้นที่ ทำให้ไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เพียงอกใหญ่มีมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่ด้วย เช่นกัน (Resh *et al.*, 2003) โดยรากขนาดใหญ่จะมีปริมาณ ที่ลดลงตามระดับความลึก ซึ่งพบว่า มากกว่าร้อยละ 70 พบหนาแน่นบริเวณ 50 เซนติเมตรแรก ซึ่งสอดคล้อง กับการศึกษาในไม้ชนิดต่างๆ (Kummerow and Mangan, 1981; Jackson *et al.*, 1996; Schulze *et al.*, 1996; Millikin and Bledsoe, 1999) โดย Resh *et al.* (2003) ประมาณ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิทั้งหมดของสวนป่า *Eucalyptus*

globulus และ *Eucalyptus nitens* มีค่าประมาณ 4.4 และ 3.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี โดยมวลชีวภาพ ของรากขนาดใหญ่ อยู่ระหว่างร้อยละ 10-22 ของผลผลิต ขั้นปฐมภูมิสุทธินั้น แต่อย่างไรก็ตามในการศึกษารังนี้ สายต้นยูคาลิปตัสได้รับการปลูกอยู่บนคันทนา ทำให้ รูปแบบการกระจายของรากขนาดใหญ่จะพบได้ทั่วไป ในเกือบทุกระดับความลึก เนื่องจากมีพื้นที่ในการชอนไช ของรากไม่มากนัก ทำให้ยูคาลิปตัสจำเป็นต้องหยั่งราก ให้ลึกมากที่สุด เพื่อให้สามารถค้ำยันลำต้นได้ ทำให้ บางครั้งจะพบการกระจายของรากขนาดใหญ่ยื่นยาว ออกมาจากคันทนา แต่รากที่ยื่นยาวออกมานี้จะถูกตัดทิ้ง เมื่อถึงฤดูกาลเพาะปลูกข้าว โดยรากที่ถูกตัดทิ้งนี้ไม่มี ผลกระทบต่อข้าว และเมื่อย่อยสลายก็จะปลดปล่อยธาตุ อาหารออกมาให้กับต้นไม้และข้าวนำไปใช้ต่อไป

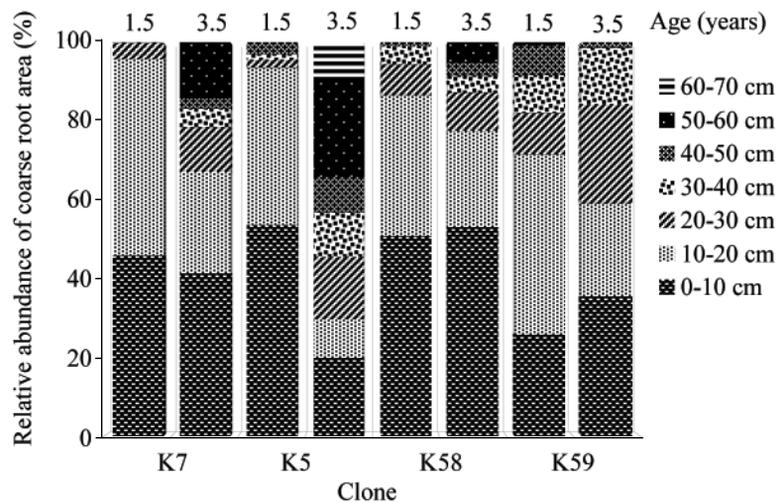


Figure 2 Relative abundance of coarse root area of four eucalypt clones at 1.5 and 3.5 years of age in various soil depths at Sanam Chai Khet district, Chachoengsao province.

สรุปและข้อเสนอแนะ

การกระจายของรากขนาดเล็ก

1. สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดเล็กมากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K7, K59 และ K51 ทั้ง 2 ช่วงอายุ

2. เมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน สายต้น K7, K59 และ K51 มีการกระจายของรากขนาดเล็กอยู่ในช่วง 0-30 เซนติเมตร ส่วนสายต้น K58 มีการกระจายอยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน สายต้น K7, K59 และ K51 มีการกระจายของรากขนาดเล็กหนาแน่นอยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร ส่วนสายต้น K58 พบกระจายเฉลี่ยในช่วง 60 เซนติเมตรแรก

3. มวลชีวภาพของรากขนาดเล็กเพิ่มขึ้นตามอายุของไม้ที่มากขึ้น แต่ลดลงตามความลึกที่เพิ่มขึ้น

การกระจายของรากขนาดใหญ่

1. เมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่มากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K59, K51 และ K7 ตามลำดับ ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน สายต้น K58 มีมวลชีวภาพของรากขนาดใหญ่มากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K7, K59 และ K51 ตามลำดับ

2. เมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน สายต้น K58 และ K7 มีการกระจายของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 0-50 เซนติเมตร ในขณะที่สายต้น K59 พบการกระจายในช่วง 0-60 และสายต้น K51 มีการกระจายของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 0-40 เซนติเมตร ซึ่งคล้ายคลึงกับเมื่ออายุ 3 ปี 6 เดือน ที่สายต้น K59, K7 และ K58 มีการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-50 เซนติเมตร แต่สายต้น K51 พบการกระจายหนาแน่นในช่วง 0-70 เซนติเมตร

3. พื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่ของทั้งสองช่วงอายุของสายต้น K51 มีพื้นที่หน้าตัดมากที่สุด รองลงมาคือ สายต้น K58, K59 และ K7 ตามลำดับ โดยเมื่ออายุ 1 ปี 6 เดือน ทั้ง 4 สายต้น มีการกระจายของพื้นที่

หน้าตัดของรากขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 20 เซนติเมตรแรก ในขณะที่อายุ 3 ปี 6 เดือน มีการกระจายแตกต่างกันไปตามสายต้น โดยสายต้น K51 มีการกระจายสม่ำเสมอในช่วง 70 เซนติเมตร ส่วนสายต้น K58 และ K7 มีการกระจายอยู่ในช่วง 0-30 เซนติเมตรแรก ในขณะที่สายต้น K59 มีการกระจายอยู่ในช่วง 40 เซนติเมตรแรก และพบว่าสายต้น K58, K7 และ K59 มีระบบรากตื้น ในขณะที่สายต้น K51 มีระบบรากลึก

4. มวลชีวภาพและพื้นที่หน้าตัดของรากขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นตามอายุของไม้และระดับความลึกของดินที่มากขึ้น

โดยสรุปจากการศึกษาการกระจายของรากขนาดเล็กและรากขนาดใหญ่ทั้งในรูปของมวลชีวภาพและพื้นที่หน้าตัด สามารถกล่าวได้ว่า การปลูกยูคาลิปตัสบนคันนาไม่มีผลกระทบต่อข้าวในด้านของรากยูคาลิปตัส แต่ยังส่งผลดีในด้านของการที่รากยูคาลิปตัสที่ถูกตัดออกระหว่างการเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวจะย่อยสลายเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและปลดปล่อยธาตุอาหารทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น

คำนิยาม

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของชุดโครงการวิจัยเรื่องการวิจัยบูรณาการแก้ปัญหาความยากจนโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ที่ดินโดยปลูกไม้โตเร็ว ซึ่งมี ดร.บุญวงศ์ ไทยอุดมทรัพย์ เป็นหัวหน้าชุดโครงการวิจัย ดร. นิคม แผลมสัก ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นผู้ประสานงานวิจัย ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้การสนับสนุนการปฏิบัติงานภาคสนามของบริษัท พี ซี เอส แมเนจเม้นท์ จำกัด บริษัทสมาชิคส่งเสริม จำกัด และบริษัทยูคาลิปตัส เทคโนโลยี จำกัด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- อำนาจ คอวนิช. 2528. **วนศาสตร์ชุมชน**. FAO และ กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- Achat, D.L., M.R. Bakker and P. Trichet. 2008. Rooting patterns and fine root biomass of *Pinus pinaster* assessed by trench wall and core methods. **J. For. Res.** 13: 165-175.
- Böhm, W. 1979. **Methods of Studying Root Systems**. Springer, Berlin Heidelberg New York.
- Cannell, M.G.R., M. van Noordwijk and C.K. Ong. 1996. The central agroforestry hypothesis: The tree must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. **Agrofor. Syst.** 34: 27-31.
- Chen, X., D. Eamus and L.B. Hutley. 2004. Seasonal patterns of fine root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. Short Communication **J. Tropic. Ecol.** 20: 221-224.
- Das, D.K. and O.P. Chaturvedi. 2008. Root biomass and distribution of five agroforestry tree species. **Agrofor. Syst.** 74: 223-230.
- Dhyani, S.K. and R.S. Tripathi. 2000. Biomass and production of fine and coarse roots of trees under agrisilvicultural practices in north-east India. **Agrofor. Syst.** 50: 107-121.
- Espeleta, J.F. and L.A. Donovan. 2002. Fine root demography and morphology in response to soil resource availability among xeric and mesic sand hill tree species. **Funct. Ecol.** 16: 113-121.
- Ford, E.D. and J.D. Deans. 1977. Growth of a sitka spruce plantation: Spatial distribution and seasonal fluctuations of lengths, weights and carbohydrate concentrations of fine roots. **Plant Soil** 47: 463-485.
- Fujimaki, R., R. Tateno, M. Hirobe, N. Tokuchi and H. Takeda. 2004. Fine root mass in relation to soil N supply in a cool temperate forest. **Ecol. Res.** 19: 559-562.
- Gautam, M.K., D.J. Mead, P.W. Clinton and S.X. Chang. 2003. Biomass and morphology of *Pinus radiata* coarse root components in a sub-humid temperate silvopastoral system. **For. Ecol. Manage.** 177: 387-397.
- Huck, M.G. 1983. Root distribution, growth and activity with reference to agroforestry, pp. 527-542. In P.A. Huxley, ed. **Plant Research and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi.
- Jackson, R.B., J. Canadell, J.R. Ehleringer, H.A. Mooney, O.E. Sala and E.D. Schulze. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Oecologia** 108: 389-411.
- Jackson, R.B., H.A. Mooney and E.-D. Schulze. 1997. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 94: 7362-7366.
- Kummerow, J. and R. Mangan. 1981. Root systems in *Quercus dumosa* Nutt. Dominated chaparral in southern California. **Acta Oecol.** 2: 177-188.
- Lopez, B., S. Sabat and C. Garcia. 2001. Annual and seasonal changes in fine root biomass of a *Quercus ilex* L. forest. **Plant Soil** 230: 125-134.
- Makkonen, K. and H.S. Helmisaari. 1998. Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in Scots pine *Pinus sylvestris* L. stand. **For. Ecol. Manage.** 102: 283-290.

- McClaugherty, C.A., J.D. Aber and J.M. Melillo. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forest ecosystems. **Ecol.** 63: 1481-1490.
- Millikin, C.S. and C.S. Bledsoe. 1999. Biomass and distribution of fine and coarse roots from blue oak (*Quercus douglasii*) trees in the northern Sierra Nevada foothills of California. **Plant Soil** 214: 27-38.
- Müller, K.H. and S. Wagner. 2003. Fine root dynamics in gaps of Norway spruce stands in the German Ore Mountains. **For.** 76 (2): 149-158.
- Myers, R.J.K., C.A. Palm, E. Cuevas, I.U.N. Gunatilleke and M. Brossard. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand, pp. 81-116. In P.L. Woomer and M.J. Swift, eds. **TSBF**. A Wiley-Sayce Publications, New York.
- Ong, C.K. and C.R. Black. 1995. Complementarity in resource use in agroforestry systems, pp. 73-89. In B.T. Kang, A.O. Osiname and A. Larbi, eds. **Alley Farming-Research and Development**. IITA, Ibadab, Nigeria.
- Pregitzer, K.S., J.S. King and A.J. Burton. 2000. Response of tree fine root to temperature. **New Phytol.** 147: 105-115.
- Pronk, A.A., P. De Willigen, E. Heuvelink and H. Challa. 2002. Development of fine and coarse roots of *Thuja occidentalis* 'Brabant' in non-irrigated and drip irrigated field plots. **Plant Soil** 243: 161-171.
- Resh, S.C., M. Battaglia and D. Worledge. 2003. Coarse root biomass for eucalypt plantations in Tasmania, Australia: source of variation and methods for assessment. **Trees** 17: 389-399.
- Schroth, G. 1995. Tree root characteristics as criteria for species selection and system design in agroforestry. **Agrofor. Syst.** 30: 125-143.
- Schulze, E.D., H.A. Mooney, O.E. Sala, E. Jobbagy, N. Buchmann, G. Bauer, J. Canadell, R.B. Jackson, J. Oreti, M. Oesterheld and J.R. Ehleringer. 1996. Rooting depth, water availability and vegetation cover along an aridity gradient in Patagonia. **Oecologia** 108: 503-511.
- Stark, N. and M. Spratt. 1977. Root biomass and nutrient storage in rain forest Oxisols near San Carlos de Rio Negro. **Trop. Ecol.** 18: 1-9.
- Sundarapandian, S.M. and P.S. Swamy. 1996. Fine root biomass distribution and productivity patterns under open and closed canopies of tropical forest ecosystems at Kodayar in Western Ghats, South India. **For. Ecol. Manage.** 86: 181-192.
- Usman, S., S.P. Singh and Y.S. Rawat. 1999. Fine root productivity and turnover in two evergreen central Himalayan forests. **Ann. Bot.** 84: 87-94.
- van Noordwijk, M., G. Brouwer, F. Meijboom, M. do Rosário G. Oliveira and A.G. Bengough. 2000. Trench profile techniques and core break methods, pp. 211-233. In A.L. Smit, A.G. Bengough, C. Engels, M. van Noordwijk, S. Pellerin and S.C. van de Geijn, eds. **Root Methods: A Handbook**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Vanninen, P. and A. Mäkelä. 1999. Fine root biomass of Scots pine stand differing in age and soil fertility in southern Finland. **Tree Physiol.** 19: 823-830.