

การเจริญเติบโตและพัฒนาการขึ้นใหม่ของรากยางพาราหลังการฝังท่อมินิไรโซตรอน

Growth Recovery of Fine Roots in Rubber Tree (*Hevea brasiliensis*)

After Installation of Minirhizotron

สยมพล ณะวงษ์¹ เจษฎา โสภารัตน์² และสายันท์ สดุดี^{3*}

Sayumphon Nawong¹, Jessada Sopharat² and Sayan Sdoodee^{3*}

บทคัดย่อ

การศึกษากการเจริญเติบโต และพัฒนาการขึ้นใหม่ของรากยางพารา หลังการฝังท่อมินิไรโซตรอน ขนาดความยาว 100 และ 150 เซนติเมตร ด้วยวิธีการขุดฝังที่แตกต่างกัน ในแปลงยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 10 ปีซึ่งยังไม่เปิดกรีด และการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของรากฝอยด้วยสมการแบบ Logistic growth เพื่อประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมในการศึกษากการเจริญเติบโตใหม่ของรากยางพาราด้วยเทคนิคมินิไรโซตรอน พบว่า ในท่อ 100 และ 150 เซนติเมตร รากฝอยของยางพาราใช้ระยะเวลาในการฟื้นคืนกลับสู่สภาวะที่การเจริญเติบโตมีค่าคงที่ ประมาณ 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ และการงอกใหม่ของรากฝอยของยางพารา มีค่าความหนาแน่นของรากสูงสุดหลังจากฝังท่อไปแล้วประมาณ 32 และ 72 วัน ตามลำดับ ดังนั้น การฝังท่อมินิไรโซตรอนเพื่อศึกษาพลวัตของรากฝอยของยางพารา จึงควรเว้นระยะเวลายาวอย่างน้อยประมาณ 3 เดือน ก่อนการศึกษา เพื่อให้รากกลับคืนสภาพใกล้เคียงก่อนการขุดหลุมฝังท่อ

คำสำคัญ: ยางพารา มินิไรโซตรอน การเจริญเติบโตแบบลอจิสติก

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ รศ., ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

* Corresponding author: sayan.s@psu.ac.th

Abstract

The minirhizotron tubes were installed in a rubber plantation (10 year-old: clone RRIM 600) with 100 and 150 cm long tubes. The major concern was spent by installation methods: hand auger and open trench in 100 and 150 cm long tubes, respectively. Recovery of fine roots was observed with Minirhizotron technique, and analyzed with logistic growth curve. The results showed that fine roots in 100 and 150 cm long tubes were spent around 2 and 3 months to recover till steady state, respectively. And the maximum increasing rate was around 32 and 72 days after installation, respectively. Therefore, it is suggested that the study of fine root dynamics with Minirhizotron in rubber plantations should be started at 3 months after installations.

Keywords: *Hevea brasiliensis*, Minirhizotron, Logistic Growth

บทนำ

การศึกษารากฝอยของพืชด้วยเทคนิคมินิไรโซตรอน (Minirhizotron) [1-3] เป็นการศึกษารากของพืชด้วยการใช้อุปกรณ์บันทึกภาพ เช่น กล้องบันทึกภาพขนาดเล็ก หรือสแกนเนอร์ บันทึกภาพรากของพืชผ่านทางท่อหรือวัสดุโปร่งใสที่ฝังไว้ในดินบริเวณเขตราก ภาพที่บันทึกได้จะถูกประเมินด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความยาวและขนาด เทคนิคมินิไรโซตรอนเป็นวิธีการศึกษาติดตามรากขนาดเล็กของพืชที่ไม่ทำลายรากของพืช และสามารถศึกษาซ้ำได้ในจุดเดิม Johnson และคณะ [3] แนะนำว่าหลังจากการฝังท่อลงไป在地ควรรอเป็นระยะเวลาประมาณ 6-12 เดือน ก่อนการเก็บข้อมูล เพื่อให้รากของพืชฟื้นคืนกลับมา โดยการติดตั้งท่อมินิไรโซตรอนนิยมติดตั้งที่ 45 องศาแนวนระดับ ซึ่งจะให้การประเมินการกระจายของรากได้ดีที่สุด [4]

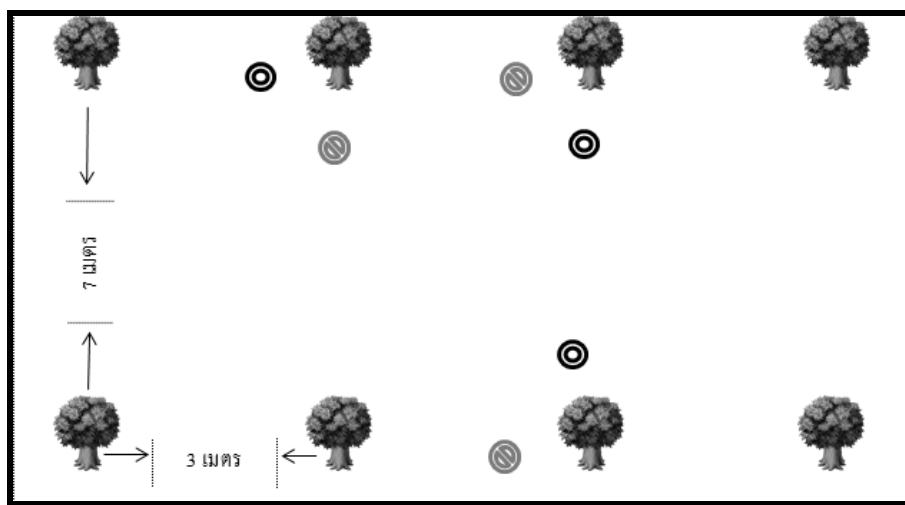
ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่มีรากแก้ว หยั่งลึกลงไปในดิน มีรากแขนง และรากฝอยแผ่กระจายทั่วไป ทำหน้าที่หลักในการดูดน้ำ และธาตุอาหารจากดิน เพื่อส่งไปใช้ในกระบวนการต่างๆ [5] การศึกษาของ Gonkhamdee และคณะ [6] ด้วยเทคนิค Root Window พบว่า รากฝอยของยางพาราเจริญเติบโตสูงสุดที่ระดับความลึกไม่เกิน 150 เซนติเมตร จากผิวดิน การแตกใหม่ของรากดังกล่าวเกิดมากที่สุดในระหว่างเดือนพฤษภาคมและมิถุนายนซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Chairungsee และคณะ [7] ที่พบว่า รากฝอยของยางพาราจะถูกกระตุ้นแตกใหม่อย่างรวดเร็วเมื่อได้รับฝนครั้งแรกหลังการแตกใบใหม่ในช่วงฤดูแล้ง อย่างไรก็ตามแม้จะมีรายงานการศึกษารากฝอยของยางพารา แต่ยังไม่มีความชัดเจนเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงรากฝอยของยางพารา จะมีความสัมพันธ์กับชีวจักร (Phenology) ในรอบปีของทรงพุ่ม [8] รวมถึงผลผลิต และการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์สะสมในลำต้น [9-10] การศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงของรากฝอยของยางพาราในระยะเวลาต่างๆ ด้วยเทคนิค

มินิไรโซทรอน ตั้งแต่ก่อนเปิดกรีด และหลังการเปิดกรีดของยางพาราจึงมีความสำคัญในการทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของส่วนที่อยู่บนดินและส่วนที่อยู่ใต้ดิน ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการจัดการระบบกรีดและการให้ปุ๋ยในอนาคต

การศึกษารากฝอยของยางพาราด้วยเทคนิคมินิไรโซทรอน จำเป็นต้องมีการขุดหลุมเพื่อฝังท่อโปร่งใสทำให้ในช่วงแรกของการติดตั้งอุปกรณ์ รากของยางพาราจะได้รับความเสียหาย การบันทึกการเจริญเติบโตของราก โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มกระบวนการฝังท่อโปร่งใส จนกระทั่งรากเจริญขึ้นใหม่คืนกลับมาในสภาวะที่ใกล้เคียงสภาวะปกติ จึงมีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้นของเทคนิคมินิไรโซทรอน ความรู้ดังกล่าวจะเป็นแนวทางในการนำเทคนิคมินิไรโซทรอนมาใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของรากยางพารายิ่งขึ้น การทดลองในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมในการศึกษาการเจริญเติบโตใหม่ของรากยางพาราด้วยเทคนิคมินิไรโซทรอนให้เป็นไปอย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

ระเบียบวิธีการศึกษา

ยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 10 ปี ซึ่งยังไม่เปิดกรีด ระยะปลูก 7×3 เมตร เป็นสวนยางของเกษตรกรหมู่ที่ 5 ตำบลทุ่งขี้มัน อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา พื้นที่มีสภาพดินเป็นดินทราย การทดลองศึกษาการเจริญและพัฒนาการของรากยางพาราลงจากฝังท่อมินิไรโซทรอนโดยคัดเลือกยางพาราจำนวน 3 ต้น ที่มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ใกล้เคียงกัน (50–53 เซนติเมตร) ขุดหลุมเพื่อติดตั้งท่ออะคริลิกโดยใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 103 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร แต่ละต้นมีการฝังท่อ 2 ท่อ ได้แก่ ท่อยาว 100 และ 150 เซนติเมตร ฝังท่อขนาดยาว 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ ห่างจากโคนต้น 150 เซนติเมตร และท่อ 150 เซนติเมตร ทำมุม 60 องศา กับแนวระดับ ห่างจากโคนต้น 150 เซนติเมตร (ภาพที่ 1) การขุดหลุมสำหรับท่อที่ยาว 150 เซนติเมตร ใช้การเปิดหน้าดินให้มีขนาด 1×1 เมตร และลึก 80 เซนติเมตร จากนั้นจึงขุดต่อด้วยเครื่องเจาะแบบมือหมุนจนถึงระดับความลึก 150 เซนติเมตร ส่วนหลุมสำหรับท่อที่ยาว 100 เซนติเมตร ใช้เฉพาะเครื่องเจาะแบบมือหมุนขุดทำมุม 45 องศา กับแนวระดับ โดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร วิธีการฝังท่อต้องนำดินที่ได้จากการขุดหลุมไปตากในที่ร่มจนแห้ง จากนั้นนำดินดังกล่าวไปคั่วให้เป็นผง หนึ่งอาทิตย์หลังจากการขุดหลุม ท่ออะคริลิกจะถูกฝังด้วยการสอดท่อลงไปในหลุมแล้วค่อยๆ กรอกดินที่ตากแล้วลงไปในหลุม เพื่อให้ดินแนบสนิทกับผิวท่อด้านนอก การศึกษารังนี้ มีการขุดหลุมเพื่อเตรียมการฝังท่อในวันที่ 23 เมษายน 2556 ดำเนินการฝังท่อในวันที่ 1 พฤษภาคม 2556 และเก็บบันทึกข้อมูลทุก 2 สัปดาห์ ระยะเวลาบันทึกภาพตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2556 ถึง 21 กันยายน 2556 โดยการบันทึกภาพรากฝอยที่ปรากฏอยู่รอบๆ ผิวท่ออะคริลิกด้วยกล้อง PSU-Minirhizotron - 1 [11] เพื่อติดตามการเจริญ และการเปลี่ยนแปลงของรากที่เกิดขึ้น หลังจากการติดตั้งท่ออะคริลิก



ภาพที่ 1 แสดงภาพจำลองตำแหน่งของต้นยางและอุปกรณ์ต่างๆ ในแปลงทดลอง



: ต้นยางพารา



: ท่ออะคริลิกที่ฝังขนาดยาว 150 เซนติเมตร ทำมุม 60 องศา



: ท่ออะคริลิกที่ฝังขนาดยาว 100 เซนติเมตร ทำมุม 45 องศา

การวิเคราะห์ข้อมูล

ภาพที่บันทึกด้วยอุปกรณ์ PSU-Minirhizotron - 1 นำมาวิเคราะห์ประเมินการเปลี่ยนแปลงความยาวของรากด้วยโปรแกรม RootFly (www.gnu.org/copyleft/gpl.html) [12] ค่าความยาวของรากถูกประเมินแบ่งตามช่องหรือ window [12] ของการบันทึกภาพ (กว้าง 52 มิลลิเมตร ลึก 50 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นภาพถ่ายบริเวณตั้งแต่ชั้นผิวดิน (window1) ถึงชั้นใต้ดินล่างสุดที่ศึกษา (window20 (ท่อ 100 cm.), 30 (ท่อ 150 cm.)) ค่าความยาวรวมของรากต่อ window ที่ได้จะมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร และนำมาคำนวณค่าความยาวรากหนาแน่นของราก ดังสมการ

ความหนาแน่นของราก (mm. mm.^{-2}) = ความยาวรากรวม (mm.) / พื้นที่ของภาพที่บันทึกภาพ (mm.^2)
 เมื่อพื้นที่ของภาพที่บันทึกได้ต่อ window เท่ากับ 2600 ตารางมิลลิเมตร ($52 \times 50 \text{ mm.}$)

ค่าความหนาแน่นของราก ที่คำนวณได้ ถูกใช้วิเคราะห์รูปแบบการพัฒนา และการกลับคืนมาของรากยางพาราหลังการติดตั้งท่อโปร่งใส โดยการพิจารณาและคัดเลือก ช่องหรือ window ของการบันทึกภาพที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา เป็นการเจริญเติบโตแบบ S-shape เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การเจริญเติบโตดังกล่าวในสมการวิเคราะห์การเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการประเมินด้วยสมการแบบ Logistic growth curve ถูกใช้ตีความเพื่อใช้เป็นสมการในการพยากรณ์ช่วงระยะเวลาการคืนสภาพของรากยางพาราหลังการติดตั้งท่อโปร่งใส

รูปแบบของสมการการเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve หรือ S-shaped growth curve [13]

$$y = \frac{K}{(1 + Ae^{-bx})}$$

เมื่อ y คือ ค่าตัวแปรตาม หรือปริมาณหรือขนาดของประชากร

x คือ ตัวแปรตั้งต้น หรือเวลา และ

K (carrying capacity) คือ ขนาดของประชากรสูงสุดหรือค่า y ที่เป็นไปได้สูงสุด ในที่นี้ คือค่าความยาวรากหนาแน่นสูงสุด

A คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการประมาณของสมการ

b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโต หรือเป็นค่าอัตลักษณ์ของการเติบโต โดยอัตราการเจริญเติบโตหรือการเปลี่ยนแปลงจะสูงที่สุดเมื่อ y มีค่าเท่ากับ $K/2$ และอัตราการเจริญเติบโตหรือเปลี่ยนแปลงสูงสุดมีค่าเท่ากับ $bK/4$ ($\text{mm. mm.}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

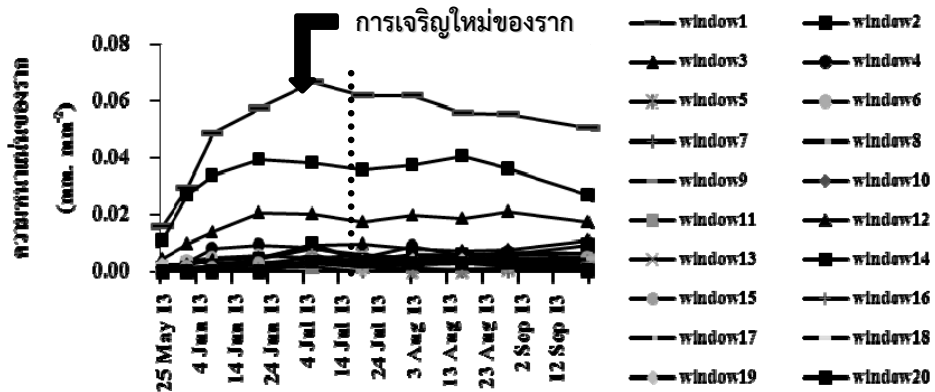
ดังนั้น อัตราการเพิ่มขึ้นของความยาวรากหนาแน่นจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อ ความยาวรากหนาแน่นสูงสุดหารด้วย 2

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

การวิเคราะห์รูปแบบการเจริญเติบโตของรากด้วยสมการแบบ Logistic growth curve โดยคัดเลือกข้อมูลรากใน window ที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของรากอย่างชัดเจน ซึ่งในท่อยาว 100 เซนติเมตรใช้ข้อมูลจาก window 1 - 4 (ความลึกประมาณ 0 - 12.5 เซนติเมตร) ซึ่งเป็นระดับความลึกที่มีความหนาแน่นของรากสูงสุดในระยะเวลาตั้งแต่ วันที่ 1 พฤษภาคม 2556 (วันที่ติดตั้งท่อโปร่งใส) จนถึงวันที่ 6 กรกฎาคม 2556 (วันที่ค่าความยาวรากหนาแน่นของทุก window เริ่มเข้าสู่ภาวะเสถียร) และในท่อยาว 150 เซนติเมตรใช้ข้อมูลจาก window 2 - 4 (ความลึกประมาณ 1.5 - 12.5 เซนติเมตร) ในระยะเวลาตั้งแต่ วันที่ 1 พฤษภาคม 2556 ซึ่งเป็นวันที่ติดตั้งท่อโปร่งใส จนถึงวันที่ 6 กรกฎาคม 2556 พบว่า รากของยางพาราในท่อยาว 100 และ 150 เซนติเมตร ใช้ระยะเวลาประมาณ 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ ในการฟื้นคืนกลับเข้าสู่สภาวะที่ค่าความยาวรากหนาแน่นมีค่าคงที่ (ภาพที่ 3 และ 5) การวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโต หรืออัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความยาวรากหนาแน่นของในท่อยาว 100 เซนติเมตร พบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความยาวรากหนาแน่นของ window1 window2 window3 และ window4 มีค่าสูงสุดหลังการฝังท่อไปแล้ว 32 29 34 และ 33 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) และในท่อยาว 150 เซนติเมตร พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความยาวรากหนาแน่นของ window2 window3 และ window4 มีค่าสูงสุด หลังการฝังท่อ 80 84 และ 53 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงว่า การศึกษาการเจริญเติบโตของรากฝอยของยางพาราด้วยเทคนิคมินิไรโซทรอน จำเป็นต้องเว้นระยะเวลาหลังการติดตั้ง 80 วัน (ประมาณ 3 เดือน) จึงค่อยทำการบันทึกข้อมูล เพื่อให้รากที่ถูกตัดขาด

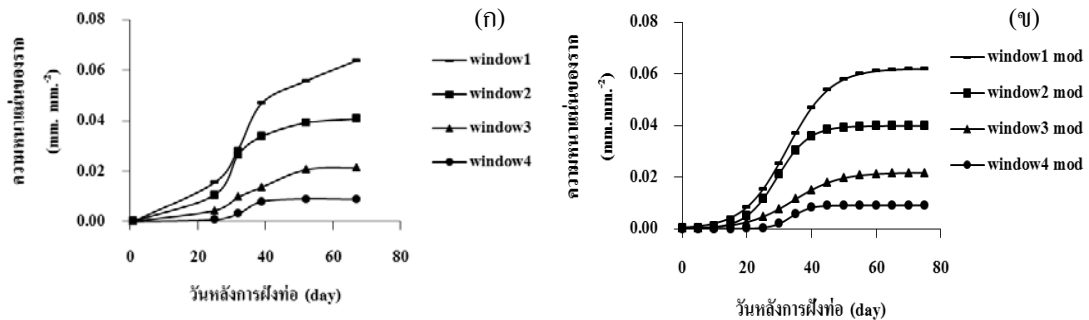
จากกระบวนการฝังท่อ เจริญเติบโตขึ้นมาใหม่ในสภาพใกล้เคียงก่อนการฝังท่อ สอดคล้องกับที่ Johnson และคณะ [3] ได้เสนอไว้ว่า ควรเว้นระยะเวลาก่อนการฝังท่อประมาณ 6 - 12 เดือน ก่อนทำการบันทึกข้อมูล



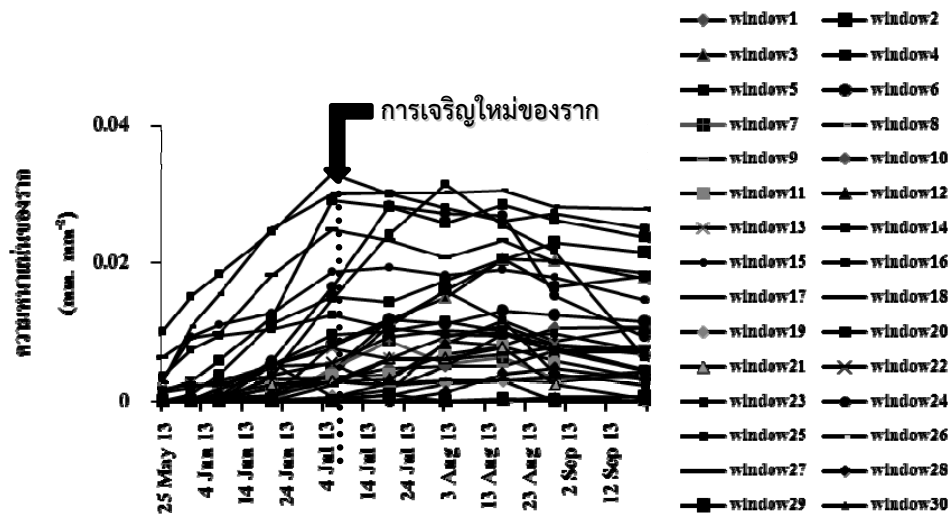
ภาพที่ 2 การเจริญใหม่ของรากยางพาราหลังการติดตั้งท่อมินิโรไฮดรอน ขนาดความยาวท่อ 100 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของรูปแบบการเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve ของรากยางพาราหลังการติดตั้งท่อโปร่งใสยาว 100 เซนติเมตร และวันที่ (h) อัตราการเพิ่มของความยาวรากหนาแน่นมีค่าสูงสุด ($bK/4$) หลังการติดตั้งท่อโปร่งใส (h วัน)

Tube100cm	window1	window2	window3	window4
K	0.06	0.04	0.02	0.01
A	127.65	446.49	127.08	143826.90
b	0.15	0.21	0.14	0.35
h (day)	32.46	29.37	34.29	33.71
$bK/4$ (mm. mm. ⁻² day ⁻¹)	0.00232	0.00207	0.00077	0.0080



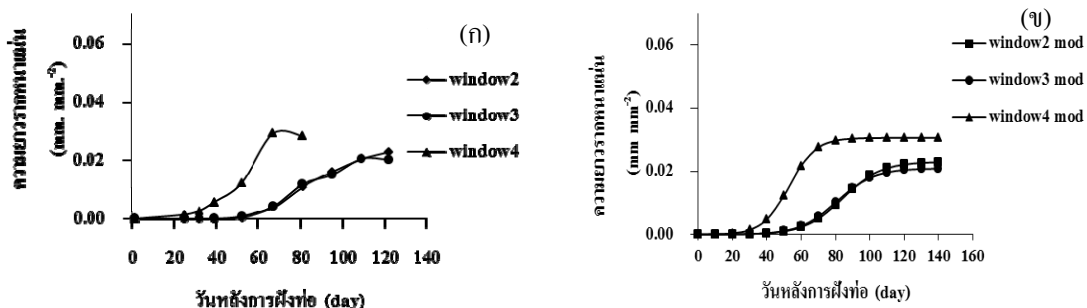
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความยาวรากของยางพาราหลังการตัดตั้งท่อมินิไรโซตรอนขนาด 100 เซนติเมตร ที่ได้จากการบันทึกข้อมูล (ก) และแบบจำลองการเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve (ข)



ภาพที่ 4 การเจริญใหม่ของยางพาราหลังการตัดตั้งท่อมินิไรโซตรอน ขนาดความยาวท่อ 150 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 แสดงค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของรูปแบบการเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve ของราก ยางพาราหลังการตัดตั้งท่อโปร่งไสยาว 150 เซนติเมตร และวันที่ (h) อัตราการเพิ่มของความยาวรากหนาแน่นมีค่าสูงสุด ($bK/4$) หลังการตัดตั้งท่อโปร่งไส (h วัน)

ท่อ 150 ซม.	window2	window3	window4
K	0.02	0.02	0.03
A	1862.13	1778.39	936.38
b	0.09	0.09	0.13
h (day)	84.27	80.62	53.03
$bK/4$ ($\text{mm mm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)	0.00052	0.00048	0.00099



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความยาวรากของยางพาราหลังการติดตั้งท่อมินิไรโซทรอนขนาด 150 เซนติเมตร ที่ได้จากการบันทึกข้อมูล (ก) และแบบจำลองการเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve (ข)

บทสรุป

จากการทดลอง พบว่า หลังการฝังท่อมินิไรโซทรอนในดินรอบๆ พบว่า รากของยางพารามีการงอกขึ้นมาใหม่อย่างรวดเร็วทั้งในท่อนที่มีความยาว 100 และ 150 เซนติเมตร การวิเคราะห์รูปแบบการเจริญเติบโตโดยคัดเลือกข้อมูลในช่อง หรือ window ที่มีความเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของรากอย่างชัดเจนมาวิเคราะห์รูปแบบการเจริญเติบโตแบบ Logistic growth curve พบว่า รากของยางพาราในท่อนขนาดยาว 100 และ 150 เซนติเมตร ใช้ระยะเวลาประมาณ 2 และ 3 เดือน ตามลำดับ ในการฟื้นคืนกลับเข้าสู่สภาวะที่ค่าความหนาแน่นของรากมีค่าคงที่

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ephrath, J. E., Silberbush, M. and Berliner, P.R. (1999). "Calibration of minirhizotron readings against root length density data obtained from soil cores", **Plant and Soil**. 209, 201-208.
- [2] Iversen, C.M., Murphy, M.T., Allen, M.S., Childs, J., Eissenstat, D. M., Lilleskov, E. A., Sarjala, T. M., Sloan, V. L. and Sullivan, P. F. (2012). "Advancing the use of minirhizotrons in wetlands", **Plant and Soil**. 352, 23-39.
- [3] Johnson, M. G., Tingey, D. T., Phillips, D. T. and Storm, M. J. (2001). "Advancing fine root research with minirhizotrons", **Environmental and Experimental Botany**. 45, 263-289.
- [4] Rewald, B. and Ephrath, J. E. 2013. **Minirhizotron technique**. The hidden half. 4th edition. (eds. A. Eshel and T. Beeckman) 15-17 April 2013, New York, USA. 1-15.

- [5] สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. (2548). **สรีรวิทยาพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จามจุรีโปรดักท์.
- [6] Gonkhamdee, S., Maeght, J. L., Do, F. and Pierret, A. (2009). "Growth dynamics of fine *Hevea brasiliensis* roots along a 4.5-m soil profile", **KhonKaen Agriculture Journal**. 37, 265-276.
- [7] Chairungsee, N., Gay F., Thaler, P., Kasamsap, P., Thanisawanyangkura, S., Chantuma, A. and Jourdan, C. (2013). "Impact of tapping and soil water status on fine root dynamics in a rubber tree plantation in Thailand", **Frontiers in Plant Science**. 4, 1-15.
- [8] Righi, C. A. and Bernardes, M.S. (2008). "The potential for increasing rubber production by matching tapping intensity to leaf area index", **Agrofore stsystem journal**. 72, 1-13.
- [9] Silpi, U., Lacointe, A., Kasempsap, P., Thanysawanyangkura, S., Chantuma, P., Gohet, E., Musigamart, N., Clément, A., Améglio, T. and Thaler, P. (2007). "Carbohydrate reserves as a competing sink: evidence from tapping rubber trees", **Tree Physiology journal**. 27, 881-889.
- [10] Chantuma, P., Lacointe, A. Kasempsap, P., Thanisawanyangkura, S., Gohet, E., Clément, A., Guilliot, A., Améglio, T. and Thaler, P. (2009). "Carbohydrate storage in wood and bark of rubber trees submitted to different level of C demand induced by latex tapping", **Tree Physiology journal**. 29, 1021 – 1031.
- [11] Sopharat, J., Sdoodee, S., Gay, F. and Thaler, P. (2013). A simple and low cost minirhizotron system for fine root study (PSU-Minirhizotron). **Joint Conference Asia Flux, HESSS, GCEER and KSAFM**, 21-24 August 2013, Seoul, Korea.
- [12] Birchfield, S. and Christina, E. (2009). **Rootfly software**. สืบค้นเมื่อ 3 กรกฎาคม 2556, จาก <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>.
- [13] Brown, D. and Rothery, P. (1993). **Models in biology: mathematics, statistics and computing**. John Wiley & Sons Ltd.