เอกสารข้อเสนอโครงการ

(Project Design Document: PDD)

แบบควบรวม

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด

รายละเอียดโครงการ	
ชื่อโครงการ	โครงการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย
	The Capturing and Reducing Greenhouse Gas Emissions Project in Rubber Plantations, Charoen Pokphand Agriculture Company Limited, Loei Province.
ผู้พัฒนาโครงการ	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด
ผู้พัฒนาโครงการร่วม	-
เจ้าของโครงการ	1.นางสาวพิกุล พิทยาอิสรกุล 2.นางจุฑาทิพย์ พุ่งกุมาร 3.นายสุเทพ พุ่งกุมาร 4.นายพลวัฒน์ พุ่งกุมาร 5.นางสุวรรณา ปัญญาสาคร 6.นางสุภา บัณฑิตกุล 7.นางสาวพิมพา พิทยาอิสรกุล
ที่ตั้งโครงการ	อำเภอภูเรือ และ อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย
พิกัดที่ตั้งโครงการ	พิกัดภูมิศาสตร์ (GPS) แบบ UTM Zone 47N (X,Y) **อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย** ทิศเหนือ 749068 1922439 ทิศใต้ 748523 1920190 ทิศตะวันออก 749974 1921911 ทิศตะวันตก 747247 1921550 **อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย** ทิศเหนือ 740173 1916332 ทิศใต้ 741366 1913471 ทิศตะวันออก 743262 1914739 ทิศตะวันตก 738564 1914774
ประเภทโครงการ	☐ พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานที่ใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ☐ การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าและการผลิตความร้อน ☐ การใช้ระบบขนส่งสาธารณะ

	☐ การใช้ยานพาหนะไฟฟ้า ☐ การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์ ☐ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารและโรงงาน และในครัวเรือน ☐ การปรับเปลี่ยนสารทำความเย็นธรรมชาติ ☐ การใช้วัสดุทดแทนปูนเม็ด ☐ การจัดการขยะมูลฝอย ☐ การจัดการน้ำเสียชุมชน ☐ การนำก๊าซมีเทนกลับมาใช้ประโยชน์ ☐ การจัดการน้ำเสียอุตสาหกรรม ☑ การลด ดูดซับ และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และการเกษตร ☐ การดักจับ กักเก็บ และ/หรือการใช้ประโยชน์จากก๊าซเรือนกระจก ☐ อื่นๆ.....
รูปแบบการดำเนินโครงการ	☐ แบบเดี่ยว ☑ แบบควบรวม
ขนาดโครงการ	☐ เล็กมาก ☑ เล็ก ☐ ใหญ่
ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจก และเครื่องมือคำนวณที่เลือกใช้	1. T-VER-S-METH-13-06 Version 2 ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) ฉบับที่ 02 Sector 15: Agriculture 2. T-VER-S-TOOL-01-01 Version 1 การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ฉบับที่ 1 (Calculation for Carbon Sequestration)
กิจกรรมของโครงการ	1. มีการปลูกพืชเกษตรยืนต้น ที่มีการปลูก ดูแล และจัดการอย่างถูกวิธี 2. มีการปรับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยต้องมีปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน 3. เป็นการปลูกพืชเกษตรยืนต้น ที่มีรูปแบบการปลูกเป็นสวนเชิงเดี่ยว หรือเป็นสวนผสม 4. เป็นรูปแบบการปลูกพืชเกษตรยืนต้นที่ต้องมีบำรุงรักษาอยู่อย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาผลผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่อง

เงินลงทุนทั้งหมดของโครงการ	556,800 บาท (ห้าแสนห้าหมื่นหกพันแปดร้อยบาทถ้วน) 1. ด้านการประเมินคาร์บอนกักเก็บ 364,200 บาท 2. ด้านการตรวจสอบความใช้ได้ของโครงการ (Validation) 192,600 บาท
ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลด/ดูดกลับได้	14,535 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
ระยะเวลาคิดคาร์บอนเครดิตของโครงการ	☑ 7 ปี <วันที่ 5 เมษายน 2567 ถึง วันที่ 4 เมษายน 2574> ☐ 10 ปี <ระบุ วัน/เดือน/ปี เริ่มต้น – วัน/เดือน/ปี สิ้นสุด>

รายละเอียดการจัดทำเอกสาร		
วันที่จัดทำแล้วเสร็จ	01 สิงหาคม 2567	
เอกสารฉบับที่	03	
ผู้จัดทำเอกสาร	ชื่อ-นามสกุล	นางสาวศิยาพร โรจน์วิสุทธินันท์
	ตำแหน่ง	ผู้ชำนาญการบริหารข้อมูลยางพารา
	หน่วยงาน	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด
	เบอร์ติดต่อ	089-798-8322

รายละเอียดผู้พัฒนาโครงการ	
ผู้พัฒนาโครงการ	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด
ชื่อผู้ประสานงาน	นางสาวศิยาพร โรจน์วิสุทธินันท์
ตำแหน่ง	ผู้ชำนาญการบริหารข้อมูลยางพารา
ที่อยู่	97 ถนนเย็นจิต แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์	089-798-8322
โทรสาร	-
E-mail	siyaporn.roj@cpcrop.com

รายละเอียดผู้พัฒนาโครงการ (ร่วม)	
ผู้พัฒนาโครงการ	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด
ชื่อผู้ประสานงาน	คุณเกรียงไกร วัฒนาสว่าง
ตำแหน่ง	กรรมการผู้จัดการ
ที่อยู่	97 ถนนเย็นจิต แขวงทุ่งวัดดอน เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120
โทรศัพท์	089-130-1898
โทรสาร	-
E-mail	kreingkrai.wat@cpcrop.com

รายละเอียดผู้พัฒนาโครงการ (ร่วม)	
ผู้พัฒนาโครงการ	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส์ จำกัด
ชื่อผู้ประสานงาน	ดร.สดุดี สุพรรณไพ
ตำแหน่ง	รองกรรมการผู้จัดการ สำนักบริหารความยั่งยืนฯ กลุ่มธุรกิจพืชครบวงจร
ที่อยู่	สำนักบริหารความยั่งยืน ธรรมาภิบาล และปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ อาคารฟอร์จูนทาวน์ ชั้น 23 ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์	083-077-9932
โทรสาร	-
E-mail	sadudee.sup@cpintertrade.com

รายละเอียดผู้พัฒนาโครงการ (ร่วม)	
ผู้พัฒนาโครงการ	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส จำกัด
ชื่อผู้ประสานงาน	นางศิริลักษณ์ เจนการวณิช
ตำแหน่ง	ผู้ชำนาญการอาวุโส สำนักบริหารความยั่งยืนฯ กลุ่มธุรกิจพืชครบวงจร
ที่อยู่	สำนักบริหารความยั่งยืน ธรรมาภิบาล และปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ อาคารฟอร์จูนทาวน์ ชั้น 23 ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์	091-754-9649
โทรสาร	-
E-mail	siriluk.jan@cppcrop.com

รายละเอียดผู้พัฒนาโครงการ (ร่วม)	
ผู้พัฒนาโครงการ	บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด (โรงงานแปรรูปยาง จ.เลย)
ชื่อผู้ประสานงาน	นายมงคล หวังมะโน
ตำแหน่ง	ผู้จัดการทั่วไป
ที่อยู่	288 ตำบลปากปวน อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย 42130
โทรศัพท์	097-280-1849
โทรสาร	-
E-mail	mongkol.wan@cpcrop.com

สารบัญ

	หน้า
ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ	8
ส่วนที่ 2 ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ	33
ส่วนที่ 3 การคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก	38
ส่วนที่ 4 แผนการติดตามผลการดำเนินโครงการ	62
ภาคผนวก 1 พิกัดขอบเขตพื้นที่โครงการ	69
ภาคผนวก 2 แบบบันทึกข้อมูลการใช้ปุ๋ยในพื้นที่สวนยางพาราของโครงการฯ	76
ภาคผนวก 3 รายละเอียดอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในแปลงตัวอย่าง และการสอบเทียบ Calibration) อุปกรณ์ที่ใช้	77
ภาคผนวก 4 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่โครงการฯ	80
ภาคผนวก 5 พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่โครงการฯ	81
ภาคผนวก 6 แผนการปรับปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี	82
ภาคผนวก 7 บทความวิชาการเกี่ยวกับสมการคำนวณมวลชีวภาพสำหรับต้นยางพารา	83
ภาคผนวก 8 บทความวิชาการเกี่ยวกับผลการปรับลดปุ๋ยต่อการเติบโตของต้นยางพารา	91
ภาคผนวก 9 ตัวอย่างสัญญาเข้าร่วมโครงการฯ ระหว่างเจ้าของโครงการ กับบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด	99
ภาคผนวก 10 บทความวิชาการเกี่ยวกับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ด้วยเครื่อง Backpack LiDAR	100

ส่วนที่ 1 รายละเอียดโครงการ

1.1 รายละเอียดและกิจกรรมของโครงการ

1.1.1 วัตถุประสงค์ของกิจกรรมโครงการ

เพื่อพัฒนาแปลงสวนยางพาราเป็นแหล่งผลิตคาร์บอนเครดิตที่มีคุณภาพ สามารถนำไปซื้อขายแลกเปลี่ยนในตลาดคาร์บอน หรือนำไปใช้ในกิจกรรมชดเชยคาร์บอนของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด สำหรับขับเคลื่อนองค์กรตามแนวนโยบายของรัฐที่ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนดำเนินกิจกรรรมเพิ่มแหล่งดูดซับคาร์บอนควบคู่กับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

1.1.2 รายละเอียดการดำเนินงานโดยย่อของบริษัทที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของโครงการ

ภายหลังจากประเทศไทยมีการลงนามรับความตกลงปารีสในปี พ.ศ.2559 ได้มีการจัดทำแผนการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ โดยมีเป้าหมายลดก๊าซเรือนกระจกให้ต่ำกว่าระดับการปล่อยจากการดำเนินงานตามปกติ (Business as usual) ร้อยละ 20 - 25 ในปี พ.ศ.2573 เพื่อผลักดันประเทศไทยให้สามารถบรรลุเป้าหมายร่วมของทุกประเทศทั่วโลกที่ได้ลงนามในความตกลงปารีส คือ การควบคุมการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกให้ต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส และพยายามจำกัดไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียส

อย่างไรก็ตาม การบรรลุเป้าหมายดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนภายในประเทศไทย ดังนั้น บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ในฐานะภาคเอกชนที่ดำเนินธุรกิจยางพาราครบวงจร ที่มุ่งมั่นสู่การเป็นผู้นำในการผลิตยางธรรมชาติที่มีมาตรฐานออกสู่ตลาดโลก โดยมีหลักการในการดำเนินงานที่ก่อประโยชน์ต่อประเทศชาติ ประชาชน และองค์กร มีการส่งเสริมและสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์ยางพาราของประเทศไทย ควบคู่กับการพัฒนาธุรกิจสู่ความยั่งยืน ที่ให้ความสำคัญต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จึงเล็งเห็นศักยภาพด้านการดูดซับและกักเก็บก๊าซเรือนกระจกของต้นยางพารา นอกเหนือจากการผลิตยางธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา โดยศักยภาพดังกล่าวถือเป็นผลพลอยได้ที่ยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ จึงมีกระบวนการนำการดูดซับและกักเก็บก๊าซเรือนกระจกมาใช้ให้เกิดประโยชน์และสร้างความยั่งยืนให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกยางพารา ผ่านกระบวนการซื้อ-ขายแลกเปลี่ยนคาร์บอนเครดิตจากโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program) เรียกย่อว่า T-VER (อ่านว่า ที-เวอร์) ซึ่งเป็นกลไกที่มีเป้าหมายในการส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศ

1.1.3 ลักษณะโครงการ การดำเนินงานก่อนที่จะมีการดำเนินงานโครงการ T-VER

พื้นที่โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย ร้อยละ 100 ถูกใช้เป็นพื้นที่เกษตรกรรมปลูกยางพาราเชิงเศรษฐกิจในรูปแบบ

ของการกรีดเพื่อผลิตยางก้อน ดังภาพที่ 1.1 โดยมีการดำเนินการปลูก ดูแล และใส่ปุ๋ยบำรุงต้นยางพาราตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร

ก.พื้นที่สวนยางพาราในอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย

ข.พื้นที่สวนยางพาราในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

ภาพที่ 1.1 สภาพปัจจุบันของพื้นที่โครงการฯ

1.1.4 กิจกรรมการดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการ วัตถุดิบ แหล่งที่มา และปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ จำนวนวันในการเดินระบบ

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด มีความมุ่งมั่นให้โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย เป็นแหล่งกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อสอดรับกับถ้อยแถลงเจตนารมณ์ของรัฐบาลไทยในเวทีการประชุม COP26 ที่ผ่านมา โดยมีการดำเนินกิจกรรมที่มีส่วนสำคัญต่อความสามารถในการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) ฉบับที่ 02 Sector 15: Agriculture (T-VER-S-METH-13-06 Version 02) โดยการเพิ่มศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนจากการปลูก การดูแล และการบำรุงรักษาต้นยางพาราที่มีการปลูกอยู่ภายในพื้นที่โครงการฯ มีดังนี้

1.1.4.1 การปลูก

โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย มีขนาดพื้นที่ทั้งสิ้น 3,626.94 ไร่ กระจายในพื้นที่ 2 อำเภอ ได้แก่ อำเภอภูเรือและอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย อย่างไรก็ตาม สำหรับการพัฒนาโครงกา T-VER จะเน้นเฉพาะพื้นที่ที่มีต้นยางพาราซึ่งมีขนาดพื้นที่ 3,400.35 ไร่ โดยมีพื้นที่กันออกซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่ใช้ต้นยางพาราและไม่มี

ความเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการสวนยางพารา เช่น บ่อน้ำ แนวต้นยูคาลิปตัส พื้นที่ปลูกปาล์ม เป็นต้น จำนวน 226.65 ไร่ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 พื้นที่ปลูกยางพาราของโครงการฯ และพื้นที่กันออก

อำเภอ	พื้นที่ตามโฉนดที่ดิน (ไร่)	พื้นที่กันออก (ไร่)	พื้นที่เข้าร่วมโครงการ T-VER (ไร่)
ภูเรือ	1,590.94	**83.81**	1,507.19
ด่านซ้าย	2,036.00	**142.84**	1,893.16
รวม	**3,626.94**	**226.65**	**3,400.35**

หมายเหตุ: พื้นที่เข้าร่วมโครงการ T-VER คือ พื้นที่ตามโฉนดที่ดินลบพื้นที่กันออก

อย่างไรก็ตาม สำหรับพื้นที่ที่มีต้นยางพาราภายในพื้นที่โครงการ มีการการปลูกตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตรดังนี้

1) การเตรียมพื้นที่

ดำเนินการปรับสภาพพื้นที่ให้เหมาะสมสำหรับการปลูก สำหรับบริเวณที่ลาดเอียงมากกว่า 15 องศา แนะนำให้วางแนวปลูกเป็นขั้นบันได จากนั้นกำหนดระยะปลูกเท่ากับ 3 x 7 เมตร เป็นระยะปลูกที่เจ้าของโครงการเลือกใช้ในการปลูกยางในพื้นที่โครงการฯ และกำหนดขนาดหลุมปลูกที่เหมาะสม

2) วิธีการปลูก ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) การเตรียมต้นกล้ายางพารา ควรเลือกต้นกล้าขนาด 1 – 2 ฉัตร มีความสมบูรณ์แข็งแรง และปราศจากโรคและแมลงศัตรูพืช

2.2) การปลูก ก่อนนำกล้ายางพาราลงปลูกในหลุมปลูก ให้ทำการรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยหินฟอสเฟสและปุ๋ยอินทรีย์ที่มีการผสมคลุมเคล้ากับดินในหลุมปลูก จากนั้นใช้มีดกรีดด้านข้างถุงชำให้ขาดออกจากกัน นำไปวางในหลุมพร้อมกลบดินจนเกือบเต็มหลุมแล้วดึงถุงพลาสติกออก พยายามอย่าให้ดินในถุงชำแตก จากนั้นกลบดินเสมอปากหลุมโดยให้ดินบริเวณโคนต้นยางสูงกว่าเล็กน้อย ป้องกันน้ำขังในหลุมปลูก จากนั้นอัดดินให้แน่น ทั้งนี้การปลูกกล้ายางพาราควรปลูกช่วงต้นฤดูฝน เนื่องจากดินมีความชื้นสูงพอสมควรเหมาะแก่การเติบโตของต้นกล้ายางพารา

นอกจากนี้ พื้นที่โครงการในอำเภอด่านซ้ายบางส่วนเป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่มีแผนปลูกต้นกล้ายางพาราหลังฤดูฝนประมาณเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม 2567 โดยสภาพพื้นที่ปัจจุบัน เจ้าของโครงการมีการดำเนินการปรับหน้าดินเพื่อเตรียมลงกล้ายางพาราตามแผนที่กำหนดไว้ข้างต้น

1.1.4.2 การดูแล

มีการดูแล และบำรุงรักษาต้นยางพาราภายในพื้นที่โครงการฯ ด้วยการกำจัดเศษใบยางพาราแห้งและกิ่งไม้แห้งออกจากบริเวณโคนต้น รวมถึงมีการให้ปุ๋ยที่เหมาะสมตามอายุของต้นยางพารา เพื่อส่งเสริมให้

ต้นยางพารามีการเติบโตที่ดี ให้ผลผลิตน้ำยางอย่างสม่ำเสมอ และทำให้ต้นยางพาราสามารถกักเก็บคาร์บอนในเนื้อไม้ได้ดียิ่งขึ้น

1.1.4.3 การจัดการอย่างถูกวิธี

พื้นที่โครงการฯ จำเป็นต้องได้รับการจัดการอย่างถูกวิธี เนื่องจากมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในส่วนต่างๆ ของต้นยางพารา สำหรับการจัดการพื้นที่โครงการฯ มีรายละเอียดดังนี้

1) <u>การทำแนวกันไฟ</u>

พื้นที่แปลงสวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ มีการทำแนวกันไฟบริเวณเส้นทางสัญจรภายในแปลงสวนยาง โดยทำการกวาดเศษใบยางพาราแห้งเป็นแนวยาวตลอดสองฝั่งของเส้นทางสัญจร นอกจากนี้มีการกำจัดเชื้อเพลิงประเภทเศษใบยางแห้งและกิ่งไม้แห้งบริเวณพื้นดินออกจากพื้นที่รอยต่อระหว่างแปลงสวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ กับพื้นที่เกษตรกรรมข้างเคียง ดังภาพที่ 1.2

ภาพที่ 1.2 การทำแนวกันไฟภายในพื้นที่โครงการฯ

2) <u>การลาดตระเวน</u>

มีการลาดตระเวนและตรวจความเรียบร้อยของพื้นที่แปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ อย่างสม่ำเสมอ รวมถึงมีการติดตามอัตราการรอดของต้นยางพาราในพื้นที่โครงการฯ โดยผู้ดูแลสวนยางพาราเป็นผู้รับผิดชอบในการลาดตระเวน ดังภาพที่ 1.3

ภาพที่ 1.3 การลาดตระเวนภายในพื้นที่โครงการฯ

3) <u>การลิดกิ่ง</u>

เป็นการจัดการต้นยางพาราอายุ 2 ปีขึ้นไป เพื่อส่งเสริมให้ต้นยางพารามีลำต้นตรง สามารถเติบโตได้ดี โดยทำการตัดกิ่งแขนงที่อยู่ต่ำกว่า 2 เมตร ในช่วงต้นและปลายฤดูฝนของทุกปีจนกระทั่งกิ่งแขนงแตกออกมาที่ความสูงมากกว่า 2.30 เมตร จึงหยุดลิดกิ่งได้

1.1.4.4 การป้องกันความเสี่ยงในพื้นที่โครงการ

1) <u>ความเสี่ยงต่อการล้มเลิกโครงการ</u>

มีการอบรม ชี้แจงรายละเอียด แนวทางการดูแลต้นยางพาราในพื้นที่โครงการฯ และการบริหารจัดการพื้นที่สวนยางพาราให้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่ อบก. กำหนด รวมถึงมีการบริหารจัดการกรณีต้นยางพาราเกิดการโค่นหัก โค่นล้ม และตายจากโรคอย่างถูกวิธี เพื่อป้องกันการถูกหักออกจากพื้นที่โครงการฯ

2) <u>ความเสี่ยงจากไฟป่า</u>

ดำเนินการลดความเสี่ยงและป้องกันปัญหาไฟป่า ด้วยการทำแนวกันไฟและกำจัดเชื้อเพลิงบริเวณพื้นดินในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ ควบคู่กับการลาดตระเวนดูแลพื้นที่

1.1.5 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้ในระยะเวลาคิดคาร์บอนเครดิตของโครงการ

ภายในช่วงระยะเวลา 7 ปีของการคิดคาร์บอนเครดิตภาคการเกษตร สำหรับพื้นที่ดำเนินโครงการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย คาดว่าจะสามารถลด/กักเก็บก๊าซเรือนกระจกได้ในปริมาณ 14,535 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

1.2 ขอบเขตการดำเนินโครงการ

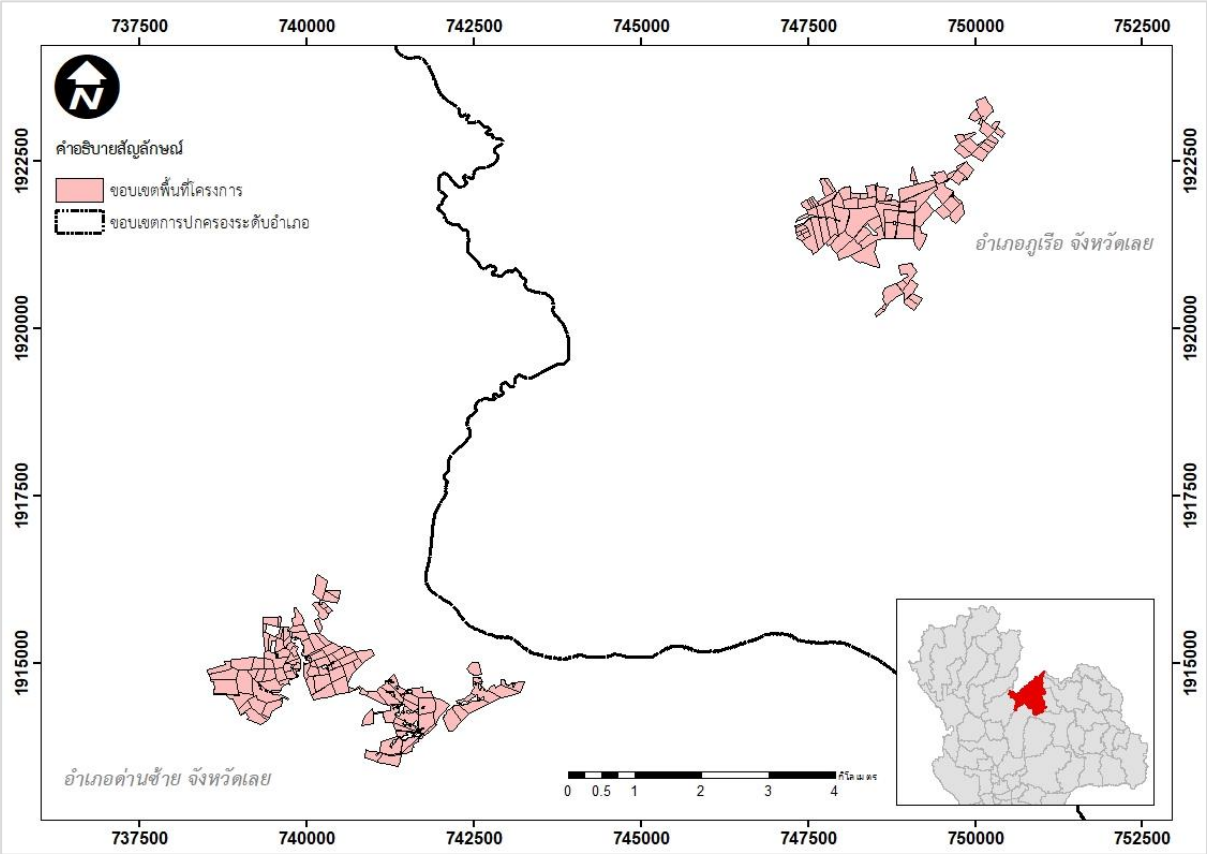
1.2.1 ข้อมูลพื้นฐานพื้นที่โครงการ

โครงการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา ของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย มีพื้นที่เข้าร่วมโครงการทั้งหมด 3,626.94 ไร่ เมื่อทำพื้นที่กันออกที่ไม่ได้นำมาคำนวณ มีพื้นที่ปลูกยางพาราสำหรับขึ้นทะเบียน T-VER ทั้งสิ้น 3,400.27 ไร่ โดยมีค่าพิกัดที่ตั้งของพื้นที่โครงการดังตารางที่ 1.2 และขอบเขตพื้นที่โครงการฯ ดังภาพที่ 1.4

ตารางที่ 1.2 ค่าพิกัดที่ตั้งโครงการ ฯ และอาณาเขตติดต่อ

ที่ตั้งโครงการ/ทิศ	พิกัด UTM		อาณาเขตติดต่อ
	Easting	Northing	
พื้นที่โครงการอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย			
ทิศเหนือ	749068	1922439	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม
ทิศใต้	748523	1920190	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม
ทิศตะวันออก	749974	1921911	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม
ทิศตะวันตก	747247	1921550	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม

ที่ตั้งโครงการ/ทิศ	พิกัด UTM		อาณาเขตติดต่อ
	Easting	Northing	
พื้นที่โครงการอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย			
ทิศเหนือ	740173	1916332	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม
ทิศใต้	741366	1913471	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม
ทิศตะวันออก	743262	1914739	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม
ทิศตะวันตก	738564	1914774	ติดต่อกับพื้นที่เกษตรกรรม



ภาพที่ 1.4 ขอบเขตพื้นที่โครงการฯ

ทั้งนี้ พื้นที่ดำเนินโครงการฯ ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของเจ้าของโครงการดังตารางที่ 1.3 ที่มีการอนุญาตให้บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด สามารถนำพื้นที่ไปใช้ในการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) ภายใต้สัญญาเข้าร่วมโครงการฯ ดังภาคผนวก 9

ตารางที่ 1.3 รายละเอียดเจ้าของพื้นที่และโฉนดที่ดินที่นำเข้าร่วมโครงการฯ

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย	1. น.ส.พิกุล พิทยาอิสรกุล 2. นางจุฑาทิพย์ พุ่งกุมาร	7825 7824 9226

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย	3. นายสุเทพ พุ่งกุมาร	9234
	4. นางสุวรรณา ปัญญาสาคร	4998
		8926
	1. น.ส.พิกุล พิทยาอิสรกุล	5756
	2. นางจุฑาทิพย์ พุ่งกุมาร	4915
	3. นายสุเทพ พุ่งกุมาร	4914
	4. นายพลวัฒน์ พุ่งกุมาร	4905
	5. นางสุวรรณา ปัญญาสาคร	4902
		5015
		5744
		4901
		4900
		4899
		4898
		4897
		4896
		4894
		4893
		4892
		4891
		4890
		4889
		4888
		4886
		6253
		5367
		5142
		5141
		5140
		5139
		5138
		5137
		5136
		5135
		5112

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย		5111
		5110
		5109
		5108
		5107
		5106
		5105
		5067
		5040
		5039
		5038
		5037
		5036
		5035
		5034
		5033
		5032
		5031
		5030
		5029
		5028
		5027
		5026
		5025
		5017
		5016
		4975
		4974
		4973
		4972
		4971
		4970
		4968
		4967
		4966

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย		4965 4453 4452 4912 6886 4434 4435 4436 4437 7843
อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย	นางสุภา บัณฑิตกุล	6833 6834 6829 6828 6827 6821 6820 6815 6813 6812 6808 6809 6824 6826 6830 7127 6811 6814 6810

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย		6816
		6817
		6819
		6818
		6822
		6823
		6825
		6831
		7395
		6832
		7396
		7399
		7398
		7397
		17881
	น.ส.พิมพา พิทยาอิสรกุล	5919
		5920
		5921
		15782
		4734
		4728
		5929
		5918
		15382
		5917
		4733
		4727

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย		5916
	น.ส.พิกุล พิทยาอิสรกุล	10809
		10812
		10815
		10808
		10810
		10813
		10817
		10807
		10811
		10814
		10816
		10818
		9652
		9653
		9654
		9655
		9656
		9657
		9658
		9659
		9660
		9661
		9662
		9663
		9666
		9667

ที่ตั้งแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ	เจ้าของพื้นที่	เลขที่โฉนด
		9668 9664 9665 9669 6586

1.2.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

การพัฒนาโครงการ T-VER ในพื้นที่แปลงปลูกยางพาราในอำเภอภูเรือและอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย ภายใต้โครงการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย มีรายละเอียดขอบเขตการดำเนินงาน ดังนี้

1.2.3.1 <u>การศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ดำเนินโครงการ</u>

พิจารณาลักษณะพื้นที่และกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่โครงการฯ ให้มีความสอดคล้องตามลักษณะของกิจกรรมโครงการที่เข้าข่าย (Applicability) และเงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ (Project conditions) ตามระเบียบวิธีการ T-VER-S-METH-13-06 Version 02 กำหนด

1.2.3.2 <u>การกำหนดจำนวนแปลงตัวอย่างที่เหมาะสม</u>

1) การกำหนดจำนวนแปลงตัวอย่างให้กระจายอย่างเหมาะสม (Random Sampling) โดยพื้นที่ของแปลงตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ดำเนินโครงการทั้งหมด ตามเครื่องมือการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ T-VER-S-TOOL-01-01 Version 01 ที่กำหนดขึ้นโดย อบก. สำหรับพื้นที่โครงการฯ มีจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งสิ้น 39 แปลงตัวอย่าง ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 รายละเอียดแปลงตัวอย่าง

ขอบเขตอำเภอ	รหัสแปลงตัวอย่าง	รายชื่อผู้ทำประโยชน์บนที่ดิน	อายุต้นยางพารา (ปี)
อำเภอภูเรือ	CPA 01	1. น.ส.พิกุล พิทยาอิสรกุล 2. นางจุฑาทิพย์ พุ่งกุมาร 3. นายสุเทพ พุ่งกุมาร 4. นายพลวัฒน์ พุ่งกุมาร 5. นางสุวรรณา ปัญญาสาคร	11
	CPA 02		11
	CPA 03		11
	CPA 04		11
	CPA 05		11
	CPA 06		11
	CPA 07		11
	CPA 08		11
	CPA 09		11

ขอบเขตอำเภอ	รหัสแปลงตัวอย่าง	รายชื่อผู้ทำประโยชน์บนที่ดิน	อายุต้นยางพารา (ปี)
	CPA 10		11
	CPA 11		11
	CPA 12		12
	CPA 13		12
	CPA 14		12
	CPA 15		12
	CPA 16		12
	CPA 39		2
อำเภอด่านซ้าย	CPA 17	น.ส.พิมพา พิทยาอิสรกุล	12
	CPA 18		11
	CPA 19		11
	CPA 20		11
	CPA 21		11
	CPA 22		12
	CPA 23		11
	CPA 24		11
	CPA 25	นางสุภา บัณฑิตกุล	11
	CPA 26		11
	CPA 27		11
	CPA 28		11
	CPA 29		11
	CPA 30		11
	CPA 31	น.ส.พิกุล พิทยาอิสรกุล	11
	CPA 32		11
	CPA 33		11
	CPA 34		11
	CPA 35		11
	CPA 36	นางสุภา บัณฑิตกุล	11
	CPA 37	น.ส.พิมพา พิทยาอิสรกุล	11
	CPA 38	น.ส.พิกุล พิทยาอิสรกุล	2

2) ดำเนินการวางแปลงตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40x40 เมตร ซึ่งมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 1 ไร่ เพราะเป็นขนาดของแปลงตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก

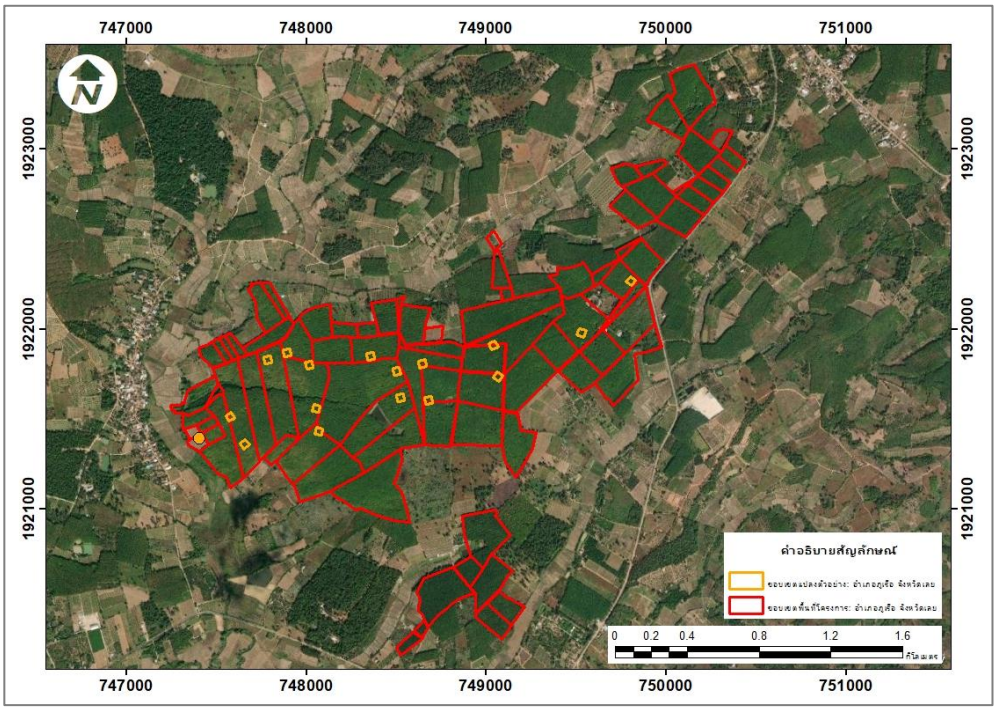
เพราะมีความสอดคล้องกับสมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพ โดยการวางแปลงตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส อาศัยวิธีการออกฉากตามทฤษฎีบทพีทาโกรัส จากนั้นทำการปักหมุดแสดงขอบเขตแปลงตัวอย่างพร้อมเก็บข้อมูลพิกัดหมุดมุมแปลงตัวอย่างด้วยเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ยี่ห้อ Garmin รุ่น Etrex® 10 จำนวน 37 แปลงตัวอย่าง ส่วนอีก 2 แปลงตัวอย่างเป็นตัวแทนของยางพาราอายุน้อย 0 - 2 ปี ไม่มีการวางแปลงตัวอย่าง เนื่องจากต้นยางพาราภายในแปลงปลูกมีขนาดลำต้นน้อยกว่า 4.5 เมตร ซึ่งไม่ถึงเกณฑ์ที่ อบก. กำหนดให้ทำการเก็บบันทึกข้อมูล จึงเก็บเฉพาะค่าพิกัดกลางแปลงสวนยางพารา สำหรับเป็นข้อมูลดำเนินการวางแปลงตัวอย่างในปีที่ต้องการขอรับรองคาร์บอนเครดิต เพราะคาดว่าในอนาคตลำต้นของต้นยางพาราจะมีขนาดมากกว่า 4.5 เซนติเมตร อย่างไรก็ตาม สำหรับพิกัดหมุดมุมแปลงตัวอย่างและพิกัดกลางแปลงสวนยางพารา มีรายละเอียดดังตารางที่ 1.5 และภาพที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 พิกัดมุมแปลงตัวอย่างในพื้นที่โครงการฯ

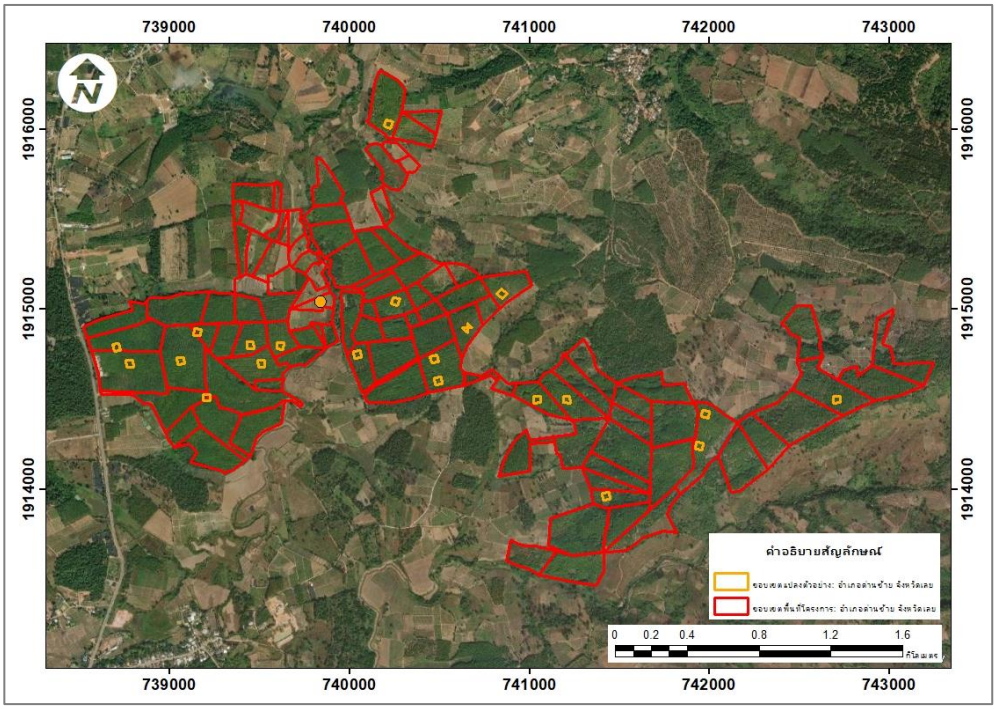
รหัสแปลงตัวอย่าง	**หมุดที่ 1** (Easting, Northing)	**หมุดที่ 2** (Easting, Northing)	**หมุดที่ 3** (Easting, Northing)	**หมุดที่ 4** (Easting, Northing)
อำเภอภูเรือ				
CPA 01	X: 747662 Y: 1921390	X: 747621 Y: 1921361	X: 747652 Y: 1921337	X: 747673 Y: 1921354
CPA 02	X: 747608 Y: 1921510	X: 747570 Y: 1921488	X: 747550 Y: 1921522	X: 747584 Y: 1921548
CPA 03	X: 748074 Y: 1921534	X: 748046 Y: 1921538	X: 748037 Y: 1921572	X: 748077 Y: 1921576
CPA 04	X: 748062 Y: 1921458	X: 748092 Y: 1921448	X: 748097 Y: 1921410	X: 748063 Y: 1921415
CPA 05	X: 747804 Y: 1921825	X: 747766 Y: 1921821	X: 747789 Y: 1921853	X: 747793 Y: 1921868
CPA 06	X: 747913 Y: 1921860	X: 747887 Y: 1921856	X: 747870 Y: 1921887	X: 747903 Y: 1921891
CPA 07	X: 747991 Y: 1921927	X: 748029 Y: 1921823	X: 748039 Y: 1921783	X: 747958 Y: 1921781
CPA 08	X: 748334 Y: 1921874	X: 748366 Y: 1921873	X: 748377 Y: 1921835	X: 748341 Y: 1921830
CPA 09	X: 748533 Y: 1921755	X: 748485 Y: 1921746	X: 748475 Y: 1921788	X: 748514 Y: 1921798
CPA 10	X: 748499 Y: 1921633	X: 748527 Y: 1921645	X: 748542 Y: 1921605	X: 748510 Y: 1921598
CPA 11	X: 748662	X: 748655	X: 748687	X: 748696

รหัสแปลงตัวอย่าง	หมุดที่ 1 (Easting, Northing)	หมุดที่ 2 (Easting, Northing)	หมุดที่ 3 (Easting, Northing)	หมุดที่ 4 (Easting, Northing)
	Y: 1921583	Y: 1921624	Y: 1921635	Y: 1921595
CPA 12	X: 748633 Y: 1921787	X: 748623 Y: 1921822	X: 748661 Y: 1921833	X: 748668 Y: 1921810
CPA 13	X: 749076 Y: 1921901	X: 749029 Y: 1921890	X: 749014 Y: 1921923	X: 749047 Y: 1921937
CPA 14	X: 749043 Y: 1921737	X: 749056 Y: 1921765	X: 749090 Y: 1921747	X: 749066 Y: 1921716
CPA 15	X: 749553 Y: 1921993	X: 749544 Y: 1921950	X: 749501 Y: 1921967	X: 749516 Y: 1922006
CPA 16	X: 749831 Y: 1922275	X: 749815 Y: 1922248	X: 749777 Y: 1922265	X: 749795 Y: 1922296
CPA 39	X: 747403 Y: 1921394	X: - Y: -	X: - Y: -	X: - Y: -
อำเภอด่านซ้าย				
CPA 17	X: 738692 Y: 1914768	X: 738678 Y: 1914798	X: 738701 Y: 1914814	X: 738724 Y: 1914789
CPA 18	X: 738757 Y: 1914687	X: 738755 Y: 1914719	X: 738786 Y: 1914726	X: 738799 Y: 1914684
CPA 19	X: 739077 Y: 1457149	X: 739081 Y: 1914698	X: 739047 Y: 1914690	X: 739043 Y: 1914706
CPA 20	X: 739129 Y: 1914859	X: 739133 Y: 1914892	X: 739173 Y: 1914901	X: 739177 Y: 1914870
CPA 21	X: 739223 Y: 1914528	X: 739222 Y: 1914494	X: 739182 Y: 1914496	X: 739186 Y: 1914529
CPA 22	X: 739419 Y: 1914784	X: 739459 Y: 1914788	X: 739465 Y: 1914823	X: 739429 Y: 1914823
CPA 23	X: 739479 Y: 1914718	X: 739525 Y: 1914728	X: 739528 Y: 1914681	X: 739493 Y: 1914676
CPA 24	X: 739601 Y: 1914821	X: 739592 Y: 1914781	X: 739634 Y: 1914781	X: 739630 Y: 1914813
CPA 25	X: 740057 Y: 1914773	X: 740064 Y: 1914736	X: 740027 Y: 1914724	X: 740020 Y: 1914764

รหัสแปลงตัวอย่าง	หมุดที่ 1 (Easting, Northing)	หมุดที่ 2 (Easting, Northing)	หมุดที่ 3 (Easting, Northing)	หมุดที่ 4 (Easting, Northing)
CPA 26	X: 740264 Y: 1915024	X: 740229 Y: 1915032	X: 740241 Y: 1915068	X: 740277 Y: 1915060
CPA 27	X: 740466 Y: 1914629	X: 740504 Y: 1914631	X: 740515 Y: 1914590	X: 740475 Y: 1914583
CPA 28	X: 740491 Y: 1914710	X: 740454 Y: 1914703	X: 740445 Y: 1914746	X: 740482 Y: 1914753
CPA 29	X: 740680 Y: 1914903	X: 740630 Y: 1914895	X: 740656 Y: 1914872	X: 740648 Y: 1914928
CPA 30	X: 740876 Y: 1915084	X: 740849 Y: 1915057	X: 740818 Y: 1915087	X: 740846 Y: 1915118
CPA 31	X: 741023 Y: 1914482	X: 741018 Y: 1914524	X: 741060 Y: 1914525	X: 741059 Y: 1914491
CPA 32	X: 741223 Y: 1914521	X: 741224 Y: 1914485	X: 741182 Y: 1914475	X: 741183 Y: 1914517
CPA 33	X: 741953 Y: 1914399	X: 741964 Y: 1914443	X: 741997 Y: 1914438	X: 741993 Y: 1914406
CPA 34	X: 741920 Y: 1914227	X: 741927 Y: 1914264	X: 741958 Y: 1914257	X: 741957 Y: 1914229
CPA 35	X: 741398 Y: 1913977	X: 741437 Y: 1913985	X: 741441 Y: 1913947	X: 741407 Y: 1913944
CPA 36	X: 740181 Y: 1916051	X: 740224 Y: 1916000	X: 740237 Y: 1916041	X: 740207 Y: 1916057
CPA 37	X: 742689 Y: 1914479	X: 742686 Y: 1914523	X: 742724 Y: 1914520	X: 742727 Y: 1914484
CPA 38	X: 739837 Y: 1915041	X: - Y: -	X: - Y: -	X: - Y: -



ก.แปลงตัวอย่างในอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย



ข.แปลงตัวอย่างในอำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

ภาพที่ 1.5 ที่ตั้งแปลงตัวอย่างของพื้นที่โครงการฯ

1.2.3.3 <u>การสุ่มเลือกข้อมูลโดยใช้แปลงตัวอย่าง</u>

ดำเนินการเก็บข้อมูลการเติบโตของต้นยางพาราทั้งหมดในพื้นที่แปลงตัวอย่างแต่ละแปลง และข้อมูลการใช้ปุ๋ยในการบำรุงต้นยางพารา โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

1) การติดหมายเลข (Tag) เพื่อระบุลำดับต้นยางพาราภายในแปลงตัวอย่าง โดยการยึดป้ายหมายเลขประจำต้นไว้กับลวด จากนั้นรัดลำต้นเหนือรอยกรีด ในลักษณะหลวมๆ พร้อมปักป้ายแสดงรหัสแปลงตัวอย่างบริเวณหน้าแปลงตัวอย่าง ดังภาพที่ 1.6


ภาพที่ 1.6 การติดป้ายหมายเลขแสดงลำดับต้นยางพารา และป้ายแสดงรหัสแปลงตัวอย่าง

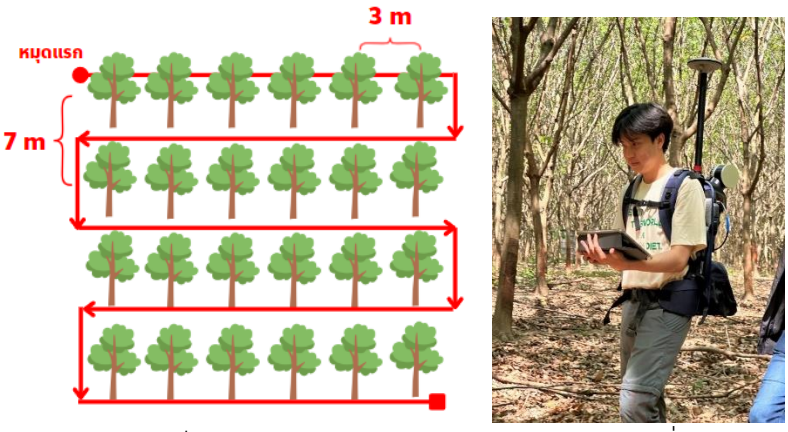
2) เก็บข้อมูลต้นยางพาราในแปลงตัวอย่างด้วยเครื่อง LiDAR Scanner เพื่อนำข้อมูลมาประมวลผลและวิเคราะห์หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก โดยเครื่อง LiDAR Scanner ที่ใช้มีคุณสมบัติและขั้นตอนการเก็บข้อมูล ดังนี้

2.1) คุณสมบัติของเครื่อง LiDAR Scanner มีรายละเอียดดังนี้

- เป็นเครื่องสแกนวัตถุด้วยเลเซอร์ประเภท Class 1
- สามารถสแกนแบบมือถือ หรือติดกับ Backpack หรือ ยานพาหนะได้
- สามารถสร้างข้อมูลสามมิติ (3D) จากข้อมูล Point cloud แบบ Real-time ผ่านทางแอปพลิเคชัน SLAM GO ที่ติดตั้งบนมือถือหรือแท็บเล็ต
- สามารถสแกนวัตถุได้สูงสุด 360,000 จุดต่อวินาที
- มีระยะสแกนสูงสุด 120 เมตร

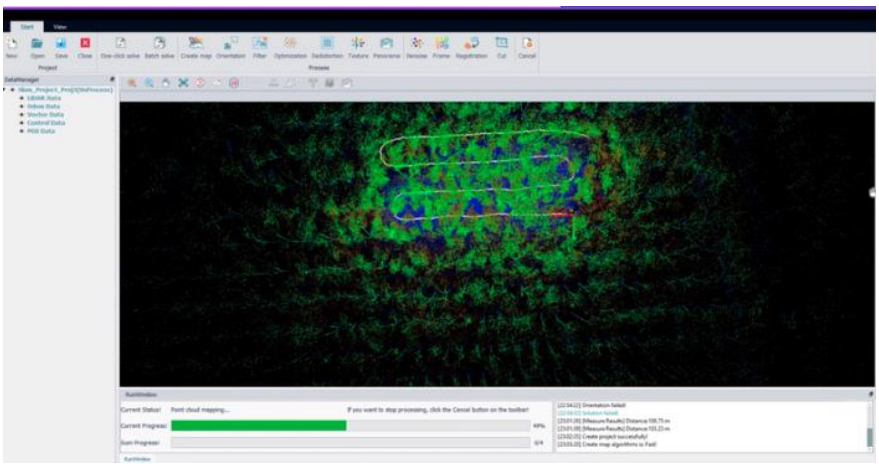
2.2) ขั้นตอนการเก็บข้อมูลด้วยเครื่อง LiDAR Scanner มีรายละเอียดดังนี้

- เปิดเครื่อง LiDAR Scanner พร้อมเชื่อมต่อสัญญา WiFi, Bluetooth และสัญญาณ RTK กับแอปพลิเคชันบนมือถือหรือแท็บเล็ต
- เตรียมความพร้อมของเครื่อง LiDAR Scanner โดยการวางเครื่องไว้กับพื้นเรียบ จากนั้นกด Start work ในแอปพลิเคชัน และรอเครื่องดำเนินการสอบเทียบ (Calibration) ระบบสแกนข้อมูลเป็นเวลา 1 นาที
- ดำเนินการเก็บข้อมูลต้นยางพาราในแปลงตัวอย่าง โดยเริ่มเก็บข้อมูลจากแถวแรกที่อยู่ใกล้หมุดแรกของแปลงตัวอย่างถึงแถวสุดท้าย ดังภาพที่ 1.7 โดยข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปไฟล์ Point cloud



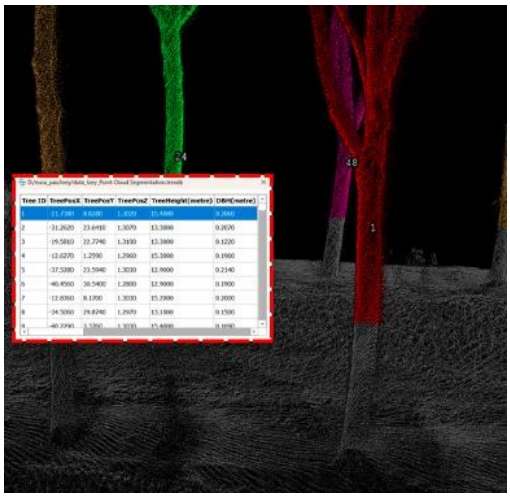
ภาพที่ 1.7 แผนการเดินเก็บข้อมูลต้นยางพาราในแปลงตัวอย่างด้วยเครื่อง LiDAR Scanner

- ดำเนินการประมวลผลข้อมูล Point cloud ด้วยโปรแกรม SLAM GO POST PRO เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของข้อมูล ดังภาพที่ 1.8



ภาพที่ 1.8 การประมวลผลข้อมูล Point cloud ด้วยโปรแกรม SLAM GO POST PRO

- นำข้อมูล Point cloud ที่ผ่านการตรวจสอบไปประมวลผลหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นยางพาราในแต่ละแปลงตัวอย่าง ดังภาพที่ 1.9



ภาพที่ 1.9 การประมวลผลหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นยางพารา

- ดำเนินการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกจากเครื่อง LiDAR Scanner กับข้อมูลจากการวัดด้วย Diameter Tape ซึ่งผลการสอบเทียบพบว่า ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ได้จากเครื่อง LiDAR Scanner พบว่า มีค่าเฉลี่ย 13.5 – 19.7 เซนติเมตร ส่วนค่าที่ได้จากการวัดด้วย Diameter Tape มีค่าเฉลี่ย 13.7 – 19.8 ทำให้ค่าที่ได้จากเครื่อง LiDAR Scanner มีความคลาดเคลื่อนจากการวัดด้วย Diameter Tape เฉลี่ยร้อยละ 1.78 – 3.07 และมีค่า RMSE ของแต่ละแปลงตัวอย่างเฉลี่ย 0.33 – 0.61 เซนติเมตร ดังตารางที่ 1.6 ซึ่งมีความสอดคล้องตามผลการศึกษา Ruhan *et al.*, 2023 ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสำรวจข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ใน Duraer National Forest, เขตปกครองตนเองมองโกเลีย โดยอาศัยเครื่องมือ Backpack LiDAR, Terrestrial scanning (TLS) และการวัดด้วย DBH ruler พบว่า การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกด้วยเครื่อง Backpack LiDAR มีค่า RMSE 0.43 – 0.84 เซนติเมตร และ R^2 มากกว่า 0.97 ดังภาคผนวก 10

ตารางที่ 1.6 ค่า RMSE ของข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกจากเครื่อง LiDAR Scanner รายแปลงตัวอย่าง

อำเภอ	รหัสแปลงตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)			ค่า RMSE (เซนติเมตร)
		LiDAR Scanner	Diameter Tape	ค่า Error (%)	
ภูเรือ	CPA 01	19.7	19.7	2.01	0.48
	CPA 02	18.3	18.1	1.88	0.41
	CPA 03	19.2	19.1	1.94	0.44
	CPA 04	19.2	19.0	1.9	0.42
	CPA 05	17.0	16.9	1.95	0.39
	CPA 06	17.5	17.2	2.61	0.51
	CPA 07	19.5	19.7	2.43	0.55
	CPA 08	18.7	18.6	1.88	0.43
	CPA 09	17.3	17.2	1.78	0.37
	CPA 10	18.7	18.6	1.98	0.44
	CPA 11	19.6	19.8	2.42	0.53
	CPA 12	18.0	17.8	2.20	0.45
	CPA 13	18.7	18.4	2.70	0.55
	CPA 14	19.1	18.8	2.19	0.47
	CPA 15	19.2	18.7	3.00	0.61
	CPA 16	19.7	19.4	2.34	0.52
	CPA 39	-	-	-	-

อำเภอ	รหัสแปลงตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)			ค่า RMSE (เซนติเมตร)
		LiDAR Scanner	Diameter Tape	ค่า Error (%)	
ด่านซ้าย	CPA 17	17.9	17.7	2.13	0.44
	CPA 18	17.4	17.2	2.10	0.43
	CPA 19	17.5	17.3	2.14	0.44
	CPA 20	19.5	19.0	2.76	0.60
	CPA 21	15.6	15.7	3.07	0.53
	CPA 22	17.8	17.8	2.36	0.48
	CPA 23	17.6	17.5	1.97	0.41
	CPA 24	17.0	16.9	1.97	0.40
	CPA 25	19.3	19.5	1.79	0.40
	CPA 26	15.6	15.9	2.38	0.42
	CPA 27	18.6	18.5	2.03	0.44
	CPA 28	15.6	15.7	2.19	0.36
	CPA 29	14.9	15.2	2.46	0.41
	CPA 30	18.8	18.8	2.09	0.45
	CPA 31	17.4	17.4	2.10	0.42
	CPA 32	13.5	13.7	2.21	0.33
	CPA 33	15.5	15.8	2.27	0.39
	CPA 34	15.5	15.8	2.68	0.47
	CPA 35	16.3	16.4	2.37	0.43
	CPA 36	19.5	19.5	2.15	0.54
	CPA 37	15.3	15.5	2.27	0.39
	CPA 38	-	-	-	-

3) เก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height: DBH) ของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่างของโครงการ โดยใช้ Diameter Tape วัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน สำหรับใช้เปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยเครื่อง LiDAR Scanner ดังภาพที่ 1.10

ภาพที่ 1.10 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน

ทั้งนี้ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้การเก็บรวบรวมการเติบโตของต้นยางพารา ได้แก่ Diameter Tape รวมถึงอุปกรณ์วางแปลงตัวอย่างและเก็บข้อมูลพิกัดขอบเขตแปลงตัวอย่าง จำเป็นต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อลดและป้องกันความคาดเคลื่อนและความผิดพลาด (Error) ที่อาจเกิดขึ้นขณะใช้อุปกรณ์ ดังภาคผนวก 3

4) เก็บข้อมูลการใช้ปุ๋ยในการบำรุงต้นยางพารา โดยอาศัยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึกร่วมกับแบบบันทึกข้อมูลการใช้ปุ๋ยในพื้นที่สวนยางพาราของโครงการฯ ดังภาคผนวก 2 ซึ่งดำเนินการสัมภาษณ์ผู้ดูแลแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ อย่างไรก็ตาม ช่วงดำเนินโครงการ T-VER จะมีการส่งเสริมให้ผู้ดูแลแปลงสวนยางใช้แบบฟอร์มบันทึกปริมาณการใช้ปุ๋ยในพื้นที่โครงการฯ เพื่อง่ายต่อการติดตามผลและสามารถใช้เป็นหลักฐานในขั้นตอนการขอรับรองคาร์บอนเครดิตได้

1.2.3.4 <u>ดำเนินการคำนวณปริมาณการกักเก็บและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานและคาดการณ์จากการดำเนินโครงการของพื้นที่โครงการฯ</u>

โดยการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานและการคาดการณ์ตามสมการในระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) (ฉบับที่ 02) รายสาขา 15: Agriculture (T-VER-S-METH-13-06) และเครื่องมือการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (T-VER-S-TOOL-01-01)

1.3 การนับซ้ำ

กิจกรรมของโครงการลดก๊าซเรือนกระจกนี้ ได้เคยขึ้นทะเบียน หรือ อยู่ระหว่างการขึ้นทะเบียนกลไก/มาตรฐานการรับรองคาร์บอนเครดิตอื่นๆ อาทิ เช่น Clean Development Mechanism (CDM), Voluntary Carbon Standard (VCS) , Gold Standard เป็นต้น หรือมาตรฐานใบรับรองเครดิตการผลิตพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Certificates: REC)

☑ ไม่มี

☐ มี โดยขึ้นทะเบียนใน ชื่อโครงการ.....

ชื่อกลไก/มาตรฐานที่ขึ้นทะเบียนโครงการ.....

ช่วงระยะเวลาที่มีการขอรับรองปริมาณคาร์บอนเครดิต.....

1.4 การพิสูจน์การดำเนินงานเพิ่มจากการดำเนินงานตามปกติ (Additionality)

☑ <u>ไม่ต้อง</u>พิสูจน์การดำเนินงานเพิ่มจากการดำเนินงานตามปกติ

โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย จัดเป็นโครงการขนาดเล็ก ประเภทการเกษตร (Agriculture) ที่มีเป้าหมายในการลด/กักเก็บก๊าซเรือนกระจกไม่เกิน 16,000 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($tCO_2eq/year$) จึงเข้าข่ายโครงการลดก๊าซเรือนกระจกที่ไม่ต้องพิสูจน์ส่วนเพิ่มเติมจากการดำเนินงานตามปกติ

☐ <u>ต้อง</u>พิสูจน์การดำเนินงานเพิ่มจากการดำเนินงานตามปกติ

☐ มีการดำเนินงานเพิ่มจากการดำเนินงานตามปกติ (Additionality)

☐ ไม่มีการดำเนินงานเพิ่มจากการดำเนินงานตามปกติ (Additionality)

1.5 ระยะเวลาการคิดเครดิตของโครงการ

วันเริ่มดำเนินโครงการ: วันที่ 5 เมษายน 2567 ถึงวันที่ 4 เมษายน 2574 เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER methodology) ที่การดำเนินกิจกรรมมีระยะเวลา 7 ปี

☑ 7 ปี

☐ 10 ปี

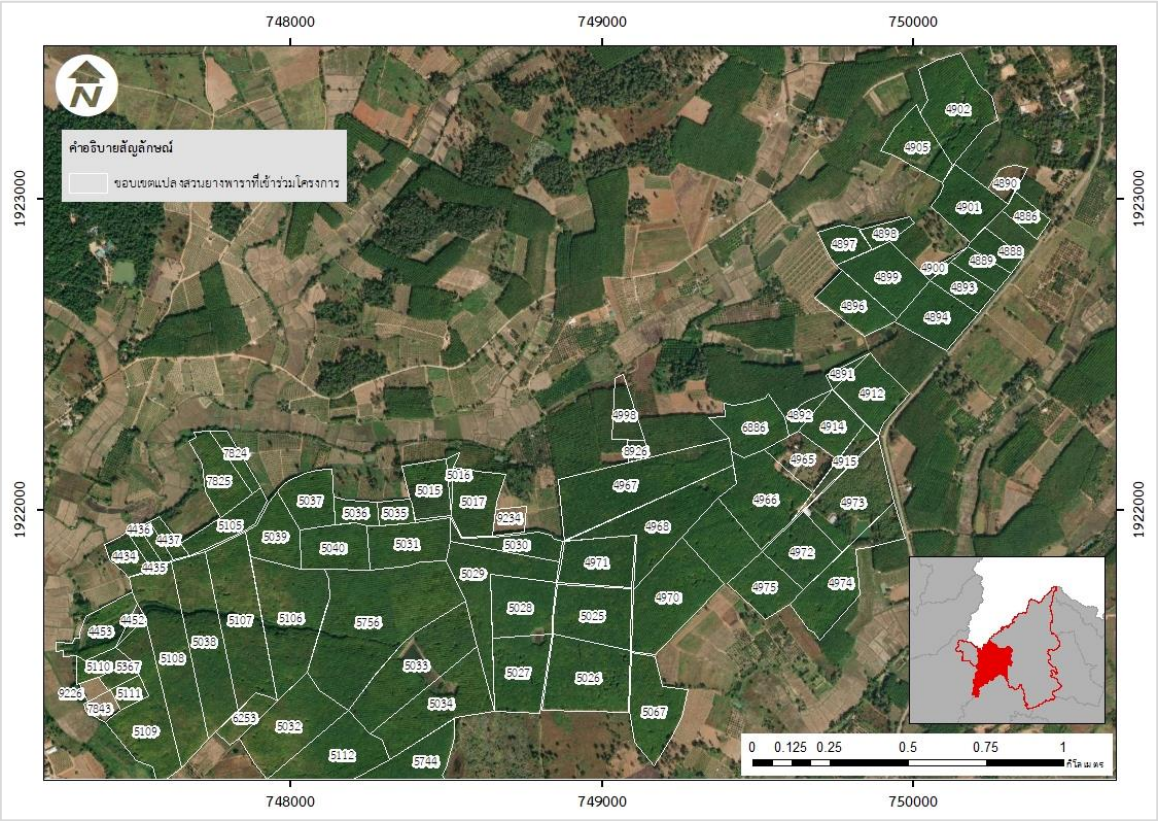
1.6 โครงการประเภทการลด ดูดซับ และการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และการเกษตร

1.6.1 ที่ตั้งพื้นที่โครงการ

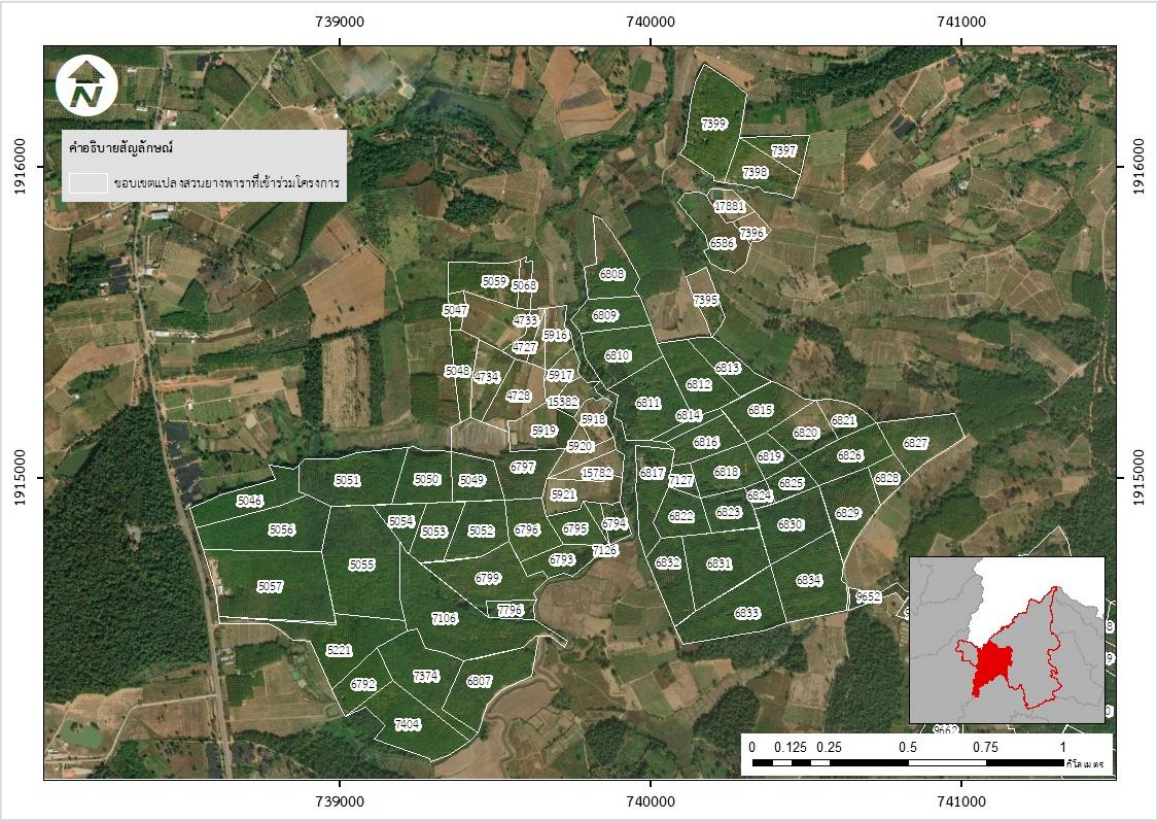
แปลงปลูกยางพาราที่เจ้าของโครงการนำเข้าร่วมโครงการฯ ทั้ง 189 แปลง มีตำแหน่งที่ตั้งดังภาคผนวก 1

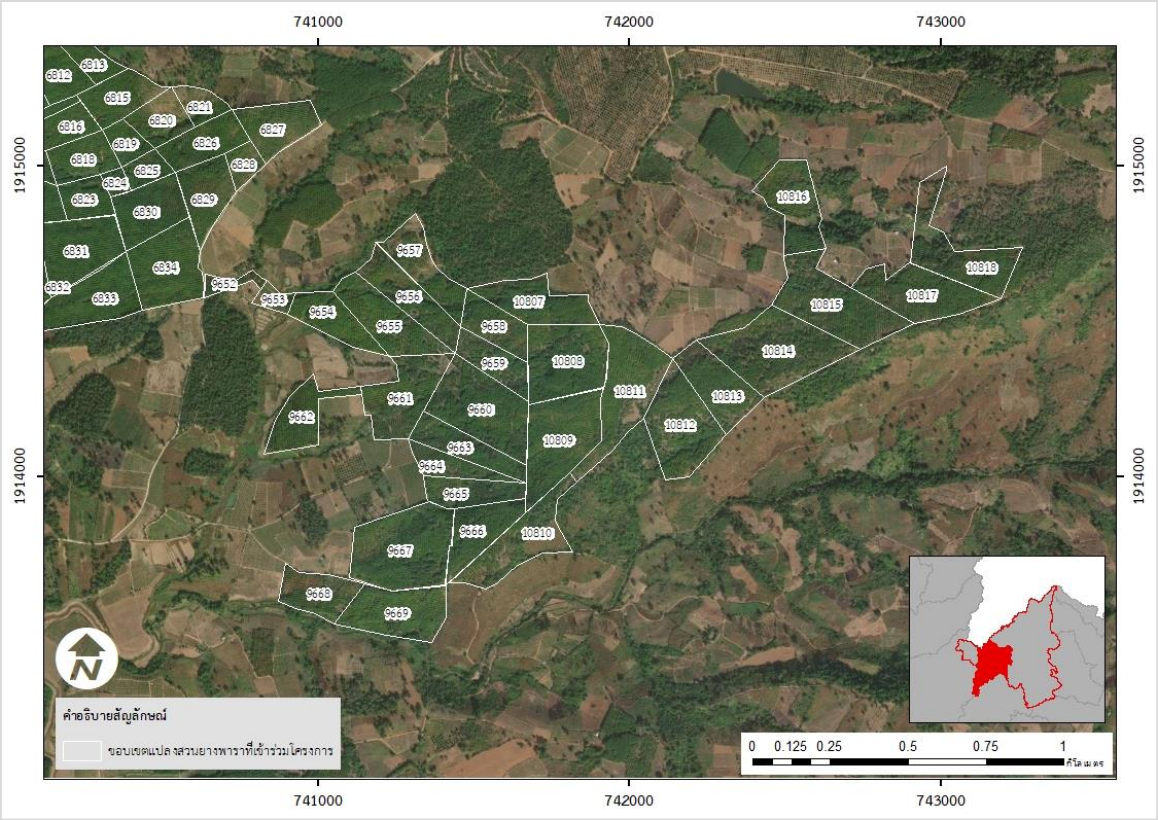
1.6.2 สิทธิในการใช้ประโยชน์ของที่ดินที่นำมาเข้าร่วมโครงการ

เจ้าของโครงการได้นำพื้นที่สวนยางพาราเข้าร่วมโครงการฯ ทั้งสิ้น 189 แปลง ประกอบด้วย 189 โฉนด ดังภาพที่ 1.11 โดยทุกแปลงเป็นเอกสารสิทธิ์ที่ดินประเภทโฉนดที่ดิน (น.ส.4) ดังตารางที่ 1.6 และเอกสารแนบท้ายข้อเสนอโครงการ



ภาพที่ 1.11 ก.โฉนดที่ดินพื้นที่เข้าร่วมโครงการฯ พื้นที่อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย





ภาพที่ 1.11 ข.โฉนดที่ดินพื้นที่เข้าร่วมโครงการฯ พื้นที่อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย

ตารางที่ 1.6 รายละเอียดเอกสารสิทธิ์ที่ดินที่ถูกนำมาเข้าร่วมโครงการฯ

ประเภทเอกสารสิทธิ์ที่ดิน	จำนวนแปลงสวนยาง (แห่ง)	จำนวนโฉนดที่ดิน
น.ส.4 จ.	189	189
รวม	189	189

ทั้งนี้ บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ในฐานะผู้พัฒนาโครงการ สามารถใช้ประโยชน์ที่ดินดังภาพที่ 1.11 และเอกสารแนบท้ายข้อเสนอโครงการ (PDD) เข้าร่วมในโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER และคาร์บอนเครดิตที่เกิดขึ้นจากที่ดินทั้ง 189 แปลง เจ้าของโครงการได้ยินยอมให้บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด เป็นผู้มีสิทธิบริหารจัดการผลประโยชน์จากคาร์บอนเครดิตที่ได้รับแทนเจ้าของพื้นที่ สำหรับนำไปใช้ในการขับเคลื่อนนโยบายคาร์บอนเครดิตของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด และตอบสนองนโยบายชาติเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งเป็นตัวแทนในการซื้อขายคาร์บอนเครดิต โดยบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จะจ่ายค่าตอบแทนในรูปแบบตัวเงินที่ได้จากการขายคาร์บอนเครดิตให้แก่เกษตรกรตามสัดส่วน 50 : 50 ตามปริมาณคาร์บอนที่ได้รับในพื้นที่สวนยางพาราของเจ้าของพื้นที่ ซึ่งรายละเอียดเป็นไปตามสัญญาเข้าร่วมโครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย ดังภาคผนวก 9

ส่วนที่ 2 ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ

2.1 ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจก (T-VER Methodology) และเครื่องมือคำนวณ (Tools) ที่ใช้

ลำดับ	รหัส	เวอร์ชั่น	ชื่อระเบียบวิธีฯ / เครื่องมือคำนวณ
1	T-VER-S-METH-13-06	02	ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) ฉบับที่ 02 Sector 15: Agriculture
2	T-VER-S-TOOL-01-01	01	การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ฉบับที่ 1 (Calculation for Carbon Sequestration)

2.2 เงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ

พื้นที่โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย เป็นพื้นที่ที่มีการปลูกยางพาราแบบสวนเชิงเดี่ยว โดยมีการปลูก ดูแล และจัดการ

แปลงปลูกอย่างถูกวิธี รวมถึงมีการใช้ปุ๋ย และ/หรือ สารปรับปรุงดินอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร เพื่อบำรุงรักษาให้ต้นยางพาราในพื้นที่โครงการฯ สามารถให้ผลผลิตได้อย่างต่อเนื่องและเต็มประสิทธิภาพ รวมถึงมีกิจกรรมอื่นๆ ที่สอดคล้องตามลักษณะของกิจกรรมโครงการที่เข้าข่าย (Applicability) และเงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ (Project Condition) ที่กำหนดไว้ในระเบียบวิธี T-VER-S-METH-13-06 Version 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

รหัส: T-VER-S-METH-13-06	
เวอร์ชั่น: 02	
ชื่อระเบียบวิธีฯ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) ฉบับที่ 02 Sector 15: Agriculture	
เงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ	**เหตุผลของโครงการ**
ลักษณะของกิจกรรมโครงการที่เข้าข่าย (Applicability)	
1.มีการปลูกพืชเกษตรยืนต้น ที่มีการปลูก ดูแล และจัดการอย่างถูกวิธี	พื้นที่โครงการฯ มีการปลูกต้นยางพาราซึ่งจัดเป็นพืชเกษตรยืนต้นที่ต้องมีการปลูก ดูแลบำรุงรักษา และจัดการพื้นที่อย่างถูกวิธี เพื่อให้ต้นยางพาราสามารถกักเก็บคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2.มีการปรับการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอย่างถูกต้องและเหมาะสม โดยต้องมีปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลดลงไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน	พื้นที่โครงการฯ มีแผนปรับลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีจากการดำเนินงานตามปกติ (Business as usual) ร้อยละ 5 ตลอดช่วงระยะเวลา 7 ปี ของการดำเนินโครงการ T-VER ดังภาคผนวก 6
3.เป็นการปลูกพืชเกษตรยืนต้น ที่มีรูปแบบการปลูกเป็นสวนเชิงเดี่ยว หรือเป็นสวนผสม	พื้นที่โครงการฯ มีรูปแบบการปลูกเป็นสวนเชิงเดี่ยว โดยปลูกยางพาราเพียงชนิดเดียว
4.เป็นรูปแบบการปลูกพืชเกษตรยืนต้นที่ต้องมีบำรุงรักษาอยู่อย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาผลผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่อง	แปลงปลูกยางพาราในพื้นที่โครงการฯ มีการบำรุงรักษาต้นยางพาราอย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาผลผลิตให้ได้อย่างต่อเนื่อง ได้แก่ -การใส่ปุ๋ยบำรุงตามอายุของต้นยางพารา -การดูแลหน้ากรีดเพื่อป้องกันโรคเข้าไปทำลายเนื้อไม้
เงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ (Project Conditions)	
1.มีหนังสือแสดงสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดินตามกฎหมาย	พื้นที่ดำเนินโครงการฯ มีหนังสือแสดงสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดินตามกฎหมาย ดังเอกสารแนบท้ายข้อเสนอโครงการ (PDD)

รหัส: T-VER-S-METH-13-06	
เวอร์ชั่น: 02	
ชื่อระเบียบวิธีฯ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) ฉบับที่ 02 Sector 15: Agriculture	
เงื่อนไขของกิจกรรมโครงการ	**เหตุผลของโครงการ**
2.เป็นพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ที่ดินเหมาะสมกับเขตการใช้ที่ดิน	พื้นที่ดำเนินโครงการฯ มีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เกษตรกรรมสอดคล้องกับภาคผนวก 4
3.ไม่เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อดินถล่ม	พื้นที่ดำเนินโครงการฯ ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวระดับต่ำถึงปานกลาง จึงมีโอกาสเกิดดินถล่มน้อยถึงอาจเกิดขึ้นบ้างในบางฤดูกาล เช่น ฤดูฝนที่มีปริมาณฝนตกชุก ดังภาคผนวก 5
4.มีข้อมูลการใช้ปุ๋ย และ/หรือ สารปรับปรุงดินย้อนหลังในพื้นที่โครงการ หรือข้อมูลอ้างอิงจากพื้นที่ใกล้เคียงย้อนหลังตลอดอายุการให้ผลผลิตของพืชเกษตรยืนต้น โดยพิจารณาการใช้ปุ๋ยตามช่วงอายุของพืช ณ เวลานั้นๆ	ข้อมูลการใช้ปุ๋ย และ/หรือ สารปรับปรุงดินของแปลงสวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึกร่วมกับแบบบันทึกข้อมูลการใช้ปุ๋ยในพื้นที่สวนยางพาราของโครงการฯ ดังภาคผนวก 2
5.ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลการใช้ปุ๋ยใน ข้อ 4. สามารถใช้ข้อมูลอ้างอิงจากหน่วยงานราชการ ค่าจากงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการที่อยู่ในฐานข้อมูลงานวิจัยของ TCI ISI Scopus หรือวารสารทางวิชาการที่ อบก. ยอมรับ และเป็นค่าที่เหมาะสมกับพื้นที่โครงการ	-
6.ไม่เป็นพื้นที่ที่มีการตัดพืชเกษตรยืนต้นออกก่อนครบอายุรอบการผลิต/รอบตัดฟัน (ตามประกาศ อบก.) เพื่อทำการปลูกพืชเกษตรยืนต้นรอบใหม่	โครงการนี้ไม่มีการตัดฟันต้นยางพาราออกจากพื้นที่ก่อนครบอายุรอบตัดฟัน เพื่อทำการปลูกพืชเกษตรยืนต้นรอบใหม่ เนื่องจากต้นยางพาราในพื้นที่โครงการฯ มีอายุอยู่ระหว่าง 2 - 20 ปี

2.3 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานของพื้นที่โครงการฯ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

1) ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก สามารถคำนวณได้จากการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกสุทธิก่อนเริ่มโครงการ โดยทำการประเมินจากรูปแบบหรือลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินภายในพื้นที่โครงการฯ ก่อนเริ่มดำเนินโครงการหรือเริ่มคิดเครดิต สำหรับโครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย เป็นการประเมินการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่ที่มีการปลูกยางพาราอยู่แล้วซึ่งมีอายุระหว่าง 2 - 20 ปี และพื้นที่ที่มีแผนปลูกกล้าต้นยางพาราประมาณเดือนมิถุนายน ถึงเดือนกรกฎาคม 2567 อายุ 0 ปี

2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถคำนวณได้จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิก่อนเริ่มโครงการ โดยประเมินจากข้อมูลการใช้ปุ๋ย และ/หรือ สารปรับปรุงดินในพื้นที่โครงการฯ ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์ผู้ดูแลสวนยางพาราที่เข้าร่วมโครงการ

อย่างไรก็ตาม การประเมินปริมาณการกักเก็บและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานและจากการดำเนินโครงการ มีรายละเอียดของกิจกรรมที่ใช้ในการคำนวณดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำมาใช้ในการคำนวณ

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	รายละเอียดของกิจกรรมโครงการ
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน		
1. การปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย	N_2O	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกยางพารา
2. การปล่อยก๊าซ N_2O จากการระเหยในรูป NH_3 และ NOx	N_2O	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกยางพารา
3. การปล่อยก๊าซ N_2O จากการชะล้างซึมผ่านผิวดิน	N_2O	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกต้นยางพารา
4.การปล่อยก๊าซ CO2 จากการใช้ปุ๋ยยูเรีย[1]	CO_2	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยยูเรียในการเพาะปลูกพืช
5.การปล่อยก๊าซ CO2 จากการใช้ปูนขาวและโดโลไมต์[1]	CO_2	คำนวณจากปริมาณการใช้ปูนขาวและโดโลไมต์
6.การปล่อยก๊าซ CO2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล[1]	CO_2	คำนวณจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล
การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ		
1. การปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย	N_2O	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกยางพารา

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	รายละเอียดของกิจกรรมโครงการ
2. การปล่อยก๊าซ N_2O จากการระเหยในรูป NH_3 และ NOx	N_2O	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกยางพารา
3. การปล่อยก๊าซ N_2O จากการชะล้างซึมผ่านผิวดิน	N_2O	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะปลูกต้นยางพารา
4.การปล่อยก๊าซ CO2 จากการใช้ปุ๋ยยูเรีย[1]	CO_2	คำนวณจากปริมาณการใช้ปุ๋ยยูเรียในการเพาะปลูกพืช
5.การปล่อยก๊าซ CO2 จากการใช้ปูนขาวและโดโลไมต์[1]	CO_2	คำนวณจากปริมาณการใช้ปูนขาวและโดโลไมต์
6.การปล่อยก๊าซ CO2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล[1]	CO_2	คำนวณจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล
7.มวลชีวภาพที่ถูกเผา (Burning of woody biomass)[1]	CO_2	คำนวณการเผาในกิจกรรมการตัดแต่งกิ่ง
	N_2O	คำนวณการเผาในกิจกรรมการการตัดแต่งกิ่ง

[1] ไม่ปรากฏแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการฯ

ตารางที่ 2.3 แหล่งสะสมคาร์บอนและก๊าซเรือนกระจกที่นำมาใช้ในการคำนวณ

แหล่งสะสมคาร์บอน	ชนิดของก๊าซเรือนกระจก	รายละเอียดของกิจกรรมโครงการ
การดูดซับ ดักจับ และกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน		
1. เหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: ABG)	CO_2	คำนวณจากปริมาณมวลชีวภาพของต้นยางพาราที่กักเก็บอยู่เหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ
2. ใต้ดิน (Below Ground Biomass: BLG)	CO_2	คำนวณจากปริมาณมวลชีวภาพของต้นยางพาราที่กักเก็บอยู่ใต้ดิน
3.การสะสมคาร์บอนในดิน (ทางเลือก)[2]	CO_2	คำนวณจากกิจกรรมการจัดการดินและการใส่อินทรีย์วัตถุ
การดูดซับ ดักจับ และกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ		
1. เหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: ABG)	CO_2	คำนวณจากปริมาณมวลชีวภาพของต้นยางพาราที่กักเก็บอยู่เหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ
2. ใต้ดิน (Below Ground Biomass: BLG)	CO_2	คำนวณจากปริมาณมวลชีวภาพของต้นยางพาราที่กักเก็บอยู่ใต้ดิน
3.การสะสมคาร์บอนในดิน (ทางเลือก)[2]	CO_2	คำนวณจากกิจกรรมการจัดการดินและการใส่อินทรีย์วัตถุ

[2] อบก. กำหนดเป็นทางเลือก ผู้พัฒนาโครงการจึงละเว้น

ส่วนที่ 3 การคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณปริมาณการกักเก็บและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับโครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย เป็นการคำนวณการกักเก็บและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Sequestration/Emission) ซึ่งเป็นการคำนวณก๊าซเรือนกระจกสุทธิของพื้นที่โครงการก่อนเริ่มดำเนินโครงการ T-VER และจากการดำเนินโครงการซึ่งเป็นการคาดการณ์การกักเก็บและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเริ่มดำเนินโครงการ T-VER โดยมีรายละเอียดขั้นตอนและสมการคำนวณ ดังนี้

3.1 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกกรณีฐาน (Baseline Sequestration/Emission)

3.1.1 การดูดซับ ดักจับ และกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $C_{BS} = C_{TT_0} + SOC_0$

$C_{TT_0} = C_{ABG_0}, C_{BLG_0}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
C_{BS}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการในกรณีฐาน	การคำนวณ	83,235.09	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{TT_0}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของต้นไม้ในกรณีฐาน	การคำนวณ	83,235.09	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{ABG_0}, C_{BLG_0}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินในกรณีฐาน	การคำนวณ	83,235.09	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
SOC_0	ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินในกรณีฐาน	การคำนวณ	0 (ศูนย์)*	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

หมายเหตุ: * มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจาก อบก. กำหนดเป็นทางเลือก ผู้พัฒนาโครงการจึงละเว้น

3.1.1.1 <u>มวลชีวภาพของต้นยางพาราในพื้นที่แปลงตัวอย่าง (M_i)</u> อาศัยสมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018) โดยการหาผลรวมของมวลชีวภาพในส่วนที่เป็นใบ มวลชีวภาพส่วนตอและราก และมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นเหนือตอและกิ่ง

รหัส: -

เวอร์ชั่น: -

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: สมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018)

สมการที่ใช้:

$$M_i = W_L + W_{STUMP} + W_{LA}$$

$$W_L = 0.00193\ x\ DBH^{2.499}$$

$$W_{STUMP} = 0.02440\ x\ DBH^{2.470}$$

$$W_{LA} = 0.05155\ x\ DBH^{2.783}$$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
W_L	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ	การคำนวณ	7,350.31	กิโลกรัม
W_{STUMP}	มวลชีวภาพใต้พื้นดินในส่วนของตอไม้และราก	การคำนวณ	85,354.84	กิโลกรัม
W_{LA}	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของลำต้นเหนือตอและกิ่ง	การคำนวณ	451,752.16	กิโลกรัม
DBH	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร	การวัด	13.67 – 19.77	เซนติเมตร

3.1.1.2 <u>การคำนวณปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน</u> อาศัยการคำนวณจากข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Hytonen J. *et. al.* (2018)

รหัส: -

เวอร์ชั่น: -

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: สมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018)

สมการที่ใช้: $C_{ABG_0}, C_{BLG_0} = \sum_{i=1}^{n} M_{i\ i} \times CF \times \frac{44}{12}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
C_{ABG_0}, C_{BLG_0}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินในกรณีฐาน	การคำนวณ	ตารางที่ 3.1	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
M_i	มวลชีวภาพรวมของต้นยางพาราในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีของ Hytonen J. *et. al.* (2018)	การคำนวณ	544.46	ตัน
CF	สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้	ตารางที่ 4.3 หน้า 4.48 2006 IPCC Guidelines for National	0.47	-

รหัส: -				
เวอร์ชั่น: -				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: สมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018)				
สมการที่ใช้: $C_{ABG_0}, C_{BLG_0} = \sum_{i=1}^{n} M_{i\ i} \times CF \times \frac{44}{12}$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
		Greenhouse Gas Inventories: Volume 4		

3.1.1.3 <u>การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมจากกรณีฐาน</u>

รหัส: T-VER-S-TOOL-01-01				
เวอร์ชั่น: 01				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้				
สมการที่ใช้: $C_{TT_0} = \sum_{i=1}^{n} C_{TT_0,i}$ $C_{TT_0,i} = (C_{ABG_0,i} + C_{BLG_0,i}) \times \frac{A_i}{a_i}$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
C_{TT_0}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการในกรณีฐาน	การคำนวณ	83,235.09	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{TT_0,\mathrm{i}}$	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ของแปลงตัวอย่างที่ i ในกรณีฐาน	การคำนวณ	ตารางที่ 3.1	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{ABG_0,i}$	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่างที่ i ในกรณีฐาน	การคำนวณ	ตารางที่ 3.1	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{BLG_0,i}$	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนใต้ดินของต้นไม้ของแปลงตัวอย่างที่ i ในกรณีฐาน	การคำนวณ	ตารางที่ 3.1	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
A_i	พื้นที่ทั้งหมด (เฉพาะบริเวณที่ต้นยางพารามี DBH > 4.5 ซ.ม.)	การวัด	3,282.28	ไร่
a_i	พื้นที่แปลงตัวอย่าง (เฉพาะพื้นที่ที่มีการวางแปลงตัวอย่าง)	การวัด	37	ไร่

3.1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน

รหัส: T-VER-S-METH-13-06				
เวอร์ชั่น: 02				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
สมการที่ใช้: $GHG_{BS} = NBL + CBL + FBL$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
GHG_{BS}	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กรณีฐาน	การคำนวณ	ตารางที่ 3.3	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
NBL	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ย	การคำนวณ	2.55 – 14.81	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
CBL	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้ปุ๋ย	การคำนวณ	0 (ศูนย์)**	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
FBL	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล	การคำนวณ	0 (ศูนย์)**	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

หมายเหตุ: ** มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากไม่ปรากฏแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการฯ

3.1.2.1 <u>การคำนวณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ยในภาคการเกษตร</u>

รหัส: T-VER-S-METH-13-06				
เวอร์ชั่น: 02				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
สมการที่ใช้: $NBL = NBL_{DR} + NBL_{IDR}$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
NBL	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ย	การคำนวณ	2.55 – 14.81	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
NBL_{DR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรง	การคำนวณ	0.20 – 1.20	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
NBL_{IDR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยอ้อม	การคำนวณ	2.34 – 13.60	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

3.1.2.2 <u>ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรง (จากการคำนวณ)</u>

รหัส: T-VER-S-METH-13-06				
เวอร์ชั่น: 02				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
สมการที่ใช้: $NBL_{DR} = \left[\left(F_{SN,i,0} + F_{ON,i,0}\right) \times EF_2\right] \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
NBL_{DR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรง	การคำนวณ	0.20 – 1.20	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
$F_{SN,i,0}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมี ชนิดที่ i	การคำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ตันไนโตรเจนต่อปี
$F_{ON,i,0}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดที่ i	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
EF_2	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.010	-
GWP_{N_2O}	ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซไนตรัสออกไซด์	ค่า GWP_{N2O} ล่าสุดที่ อบก. ประกาศ	265	tCO_2e/tN_2O
$\frac{44}{28}$	อัตราส่วนของน้ำหนักอะตอมของ N ต่อน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ N_2O	-	-	-

3.1.2.3 <u>ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยอ้อม (จากการคำนวณ)</u>

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $NBL_{IDR} = [(N_2O_{(v),i} + N_2O_{(L),i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$

$$N_2O_{(v),i} = \left[(F_{SN,i,0} \times frac_{NH_3-NO_x,1}) + (F_{ON,i,0} \times frac_{NH_3-NO_x,2}\right) \times EF_3$$

$$N_2O_{(L),i} = (F_{SN,i,0} + F_{ON,i,0}) \times frac_{leach} \times EF_4$$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
NBL_{IDR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยอ้อม	การคำนวณ	2.34 – 13.60	ตัน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
$N_2O_{(v),i}$	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการระเหยในรูป NH_3+NO_x ของปุ๋ยชนิดที่ i	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
$N_2O_{(L),i}$	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการชะล้างซึมผ่านผิวดิน ของปุ๋ย ชนิดที่ i	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
$F_{SN,i,0}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดที่ i ในกรณีฐาน	การคำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ตันไนโตรเจนต่อปี
$F_{ON,i,o}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดที่ i ในกรณีฐาน	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
$frac_{NH_3-NO_x,1}$	สัดส่วนของปุ๋ยเคมีที่ระเหยในรูป NH_3+NO_x	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.11	-
$frac_{NH_3-NO_x,2}$	สัดส่วนของปุ๋ยอินทรีย์ที่ระเหยในรูป NH_3+NO_x	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.21	-
$frac_{leach}$	สัดส่วนของปุ๋ยที่ถูกชะล้าง	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to	0.24	-

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $NBL_{IDR} = [(N_2O_{(v),i} + N_2O_{(L),i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$

$$N_2O_{(v),i} = \left[(F_{SN,i,0} \times frac_{NH_3-NO_x,1}) + (F_{ON,i,0} \times frac_{NH_3-NO_x,2}\right) \times EF_3$$

$$N_2O_{(L),i} = (F_{SN,i,0} + F_{ON,i,0}) \times frac_{leach} \times EF_4$$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
		the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.		
EF_3	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.010	-
EF_4	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.011	-
GWP_{N_2O}	ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซไนตรัสออกไซด์	ค่า GWP_{N2O} ล่าสุดที่ อบก. ประกาศ	265	tCO_2e/tN_2O
$\frac{44}{28}$	อัตราส่วนของน้ำหนักอะตอมของ N ต่อน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ N_2O	-	-	-

3.2 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Sequestration/Emission)

3.2.1 การดูดซับ ดักจับ และกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $C_{PS_t} = C_{TT_t} + SOC_t - C_{Pruning}$

$C_{TT_t} = C_{ABG_t} + C_{BLG_t}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
C_{PS_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่ในปีที่ t	การคำนวณ	ตารางที่ 3.7	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{TT_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของต้นไม้จากการดำเนินโครงการ ในปีที่ t	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{ABG_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจากการดำเนินโครงการในปีที่ t	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{BLG_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนใต้ดินจากการดำเนินโครงการในปีที่ t	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
SOC_t	ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินจากการดำเนินโครงการ (ทางเลือก) ในปีที่ t	การคำนวณ	0 (ศูนย์)*	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{Pruning}$	ปริมาณการสูญเสียคาร์บอนจากการเผาชีวมวลจากกิจกรรมการตัดแต่งกิ่ง จากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	0 (ศูนย์)**	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
t	ปีที่ดำเนินการติดตามประเมินผล	-	-	-

หมายเหตุ: * มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจาก อบก. กำหนดเป็นทางเลือก ผู้พัฒนาโครงการจึงละเว้น

** มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากไม่ปรากฏแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการฯ

3.2.1.1 <u>มวลชีวภาพของต้นยางพาราในพื้นที่แปลงตัวอย่าง (M_i)</u> อาศัยสมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018) โดยการหาผลรวมของมวลชีวภาพในส่วนที่เป็นใบ มวลชีวภาพส่วนตอและราก และมวลชีวภาพในส่วนของลำต้นเหนือตอและกิ่ง

รหัส: -

เวอร์ชั่น: -

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: สมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018)

สมการที่ใช้:

$$M_i = W_L + W_{STUMP} + W_{LA}$$

$$W_L = 0.00193\ x\ DBH^{2.499}$$

$$W_{STUMP} = 0.02440\ x\ DBH^{2.470}$$

$$W_{LA} = 0.05155\ x\ DBH^{2.783}$$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
M_i	มวลชีวภาพของต้นยางพาราในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีของ Hytonen J. *et. al.* (2018)	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	กิโลกรัม
W_L	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	กิโลกรัม
W_{STUMP}	มวลชีวภาพใต้พื้นดินในส่วนของตอไม้และราก	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	กิโลกรัม
W_{LA}	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของลำต้นเหนือตอและกิ่ง	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	กิโลกรัม
DBH	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร	การวัด	วัดซ้ำในปีที่ขอรับรอง	เซนติเมตร

3.1.1.2 <u>การคำนวณปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ</u> อาศัยการคำนวณจากข้อมูลมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Hytonen J. *et. al.* (2018)

รหัส: -				
เวอร์ชั่น: -				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: สมการของ Hytonen J. *et. al.* (2018)				
สมการที่ใช้: $C_{ABG_0}, C_{BLG_0} = \sum_{i=1}^{n} M_{i\ i} \times CF \times \frac{44}{12}$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
C_{ABG_t}, C_{BLG_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินจากการดำเนินโครงการในปีที่ t	การคำนวณ	ตารางที่ 3.1	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
M_i	มวลชีวภาพรวมของต้นยางพาราในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีของ Hytonen J. *et. al.* (2018)	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตัน
CF	สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้	ตารางที่ 4.3 หน้า 4.48 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4	0.47	-

3.2.1.3 <u>การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนรวมจากการดำเนินโครงการ</u>

รหัส: T-VER-S-TOOL-01-01

เวอร์ชั่น: 01

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

สมการที่ใช้: $C_{TT_t} = \sum_{i=1}^{n} C_{TT_t,i}$

$$C_{TT_t,i} = \left(C_{ABG_t,i} + C_{BLG_t,i}\right) \times \frac{A_i}{a_i}$$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
C_{TT_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของต้นไม้จากการดำเนินโครงการ ในปีที่ t	การคำนวณ	ตารางที่ 3.7	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{TT_t,\mathrm{i}}$	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ของแปลงตัวอย่างที่ i ในปีที่ t	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{ABG,i}$	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของแปลงตัวอย่างที่ i ในปีที่ t	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
$C_{BLG,i}$	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนใต้ดินของต้นไม้ของแปลงตัวอย่างที่ i ในปีที่ t	การคำนวณ	คำนวณจากข้อมูลที่เก็บในปีที่ขอรับรอง	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
A_i	พื้นที่ทั้งหมด	การวัด	3,400.35	ไร่
a_i	พื้นที่แปลงตัวอย่าง	การวัด	39	ไร่

3.2.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

รหัส: T-VER-S-METH-13-06				
เวอร์ชั่น: 02				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
สมการที่ใช้: $GHG_{proj} = NPE + CPE + FPE$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
GHG_{proj}	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	ตารางที่ 3.6	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
NPE	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ยจากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	2.42 – 14.07	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
CPE	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้ปุ๋ยจากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	0 (ศูนย์)**	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
FPE	ปริมาณการปล่อยก๊าซ CO_2จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล	การคำนวณ	0 (ศูนย์)**	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

หมายเหตุ: ** มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากไม่ปรากฏแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการฯ

3.2.2.1 <u>การคำนวณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ยในภาคการเกษตร</u>

รหัส: T-VER-S-METH-13-06				
เวอร์ชั่น: 02				
ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก				
สมการที่ใช้: $NPE = NPE_{DR} + NPE_{IDR}$				
พารามิเตอร์	**ความหมาย**	**อ้างอิง**	**ค่าที่ใช้**	**หน่วย**
NPE	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ยจากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	2.42 – 14.07	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
NPE_{DR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรง	การคำนวณ	0.19 – 1.14	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
NPE_{IDR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยอ้อม	การคำนวณ	2.22 – 12.92	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

3.2.2.2 <u>ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรง (จากการคำนวณ)</u>

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $NPE_{DR} = [(F_{SN,i,proj} + F_{ON,i,proj}) \times EF_2] \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
NPE_{DR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยตรง	การคำนวณ	0.19 – 1.14	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
$F_{SN,i,proj}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมีชนิดที่ i จากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ตันไนโตรเจนต่อปี
$F_{ON,i,proj}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ i จากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
EF_2	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	ตารางที่ 11.1 IPCC AFOLU Guidelines 2006 Vol.4 Ch.11	0.01	-
GWP_{N_2O}	ค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซไนตรัสออกไซด์	ค่า GWP_{N2O} ล่าสุดที่ อบก. ประกาศ	265	tCO_2e/tN_2O
$\frac{44}{28}$	อัตราส่วนของน้ำหนักอะตอมของ N ต่อน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซ N_2O	-	-	-

3.2.2.3 <u>ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยอ้อม (จากการคำนวณ)</u>

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $NPE_{IDR} = [(N_2O_{(v),i} + N_2O_{(L),i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$

$$N_2O_{(v),i} = [(F_{SN,i,proj} \times frac_{NH_3-NO_x,1}) + (F_{ON,i,proj} \times frac_{NH_3-NO_x,2}) \times EF_3$$

$$N_2O_{(L),i} = (F_{SN,i,proj} + F_{ON,i,proj}) \times frac_{leach} \times EF_4$$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
NPE_{IDR}	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O โดยอ้อม	การคำนวณ	2.22 – 12.92	ตัน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี
$N_2O_{(v),i}$	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการระเหยในรูป NH_3+NO_x ของปุ๋ยชนิดที่ i	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
$N_2O_{(L),i}$	ปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการชะล้างซึมผ่านผิวดิน ของปุ๋ย ชนิดที่ i	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
$F_{SN,i,proj}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมี ชนิดที่ i จากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	ค่าจากการคำนวณ	ตันไนโตรเจนต่อปี
$F_{ON,i,proj}$	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดที่ i จากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	0	ตันไนโตรเจนต่อปี
$frac_{NH_3-NO_x,1}$	สัดส่วนของปุ๋ยเคมีที่ระเหยในรูป NH_3+NO_x	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.11	-
$frac_{NH_3-NO_x,2}$	สัดส่วนของปุ๋ยอินทรีย์ที่ระเหยในรูป NH_3+NO_x	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.	0.21	-
$frac_{leach}$	สัดส่วนของปุ๋ยที่ถูกชะล้าง	ตารางที่ 11.3, 2019 Refinement to	0.24	-

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $NPE_{IDR} = [(N_2O_{(v),i} + N_2O_{(L),i}) \times \frac{44}{28} \times GWP_{N_2O}$

$N_2O_{(v),i} = [(F_{SN,i,proj} \times frac_{NH_3-NO_x,1}) + (F_{ON,i,proj} \times frac_{NH_3-NO_x,2}) \times EF_3$

$N_2O_{(L),i} = (F_{SN,i,proj} + F_{ON,i,proj}) \times frac_{leach} \times EF_4$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
		the 2006 IPCC Guidelines, Volume 4, Chapter 11.		

3.3 การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการดำเนินโครงการ (Carbon Sequestration)

รหัส: T-VER-S-METH-13-06

เวอร์ชั่น: 02

ชื่อระเบียบวิธีฯ/เครื่องมือ: ระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับ การกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สมการที่ใช้: $C_{PCP} = (C_{PS_t} - C_{PS_i}) + (GHG_{BS} - GHG_{proj})$

พารามิเตอร์	ความหมาย	อ้างอิง	ค่าที่ใช้	หน่วย
C_{PCP}	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	ตารางที่ 3.7	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{PS_t}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการในปีที่ t	การคำนวณ	ตารางที่ 3.2	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
C_{PS_i}	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการในกรณีฐาน (CBS) หรือปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการของปีที่ได้รับการรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจกล่าสุด	การคำนวณ	ตารางที่ 3.2	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
GHG_{BS}	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กรณีฐาน	การคำนวณ	ตารางที่ 3.6	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
GHG_{proj}	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	การคำนวณ	ตารางที่ 3.6	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

3.4 สรุปปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจก

3.4.1 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากกรณีฐาน

จากตารางที่ 3.1 พบว่า พื้นที่แปลงปลูกยางพาราในโครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนจากกรณีฐานรวมทั้งสิ้น 83,235.09 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

3.4.2 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการดำเนินโครงการ

จากตารางที่ 3.2 พบว่า เมื่อดำเนินโครงการครบ 7 ปี คาดว่าต้นยางพาราในพื้นที่โครงการฯ สามารถกักเก็บคาร์บอนในรูป CO_2 ได้ทั้งสิ้น 100,446.22 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือเฉลี่ยปีละ 14,349.46 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 3.1 ผลผลิตมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกของต้นยางพาราในกรณีฐาน

รหัสแปลงตัวอย่าง	จำนวนต้นยาง (ต้นต่อไร่)	ขนาดพื้นที่โครงการ: A (ไร่)	จำนวนแปลงตัวอย่าง (ไร่)	มวลชีวภาพส่วนใบ (กก.)	มวลชีวภาพส่วนตอและราก (กก.)	มวลชีวภาพส่วนของลำต้นและกิ่ง (กก.)	มวลชีวภาพรวม (กก.)	มวลชีวภาพรวม (Mi) (ตัน)	ผลรวมปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตัน)	ผลรวมปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO_2e)	ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (tCO_2e): C_{TT0}
อำเภอภูเรือ											**83,235.09**
CPA 01	75	1,495.00	1	254.30	2,946.47	15,969.36	19,170.13	19.17	9.01	33.04	
CPA 02	82		1	231.49	2,687.03	14,279.96	17,198.47	17.20	8.08	29.64	
CPA 03	79		1	254.13	2,945.54	15,906.07	19,105.75	19.11	8.98	32.93	
CPA 04	76		1	239.60	2,778.09	14,939.71	17,957.39	17.96	8.44	30.95	
CPA 05	72		1	170.80	1,986.55	10,336.40	12,493.75	12.49	5.87	21.53	
CPA 06	75		1	187.73	2,182.17	11,424.41	13,794.31	13.79	6.48	23.77	
CPA 07	72		1	252.88	2,927.42	16,024.65	19,204.95	19.20	9.03	33.10	
CPA 08	76		1	225.32	2,614.72	13,934.31	16,774.35	16.77	7.88	28.91	
CPA 09	74		1	181.94	2,115.48	11,038.78	13,336.20	13.34	6.27	22.98	
CPA 10	71		1	215.92	2,504.08	13,438.12	16,158.12	16.16	7.59	27.85	
CPA 11	68		1	235.20	2,724.29	14,814.74	17,774.23	17.77	8.35	30.63	
CPA 12	78		1	206.76	2,402.63	12,615.75	15,225.14	15.23	7.16	26.24	
CPA 13	78		1	221.94	2,577.30	13,631.89	16,431.14	16.43	7.72	28.32	
CPA 14	75		1	228.05	2,645.78	14,135.36	17,009.19	17.01	7.99	29.31	

รหัสแปลงตัวอย่าง	จำนวนต้นยาง (ต้นต่อไร่)	ขนาดพื้นที่โครงการ: A (ไร่)	จำนวนแปลงตัวอย่าง (ไร่)	มวลชีวภาพส่วนใบ (กก.)	มวลชีวภาพส่วนตอและราก (กก.)	มวลชีวภาพส่วนของลำต้นและกิ่ง (กก.)	มวลชีวภาพรวม (กก.)	มวลชีวภาพรวม (Mi) (ตัน)	ผลรวมปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตัน)	ผลรวมปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO_2e)	ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (tCO_2e): C_{TT0}
CPA 15	67		1	199.80	2,318.43	12,360.64	14,878.87	14.88	6.99	25.64	
CPA 16	75		1	244.27	2,831.88	15,250.06	18,326.21	18.33	8.61	31.58	
CPA 39	0	12.19	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
อำเภอด่านซ้าย											
CPA 17	75	1,787.28	1	201.59	2,341.04	12,381.93	14,924.56	14.92	7.01	25.72	
CPA 18	78		1	187.57	2,182.15	11,313.09	13,682.81	13.68	6.43	23.58	
CPA 19	73		1	181.78	2,113.57	11,031.65	13,327.00	13.33	6.26	22.97	
CPA 20	70		1	218.92	2,538.96	13,615.49	16,373.36	16.37	7.70	28.22	
CPA 21	73		1	149.71	1,743.20	8,968.64	10,861.56	10.86	5.10	18.72	
CPA 22	77		1	216.73	2,514.23	13,453.17	16,184.13	16.18	7.61	27.89	
CPA 23	77		1	199.26	2,315.33	12,171.86	14,686.45	14.69	6.90	25.31	
CPA 24	75		1	177.40	2,063.78	10,710.69	12,951.87	12.95	6.09	22.32	
CPA 25	77		1	257.96	2,988.52	16,217.32	19,463.79	19.46	9.15	33.54	
CPA 26	75		1	156.31	1,819.87	9,369.48	11,345.67	11.35	5.33	19.55	
CPA 27	75		1	223.30	2,590.23	13,866.10	16,679.62	16.68	7.84	28.74	
CPA 28	75		1	147.49	1,719.35	8,728.98	10,595.82	10.60	4.98	18.26	
CPA 29	77		1	145.01	1,690.11	8,597.68	10,432.79	10.43	4.90	17.98	

รหัสแปลงตัวอย่าง	จำนวนต้นยาง (ต้นต่อไร่)	ขนาดพื้นที่โครงการ: A (ไร่)	จำนวนแปลงตัวอย่าง (ไร่)	มวลชีวภาพส่วนใบ (กก.)	มวลชีวภาพส่วนตอและราก (กก.)	มวลชีวภาพส่วนของลำต้นและกิ่ง (กก.)	มวลชีวภาพรวม (กก.)	มวลชีวภาพรวม (Mi) (ตัน)	ผลรวมปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตัน)	ผลรวมปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO_2e)	ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก (tCO_2e): C_{TT0}
CPA 30	71		1	215.58	2,501.12	13,362.60	16,079.30	16.08	7.56	27.71	
CPA 31	72		1	186.19	2,162.87	11,404.54	13,753.59	13.75	6.46	23.70	
CPA 32	68		1	97.08	1,135.32	5,570.31	6,802.71	6.80	3.20	11.72	
CPA 33	74		1	147.79	1,722.13	8,781.92	10,651.84	10.65	5.01	18.36	
CPA 34	77		1	154.82	1,803.84	9,209.42	11,168.08	11.17	5.25	19.25	
CPA 35	67		1	151.21	1,758.86	9,147.27	11,057.34	11.06	5.20	19.06	
CPA 36	70		1	238.11	2,758.02	14,995.29	17,991.42	17.99	8.46	31.01	
CPA 37	73		1	146.37	1,704.48	8,754.52	10,605.37	10.61	4.98	18.28	
CPA 38	0	105.88	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
รวม	**พื้นที่ทั้งโครงการ**	**3,400.35**	**37**	**7,350.31**	**85,354.84**	**451,752.16**	**544,457.30**	**544.46**	**255.89**	**938.28**	
พื้นที่ยางพาราอายุ 11ปีขึ้นไป		**3,282.28**									

ตารางที่ 3.2 การคาดการณ์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากการดำเนินโครงการ

ปี	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการในกรณีฐาน (C_{BS})	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการในปีที่ t	ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะได้จากการดำเนินโครงการ
			ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
t	C_{PSi}	$C_{PSt} = C_{PSi}+(t*4.22*A)$	$C_{PSt} - C_{PSi}$
0	83,235.09	0.00	0
1	83,235.09	97,584.55	14,349.46
2	83,235.09	111,934.01	28,698.92
3	83,235.09	126,283.47	43,048.38
4	83,235.09	140,632.93	57,397.84
5	83,235.09	154,982.39	71,747.30
6	83,235.09	169,331.84	86,096.76
7	83,235.09	183,681.30	100,446.22
รวม (tCO_2e)	**83,235.09**	**183,681.30**	**100,446.22**
จำนวนปี	**7**	**7**	**7**
เฉลี่ยปีละ (tCO_2e/y)	**11,890.73**	**26,240.19**	**14,349.46**

หมายเหตุ: อัตราการเพิ่มพูนคาร์บอนในพื้นที่สวนยางพาราเท่ากับ 4.22 ตัน/ไร่/ปี (อบก. และคณะวนศาสตร์ มก., 2554)

3.4.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการฯ เกิดขึ้นจากการใช้ปุ๋ยเคมีเท่านั้น ไม่พบการปล่อยจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยยูเรีย ปูนขาว และโดโลไมต์ จึงไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมดังกล่าว ดังนั้น จากสัมภาษณ์ผู้ดูแลแปลงปลูกยางพาราที่เข้าร่วมโครงการฯ พบว่า ยางพาราแต่ละอายุมีการใส่ปุ๋ยเคมีในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้

3.4.3.1 ยางพาราอายุ 0 – 2 ปี ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 25-7-7 โดยใส่ในปริมาณ 200 กรัมต่อต้นต่อปี

3.4.3.2 ยางพาราอายุ 3 – 6 ปี ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 โดยใส่ในปริมาณ 400 กรัมต่อต้นต่อปี

3.4.3.2 ยางพาราอายุ 7 ปีขึ้นไป ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 29-5-18 โดยใส่ในปริมาณ 1,000 กรัมต่อต้นต่อปี

ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีไปแทนค่าในสมการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.3 พบว่า แปลงตัวอย่างในพื้นที่โครงการฯ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานเฉลี่ยปีละ 3,632.03 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยแบ่งเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ยเคมีในแปลงสวนยางพาราในอำเภอภูเรือปีละ 1,653.26 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และในอำเภอด่านซ้ายปีละ 1,978.76 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กรณีฐาน (GHG_{BS})

รหัสแปลงตัวอย่าง	อายุต้นยาง (ปี)	NBL เฉลี่ยต่อแปลง ($Kg.CO_2e$)	พื้นที่โครงการ (ไร่)	ค่า GHG_{BS} ($Kg.CO_2e$)	ค่า GHG_{BS} (tCO_2e)
อำเภอภูเรือ					
CPA 01	11	1,104.31	1,495.00	1,650,939.76	1,650.94
CPA 02	11				
CPA 03	11				
CPA 04	11				
CPA 05	11				
CPA 06	11				
CPA 07	11				
CPA 08	11				
CPA 09	11				
CPA 10	11				
CPA 11	11				
CPA 12	12				
CPA 13	12				
CPA 14	12				
CPA 15	12				
CPA 16	12				
CPA 39	2	190.40	12.19	2,321.69	2.32
รวมภูเรือ		**1,294.71**	**1,507.19**	**1,653,261.45**	**1,653.26**
อำเภอด่านซ้าย					
CPA 17	12	1,095.98	1,787.28	1,958,821.38	1,958.82
CPA 18	11				
CPA 19	11				
CPA 20	11				
CPA 21	11				
CPA 22	12				
CPA 23	11				
CPA 24	11				
CPA 25	11				
CPA 26	11				
CPA 27	11				
CPA 28	11				

รหัสแปลงตัวอย่าง	อายุต้นยาง (ปี)	NBL เฉลี่ยต่อแปลง ($Kg.CO_2e$)	พื้นที่โครงการ (ไร่)	ค่า GHG_{BS} ($Kg.CO_2e$)	ค่า GHG_{BS} (tCO_2e)
CPA 29	11				
CPA 30	11				
CPA 31	11				
CPA 32	11				
CPA 33	11				
CPA 34	11				
CPA 35	11				
CPA 36	11				
CPA 37	11				
CPA 38	2	188.35	105.88	19,942.92	19.94
รวมด่านซ้าย		**1,284.33**	**1,893.16**	**1,978,764.30**	**1,978.76**
รวมทั้งหมด		**2,579.04**	**3,400.35**	**3,632,025.74**	**3,632.03**

หมายเหตุ: GHG_{BS} คือปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน, NBL คือปริมาณการปล่อยก๊าซ N_2O จากการใช้ปุ๋ยในภาคการเกษตรในกรณีฐาน

3.6.4 การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 3.5, ตารางที่ 3.6 และภาพที่ 3.1 สะท้อนให้เห็นว่า หากตลอดระยะเวลาการเข้าร่วมโครงการ T-VER พื้นที่โครงการฯ ไม่มีแผนการปรับลดการใช้ปุ๋ยเคมี จะส่งผลให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของไนตรัสออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศเฉลี่ยปีละ 3,691.75 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการดำเนินการปรับลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า พื้นที่โครงการฯ จะปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของไนตรัสออกไซด์ลดลง โดยมีปริมาณเฉลี่ยปีละ 3,505.64 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารายปี พบว่า ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการ มีค่าสอดคล้องตามแผนลดปริมาณการใช้ปุ๋ยที่กำหนดไว้ดังภาคผนวก 6

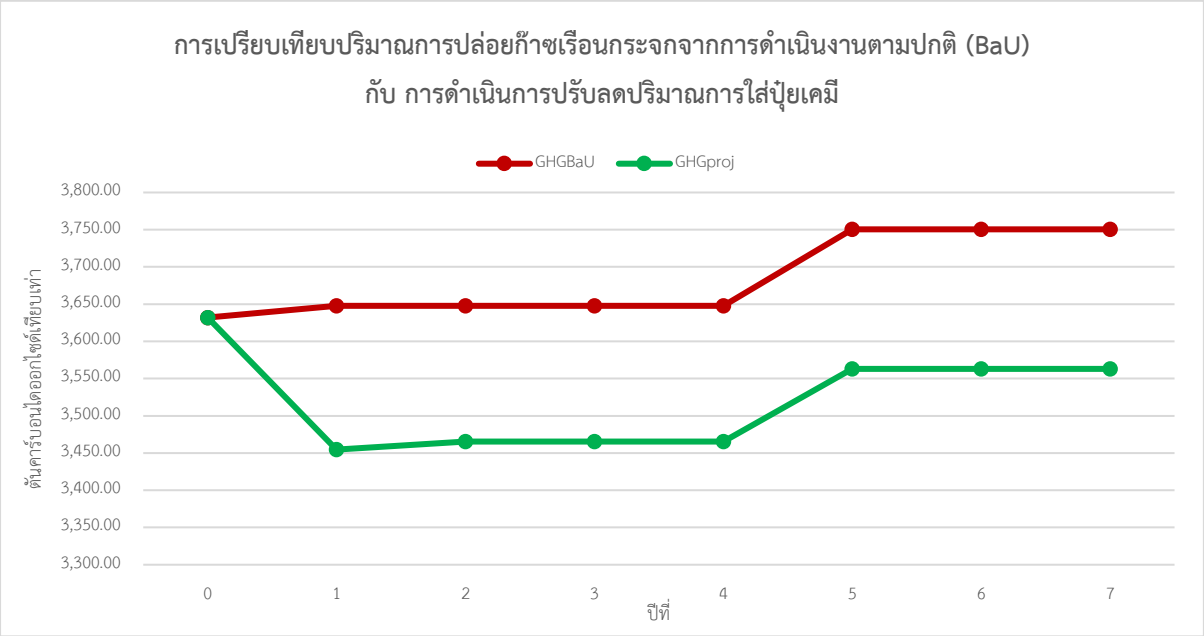
ตารางที่ 3.5 การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการภายหลังดำเนินการปรับลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี

ปี	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กรณีฐาน	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ
			ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
t	GHG_{BS}	GHG_{proj}	GHG_{BS}- GHG_{proj}
2567	3,632.03	0.00	0.00
2568	3,647.69	3,454.65	193.03

ปี	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้กรณีฐาน	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ
2569	3,647.69	3,465.30	182.38
2570	3,647.69	3,465.30	182.38
2571	3,647.69	3,465.30	182.38
2572	3,750.50	3,562.97	187.52
2573	3,750.50	3,562.97	187.52
2574	3,750.50	3,562.97	187.52
รวม (tCO_2eq)	**25,842.25**	**24,539.49**	**1,302.76**
จำนวนปี	**7**	**7**	**7**
เฉลี่ยปีละ (tCO_2eq/y)	**3,691.75**	**3,505.64**	**186.11**

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานตามปกติ (BaU) กับการดำเนินการปรับลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี

ปี	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานตามปกติ (BaU)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในพื้นที่โครงการ
			ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
t	GHG_{BaU}	GHG_{proj}	GHG_{BaU} - GHG_{proj}
2567	3,632.03	3,632.03	0.00
2568	3,647.69	3,454.65	5.29
2569	3,647.69	3,465.30	5.00
2570	3,647.69	3,465.30	5.00
2571	3,647.69	3,465.30	5.00
2572	3,750.50	3,562.97	5.00
2573	3,750.50	3,562.97	5.00
2574	3,750.50	3,562.97	5.00
เฉลี่ยปีละ (tCO_2eq/y)	**3,691.75**	**3,505.64**	**5.04**



ภาพที่ 3.1 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาการใส่ปุ๋ย ระหว่างการดำเนินงานตามปกติ กับ การปรับลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีตามแผนการปรับลดดังภาคผนวก 6

3.5 สรุปปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลด/กักเก็บได้

ระยะเวลาการคิดเครดิตของโครงการ

☑ 7 ปี <วันที่ 5 เมษายน 2567 ถึงวันที่ 4 เมษายน 2574>

☐ 10 ปี <ระบุ วัน/เดือน/ปี เริ่มต้น – วัน/เดือน/ปี สิ้นสุด>

จากตารางที่ 3.7 พบว่า การดำเนินโครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย ตลอดระยะเวลา 7 ปี ที่เข้าร่วมโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) ภาคการเกษตร จะสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ทั้งสิ้น 101,748 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หรือเฉลี่ยปีละ 14,535 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ตารางที่ 3.7 การคาดการณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ

ปี	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ	ปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจก
t	C_{PSt} - C_{PSi}	GHG_{BS}- GHG_{proj}		C_{PCP}
2567	0.00	0.00	0.00	0.00
2568	14,349.46	193.03	0.00	14,542
2569	28,698.92	182.38	0.00	28,881

ปี	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ	ปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจก
t	C_{PSt} - C_{PSi}	GHG_{BS}- GHG_{proj}		C_{PCP}
2570	43,048.38	182.38	0.00	43,230
2571	57,397.84	182.38	0.00	57,580
2572	71,747.30	187.52	0.00	71,934
2573	86,096.76	187.52	0.00	86,284
2574	100,446.22	187.52	0.00	100,633
รวม (tCO_2eq)	**100,446.22**	**1,302.76**	**0.00**	**101,748**
จำนวนปี	**7**	**7**	**7**	**7**
เฉลี่ยปีละ (tCO_2eq/y)	**14,349.46**	**186.11**	**0.00**	**14,535**

ส่วนที่ 4 แผนการติดตามผลการดำเนินโครงการ

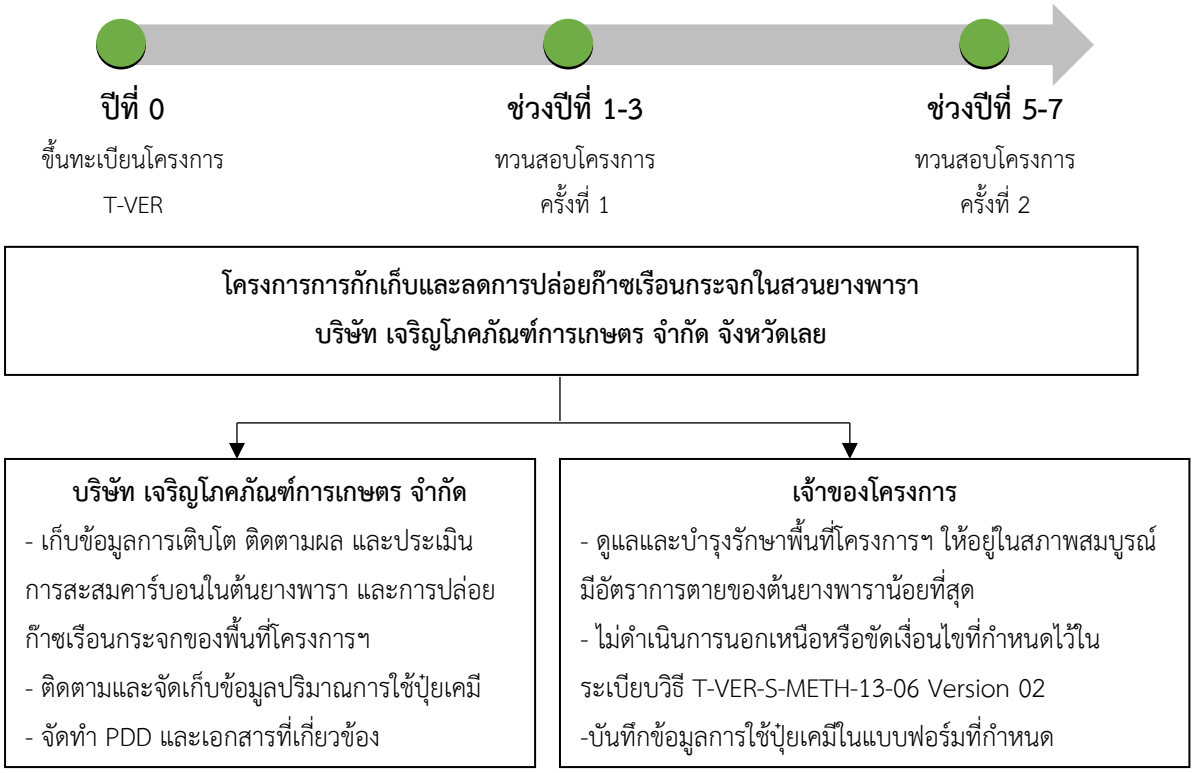
4.1 สรุปแนวทางการติดตามผล

4.1.1 โครงสร้างของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการติดตามผลและหน้าที่รับผิดชอบ

หน่วยงานที่รับผิดชอบในการติดตามผลการดำเนินโครงการ ประกอบด้วย 2 ภาคส่วน ดังนี้ (ภาพที่ 4.1)

1) บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด มีหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลการเติบโตของต้นยางพาราด้วยเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากแปลงตัวอย่าง ติดตามพารามิเตอร์ในข้อ 4.3 และประเมินมวลชีวภาพของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่าง รวมถึงประเมินปริมาณการกักเก็บและปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพื้นที่โครงการฯ ตามระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) ฉบับที่ 02 Sector 15: Agriculture (T-VER-S-METH-13-06 Version 02) และเครื่องมือการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ฉบับที่ 1 (T-VER-S-TOOL-01-01 Version 01)

2) เจ้าของโครงการ มีหน้าที่ดูแล และบำรุงรักษาแปลงปลูกยางพาราในพื้นที่โครงการฯ ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ มีอัตราการตายของต้นยางพาราน้อยที่สุด และไม่ดำเนินการนอกเหนือหรือขัดเงื่อนไขที่กำหนดไว้ตามระเบียบวิธีการ T-VER-S-METH-13-06 Version 02 เพื่อป้องกันการถูกหักออกจากพื้นที่โครงการฯ รวมถึงบันทึกข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมีตามแบบฟอร์มที่กำหนดตลอดช่วงระยะเวลา 7 ปีที่เข้าร่วมโครงการฯ



ภาพที่ 4.1 ผังแนวทางการติดตามผล

4.1.2 แผนการติดตามผล

บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ในฐานะผู้พัฒนาโครงการ มีแผนดำเนินการติดตามการเติบโตของต้นยางพาราและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปุ๋ยในแปลงตัวอย่าง รวมถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในข้อ 4.3 ในปีที่มีความประสงค์ขอรับรองคาร์บอนเครดิตกับ อบก.

4.1.3 แผนผังขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูล และกระบวนการควบคุมคุณภาพ

4.1.3.1 ข้อมูลการเติบโตของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่าง จัดเก็บไว้ในไฟล์ Excel ที่กำหนดฟังก์ชันการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถแก้ไข ลบ และเพิ่มเติมข้อมูลได้

4.1.3.2 การเก็บข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมี จดบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลปุ๋ยที่กำหนดไว้ พร้อมจัดเก็บไว้ในไฟล์ Excel ที่กำหนดฟังก์ชันการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งสามารถแก้ไข ลบ และเพิ่มเติมข้อมูลได้

4.1.4 แสดงผังจุดตรวจวัด ข้อมูล/ตัวแปรที่จัดเก็บ

ดำเนินการตรวจวัดการเติบโตของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างของพื้นที่โครงการฯ โดยมีความถี่และพารามิเตอร์ที่ต้องตรวจวัดเป็นไปตามข้อกำหนดของ อบก. ซึ่งมีรายละเอียดดังข้อ 4.3

4.2 พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	CF
ค่าที่ใช้	-
หน่วย	(ตันคาร์บอน/ตันน้ำหนักแห้ง)
ความหมาย	สัดส่วนคาร์บอนในเนื้อไม้
แหล่งข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 ตารางที่ 4.3 หน้า 4.48 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 (Default 0.47) ทางเลือกที่ 2 ตามที่ อบก. กำหนด ในคู่มืออ้างอิงการพัฒนา โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตาม มาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ

พารามิเตอร์	44/12
ค่าที่ใช้	-
หน่วย	มวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอนเพื่อแปลงหน่วยจาก ตันคาร์บอนเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์
ความหมาย	-
แหล่งข้อมูล	-

พารามิเตอร์	C_{TT_0}
ค่าที่ใช้	ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
หน่วย	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ในกรณีฐาน
ความหมาย	รายงานการตรวจวัด
แหล่งข้อมูล	T-VER-S-TOOL-01-01 การคeนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

พารามิเตอร์	$F_{SN,i,0}$
ค่าที่ใช้	ตันไนโตรเจนต่อปี
หน่วย	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมี ชนิดที่ i ในกรณีฐาน
ความหมาย	รายงานปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี
แหล่งข้อมูล	บันทึกค่าหรือติดตามค่าจากหลักฐานแสดงปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

พารามิเตอร์	$F_{ON,i,0}$
ค่าที่ใช้	ตันไนโตรเจนต่อปี
หน่วย	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดที่ i ในกรณีฐาน
ความหมาย	รายงานปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์
แหล่งข้อมูล	บันทึกค่าหรือติดตามค่าจากหลักฐานแสดงปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

4.3 พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	GWP_{N2O}
หน่วย	tCO_2e/tN_2O
ความหมาย	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซไนตรัสออกไซด์
แหล่งข้อมูล	ใช้ข้อมูลจากรายงานประเมินสถานการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่จัดทำโดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC ที่ประกาศโดย อบก.
วิธีการติดตามผล	**<u>สำหรับการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการ</u>** ใช้ค่า GWP_{N2O} ล่าสุดที่ อบก. ประกาศ **<u>สำหรับการติดตามผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก</u>** ให้ใช้ค่า GWP_{N2O} ตามที่ อบก. ประกาศ สำหรับประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามช่วงระยะเวลาคิดเครดิต (Crediting Period) ที่ขอรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจก

พารามิเตอร์	ที่ตั้งโครงการ
หน่วย	UTM หรือ Latitude, Longitude
ความหมาย	ค่าพิกัดบอกตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่โครงการ
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัด
วิธีการติดตามผล	ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากเครื่องมือวัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ หรือค่าจากแผนที่ของหน่วยงานรัฐ อย่างน้อยจำนวน 4 จุด ที่ระบุข้อมูลตำแหน่งทิศต่างๆ ได้แก่ ทิศเหนือสุด ทิศใต้สุด ทิศตะวันออกสุด และ ทิศตะวันตกสุด

พารามิเตอร์	C_{TT_t}
หน่วย	(ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
ความหมาย	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดของพื้นที่โครงการ จากการดำเนินโครงการในปีที่ t
แหล่งข้อมูล	รายงานการตรวจวัด
วิธีการติดตามผล	T-VER-S-TOOL-01-01 การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

พารามิเตอร์	$F_{SN,proj}$
หน่วย	ตันไนโตรเจนต่อปี
ความหมาย	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยเคมี ชนิดที่ i จากการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	รายงานปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี
วิธีการติดตามผล	บันทึกค่าหรือติดตามค่าจากหลักฐานแสดงปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

พารามิเตอร์	$F_{ON,i,proj}$
หน่วย	ตันไนโตรเจนต่อปี
ความหมาย	ปริมาณไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ชนิดที่ i จากการดำเนินโครงการ
แหล่งข้อมูล	รายงานปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์
วิธีการติดตามผล	บันทึกค่าหรือติดตามค่าจากหลักฐานแสดงปริมาณการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

พารามิเตอร์	A
หน่วย	ไร่
ความหมาย	พื้นที่โครงการทั้งหมด
แหล่งข้อมูล	- สำรวจในพื้นที่ - ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ
วิธีการติดตามผล	-

พารามิเตอร์	a
หน่วย	ไร่
ความหมาย	พื้นที่แปลงตัวอย่างที่ทำการสำรวจข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

แหล่งข้อมูล	- การกำหนดขนาดพื้นที่แปลงตัวอย่างของโครงการ - ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ
วิธีการติดตามผล	รายละเอียดเพิ่มเติมตามตารางที่ 1.2 (ถ้าปรับแกอย่าลืมรันเลขใหม่ ถ้าไม่ก็เชคเลขตารางหรือภาพอีกรอบ)

พารามิเตอร์	D
หน่วย	เซนติเมตร
ความหมาย	เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร หรือตาม เงื่อนไขสมการประเมินมวลชีวภาพที่เลือกใช้กำหนดไว้
แหล่งข้อมูล	ตรวจวัดในพื้นที่จากการวางแปลงตัวอย่าง
วิธีการติดตามผล	**สำหรับทางเลือกที่ 2:** การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการวัดขนาดต้นไม้

พารามิเตอร์	H
หน่วย	เมตร
ความหมาย	ความสูงทั้งหมดของต้นไม้
แหล่งข้อมูล	ตรวจวัดในพื้นที่จากการวางแปลงตัวอย่าง
วิธีการติดตามผล	**สำหรับทางเลือกที่ 2:** การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการวัดขนาดต้นไม้

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2565. พื้นที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่ม. สืบค้นจาก https://data.go.th/dataset/gdpublish-landslide_susceptibility

อบก. และคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2554. คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

Hytonen, J., Kaakkurivaara, N., Kaakkurivaara, T. and Nurmi, J. 2018. BIOMASS EQUATION FOR RUBBER TREE (*HEVEA BRASILIENSIS*) COMPONENTS IN SOUTHERN THAILAND. Journal of Tropical Forest Science. 30(4), 588-596.

Ruhan, A., Du, Wala, Ying, H., Wei, B., Shan, Y. and Dai, H. 2023. Estimation of Aboveground Biomass on Individual Tree by Backpack LiDAR Based on Parameter-Optimized Quantitative Structural Models (AdQSM). forests. 14(457), 1-18.

ภาคผนวก 1

พิกัดขอบเขตพื้นที่โครงการ

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
0	4912	749866	1922376
1	6886	749479	1922272
2	4434	747476	1921858
3	4435	747532	1921881
4	4436	747568	1921897
5	4437	747610	1921910
6	9226	747368	1921428
7	7843	747398	1921372
8	9234	748703	1921968
9	4998	749079	1922321
10	8926	749114	1922194
11	6833	740266	1914586
12	6834	740513	1914682
13	6829	740640	1914898
14	6828	740764	1915004
15	6827	740868	1915120
16	6821	740624	1915196
17	6820	740491	1915153
18	6815	740369	1915220
19	6813	740251	1915361
20	6812	740150	1915323
21	6808	739873	1915694
22	6809	739872	1915528
23	6824	740350	1914950
24	6826	740631	1915079
25	6830	740459	1914856
26	7127	740107	1914997
27	6811	739999	1915252

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
28	6814	740121	1915171
29	6810	739905	1915399
30	6816	740177	1915123
31	6817	740009	1914946
32	6819	740387	1915076
33	6818	740245	1915027
34	6822	740100	1914888
35	6823	740255	1914898
36	6825	740451	1914989
37	6831	740236	1914722
38	7395	740179	1915573
39	6832	740066	1914677
40	7396	740326	1915806
41	7399	740202	1916142
42	7398	740355	1915994
43	7397	740411	1916049
44	5046	738711	1914941
45	5056	738770	1914849
46	5057	738779	1914658
47	5221	738956	1914466
48	6792	739074	1914348
49	7374	739279	1914357
50	6807	739481	1914344
51	7106	739422	1914583
52	7796	739553	1914581
53	6799	739472	1914681
54	6793	739721	1914738
55	6795	739766	1914850
56	7126	739828	1914868
57	6794	739887	1914859

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
58	6796	739619	1914839
59	6797	739539	1915066
60	5049	739440	1915003
61	5050	739270	1915008
62	5051	739045	1915005
63	7404	739226	1914219
64	5059	739469	1915631
65	5048	739401	1915340
66	5052	739444	1914835
67	5053	739312	1914831
68	5054	739197	1914855
69	5055	739075	1914730
70	5068	739596	1915627
71	5047	739376	1915542
72	10809	741784	1914105
73	10812	742172	1914177
74	10815	742670	1914567
75	10808	741799	1914368
76	10813	742285	1914292
77	10817	742942	1914592
78	10807	741697	1914568
79	10811	741980	1914260
80	10814	742475	1914407
81	10816	742520	1914873
82	10818	743066	1914762
83	9652	740727	1914624
84	9653	740859	1914576
85	9654	741057	1914500
86	9655	741233	1914514
87	9656	741291	1914579

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
88	9657	741335	1914671
89	9658	741567	1914487
90	9659	741562	1914367
91	9660	741515	1914220
92	9661	741282	1914262
93	9662	740965	1914198
94	9663	741475	1914098
95	9666	741528	1913810
96	9667	741273	1913776
97	9668	741004	1913628
98	9664	741454	1914046
99	9665	741497	1913953
100	9669	741243	1913566
101	5756	748291	1921622
102	4915	749764	1922142
103	4914	749740	1922275
104	4905	750014	1923174
105	4902	750140	1923297
106	7825	747774	1922119
107	7824	747825	1922161
108	5015	748440	1922070
109	5744	748371	1921117
110	4901	750178	1922987
111	4900	750096	1922788
112	4899	749910	1922745
113	4898	749914	1922894
114	4897	749780	1922856
115	4896	749815	1922663
116	4894	750076	1922625
117	4893	750160	1922718

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
118	4892	749654	1922313
119	4891	749783	1922447
120	4890	750302	1923050
121	4889	750220	1922776
122	4888	750266	1922836
123	4886	750364	1922949
124	6253	747857	1921334
125	5367	747449	1921471
126	5142	748572	1920257
127	5141	748639	1920335
128	5140	748760	1920525
129	5139	748902	1920659
130	5138	749040	1920379
131	5137	749107	1920454
132	5136	749024	1920597
133	5135	748993	1920847
134	5112	748122	1921197
135	5111	747484	1921418
136	5110	747394	1921504
137	5109	747533	1921367
138	5108	747614	1921518
139	5107	747841	1921648
140	5106	747999	1921640
141	5105	747792	1921962
142	5067	749174	1921367
143	5040	748144	1921884
144	5039	747949	1921928
145	5038	747726	1921576
146	5037	748057	1922037
147	5036	748211	1921997

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
148	5035	748339	1921996
149	5034	748466	1921380
150	5033	748398	1921498
151	5032	748004	1921311
152	5031	748380	1921895
153	5030	748711	1921901
154	5029	748663	1921692
155	5028	748744	1921695
156	5027	748740	1921480
157	5026	748950	1921473
158	5025	748972	1921662
159	5017	748599	1922030
160	5016	748519	1922101
161	4975	749525	1921760
162	4974	749782	1921797
163	4973	749800	1922043
164	4972	749644	1921872
165	4971	748986	1921837
166	4970	749232	1921725
167	4968	749176	1921960
168	4967	749125	1922077
169	4966	749522	1922041
170	4965	749642	1922161
171	4453	747384	1921625
172	4452	747492	1921637
173	5919	739653	1915162
174	5920	739777	1915089
175	5921	739777	1914951
176	15782	739808	1915039
177	4734	739485	1915322

ลำดับแปลงปลูกยางพารา	เลขโฉนดที่ดิน	พิกัดภูมิศาสตร์แบบ UTM	
		พิกัด X	พิกัด Y
178	4728	739565	1915269
179	5929	739664	1915335
180	5918	739819	1915187
181	15382	739761	1915264
182	5917	739715	1915330
183	4733	739634	1915438
184	4727	739594	1915458
185	5916	739701	1915455
186	6586	740208	1915790
187	17881	740253	1915879
188	10810	741639	1913812

ภาคผนวก 2

แบบบันทึกข้อมูลการใช้ปุ๋ยในพื้นที่สวนยางพาราของโครงการฯ

วันที่.....

แบบบันทึกฉบับที่..... บันทึกโดย.....

แบบบันทึกข้อมูลการใช้ปุ๋ยในพื้นที่ยางพารา ภายใต้โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย

1) รายละเอียดผู้ให้ข้อมูล

ชื่อ-นามสกุล..... เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ.....

ที่อยู่.....

2) ข้อมูลการใช้ปุ๋ยเคมี วัสดุอินทรีย์ และสารปรับปรุงดิน

2.1 การใส่ปุ๋ย/สารปรับปรุงดิน

ชนิดปุ๋ยและสารปรับปรุงดินที่ใช้	จำนวนครั้งที่ใส่	ปริมาณที่ใส่ (กิโลกรัมต่อต้น)	รูปแบบการใส่
ปุ๋ยเคมี (CH)			แรงงาน หรือ เครื่องจักร
ปุ๋ยเคมีสูตร.....			
ปุ๋ยเคมีสูตร.....			
ปุ๋ยเคมีสูตร.....			
ปุ๋ยเคมีสูตร.....			
ปุ๋ยเคมีสูตร.....			
ปุ๋ยอินทรีย์ (OR)			
ปุ๋ยอินทรีย์.....			
ปุ๋ยอินทรีย์.....			
ปุ๋ยอินทรีย์.....			
สารปรับปรุงดิน (SC)			
ปุ๋ยยูเรีย			
ปูนขาว			
โดโลไมต์			

2.2 กรณีเลือก "เครื่องจักร" เป็นรูปแบบการใส่ปุ๋ย กรุณาตอบคำถามดังต่อไปนี้

ชื่ออุปกรณ์/เครื่องยนต์	ยี่ห้อ	รุ่นเครื่องยนต์	กำลังเครื่องยนต์ (แรงม้า)	ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (ลิตร)	ระยะเวลาการทำงาน (ชั่วโมง/วัน)	งบประมาณที่ใช้ (บาท)

***หมายเหตุ**: ชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้ (เบนซิน 91/เบนซิน 95/แก๊สโซฮอล์ 91/แก๊สโซฮอล์ 95/แก๊สโซฮอล์ E20/แก๊สโซฮอล์ E85/ไบโอดีเซล)

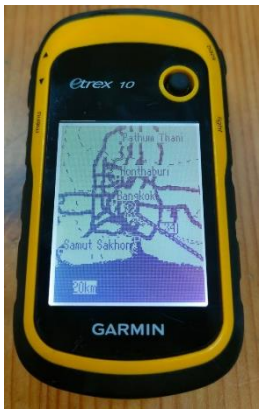
หน้า 2/2

ภาคผนวก 3

รายละเอียดอุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในแปลงตัวอย่าง

และการสอบเทียบ Calibration) อุปกรณ์ที่ใช้

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในการสุ่มเลือกข้อมูลโดยใช้แปลงตัวอย่าง

ชื่อ	รายละเอียดอุปกรณ์	รูปภาพ	ประเภทข้อมูล
Diameter Tape ยี่ห้อ KDS รุ่น F10-02DM Diameter Tape	▪ ระยะสูงสุดในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร ▪ วัสดุอุปกรณ์เป็นเหล็กชุบโครเมี่ยม		-
เทปวัดระยะ ยี่ห้อ Stanley รุ่น Fiberglass Long Tape Rule 34-260	▪ ระยะสูงสุดในการวัด 50 เมตร/ 165 ฟุต ▪ Min scale 0.2 เมตร / 1/8 นิ้ว ▪ ความแม่นยำ Class III		-
เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ยี่ห้อ Garmin รุ่น Etrex® 10	▪ รองรับสัญญาณจากดาวเทียมระบบ GPS ได้แก่ GPS: L1 C/A, L1C, L2C, L2P, L5 GLONASS: L1 C/A, L2C, L2P, L3, L5 ▪ ภาครับสัญญาณ High sensitivity GPS receiver and HotFix® sateSLite prediction ▪ แสดงตำแหน่งพิกัดระบบพิกัด UTM และ Latitude/ Longitude ▪ ความแม่นยำของระบบ GPS (แนวราบ/แนวดิ่ง) 3 เมตร		GEO TAG
SLAM100 Handheld Lidar Scanner	▪ มุมมองในการสแกน (แนวราบ ,แนบดิ่ง) : 270 องศา, 360 องศา ▪ อัตราสแกนสูงสุด 360,000 จุดต่อวินาที		Point cloud

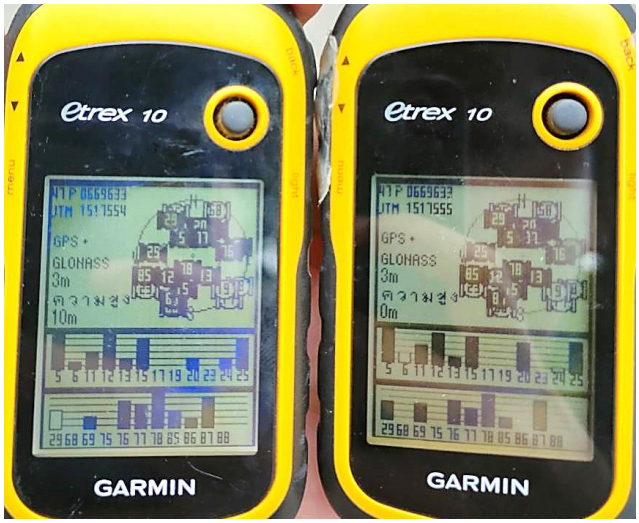
ชื่อ	รายละเอียดอุปกรณ์	รูปภาพ	ประเภทข้อมูล
	▪ ค่าความคาดเคลื่อน ±5 เซนติเมตร ▪ แสงเลเซอร์ประเภท Class 1 ▪ ช่วงระยะแสกนสูงสุด 120 เมตร ▪ เซนเซอร์แบบบูรณาการ ประกอบด้วย SLAM100 RTK Receiver, SLAM100 BACKPACK และ RTK Antenna		

ตารางที่ 2 การสอบเทียบ (Calibration) อุปกรณ์สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และเก็บข้อมูลค่าพิกัดหมุดมุมแปลงตัวอย่าง

อุปกรณ์	อายุการใช้งานอุปกรณ์	การสอบเทียบอุปกรณ์
Diameter Tape ยี่ห้อ KDS รุ่น F10-02DM	2 เดือน	สอบเทียบอุปกรณ์ Diameter Tape ด้วยอุปกรณ์รุ่นเดียวกันทุกๆ 6 เดือน ดังภาพที่ 1
เทปวัดระยะ ยี่ห้อ Stanley รุ่น Fiberglass Long Tape Rule 34-260	12 เดือน	สอบเทียบระยะการวัดของเทปวัดระยะด้วยอุปกรณ์รุ่นเดียวกันทุกครั้งก่อนใช้งาน และตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของสายเทปวัดระยะ ดังภาพที่ 2
เครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ยี่ห้อ Garmin รุ่น Etrex® 10	12 เดือน	ตรวจสอบแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ และการสอบเทียบค่าพิกัดเชิงตำแหน่งที่ความแม่นยำของระบบ GPS (แนวราบ/แนวดิ่ง) 3 เมตร ด้วยอุปกรณ์ชนิดเดียว ดังภาพที่ -
SLAM100 Handheld Lidar Scanner		อุปกรณ์มีการสอบเทียบเชิงตำแหน่งทุกครั้งเมื่อเปิดใช้งาน

ภาพที่ 1 การสอบเทียบอุปกรณ์ Diameter Tape ยี่ห้อ KDS รุ่น F10-02DM

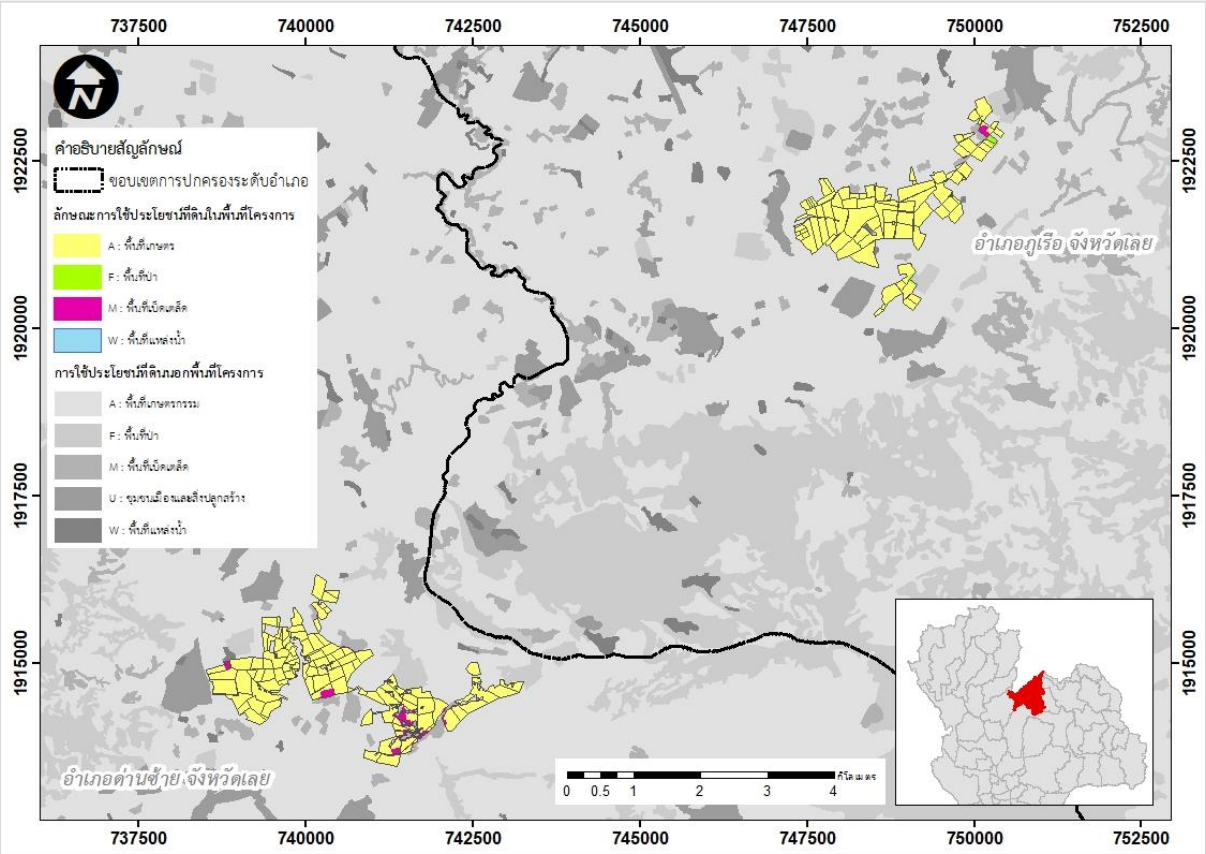
ภาพที่ 2 การสอบเทียบอุปกรณ์และตรวจสอบความสมบูรณ์ของอุปกรณ์เทปวัดระยะ ยี่ห้อ Stanley รุ่น Fiberglass Long Tape Rule 34-260



ภาพที่ 3 การสอบเทียบเชิงตำแหน่งของอุปกรณ์รุ่นเดียวกันเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) ยี่ห้อ Garminรุ่น Etrex® 10

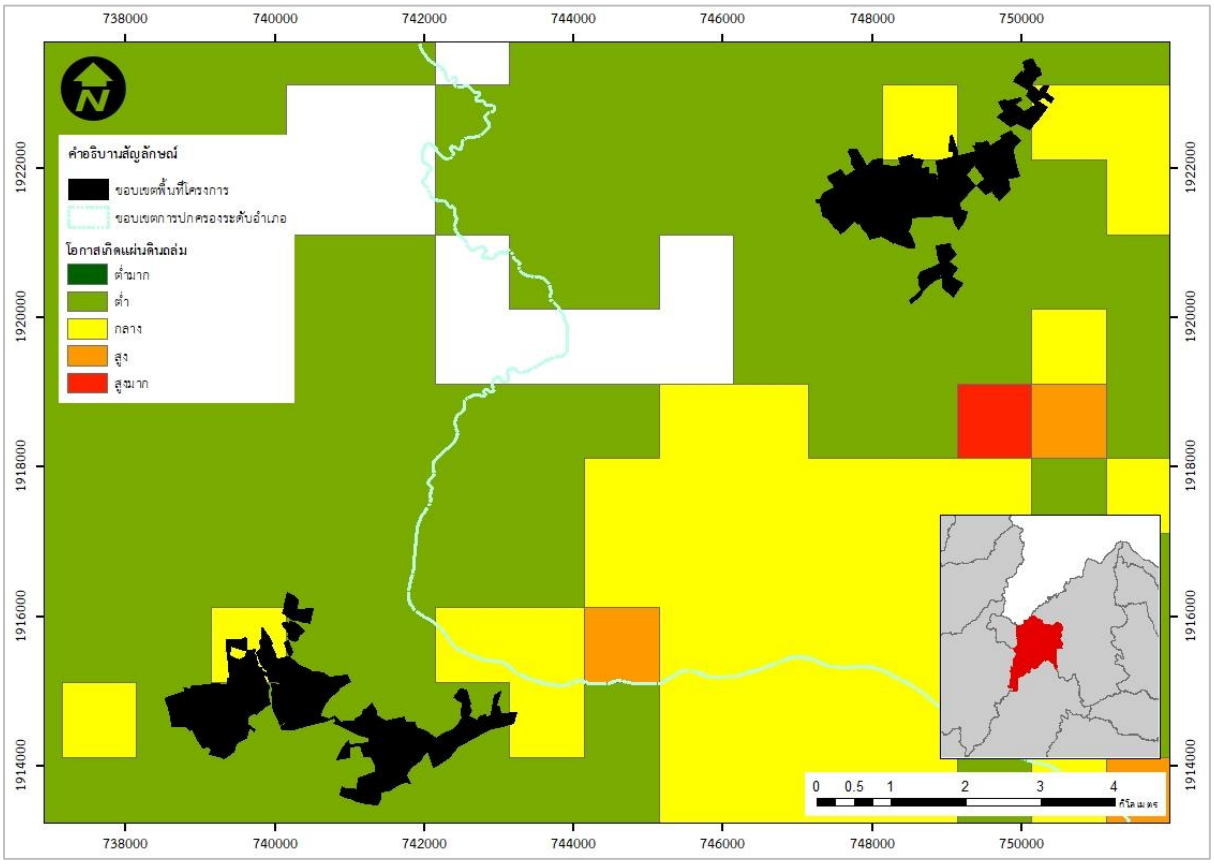
ภาคผนวก 4

ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่โครงการฯ



ภาคผนวก 5

พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่โครงการฯ



ภาคผนวก 6

แผนการปรับปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

แผนการลดปริมาณการใส่ปุ๋ยในโครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย

ขั้นที่ 1 บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จัดทำเป้าหมายการลดปริมาณการใส่ปุ๋ยและประชาสัมพันธ์แนวทางการใส่ปุ๋ยอย่างเหมาะสมแก่เกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการ เพื่อลดอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใส่ปุ๋ยมากเกินความจำเป็นต่อการเติบโตของต้นยางพารา โดยกำหนดเป้าหมายการลดปริมาณการใส่ปุ๋ยออกเป็น 7 ระยะ ดังนี้

- ระยะที่ 1 ในปีที่ 1 ของการเข้าร่วมโครงการฯ
  เกษตรกรต้องลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5
- ระยะที่ 2 ในปีที่ 2 ของการเข้าร่วมโครงการฯ
  เกษตรกรต้องลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5
- ระยะที่ 3 ในปีที่ 3 ของการเข้าร่วมโครงการฯ
  เกษตรกรต้องลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5
- ระยะที่ 4 ในปีที่ 4 ของการเข้าร่วมโครงการฯ
  เกษตรกรต้องลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5
- ระยะที่ 5 ในปีที่ 5 ของการเข้าร่วมโครงการฯ
  เกษตรกรต้องลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5
- ระยะที่ 6 ในปีที่ 6 ของการเข้าร่วมโครงการฯ
  เกษตรกรต้องลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมีลงจากเดิมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5
- ระยะที่ 7 ในปีที่ 7 ของการเข้าร่วมโครงการฯ

↓

ขั้นที่ 2 เกษตรกรต้องทำการบันทึกปริมาณการใส่ปุ๋ยเป็นประจำทุกปีที่เข้าร่วมโครงการ โดยดำเนินการบันทึกปริมาณตามรอบการใส่ปุ๋ยของปีนั้นๆ สำหรับข้อมูลที่เกษตรกรต้องจดบันทึก ประกอบด้วย วันเดือนปี, ครั้งที่ใส่ปุ๋ย, ชนิดปุ๋ยที่ใส่ และปริมาณที่ใส่ ทั้งนี้ เอกสารบันทึกการใส่ปุ๋ย จะต้องถูกบันทึกไว้ในแบบฟอร์มที่บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด กำหนดและสามารถร้องขอให้เกษตรกรนำส่งเมื่อถึงรอบการตรวจสอบข้อมูล

↓

ขั้นที่ 3 บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ดำเนินการตรวจติดตามและตรวจสอบบันทึกการใส่ปุ๋ยจากเกษตรกรที่เข้าร่วมโครงการ เพื่อนำข้อมูลมาตรวจสอบ และวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปรับลดการใส่ปุ๋ยในพื้นที่โครงการฯ ต่อไป ในขั้นตอนการขอรับรองคาร์บอนเครดิตกับ อบก.

ภาคผนวก 7

บทความวิชาการเกี่ยวกับสมการคำนวณมวลชีวภาพสำหรับต้นยางพารา

Journal of Tropical Forest Science 30(4): 588–596 (2018) *Hytönen J et al.*
https://doi.org/10.26525/jtfs2018.30.4.588596

BIOMASS EQUATIONS FOR RUBBER TREE (*HEVEA BRASILIENSIS*) COMPONENTS IN SOUTHERN THAILAND

Hytönen J[1,*], Kaakkurivaara N[2], Kaakkurivaara T[3] & Nurmi J[1]

[1]*Natural Resources Institute Finland, Teknologiakatu 7, 67100 Kokkola, Finland*
[2]*Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kasetsart University, 10900 Bangkok, Thailand*
[3]*Natural Resources Institute Finland, Kaironiementie 15, 39700 Parkano, Finland*

**jyrki.hytonen@luke.fi*

Submitted September 2017; accepted January 2018

The rubber tree (*Hevea brasiliensis*) is cultivated for latex production, but its timber is used in industry and its logging residues can be used for power generation. The reliable estimation of biomass is basis for operational calculations. In this study, allometric biomass equations for fresh and dry biomass of the above- and belowground non industrial tree components of mature rubber tree (leaves, branches < 3 cm in diameter, branches 3–5 cm in diameter, stumps with roots, stem) at the clear-cutting phase were developed. The models were based on 18 sample trees of clone 600 harvested in Songkhla province, southern Thailand. Diameter at breast height (DBH), height (H) and their combination (DBH^2*H) were tested as independent variables. In the models, easily measurable DBH gave a considerably higher coefficient of determination than H. Combining both DBH and H in the models did not improve the equations. The equations provided logical biomass predictions and they had high coefficient of determination. Fresh mass equations can be used in predicting the value of trees in local markets and dry mass equations for estimating the amount of residual biomass in mature rubber tree plantations in southern Thailand.

Keywords: Tree biomass, biomass equations, dry mass, fresh mass, branch mass, stump mass

INTRODUCTION

Rubber tree (*Hevea brasiliensis*) is cultivated for latex production in all tropical zones on a total land area of about 9,675,000 ha. Thailand is currently the world's largest natural rubber producer (Jawjit et al. 2015) and most of the concentrated latex produced in Thailand is exported. The economic lifetime of a rubber tree is 25–30 years and about 3–4% of the rubber tree growing area is cut down for replanting annually (Krukanont & Prasertsan 2004, Chantuma et al. 2012). Thus, 90,000–120,000 ha of mature rubber plantations are clear-cut annually. The majority (68%) of the plantations are in the south of the country (Chantuma et al. 2012). Rubber production has a strong impact on the rural economy and alleviation of rural poverty since rubber producers are mainly smallholdings which represent more than 85% of the total rubber area in Thailand (Chantuma et al. 2011). In Thailand, smallholder rubber production has been successful in moving households and communities out of poverty (Fox & Castella 2013).

In addition to latex production, rubberwood is also a good source of raw material for sawmill and factories producing plywood product such as furniture and kitchenware. Larger-size branches (> 5 cm in diameter) are used for charcoal production but rubberwood logging residues are generally not utilised. In Thailand the residues are usually burned before preparing the site for replanting. Residual rubber tree biomass can be used to generate electricity in rural areas (Krukanont & Prasertsan 2004). The utilisation of this resource for generation of energy could provide small and steady additional income to rural farmers. Supply of rubberwood logging residues would be secure in the long term due to the thriving rubber industry. In addition to small branches left at the site, sawmill waste (sawdust, wood off-cuts) can also be utilised for energy (Krukanont & Prasertsan 2004).

When grown on non-forested land, rubber trees could also act as carbon sink by sequestering carbon in biomass and indirectly in soils. Carbon sequestration in biomass and carbon stock changes in soil during the lifecycle of rubber tree plantations have been studied widely (e.g. Blécourt de et al. 2013, Petsri et al. 2013, Satakhun et al. 2013, Blagodatsky et al. 2016). In these studies carbon bound in biomass has been

determined with direct carbon models relating diameter to tree carbon content, or biomass has been first estimated with biomass models and dry mass of trees was then converted to carbon content of the trees. These studies did not separate tree components and were developed to be used for a wide range of tree sizes ranging from 1-year-old trees to mature trees. Petsri et al. (2013) used biomass data in the relationship of rubber tree diameter at breast height (DBH) with dry weight of stem plus branches, leaves and roots. Their model did not separate stem and braches and thus could be used for determining crown biomass.

The most common method for estimating tree biomass is using regression analysis and allometric biomass models. Equations are developed by weighing entire trees or their components and relating weight to easily measurable dimensions, such as DBH and height (H). Several studies presenting biomass models of rubber trees have been published. However, studies concentrating on trees at clear-cutting age and size are scarce. Most studies have used sample trees ranging from very small and young trees to trees at clear-cutting and regeneration age (e.g. Yang et al. 2005, Saengruksawong et al. 2012). The models did not report the different biomass components, especially branches and stumps, which are both important when considering residual use of biomass. On the contrary, biomass models for total aboveground dry mass of rubber trees have been widely published although diameter (or girth) was measured at different heights. Using equations based on different heights of measured diameter can result in considerable differences in biomass of trees having the same diameter but measured at different heights (Sone et al. 2014). Due to this, the equations cannot be compared with equations using DBH measured at 1.3 m aboveground (Rojo-Martínez et al. 2005, Maggiotto et al. 2014).

Reliable estimation of biomass on a given area is the basis for all productivity and operational calculations. There is lack of equations for determining residual (crown and stumps) biomass in stands at the clear-cut phase. There is a need to improve the estimation of rubber tree crown biomass, since the interest in the utilisation of this resource for energy or other purposes is currently increasing. Since in southern Thailand rubberwood is generally sold fresh in the field, models for estimation of fresh mass of trees are also needed.

The main aim of this study was to construct fresh and dry mass biomass functions for mature stands at clear-cutting age. Development of biomass equations requires biomass data on stem, crown and stump–root system of sample tree. Direct measurement of tree biomass is often not feasible in practice. Therefore, the biomass estimates use regression models based on easily measurable tree variables.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in Songkhla Province in southern Thailand. The rubberwood plantation used in the study was located close to Hat Yai (6° 54' N, 100° 19' E). In southern Thailand rubber tree plantations cover 1.8 million ha (Chantuma et al. 2012), of which 300,000 ha is in Songkhla province (Krukanont & Prasertsan 2004). The region experiences a tropical monsoon climate. The temperature at Songkhla varies between 22 and 35 °C depending on the season and total annual precipitation is 1720 mm, most of which falls in October till December.

Altogether 18 trees (clone 600) from a rubber tree plantation planted in 1991 were sampled in the beginning of September 2016. Stand density at the time of sampling was 357 trees ha^{-1}. The stand was no longer tapped. Only normal living trees without defects (broken tops, cracks) growing inside the plantation (no border trees sampled) and covering the whole diameter range (DBH 10–30 cm) in the plantation were sampled. The sampled trees were numbered and marked at ground level and at 1.3 m.

Before cutting the trees, their DBH and diameters at stump height were measured at two opposite directions with a precision of 1 mm. Trees were felled using an excavator by digging out the soil around the tree and pushing it to the ground. Tree height, measured using measuring tape after felling, was the length from the stump to the top of the tree. Branches and tops of stems were marked with different colours indicating diameters of 3 and 5 cm. All leaves, including petioles, were separated from the trees and weighed. Branches were divided into thin (< 3 cm in diameter) branches that were left at site unutilised and thick branches (3–5 cm in diameter) that were used for charcoal production. Fresh weights of these tree components were weighed using a scale to a precision of 1 g. Stem (tree parts > 5 cm in diameter) as well as stump and roots (soil

removed) were measured using a scale mounted in an excavator boom with a precision of 100 g. Root diameters over 2 cm that were broken during excavation were tallied for diameter. Components from each tree were sampled for determination of moisture content. All leaves, and thin and thick branches of a sample tree were piled and a representative sample of around 500 g was taken from each component, weighed immediately in the field, placed in sealed plastic bags and stored in the field in boxes filled with ice. Three discs were cut from the stem using a chainsaw from the top, middle and lower sections and one disc was taken from the stump. The moisture samples were dried at 80 °C in the laboratory at Kasetsart University. Moisture contents of all samples were calculated. Based on the moisture content, dry weights of all measured components of all trees were calculated. The form of allometric biomass equation used was

$$Y_i = a\, X_i^b e_i \qquad (1)$$

where Y_i = weight of the ith sample tree, a and b = model intercept and slope respectively, e_i = random error associated with estimating the weight of the ith sample tree, X = independent variable and i = any one of the sample tree. DBH is the most commonly used parameter because it can be easily measured in the field with great precision. In this study, we tested height and the incorporation of height into the equation together with DBH as $DBH^2{*}H$. The models were fitted to data using ordinary least squares regression analysis after logarithmic transformation to linear form $\ln(Y) = \ln(a + b) \times \ln(X)$. The slight systematic bias introduced by this log-transformation was corrected with the correction factor proposed by Meyer (1941), i.e. correction with $s_e^2/2$, where s = residual of the equation. Differences in moisture content of the components were tested with analysis of variance. An arcsine transformation was carried out prior to analysis for variables expressed as percentages.

RESULTS

Moisture content

Moisture content was lowest in stems and stumps (each 43%) and increased with decreasing size of the components (Figure 1). Moisture contents of thin and thick branches were 8 and 3% higher respectively than the stems and stumps. Leaves had the highest moisture content

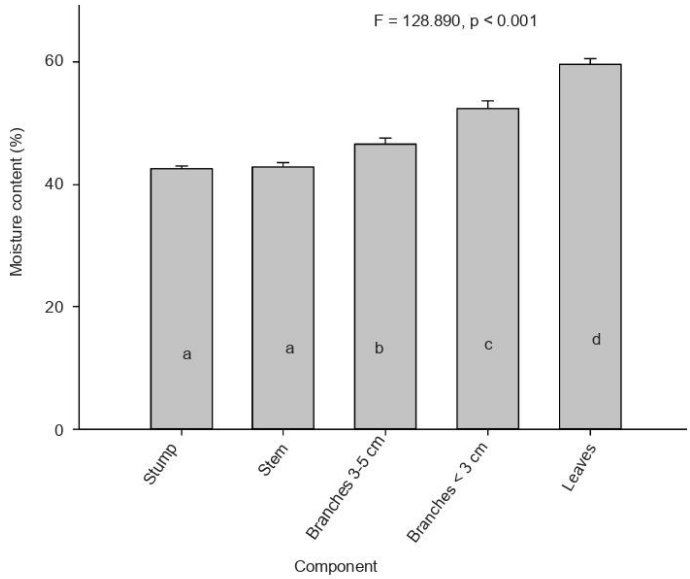


Figure 1 Moisture content of rubber tree biomass components; bars show standard error

(60%). Differences in moisture contents of the components were significant. DBH did not correlate significantly with moisture content even though stem moisture content correlated almost significantly (r = -0.437, p = 0.070) with diameter, indicating that bigger trees have lower moisture content than smaller trees. Moisture content of leaves correlated significantly and positively with moisture contents of stems (r = 0.540, p = 0.021), thick branches (r = 0.799, p < 0.001) and thin branches (r = 0.715, p = 0.001).

Fresh and dry mass equations

In the biomass models DBH as independent variable gave a much higher coefficient of determination and smaller coefficient of variation than H (Tables 1 and 2). Incorporating H into the model (DBH^2*H) did not increase the prediction. Thus, DBH was, in all cases, the best predictor of rubberwood biomass. The stem models had the highest coefficient of determination (98%) both for dry and fresh mass (Figure 2, Tables 1

Table 1 Equations for fresh mass of rubberwood

Component	DBH					H					DBH^2*H				
	a	b	r^2 (%)	V (%)	SE	a	b	r^2 (%)	V (%)	SE	a	b	r^2 (%)	V (%)	SE
Leaves	0.00691	2.378	66.3	62.9	0.577	0.00010	3.886	43.2	86.8	0.749	0.001897	0.943	63.1	66.4	0.605
Branches < 3 cm	0.01400	2.588	84.7	38.9	0.375	0.00007	4.474	61.7	64.9	0.593	0.003124	1.036	82.1	42.3	0.406
Branches 3–5 cm	0.02023	2.383	80.4	41.8	0.401	0.00032	3.858	51.4	70.0	0.631	0.005615	0.943	76.2	46.4	0.442
Stem	0.07939	2.790	98.1	13.4	0.133	0.00007	5.239	84.4	39.3	0.379	0.012910	1.133	97.9	13.8	0.138
Stump	0.04258	2.469	88.6	30.9	0.302	0.00021	4.328	66.4	55.5	0.518	0.009940	0.991	86.3	34.0	0.331
Branches < 5 cm	0.03536	2.469	87.4	32.7	0.319	0.00029	4.165	60.7	61.2	0.564	0.008788	0.984	84.0	37.2	0.360
Leafless aboveground	0.11329	2.713	98.3	12.0	0.120	0.00016	5.088	81.8	41.4	0.398	0.020784	1.099	97.6	14.5	0.145

Models have the form $Y = aX^b e$ where Y = mass (kg), X = DBH, H or DBH^2*H (DBH in cm, H in m), a and b = constants, r^2 = coefficient of determination, V = coefficient of variation, SE = standard error, DBH = diameter at breast height, H = height

Table 2 Equations for dry mass of rubberwood

Component	DBH					H					DBH^2*H				
	a	b	r^2 (%)	V (%)	SE	a	b	r^2 (%)	V (%)	SE	a	b	r^2 (%)	V (%)	SE
Leaves	0.00193	2.499	69.1	61.8	0.569	0.00002	4.191	47.5	85.7	0.742	0.00048	0.995	66.3	65.1	0.594
Branches < 3 cm	0.00738	2.551	84.7	38.2	0.369	0.00003	4.483	63.9	61.6	0.568	0.00164	1.024	82.6	41.0	0.394
Branches 3–5 cm	0.01074	2.382	81.7	39.9	0.384	0.00003	3.942	54.6	66.5	0.605	0.00289	0.946	78.0	44.1	0.421
Stem	0.03510	2.863	97.8	14.5	0.145	0.00002	5.420	85.6	38.8	0.374	0.00556	1.165	98.0	14.0	0.139
Stump	0.02440	2.470	87.9	32.0	0.313	0.00012	4.337	66.1	56.0	0.522	0.00568	0.991	85.7	35.0	0.340
Branches < 5 cm	0.01854	2.451	87.6	32.2	0.314	0.00012	4.212	63.2	58.4	0.541	0.00452	0.980	84.8	35.9	0.348
Leafless aboveground	0.05155	2.783	98.1	13.4	0.134	0.00005	5.195	83.4	40.5	0.390	0.00885	1.129	97.7	14.6	0.145

Models have the form $Y = aX^b e$ where Y = mass (kg), X = DBH, H or DBH^2*H (DBH in cm, H in m), a and b = constants, r^2 = coefficient of determination, V = coefficient of variation, SE = standard error, DBH = diameter at breast height, H = height

Journal of Tropical Forest Science 30(4): 588–596 (2018) *Hytönen J et al.*

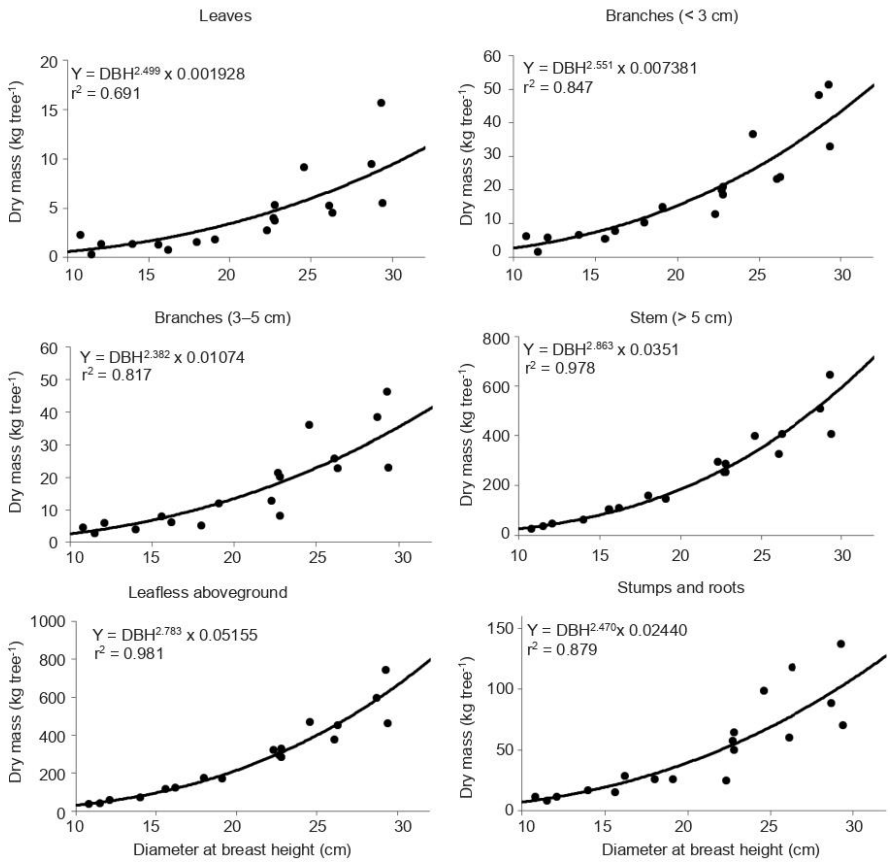


Figure 2 Dry mass equations for rubberwood tree components; Y = mass (kg) and r^2 = coefficient of determination

and 2). Mass equations for stump and branches < 5 cm also had high coefficient of determination (84–86%). The coefficient of the equations decreased with decreasing size of the component. Leaf mass had the lowest coefficient of determination, i.e. 63–66%.

All leaves and branches were collected and measured precisely, but due to mechanical felling of the trees, some roots broke in the process and were left in the soil. The number and mean diameter of roots > 2 cm that were broken and left in the ground for each stump were determined. On the average nine roots (standard deviation (SD) = 4.8) > 2 cm had broken in each stump. Mean diameter of the broken roots was 4.2 cm (SD = 0.8 cm) (Figure 2).

The additivity of the biomass models was compared by calculating predictions for each diameter with different component equations (branches < 3 cm, branches 3–5 cm and stems) and comparing these values with values obtained with the equation for leafless aboveground biomass (Figure 3). The estimates were close to each other with maximum difference being 2%, showing that the additivity of the component equations was good. Within the sample trees, the two estimating methods gave very similar results.

DISCUSSION

The estimation of stem volume and tree biomass is needed for both sustainable planning of forest resources and for studies of energy and

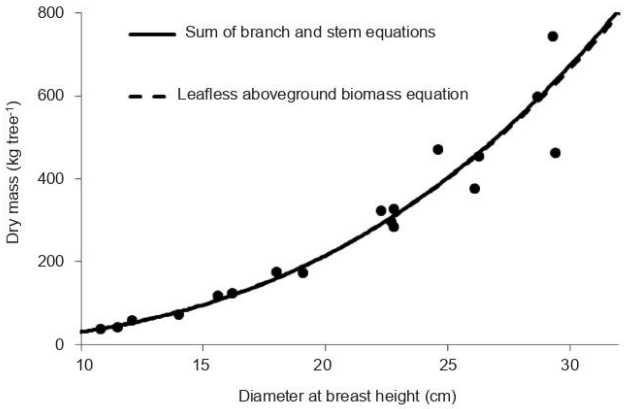


Figure 3 Comparison of predictions of leafless aboveground biomass by summed values of component equations (branches < 3 cm, branches 3–5 cm and stems) with equations for leafless aboveground biomass

nutrient flows in ecosystems. In this investigation allometric biomass equations for rubber tree components were derived in the form of power functions. Such allometric models are widely used in studies of tree biomass, including in vast majority of European studies. Regression techniques have been widely used in biomass studies (Crow & Schlaegel 1988). Generally the dry weights of destructively harvested sample trees and their components are related by regression equations to a readily measurable dimension or combination of dimensions. The dimensions most frequently used in regression analysis and describing the allometric structure of trees include tree height and diameter (Zianis et al. 2005).

Tree biomass is primarily a function of DBH and it is relatively insensitive to tree height (Payandeh 1981). Most published European biomass equations are based on DBH (Zianis et al. 2005). In rubber tree stands measurement of height can be difficult due to closed canopies. Also, the variation in height in mature stands within a large diameter range is small. In this study, height was measured accurately after felling the trees. Despite this, H as independent variable in the models gave much lower coefficient of determination that DBH. Even when DBH and H were integrated as independent variables (DBH^2*H) in the models the coefficient of determination was slightly lower than with DBH alone. For tree species in moist tropical forest of west Africa incorporating H to DBH in allometric models did not improve the regression precision (Djomo et al. 2010). According to this study, height was a poor predictor of rubberwood biomass. On the contrary, DBH described best the allometric relationship and was also easier to be measured than tree height. Height and other parts such as crown length and volume are not easy to measure in the field. To avoid defects and scars from rubber tapping, diameter has been measured in some studies at heights of 1.2, 1.5 and 1.7 m. Tapping height depends on the age of trees and, in old trees, it can be over 1.7 m. Thus, we used DBH (1.3 m), which is used in forestry as a standard. To increase reliability, the diameter was measured from two opposite directions and a mean was calculated.

Living trees acquire moisture through water intake from the soil. Moisture content varies from one tree part to another. Since moisture content of live trees varies with season, the sampling date, in addition to moisture content, could affect the fresh mass of leaves. Moisture content was similar in stems and stumps and moisture content increased when moving to smaller branches and leaves. However, moisture content of all components reported by Maggiotto et al. 2014 for a study done in Brazil was 4–5% units higher than in this study.

Rainy season in southern Thailand usually begins in early September, the time during which this study was conducted. Rubber trees shed their leaves and renew them every year. In

southern Thailand the defoliation generally starts in February. Defoliation and development of new leaves can be somewhat interspersed in time. In clonal plantations the timing of defoliation was probably quite uniform. Some trees may remain completely defoliated for days, whereas others form new leaves before all the old leaves have dropped (Rojo-Martínez et al. 2005). Dry mass of leaves in this study increased with increasing stem diameter. This is in contrast with the results of Rojo-Martínez et al. (2005) who found the leaf mass of trees in the range of 15–40 cm DBH to be quite stable (11–15 kg leaves tree^{-1}) and the 15-cm diameter trees even had more leaves than trees with greater DBH. In the present study, similar to Rahaman and Sivakgumaran (2001), the same amount of leaves was reached only when trees were 30 cm in DBH. The proportion of leaves in total biomass in this study dropped from 1.7% in small trees (8 cm DBH) to 1.2% in large trees (30 cm) (Table 3). Chantuma et al. (2012) reported the proportion of leaves in 25-year-old trees to be 1.4%.

The main aim of the present study was to determine equations for biomass components not currently used commercially. Stems and branch components > 5 cm in diameter are currently widely used. Thus, we concentrated on smaller branches and stumps. The recovery of branches was 100%, but for stump there were broken roots, decreasing the recovery of stump and root mass. Soil was removed from stumps before weighing, but in some cases small amounts of soil remained. Trees were felled using excavator that dug the soil around the tree and pushed the tree to the ground. For the purposes of utilisation, the amount of recovered stump and root biomass was satisfactory.

Biomass of all components increased with increasing tree size. However, the proportion of branches < 5 cm in diameter decreased with increasing tree diameter. In trees with 10 cm DBH, branches accounted for 24% of total biomass, When DBH increased to 20 and 30 cm, only 11 and 10% respectively of dry mass consisted of branches. Trees 10 cm in DBH had 5 kg branches (< 5 cm in diameter), and trees with 20 and 30 cm DBH had 29 and 77 kg branches respectively (Table 3).

Dry mass of stumps increased from 7 kg tree^{-1} for trees with DBH of 10 cm to 40 and 109 kg tree^{-1} for the 20 and 30 cm DBH trees respectively. Stumps and roots comprised 19% of the biomass in 10 cm trees and this value decreased to 16 and 14% in trees having 20 and 30 cm DBH. This concurred with the model by Blagodatsky et al. (2016) which showed that 35-year-old rubber tree stands had 14% of their biomass belowground (Table 3).

Table 3 Fresh and dry mass of rubber tree components in trees of different sizes

DBH (cm)	Fresh mass tree^{-1}					Dry mass tree^{-1}				
	Leaves	Branches < 3 cm	Branches 3–5 cm	Stem	Stump	Leaves	Branches < 3 cm	Branches 3–5 cm	Stem	Stump
8	1	3	3	26	7	0	1	2	14	4
10	2	5	5	49	13	1	3	3	26	7
12	3	9	8	81	20	1	4	4	43	11
14	4	13	11	125	29	1	6	6	67	17
16	5	18	15	182	40	2	9	8	98	23
18	7	25	20	252	54	3	12	10	138	31
20	9	33	25	339	69	3	15	13	186	40
22	11	42	32	442	88	4	20	17	245	50
24	13	52	39	563	109	5	24	21	314	63
26	16	64	48	704	133	7	30	25	395	76
28	19	78	57	866	159	8	36	30	488	92
30	22	93	67	1049	189	9	43	35	595	109
32	26	110	78	1256	222	11	51	41	715	127
34	30	129	90	1488	257	13	60	48	851	148
36	35	149	103	1745	296	15	69	55	1002	170

DBH = diameter at breast height

Comparison of the present equations with those published earlier was difficult due to differences in the measuring height of diameter ranging from 0.2 to 1.7 m. In most cases the equations were based on trees having an age variation from 1 year old to mature trees. The aim for model development has been to study carbon sequestration in an age series of plantations. Our aim was to study stands where tapping had ended and the stands were to be clear-cut.

A desired feature of equations for tree components is that the sum of predictions for the individual tree component equals the prediction for the whole tree. A common problem in biomass equations is poor additivity of the mass obtained using dry mass equations for the different components of a sampled tree. When dry mass equations for the different components are calculated independently, and when the sampling errors of the different components differ, the result may be a group of regression equations behaving irrationally with respect to each other (Cunia & Briggs 1984). Missing data for some components can hinder additivity. Several procedures for solving the problem have been presented (Cunia & Briggs 1984). To increase additivity in the present study, there were no missing data in the sample tree component biomass and the same independent variables were used in the dry mass models of different components. The additivity of the presented equations was good.

The present biomass equations can be used to estimate biomass of rubber tree plantations at clear-cut age when latex tapping is finished. However, one should be cautious when applying these equations for other clones and areas. Increasing the number of biomass model trees from other areas would be needed to establish generalised biomass equations. Equations for residual biomass can be used for estimating the amount of biomass available from rubber tree plantations for power plants in southern Thailand. The biomass equations can be applied directly to tree level inventory data, when the measured dimension of trees is DBH. Since the selling of rubber trees is currently based of fresh weight, often visually estimated, the presented fresh mass equations offer a more precise way to estimate weights of the rubber tree and its components. However, more information on the changes in moisture content during the year would be needed in order to make season-specific fresh mass equations. The influence of rubber tree clone on the relationship between stem diameter and biomass or volume is not well-known and contrasting results have been obtained (Khun et al. 2008, Blagodatsky et al. 2016).

ACKNOWLEDGEMENTS

The support of the Royal Thai Embassy in Finland is gratefully acknowledged. The help from Rianthakool L, Takalo T, Vihanta S and students of the Department of Forest Engineering, Kasetsart University throughout the study is greatly acknowledged.

REFERENCES

Blagodatsky S, Xu J & Cadisch G. 2016. Carbon balance of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations: a review of uncertainties at plot, landscape and production level. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 221: 8–19. http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.025

Blécourt de M, Brumme R, Xu J, Corre MD & Veldkamp E. 2013. Soil carbon stocks decrease following conversion of secondary forests to rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations. *Plos One* 8: 9 p. doi:10.1371/journal.pone.0069357.

Chantuma P, Lacote R, Leconte A & Gohet E. 2011. An innovative tapping system, the double cut alternative, to improve the yield of *Hevea brasiliensis* in Thai rubber plantations. *Field Crops Research* 121: 416–422. doi:10.1016/j.fcr.2011.01.013.

Chantuma A, Kunarasiri A & Chantuma P. 2012. Rubber new planting in Thailand: towards the world affected climate change. *Rubber Thai Journal* 1: 40–47.

Crow TR & Schlaegel BE. 1988. A guide to using regression equations for estimating tree biomass. *Northern Journal of Applied Forestry* 5: 15–22.

Cunia T & Briggs RD. 1984. Forcing additivity of biomass tables: some empirical results. *Canadian Journal of Forest Research* 14: 376–384. https://doi.org/10.1139/x84-067.

Djomo AN, Ibrahima A, Saborowski J & Gravenhorst G. 2010. Allometric biomass equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data form Africa. *Forest Ecology and Management* 260: 1873–1885. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.034.

Fox J & Castella J-C. 2013. Expansion of rubber (*Hevea brasiliensis*) in mainland Southeast Asia: what are the prospects for smallholders? *The Journal of Peasant Studies* 40: 155–170. http://dx.doi.org/10.1080/03066150.2012.750605.

Jawjit W, Pavasant P & Kroeze C. 2015. Evaluating environmental performance of concentrated latex production in Thailand. *Journal of Cleaner Production* 98: 84–91. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.016.

ภาคผนวก 8

บทความวิชาการเกี่ยวกับผลการปรับลดปุ๋ยต่อการเติบโตของต้นยางพารา

Journal of Rubber Research (2022) 25:141–149
https://doi.org/10.1007/s42464-022-00164-5

ORIGINAL PAPER

Impact of mineral fertilization on the growth of immature rubber trees: new insights from a field trial in Cambodia

Sopheaveasna Mak[1] · Lim Khan Tiva[1] · Phen Phearun[1] · Eric Gohet[1,2,3] · Régis Lacote[2,3] · Frédéric Gay[2,3]

Received: 17 March 2022 / Accepted: 21 June 2022 / Published online: 22 July 2022

Abstract
Nutrient management is critical for the development and growth of rubber trees during the immature phase. We present the results of a fertilizer trial during the immature phase of a rubber plantation setup in Cambodia. The main objective of this study was to analyze the response of a specific clone, PB330, in the specific conditions of one of the most important rubber-growing areas of Cambodia. The experiment was arranged in a randomized complete block design with 4 treatments and 4 replications. The four treatments consisted of 3 fertilization treatments with an increasing dose of fertilizers (respectively T1, T2 and T3) compared to a non-fertilized control (T0). The girth of trees was measured every six months from the end of the first year after planting (YAP) to the end of the 6th YAP. Results showed that fertilization had a significant effect on tree girth. At the end of the 6th YAP, fertilization had a significant effect on the number of tappable trees, and stand basal area but not on average tree girth. The most pronounced effect of fertilization was observed from annual increments in girth and stand basal area during the 3rd and 4th YAP. The effect of fertilization on tree growth was evident from all three treatments, although T3 gave the most significant increase compared to T0, increasing doses of fertilizer did not significantly improve the growth parameters. Hence, this study confirmed the importance of mineral nutrition on rubber tree growth during the immature phase even at T1, the lowest level of nutrient inputs. These results can be used to improve the standard fertilizer recommendations for immature rubber trees in Cambodia. We recommend setting up similar trials in different edaphic conditions of the country with the aim to establish nutrient management practices tailored to local biophysical constraints.

Keywords Rubber tree · Immature period · Fertilizer · Tree growth analysis · Stand basal area

Introduction

Rubber is a tropical perennial crop, like oil palm, cocoa and coffee, with a long-life cycle spanning up to half a century. The life cycle of these crops always starts with an unproductive phase of a few years, before the trees reach the maturity stage and the harvest of products begins. Rubber has the longest so-called immature phase which lasts 6 years on average. The end of this immature phase is not linked to the onset of the reproductive stage and the production of fruits like oil palm, coffee or cocoa. It is linked to a standard among rubber planters that latex harvesting can start when 50% of trees within a stand have reached a trunk girth of 50 cm at 1 m above the ground [1]. Obouayeba et al. [2] showed that the density of latex vessels in the bark was optimum when the trees are 6 years old with a girth of ca. 50 cm. Therefore, they concluded that the standard used to decide when to start latex harvesting can be regarded as the stage of physiological maturity of rubber trees.

Nutrient management is critical for the development and growth of rubber trees during the immature phase [3]. The growth of young rubber trees are primarily driven by climate-related factors, such as drought [4, 5] and air temperature [6]. While climatic conditions determine the growth potential of rubber trees, proper nutrient management makes it possible to achieve this potential [7]. Recent research works improved our understanding of the functioning of soils in rubber plantations, and how to manage them to sustain tree growth and limit the negative impact on

✉ Frédéric Gay
frederic.gay@cirad.fr

1 Cambodian Rubber Research Institute (CRRI), #59E, St Betong, Sangkak Prek Leap, Khan Chroy Changva, PO Box 1337, Phnom Penh, Cambodia

2 CIRAD, UMR ABSys, 34398 Montpellier, France

3 ABSys, Univ. Montpellier, CIHEAL-IAMM, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

the environment. For instance, Clermont-Dauphin et al. [8] and Thoumazeau et al. [9] expanded on an earlier work by Broughton [10] to demonstrate that the installation of cover crops between rubber tree lines in the early stages of planting, benefitted both tree growth and soil quality. Perron et al. [11] showed that leaving in the field the logging residues of the previous stand could offset the deleterious effects of bad management of the replanting phase [12]. Cover cropping and management of logging residues can then be recommended as good practices for soil and nutrient management of rubber plantations.

However, nutrient management of rubber plantation still relies mainly on the use of mineral fertilizer for most farmers [3, 13]. Most rubber-producing countries have their own fertilizer recommendations for the immature phase [3]. A given country can even have several recommendations according to the soil characteristics or the cropping system used by farmers (cover-cropping). Rubber is among the top priority crops for Cambodia. It is expected to be the second leading income earner after rice paddy in the future. According to the statistics of the General Directorate of Rubber, the country has 404,159 hectares of rubber plantations in 2020, 28% of them are immature rubber. The study presented in this paper is a fertilizer trial setup by the Cambodian Rubber Research Institute (CRRI) in the framework of a research program aiming at developing the knowledge needed to improve local fertilization recommendations. The first objective of this study was to analyze the response of a specific clone, PB330, in the specific conditions (deep basaltic red soils [14]) of one of the most important rubber-growing areas of Cambodia. The second objective was to bring new insights on the way the growth of rubber tree is analyzed in a scientific paper. Due to the standard used to decide the opening of a plantation, studies on rubber tree growth often only considered one parameter, the trunk girth [4]. Then, we proposed to introduce a parameter commonly used in forestry, the stand basal area [15]. As stand basal area is calculated from girth measurements and a complete census of tree size within a given stand, we assumed it could be an additional indicator to manage rubber plantations.

Material and methods

Site description

The trial was set up at the experimental station of the CRRI in Chup, Tboung Khmum province, Cambodia. The experimental plot was located on a level plain set in red basaltic latosols [14]. The soil texture was clay with about 7% sand, 23% silt and 69% clay. The chemical fertility of the soil was analyzed prior to the experiment. The N, P and K contents were found in acceptable amounts for rubber cultivation (Table 1).

The local climate was governed by the Asian monsoon regime, which produced two distinct seasons: a wet season (approximately April–October) and a dry season (approximately November–March) (Fig. 1). Annual rainfalls during the experiment, i.e. between 2010 and 2016, ranged from 1225 mm in 2015 to 1745 mm in 2016, with an average of 1655 mm a^{-1} (Table 2). Three years (2010, 2013, 2015) had total rainfalls below the 1500 mm threshold that delimits favorable and marginal climate conditions for rubber. The number of dry months, i.e. months with rainfalls less than 50 mm [16], was also superior to the climate marginality threshold of 3 dry months per year (Table 2).

Experimental design

The experimental plot covered a total area of ca.2 ha. Rubber trees, clone PB330, were planted in 2010 using a regular spacing of 6 m in north–south direction and 3 m in east–west direction, resulting in a potential tree density of 555 trees ha^{-1}. Except for fertilization, the whole area was managed in the same way according to CRRI's standard practices.

The experiment was arranged in randomized complete block design with 4 treatments and 4 replications, resulting in 16 elementary plots. Each elementary plot encompassed 50 trees.

The four treatments consisted of 3 fertilization treatments with an increasing dose of fertilizers (respectively T1, T2 and T3) compared to a non-fertilized control (T0) (Table 3). The fertilizer used all through the experiment

Table 1 Soil chemical properties of the experimental plot before planting

Parameter	pH (H_2O)	C[a]	N[a]	P[b]	K[c]	C/N ratio
Unit		%	%	ppm	meq/100 g	
Value	4.60	1.45	0.175	164	0.53	8
Reference	> 4.50	> 1%		10	0.11	–

Comparison with reference values found in the literature (see [3])

[a]Total carbon and nitrogen

[b]Available phosphorus

[c]Exchangeable K

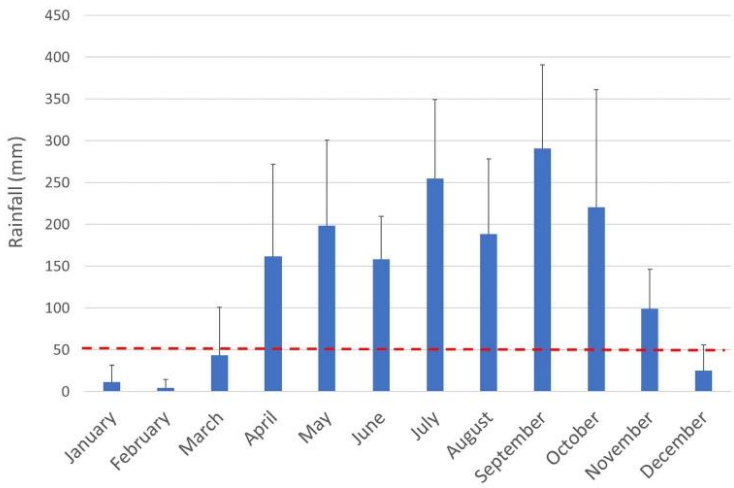


Fig. 1 Monthly rainfall distribution of the study area. Average value and standard deviation (error bar) calculated from climate records of the Cambodia Rubber Research Institute between 2010 and 2016. The red dotted line indicates the threshold sets at 50 mm to distinguish dry months

Table 2 Annual rainfall regimes and average temperature between 2010 and 2016

	Annual rainfall (mm)	Dry months (nb)	Annual average temperature (°C)
Marginality threshold [16]	< 1500	> 3	< 26 °C
2010	**1247**	**4**	28.0
2011	1511	**4**	27.0
2012	1745	**4**	27.6
2013	**1467**	**4**	27.4
2014	1726	**4**	26.6
2015	**1225**	**4**	28.1
2016	1646	**5**	30.4

Numbers in bold indicate year with marginal rainfall conditions according to [16]

Table 3 Details of the fertilization treatments

Year after planting	1	2	3	4	Total
Amounts of 15-15-15 NPK fertilizer (g tree^{-1})					
T0	0	0	0	0	0
T1	140	140	210	280	770
T2	200	200	300	400	1100
T3	300	300	450	600	1650
Amounts of N, P_2O_5 and K_2O (g tree^{-1})					
T0	0	0	0	0	0
T1	21	21	32	42	116
T2	30	30	45	60	165
T3	45	45	68	90	248

Amounts of 15-15-15 NPK fertilizer applied every year (g tree^{-1}) and corresponding quantities of N, P or K elements (g tree^{-1})

was a complete formula 15-15-15 NPK. The T2 treatment corresponded to the standard fertilizer recommendations during the immature period of rubber plantations in Cambodia. No fertilizers were applied on the 5th and 6th years after planting according to these standards.

Fertilizer was applied two times per year, in May and October only during the first 4 years after planting. The first year after planting, the fertilizer was applied in a circle, free of weeds, at 25–30 cm from the base of the plant and round it with light forking. The radius of this circle was increased with age, up to about 100–120 cm at the end of the 4th year.

Data acquisition and processing

Trunk girth at 1 m above the ground was measured twice a year on all trees in the experimental plots from the end of the 1st year after planting in August 2011 to the end of the 6th year in June 2017. The first measurement of the year was done between June and August, and the second between the end of November and early January the next year.

For each elementary plot, we computed the mean tree girth and the stand basal area at each date of measurement. Stand basal area was obtained by summing the individual basal area of all trees in one plot. Tree basal area was estimated as the area of the circle in which girth equalled that of the tree. At the end of the experiment, we counted the

number of trees in five classes of girth (< 35 cm, 35–40 cm, 40–45 cm, 45–50 cm, ≥ 50 cm) in each elementary plot.

A two-factor ANOVA was performed for all the parameters computed from girth measurement to test the effect of fertilization (4 modalities, $n = 4$) and that of blocks (4 modalities, $n = 4$). When the treatment effect was found significant (p-value < 0.05), Tukey's HSD test was used to compare means of treatment at the 5% probability level.

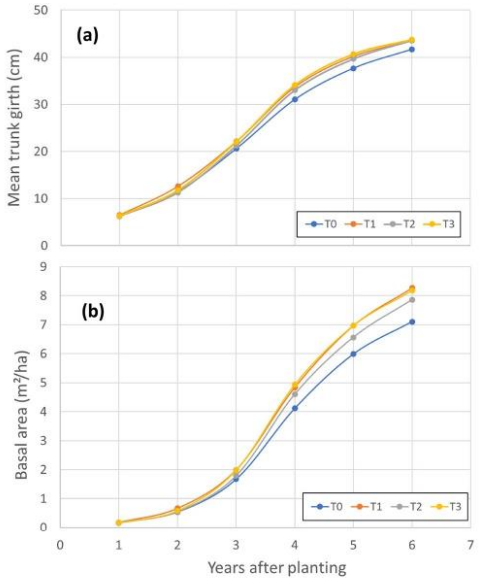


Fig. 2 Growth dynamics of trees for the four treatments of the experiment. **a** Average trunk girth measured at 1 m above the ground, **b** stand basal area calculated from individual values of trunk girth. T0: controlled treatment without fertilizer, T1, T2 and T3 fertilizer treatment with increasing dose from T1 to T3

Statistical analyses were performed with Xlstat software (2021.1 version, Addinsoft, Paris, France).

Results

Trunk girth dynamics

Average trunk girth ranged from 41.7 cm for T0 treatment to 43.7 cm for T4 treatment at the end of the experiment. The growth dynamics of the trunk girth displayed a similar S shape for the three fertilized treatments, T1, T2 and T3 (Fig. 2a). The curve of the control treatment (T0) deviated slightly below the other treatments as of the 4th year after planting (YAP). The data on the average girth at the end of each year after planting revealed that the girth of trees receiving fertilizers started to be higher than that of unfertilized trees at the end of the 3rd YAP (Table 4). The ANOVA test showed that the fertilizer effect was significant at 4 YAP, and remained significant until the 5th YAP but was no more significant at 5.5 and 6 YAP. However, the distribution of trees into five girth classes (Fig. 3) at 6 YAP indicated that there were significant differences in the number of trees in some classes. Fertilized treatments counted more trees that had reached the tapping size (girth > 50 cm), and fewer small size trees (girth < 40 cm). In the end, 6 years after planting, fertilization yielded a non-significant + 5% increase in girth and a significant three-fold increase in the number of trees having the tapping size.

Basal area dynamics

Stand basal area ranged from 7.1 to 8.3 $m^2\ ha^{-1}$ at the end of the experiment. The dynamics of the basal area also displayed a typical S-shape (Fig. 2b). As for girth, the curve of the control treatment (T0) deviated from those of the fertilizer treatments (T1, T2, T3) as of the 4th YAP. The curve of T2 (intermediate dose of fertilizer) also ended slightly

Table 4 Mean tree girth (cm) at 1 m above the ground for each treatment (T0 control, T1, T2, and T3 fertilizer treatment) at each measurement date

Year	2011		2012		2013		2014		2015		2016
YAP	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
MAP	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
T0	6.3	9.5	11.5	18.0	20.6	26.1	**31.0 (b)**	**35.0 (b)**	**37.7 (b)**	41.1	41.7
T1	6.5	9.8	12.6	19.4	22.1	28.4	**33.7 (a)**	**37.7 (a)**	**40.2 (ab)**	43.1	43.5
T2	6.2	9.3	11.3	18.3	21.2	27.7	**33.0 (ab)**	**37.2 (ab)**	**39.7 (ab)**	43.0	43.6
T3	6.3	9.5	11.8	19.5	22.1	28.8	**34.1 (a)**	**38.2 (a)**	**40.7 (a)**	43.2	43.7
p value	0.892	0.622	0.220	0.115	0.059	0.064	**0.018**	**0.013**	**0.030**	0.135	0.113

YAP year after planting, *MAP* month after planting

p-value is the result of the ANOVA test on the treatment effect. Number in bold indicate a significant treatment effect at the 5% probability level. Letters in parenthesis indicate significant differences in means found with the Tuckey's HSD test at 5% probability level

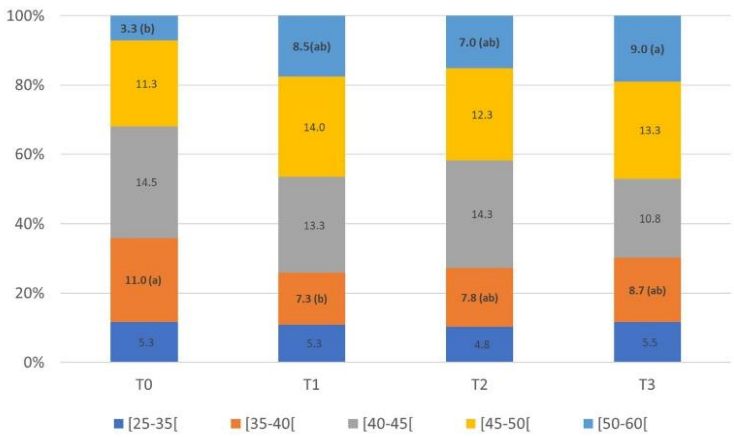


Fig. 3 Trunk girth distribution in each treatment at the end of the 6th year after planting. Trees in each elementary plots were split into five classes of girth. Numbers in bold show the significant effect of fertilization for a given class of girth. Letters in bracket identify significantly different means. T0: controlled treatment without fertilizer, T1, T2 and T3 fertilizer treatment with increasing dose from T1 to T3

below those of T1 (lowest dose) and T3 (highest dose). The ANOVA test showed that the fertilizer effect became significant after the 4th YAP till the final observation of the 6th YAP after planting (Table 5). At the end of the 6th YAP, basal area of T3 (8.2 m^2 ha^{-1}) and T1 (8.3 m^2 ha^{-1}) treatment were significantly higher than that of T0 (7.1 m^2 ha^{-1}) by 15% and 16%, respectively. Basal area of T2 (7.9 m^2 ha^{-1}) was 11% higher than T0, but this difference was not significant.

Analysis of growth increment

Figure 4 represents the mean annual increment in girth and basal area of each treatment from 1 to 6 YAP. Annual girth increment ranged between 4.2 to 10.7 cm $year^{-1}$ with a peak between 3 and 4 YAP (Fig. 4a). Annual basal area increment ranged from 0.52 to 2.53 m^2 ha^{-1} with a peak between 3 and 4 YAP as well (Fig. 4b). Both graphs clearly showed that the growth of unfertilized trees (T0) was lower than that of fertilized trees (T1, T2, T3) between the 2nd, the 3rd and the 4th YAP for girth (Fig. 4a) and between the 3rd and 4th YAP for the basal area (Fig. 4b). These observations were confirmed by the ANOVA test which revealed significant effects of fertilization on girth increment between the 2nd and 3rd YAP, and on basal area increment between the 3rd and 4th YAP. The Tuckey's HSD test showed that the girth increment of T3 (10.4 cm $year^{-1}$) was significantly higher (+16%) than T0 (9.0 cm $year^{-1}$) between the 2nd and the 3rd YAP, while it was not significantly different for T1 and T2 (Fig. 4a). The results on stand basal area increment between the 3rd and 4th YAP revealed than the three fertilizer treatments were significantly different from T0. The strongest effect was observed on T3 (2.53 m^2 ha^{-1} $year^{-1}$) which was +21% higher than T0 (2.09 m^2 ha^{-1} $year^{-1}$) (Fig. 4b).

Table 5 Stand basal area (m^2 ha^{-1}) calculated from individual girth data for each treatment (T0 control, T1, T2, and T3 fertilizer treatment) at each measurement date

Year	2011		2012		2013		2014		2015		2016
YAP	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
MAP	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
T0	0.17	0.37	0.54	1.34	1.67	2.91	4.11	**4.99 (b)**	**5.98 (b)**	**6.86 (b)**	**7.10 (b)**
T1	0.18	0.41	0.67	1.61	1.99	3.51	4.84	**5.86 (ab)**	**6.96 (a)**	**7.99 (a)**	**8.26 (a)**
T2	0.16	0.37	0.55	1.46	1.79	3.27	4.60	**5.66 (ab)**	**6.56 (ab)**	**7.69 (ab)**	**7.86 (ab)**
T3	0.17	0.38	0.58	1.61	1.98	3.56	4.94	**6.06 (a)**	**6.97 (a)**	**8.05 (a)**	**8.18 (a)**
p value	0.919	0.713	0.330	0.207	0.281	0.131	0.103	**0.048**	**0.035**	**0.015**	**0.024**

YAP year after planting, *MAP* month after planting

p-value is the result of the ANOVA test on the treatment effect. Number in bold indicate a significant treatment effect at the 5% probability level. Letters in parenthesis indicate significant differences in means found with the Tuckey's HSD test at a 5% probability level

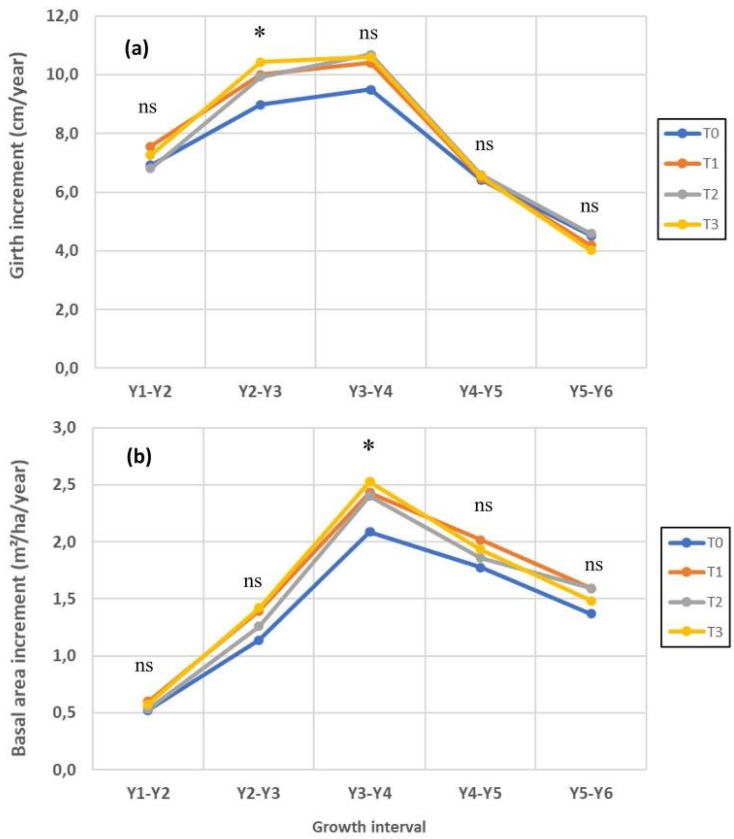


Fig. 4 Dynamics of annual increment for the four treatments of the experiment. **a** Girth increment, **b** stand basal area increment. $Y_i - Y_{i+1}$ = one-year interval between the end of the year i after planting and the end of year $i+1$ after tapping. T0: controlled treatments without fertilizer, T1, T2 and T3 fertilizer treatment with increasing dose from T1 to T3. * indicates that the effect of fertilization treatments was found significant by the ANOVA test, while ns means the effect was not found significant ($p < 0.05$). Results of the means comparison with Tuckey's HSD test were 9.0 (b), 10.0 (ab), 9.9 (ab) and 10.4 (a) cm year^{-1}of girth increment between the 2nd and 3rd YAP for T0, T1, T2 and T3 respectively (**A**); 2.09 (b), 2.43 (a), 2.40 (a), 2.53 (a) m^2 ha^{-1} year^{-1} of stand basal area increment between the 3rd and 4th YAP for T0, T1, T2 and T3, respectively (**B**)

Discussion

The duration of the immature phase is critical for the profitability of rubber plantations. In this regard, understanding the factors that govern the immaturity phase and that can contribute to shorten it are relevant to both researchers and rubber growers. This report, therefore, aims to provide some insights on the drivers of the growth of young rubber trees and management practices under the specific conditions of the Cambodian Rubber Research Institute. It also aims to discuss the approach to analyze growth during the immaturity period."

Assessment of the growing conditions of the experimental site

The growth of the trees was not optimum in the conditions of the experiment. In favorable conditions for rubber cultivation, planters expect a 6-year duration of the immature phase [2]. With a maximum average girth of 44 cm and only 20% of trees having a girth of 50 cm or more at 1 m above the ground (tappable trees), none of the treatments reached the standards for starting the latex harvesting 6 years after planting. Tiva et al. [17] obtained similar results in the same conditions with the clone PB217, known as a less vigorous clone than the clone PB330 used in our experiment. The slower growth of the stand in our experiment was likely due to the climatic conditions. According to [16], the climate of the study site can be classified as marginal due to annual rainfall below the 1500 mm threshold, and more than 3 dry months per year, i.e. months with rainfalls less than 50 mm. In the opposite, the chemical fertility of the soil was rather good. Contents in P and K were above the minimum levels for rubber cultivation [3, 18].

Effect of fertilization on tree girth

The results showed that fertilization had a significant effect on tree girth in our experiment. Six years after planting (YAP), the effect of fertilization treatment was significant on the number of tappable trees but not on average tree girth. However, significant differences in tree girth were observed on measurements done between the 4th and 5th YAP. The strongest effect was a 10% increase for the trees receiving the highest dose of fertility compared to unfertilized trees. This result is consistent with the previous experiments reviewed by [3] which found 2 to 19% increase in trunk girth with fertilization [19, 20]. Kalam et al. [21] also observed that the fertilizer treatments in their experiment had an effect on girth 4 YAP but not 5 YAP. Analysis of rubber tree growth during the immature phase showed that the highest annual increments were found during the 3rd and the 4th YAP [22, 23]). Our results confirmed these observations (Fig. 4a and Table 4b) and showed significant differences in annual increment at the 3rd YAP only. The highest response of tree growth to fertilization in the first years of a stand was also commonly observed in tropical eucalypt plantation [24]. For rubber plantation, Perron et al. [25] demonstrated that the period between the 2nd and the 5th YAP displayed the highest annual nutrient accumulation rate over the whole lifespan of a rubber plantation. Therefore, our results in line with these references suggest that rubber tree growth likely is the most sensitive to mineral nutrition in the 3rd and 4th year after planting (YAP).

On a statistical point of view, the most significant effect of fertilization was obtained with the highest dose of fertilizer (T3). However, we did not observe many differences in the girth dynamics of the tree fertilizer treatments. They all resulted in higher trunk girth than the unfertilized treatment. Previous studies also showed that relatively small amounts of fertilizers were sufficient to reach a high growth rate [3]. The lowest dose of fertilizer in our experiment (T1) was equivalent to a total of 115.5 g tree^{-1} of N, P_2O_5 and K_2O (Table 3) applied over the whole immature period. These quantities were well below most of the standard fertilizer recommendations found in the scientific of technical literature [3]. According to the nutrient stocks measured in rubber tree biomass by [25], the fertilizers applied in T1 corresponded to 21%, 50% and 27% of the requirements in, respectively, N, P and K (45%, 108% and 59% for T3). The good soil chemical fertility at the beginning of the experiment likely explained that the maximum effect on growth was obtained with such low quantities of fertilizer. Nutrients inputs at higher dose may have a stronger effect on growth in highly depleted soils, which seems not to be the case in our study site. This is likely to be the case in marginal areas with poor soils where rubber plantations expanded over the last decades [26] and in traditional producing areas where soils were degraded by replanting rubber over 2 or 3 successive cycles [12]. We also highlighted that the climate conditions were not optimum during the 6 years of the experiment with lower annual rainfall and a greater number of dry months than required for optimum growth of rubber trees [16]. Therefore, we can assume that the effect of the fertilizer treatments was limited to the growth potential permitted by the climate conditions.

Basal area, a relevant indicator of rubber tree growth

To our knowledge, our study is the first to use the stand basal area to analyze the growth of an immature rubber plantation and the effect of fertilization. Stand basal area has been commonly used in forestry as an indicator of stand growth and productivity [15, 27] as well as for modelling tree stand growth [28]. Stand basal area is indeed useful to compare the growth dynamic of a given specie in stands growing in contrasted environments. The most convenient way to estimate the basal area of a tree is to measure its girth. Therefore, girth and basal area are highly correlated indicators. However, stand basal area depends also on the actual stand density, i.e. the number of living trees within the stand, and the distribution of girth measurements among trees. In this sense, we assume that the stand basal area would be a relevant indicator for monitoring immature rubber stands as the final stage of this initial phase of a rubber plantation depends on the proportion of trees having reached the standard opening size. Our results showed that the stand basal area was indeed complementary to mean girth and girth distribution to understand the effect of fertilization in our trial. In particular, the stand basal area appeared to be able to catch long term and persistent effect of fertilization on stand growth better than mean girth. The fertilization effect was significant on the basal area at the end of the trial while it was not on girth. On the other hand, the effect of fertilization was detected earlier on mean girth than on basal area. We then recommend to include calculation of stand basal area to analyze growth of immature rubber plantations.

Conclusions

Our study confirmed that mineral nutrition is a major driver of rubber tree growth during the immature phase of the plantation. The maximum response of growth to fertilization was obtained with relatively low fertilizer inputs (T1 treatment) in the conditions of our trial. It was mainly due to the good soil fertility of the experimental site. The results of our experiment can be used to improve the standard fertilizer recommendations for rubber cultivation in Cambodia. They stress the need to consider the soil fertility to adapt

the dose of fertilizer to be applied. Similarly, climate conditions must be considered as temperature and rainfalls likely are the main drivers of rubber tree growth. Therefore, we recommend to set-up a network of fertilization trials in a set of different edaphic conditions in Cambodia to establish nutrient management practices tailored to local biophysical constraints. We also recommend to include the stand basal area as a new indicator to analyze and understand the results of fertilization trials.

Acknowledgements Authors would like to warmly thank the staff of the Crop Planting and Protection division of the Cambodian Rubber Research Institute (CRRI) for supporting the research at the experimental site as well as Mr. Chhek Chan for sharing his knowledge and experience in the management of fertilization in rubber plantations.

Declarations

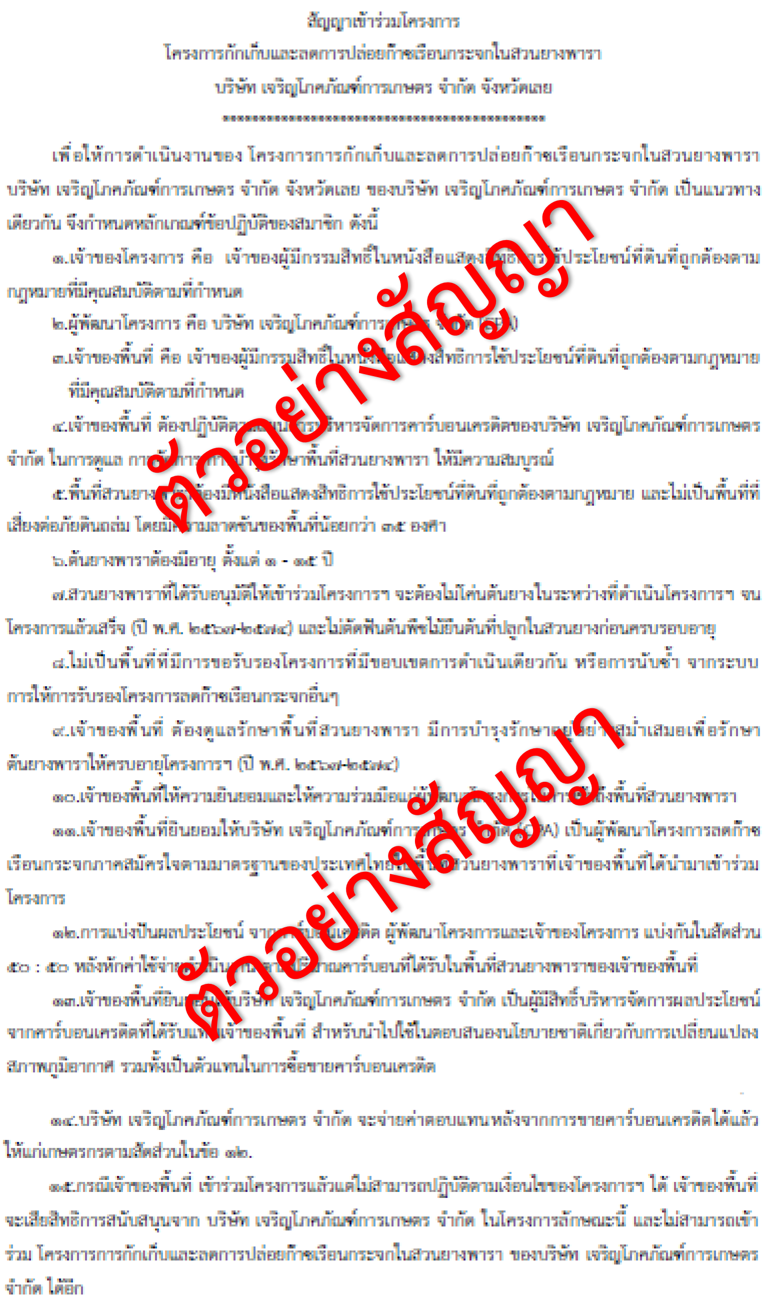
Conflict of interest On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

References

1. Compagnon P (1986) Le caoutchouc naturel: biologie, culture, production. Maisonneuve et Larose, Paris
2. Obouayeba S, Soumahin EF, Okoma KM et al (2012) Temporal and structural relations within bark and trunk in *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. (Euphorbiaceae): physiological maturity index of bark and latex vessels. Int J Biosci 2(2):56–71
3. Vrignon-Brenas S, Gay F, Ricard S, Snoeck D, Perron T, Mareschal L, Laclau J-P, Gohet E, Malagoli P (2019) Nutrient management of immature rubber plantations. A review. Agron Sustain Dev 39(1):11. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0554-6
4. Chandrashekar TR, Nazeer MA, Marattukalam JG, Prakash GP, Annamalainathan K, Thomas J (1998) An analysis of growth and drought tolerance in rubber during the immature phase in a dry subhumid climate. Exp Agric 34(3):287–300. https://doi.org/10.1017/S0014479798343045
5. Sangsing K, Cochard H, Kasemsap P, Thanisawanyangkura S, Sangkhasila K, Gohet E, Thaler P (2004) Is growth performance in rubber (*Hevea brasiliensis*) clones related to xylem hydraulic efficiency? Can J Bot 82(7):886–891. https://doi.org/10.1139/b04-083
6. Kositsup B, Montpied P, Kasemsap P, Thaler P, Améglio T, Dreyer E (2009) Photosynthetic capacity and temperature responses of photosynthesis of rubber trees (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) acclimate to changes in ambient temperatures. Trees 23(2):357–365. https://doi.org/10.1007/s00468-008-0284-x
7. Elli EF, Sentelhas PC, de Freitas CH, Carneiro RL, Alvares CA (2019) Assessing the growth gaps of Eucalyptus plantations in Brazil—magnitudes, causes and possible mitigation strategies. For Ecol Manag 451:117464. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117464
8. Clermont-Dauphin C, Suvannang N, Pongwichian P, Cheylan V, Hammecker C, Harmand J-M (2016) Dinitrogen fixation by the legume cover crop *Pueraria phaseoloides* and transfer of fixed N to *Hevea brasiliensis*—impact on tree growth and vulnerability to drought. Agric Ecosyst Environ 217:79–88. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.002
9. Thoumazeau A, Bessou C, Renevier M-S et al (2019) Biofunctool®: a new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part B: investigating the impact of land management of rubber plantations on soil quality with the Biofunctool® index. Ecol Indic 97:429–437. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.028
10. Broughton WJ (1976) Effect of various covers on soil fertility under *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. and on growth of the tree. Agro-Ecosyst 3:147–170. https://doi.org/10.1016/0304-3746(76)90113-X
11. Perron T, Kouakou A, Simon C et al (2022) Logging residues promote rapid restoration of soil health after clear-cutting of rubber plantations at two sites with contrasting soils in Africa. Sci Total Environ 816:151526. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151526
12. Panklang P, Thoumazeau A, Chiarawipa R, Sdoodee S, Sebag D, Gay F, Thaler P, Brauman A (2021) Rubber, rubber and rubber: how 75 years of successive rubber plantations rotations affect topsoil quality. Land Degrad Dev. https://doi.org/10.1002/ldr.4171
13. Chambon B, Dao XL, Tongkaemkaew U, Gay F (2018) What determine smallholders' fertilization practices during the mature period of rubber plantations in thailand? Exp Agric 54(6):824–841. https://doi.org/10.1017/S0014479717000400
14. Saeki H, Okamoto M, Azuma J, Inoue H, Takiuchi M, Tarumi H (1959) Investigations on Cambodian soils. Soil Sci Plant Nutr 5(1):16–22. https://doi.org/10.1080/00380768.1959.10430889
15. West PW (1980) Use of diameter increment and basal area increment in tree growth studies. Can J For Res 10(1):71–77. https://doi.org/10.1139/x80-012
16. Gohet E, Thaler P, Rivano F, Chapuset T, Gay F, Chantuma P, Lacote R (2015) A tentative composite climatic index to predict and quantify the effect of climate on natural rubber yield potential. In: Proceedings international rubber conference 2015: productivity and quality towards a sustainable and profitable natural rubber sector
17. Lim K, Tiva LR, Chhek C, Sopheaveasna M, Gohet E (2016) Effect of fertilization on latex yield potential and physiological parameters of clone PB 217 in Cambodia. In: Proceedings international rubber conference 2016, CRRI&IRRDB, Siem Reap, Cambodia
18. Suchartgul S, Maneepong S, Issarakrisila M (2012) Establishment of standard values for nutritional diagnosis in soil and leaves of immature rubber tree. In: Proceedings IRRDB international rubber conference 15–16 December 2011 In Chiang Mai Thailand, 2012, p 13
19. Yogaratnam N, Weerasuriya SM (1984) Fertilizer responses in mature hevea under sri lankan conditions. J Rubber Res Inst Sri Lanka 62:19–39
20. Meti S, Gohain T, Chaudhuri D (2002) Response of Hevea to fertilizers in Northern West Bengal. Indian J Nat Rubber Res 2(15):119–128
21. Kalam MA, Amma MK, Punnoose KI, Potty SN (1980) Effect of fertilizer application on growth and leaf nutrient content of some important Hevea clones. Rubber Board Bull 16(1):19–30
22. Chandrasekhar TR, Varghese YA, Saraswathyamma CI, Vijayakumar R (2005) Girth growth of rubber (*Hevea brasiliensis*) trees during the immature phase. J Trop For Sci 17(3):399–415
23. Rodrigo VHL, Stirling CM, Silva TUK, Pathirana PD (2005) The growth and yield of rubber at maturity is improved by intercropping with banana during the early stage of rubber cultivation. Field Crops Res 91(1):23–33. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.05.005
24. Gonçalves J, Stape J, Laclau J-P, Bouillet J-P, Ranger J (2008) Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. South For J For Sci 70(2):105–118. https://doi.org/10.2989/SOUTH.FOR.2008.70.2.6.534

ภาคผนวก 9

ตัวอย่างสัญญาเข้าร่วมโครงการฯ ระหว่างเจ้าของโครงการกับบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด



สัญญาเข้าร่วมโครงการ
โครงการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา
บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย
****

เพื่อให้การดำเนินงานของ โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จังหวัดเลย ของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด เป็นแนวทางเดียวกัน จึงกำหนดหลักเกณฑ์ข้อปฏิบัติของสมาชิก ดังนี้

๑.เจ้าของโครงการ คือ เจ้าของผู้มีกรรมสิทธิ์ในหนังสือแสดงสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกต้องตามกฎหมายที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด

๒.ผู้พัฒนาโครงการ คือ บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด (CPA)

๓.เจ้าของพื้นที่ คือ เจ้าของผู้มีกรรมสิทธิ์ในหนังสือแสดงสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกต้องตามกฎหมายที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด

๔.เจ้าของพื้นที่ ต้องปฏิบัติตามแผนการบริหารจัดการคาร์บอนเครดิตของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ในการดูแล การจัดการ การบำรุงรักษาพื้นที่สวนยางพารา ให้มีความสมบูรณ์

๕.พื้นที่สวนยางพาราต้องมีหนังสือแสดงสิทธิการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ถูกต้องตามกฎหมาย และไม่เป็นพื้นที่ที่เสี่ยงต่อภัยดินถล่ม โดยมีความลาดชันของพื้นที่น้อยกว่า ๓๕ องศา

๖.ต้นยางพาราต้องมีอายุ ตั้งแต่ ๑ - ๑๕ ปี

๗.สวนยางพาราที่ได้รับอนุมัติให้เข้าร่วมโครงการฯ จะต้องไม่โค่นต้นยางในระหว่างที่ดำเนินโครงการฯ จนโครงการแล้วเสร็จ (ปี พ.ศ. ๒๕๖๗-๒๕๙๔) และไม่ตัดฟันต้นพืชไม้ยืนต้นที่ปลูกในสวนยางก่อนครบรอบอายุ

๘.ไม่เป็นพื้นที่ที่มีการขอรับรองโครงการที่มีขอบเขตการดำเนินเดียวกัน หรือการนับซ้ำ จากระบบการให้การรับรองโครงการลดก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ

๙.เจ้าของพื้นที่ ต้องดูแลรักษาพื้นที่สวนยางพารา มีการบำรุงรักษาอยู่อย่างสม่ำเสมอเพื่อรักษาต้นยางพาราให้ครบอายุโครงการฯ (ปี พ.ศ. ๒๕๖๗-๒๕๙๔)

๑๐.เจ้าของพื้นที่ให้ความยินยอมและให้ความร่วมมือแก่ผู้พัฒนาโครงการในการเข้าถึงพื้นที่สวนยางพารา

๑๑.เจ้าของพื้นที่ยินยอมให้บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด (CPA) เป็นผู้พัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทยในพื้นที่สวนยางพาราที่เจ้าของพื้นที่ได้นำมาเข้าร่วมโครงการ

๑๒.การแบ่งปันผลประโยชน์ จากคาร์บอนเครดิต ผู้พัฒนาโครงการและเจ้าของโครงการ แบ่งกันในสัดส่วน ๕๐ : ๕๐ หลังหักค่าใช้จ่ายดำเนินการตามปริมาณคาร์บอนที่ได้รับในพื้นที่สวนยางพาราของเจ้าของพื้นที่

๑๓.เจ้าของพื้นที่ยินยอมให้บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด เป็นผู้มีสิทธิ์บริหารจัดการผลประโยชน์จากคาร์บอนเครดิตที่ได้รับแทนเจ้าของพื้นที่ สำหรับนำไปใช้ในตอบสนองนโยบายชาติเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ รวมทั้งเป็นตัวแทนในการซื้อขายคาร์บอนเครดิต

๑๔.บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด จะจ่ายค่าตอบแทนหลังจากการขายคาร์บอนเครดิตได้แล้วให้แก่เกษตรกรตามสัดส่วนในข้อ ๑๒.

๑๕.กรณีเจ้าของพื้นที่ เข้าร่วมโครงการแล้วแต่ไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขของโครงการฯ ได้ เจ้าของพื้นที่จะเสียสิทธิการสนับสนุนจาก บริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ในโครงการลักษณะนี้ และไม่สามารถเข้าร่วม โครงการการกักเก็บและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสวนยางพารา ของบริษัท เจริญโภคภัณฑ์การเกษตร จำกัด ได้อีก

ภาคผนวก 10

บทความวิชาการเกี่ยวกับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ด้วยเครื่อง Backpack LiDAR

forests MDPI

Article

Estimation of Aboveground Biomass of Individual Trees by Backpack LiDAR Based on Parameter-Optimized Quantitative Structural Models (AdQSM)

A Ruhan [1,2], Wala Du [3,4], Hong Ying [1,2], Baocheng Wei [1,2], Yu Shan [1,2,*] and Haiyan Dai [5]

1 College of Geographic Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China
2 Inner Mongolia Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China
3 Chinese Academy of Agricultural Sciences Grassland Research Institute, Hohhot 010022, China
4 Arshan Forest and Grassland Disaster Prevention and Mitigation Field Scientific Observation and Research Station of Inner Mongolia Autonomous Region, Arshan 137400, China
5 Inner Mongolia Ecology and Agriculture Meteorological Centre, Hohhot 010051, China
* Correspondence: yushan@imnu.edu.cn; Tel.: +86-18747999666

Abstract: Forest aboveground biomass (AGB) plays a key role in assessing forest productivity. In this study, we extracted individual tree structural parameters using backpack LiDAR, assessed their accuracy using terrestrial laser scanning (TLS) data and field measurements as reference values, and reconstructed 3D models of trees based on parameter-optimized quantitative structural models (AdQSM). The individual tree AGB was estimated based on individual tree volumes obtained from the tree model reconstruction, combined with the basic wood density values of specific tree species. In addition, the AGB calculated using the allometric biomass models was validated to explore the feasibility of nondestructive estimation of individual tree AGB by backpack LiDAR. We found that (1) the backpack LiDAR point cloud extracted individual tree diameter at breast height (DBH) with high accuracy. In contrast, the accuracy of the tree height extraction was low; (2) the optimal parameter values of the AdQSM reconstruction models for *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* were HS = 0.4 m and HS = 0.6 m, respectively; (3) the individual tree AGB estimated based on the backpack LiDAR and AdQSM fit well with the reference values. Our study confirms that backpack LiDAR can nondestructively estimate individual tree AGB, which can provide a reliable basis for further forest resource management and carbon stock estimation.

Keywords: backpack LiDAR; aboveground biomass; quantitative structure models; nondestructive estimation

check for updates

Citation: Ruhan, A.; Du, W.; Ying, H.; Wei, B.; Shan, Y.; Dai, H. Estimation of Aboveground Biomass of Individual Trees by Backpack LiDAR Based on Parameter-Optimized Quantitative Structural Models (AdQSM). *Forests* **2023**, *14*, 475. https://doi.org/10.3390/f14030475

Academic Editor: Henning Buddenbaum

Received: 10 January 2023
Revised: 18 February 2023
Accepted: 23 February 2023
Published: 27 February 2023

1. Introduction

As an important component of terrestrial ecosystems, the estimation of forest biomass is important for the study of net primary productivity and carbon cycling in forests. Traditional methods of measuring forest aboveground biomass (AGB) include destructive sampling methods, which are destructive to the ecosystem and time-consuming. Light detection and ranging (LiDAR), an emerging active remote sensing technology, is widely used for AGB estimation because it can directly extract information on the vertical structure of forests. Depending on the platform, LiDAR mainly includes space-borne LiDAR, airborne LiDAR and ground-based LiDAR (terrestrial laser scanning (TLS), vehicle-borne LiDAR, and backpack and handheld LiDAR), enabling the estimation of AGB at different spatial scales, such as area [1,2], stand [3], and individual tree [4]. Ground-based LiDAR is useful for obtaining forest understory structural parameters and is, therefore, mostly used for estimating AGB at the individual tree scale.

Terrestrial laser scanning (TLS) is capable of acquiring high-density 3D-point cloud data of target trees and has been widely used to estimate AGB at the individual tree scale [5–7]. Ghimire

et al. [8] used high-precision TLS data to obtain individual tree structural parameters, which were then substituted into species-specific allometric biomass models to estimate the AGB of a Mediterranean coniferous forest, demonstrating the accuracy and validity of a nondestructive approach to forest AGB estimation. Beyene [9] used TLS to collect point cloud data from tropical rainforests in Malaysia and used tree parameters derived from TLS data to estimate AGB, confirming that TLS can accurately estimate forest parameters and AGB in dense tropical rainforests. However, the fixed measurement method of TLS limits its spatial flexibility, and the data acquisition time is too long. The backpack LiDAR system combines one or more laser scanners, an inertial measurement unit (IMU), and a global navigation satellite system (GNSS) tracker in a single unit, with simultaneous localization and mapping (SLAM) technology compensating for the limitations of TLS, such as low mobility and multisite cloud mapping. However, backpack LiDAR is currently focused on potential applications in forest inventories and the accuracy of acquiring tree structure parameters [10–12]. Hyyppä et al. [13] found that backpack LiDAR was more accurate in acquiring the structural parameters of individual trees than a handheld LiDAR scanner. Oveland et al. [14] compared three different (TLS, backpack, and handheld) LiDAR scanning methods in terms of estimating diameter at breast height (DBH), acquiring individual tree locations and data acquisition efficiency. It was found that the backpack LiDAR was the most efficient, and the estimated DBH was the closest to the true value.

Among the biomass estimation models, the allometric biomass model [15] is currently the most widely used empirical model and is widely used as reliable ground verification data instead of measured biomass. Some scholars [16] have used a combination of backpack LiDAR and airborne LiDAR to extract individual tree structural parameters and then fed them into the allometric biomass model to obtain sample-scale AGB. However, these methods still rely on a limited number of stand parameter factors to build an empirical model to estimate biomass. No studies have yet explored the feasibility of the direct use of backpack LiDAR point cloud data for AGB estimation. Quantitative structure models (QSMs) can reconstruct 3D models of trees based on high-density laser point clouds [17], in which the volume of the tree is obtained directly from the point cloud data and then combined with the basic wood density of a particular tree species to further estimate AGB. Unlike allometric biomass models, this method is based on the true biomorphic structure of a particular tree species to estimate AGB [18]. The QSM algorithm has been extensively investigated, particularly in tropical forests, and has been shown to be an effective method for the nondestructive estimation of AGB for individual trees. Gonzalez de Tanago et al. [19] used TLS point clouds to construct a 3D tree model to estimate the AGB of large trees in tropical forests and compared it with destructively measured AGB to determine the applicability of the QSM algorithm for estimating AGB in complex forest stands in tropical regions. Krishna Moorthy et al. [20] estimated the tree volume and AGB of vine stems in tropical forests using the TLS–QSM method and found that the stem volume obtained from a 3D tree model was highly correlated with the reference volume. Lau et al. [21] showed that the AGB estimated based on the TLS–QSM method was more consistent with the measured validation data than the estimates obtained from the subtropical allometric biomass models. Du et al. [22] and Fan et al. [23] further extended the QSM by proposing the AdTree and AdQSM methods. The methods provide a geometric basis for the automatic, detailed, and accurate 3D reconstruction of real trees and are able to quantify tree parameters such as DBH, tree height, and volume. Using LiDAR point cloud and photogrammetry point cloud data and destructive sampling data, the accuracy of the AdQSM method in estimating individual tree DBH, tree height, volume, and AGB was verified [24,25]. Zhang et al. [26] validated the potential of backpack LiDAR point cloud data to extract branch information from fruit trees by comparing the measured values with QSM estimates of fruit tree samples and found that multiple orders of branch information were underestimated to varying degrees. However, this method has not been applied to the study of individual tree AGB estimation from backpack LiDAR point cloud data, and the reconstruction results of the

AdQSM method vary for different tree species with different morphological structures, which directly affects the accuracy of the final AGB estimation [27].

Located in the northernmost part of China, Greater Khingan is a major component of the Northeast Forest Region, and its forest ecosystems are critical to the regional and national carbon balance. Recently, there has been a growing concern about carbon emissions and environmental sustainability [28]. Therefore, accurate estimation of biomass in the region is important for studying carbon stocks in Greater Khingan and evaluating the role of China's temperate forest ecosystems in the global carbon cycle. Therefore, we collected backpack LiDAR point cloud data from natural forest sample plots in Duraer National Forest at the southern foot of Greater Khingan, extracted individual tree structural parameters, and estimated individual tree volume and AGB based on the AdQSM, using TLS data and field measurements as reference values to verify their accuracy. The objectives of this study are (1) to compare the differences between the two LiDAR scanning techniques and the accuracy of extracting individual tree structural parameters; (2) to optimize the AdQSM parameters for *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* individual tree AGB estimation; and (3) to use the backpack LiDAR–AdQSM method to estimate individual tree AGB and compare this with the AGB calculated by the allometric biomass models to explore the feasibility of estimating individual tree AGB from backpack LiDAR point cloud data. This study proposes an efficient and nondestructive method for estimating individual tree AGB, which provides a scientific basis for further rational forest management and carbon stock estimation.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area

The study area is located in Duraer National Forest, Arxan City, Xing'an League, Inner Mongolia Autonomous Region (119°28′–121°01′ E, 47°15′–47°35′ N). The forestry area is located in northwestern Tianchi town, Arxan city, with a total area of approximately 44,400 hm^2 and a forest cover of 61%. Duraer National Forest is located at the western foot of the middle section of Greater Khingan, bordering Hulunbeier city in Inner Mongolia to the north and east and the Oriental Province in Mongolia to the west, making it an important natural ecological reserve in China. The average altitude is 1100 m (Figure 1), and it has low-to-medium mountainous terrain. The climate type is a temperate continental monsoon climate with an annual precipitation of approximately 437 mm and an average annual temperature of 1.48 °C. The main tree species in the study area are *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen, *Betula platyphylla* Suk, and *Populus davidiana* Dode.

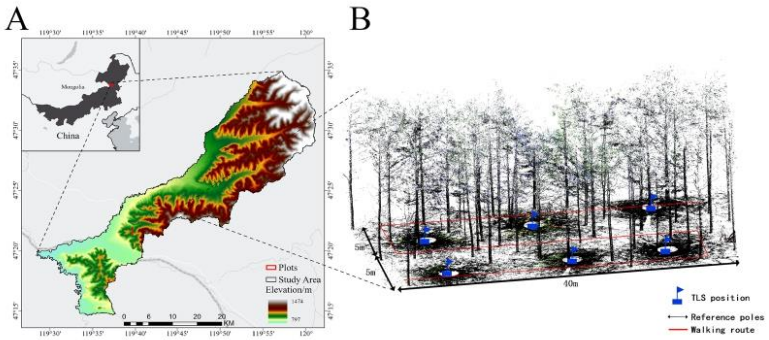


Figure 1. (**A**) Location of the study area, (**B**) the distribution of backpack LiDAR scanning tracks and TLS stations in the sample area.

2.2. *Data*

2.2.1. Field Data

We selected four natural forest sample plots in Duraer Forest based on different tree species and different stand densities, with sample Plots 1 and 2 in *Larix gmelinii* forest and sample Plots 3 and 4 in *Betula platyphylla* forest (Figure 2). Each sample plot was set up as a rectangle of 10 m × 40 m, and the basic information of the sample plots is shown in Table 1. Individual trees with DBHs greater than 5 cm were selected and tagged, and the DBH and tree height were measured several times using a DBH ruler and laser altimeter and then averaged to reduce errors. Information such as species category, stand naturalness, and denseness was recorded. At the same time, the coordinates of the center point and the four corners of the sample were obtained by using the differential satellite station technique of the GNSS receiver, which was used to crop and register the point cloud data at a later stage.

Figure 2. (**A**) Larix gmelinii plot. (**B**) Betula platyphylla plot.

Table 1. Tree species and DBH parameters at the sample site.

Plot	Species	Number of Trees	DBH (cm)		
			Mean	Min	Max
1	*Larix gmelinii*	30	19.5	8.5	35
2	*Larix gmelinii*	29	16.9	8.6	27.5
3	*Betula platyphylla*	49	12.7	5.8	29.8
4	*Betula platyphylla*	44	13.9	5.5	26.7

2.2.2. Backpack LiDAR Data

The backpack LiDAR device we used was the Green Valley International's model LiBackpack DGC50 (Green Valley, Beijing, China) with specifications shown in Table 2 and we followed a "S"-shaped-designed hiking route to collect point clouds of trees within the sample plots (Figure 1B). The surveyor connected a mobile phone to the backpack LiDAR to view the number of search satellites on the phone and to view the point cloud data collection in real time while collecting data. It was important to keep the backpack as steady as possible during the acquisition process, taking care to walk slowly around corners and in an arc to ensure good quality point cloud data. To obtain the point cloud data with absolute coordinates, a GNSS receiver (Haida Zhong, Wuhan, China) was used to

obtain the absolute coordinates of a point outside the sample area with a stable GPS signal, and a reference station was set up at this point to obtain static data. Finally, the original point cloud data and the trajectory file as well as the GNSS static data were imported into LiFUser BP software (Green Valley, Beijing, China) for trajectory solving to obtain the point cloud data containing absolute geographic location information.

Table 2. Comparison of various parameters of the backpack LiDAR and TLS.

	LiBackpack DGC50	FARO FOCUS 3D 120
Laser Sensor	Velodyne VLP-16 × 2	Faro
LiDAR Accuracy	±3 cm	±1 mm
Scan Range	100 m	120 m
Scan Rate	600,000 (pts/s)	97,600 (pts/s)
Scan mode	color	color
Pixel	1800 W	7000 W
Viewing angel range	Horizontal 360° Vertical 180°	Horizontal 360° Vertical 300°

2.2.3. TLS Data

We used a FARO FOCUS 3D 120 terrestrial laser scanner (Faro Technologies Company, Lake Mary, FL, USA) to scan the four sample plots using a multistation layout with the following scanner profile parameters: 20 m outdoor scanning, color scanning mode, and a scanning time of approximately 7 min per station. Six stations were evenly distributed within each sample plot for multidirectional scanning to ensure that each tree in the sample plot was adequately scanned, as shown in Figure 1B. The point cloud data from the multistation scans were registered in Faro Scene software (Faro Technologies Company, Lake Mary, FL, USA) and aligned within 1 cm.

2.2.4. Point Cloud Data

The solved and registered backpack LiDAR and TLS point cloud data were imported into LiDAR360 V5.4 software (Green Valley, Beijing, China). First, the point cloud data were cropped by sample extent and filtered after removing redundancy and noise, and ground points were classified using the improved progressive TIN densification filtering algorithm proposed by Zhao et al. [29]. Then, a digital elevation model (DEM) with a resolution of 0.5 m was generated by irregular triangular mesh interpolation. The elevation value Z of each point cloud was subtracted from the corresponding DEM elevation value found, and the point cloud was normalized based on the DEM to eliminate the influence of topography on tree height estimation (Figure 3).

2.3. Methods

2.3.1. Individual Tree Segmentation and Parameter Extraction

To obtain the structural parameters of individual trees and to achieve accurate 3D modeling of individual trees, individual tree segmentation of the point cloud for all trees in the sample plot was needed. First, the normalized point cloud data were identified by the comparative shortest-path algorithm (CSP) [30] to identify the spatial clustering of standing trees. Then, point cloud slices at 1.2–1.3 m of the trunk were extracted, and the fitted cylinder method was used to batch fit the DBH. Manual screening of the DBH fit results was required to manually refit the poorly fitted individual trees to ensure individual tree DBH accuracy (Figure 4). Finally, the fitted DBH values were used as seed points for individual tree segmentation. The CSP algorithm searched for points within the radius of the DBH or the nearest point as the initial cluster of seed points for subsequent segmentation based on the 3D coordinates of the seed points (Figure 5). The accuracy of the individual tree segmentation directly affects the accuracy of the individual tree modeling and, hence, the accuracy of the individual tree AGB estimation. Therefore, the segmented individual tree point clouds needed to be checked one by one, and the misclassified individual trees

were manually re-segmented. Tree height was estimated from the difference in elevation between the top and bottom point clouds of the segmented individual tree. All these steps were performed in LiDAR360 V5.4 software (Green Valley, Beijing, China).

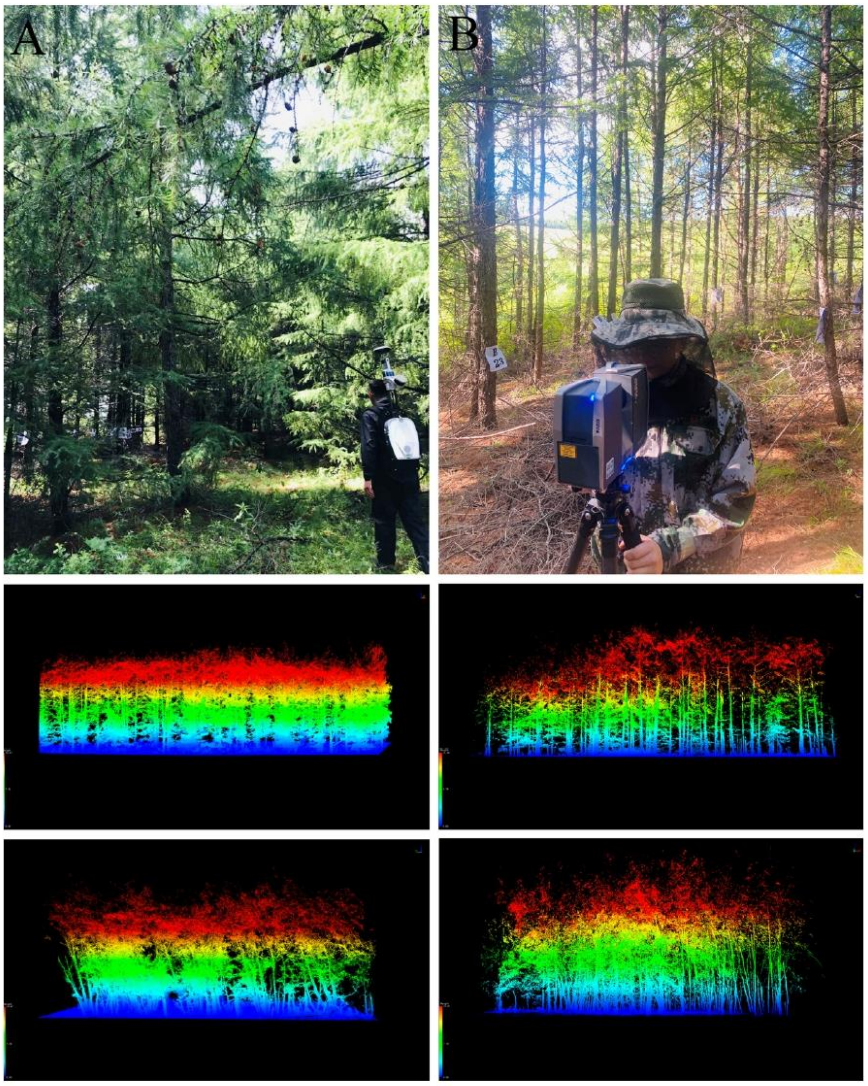


Figure 3. (**A**) Backpack LiDAR data acquisition and point cloud data. (**B**) TLS data acquisition and point cloud data.

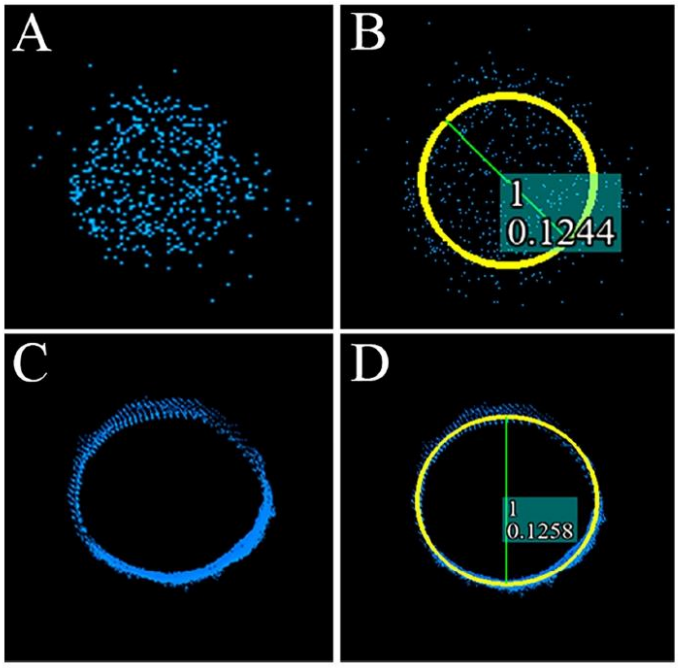


Figure 4. LiDAR point cloud data fitted to DBH. (**A**,**B**) Results of the backpack LiDAR point cloud data fitted to DBH. (**C**,**D**) Results of the TLS point cloud data fitted to DBH.

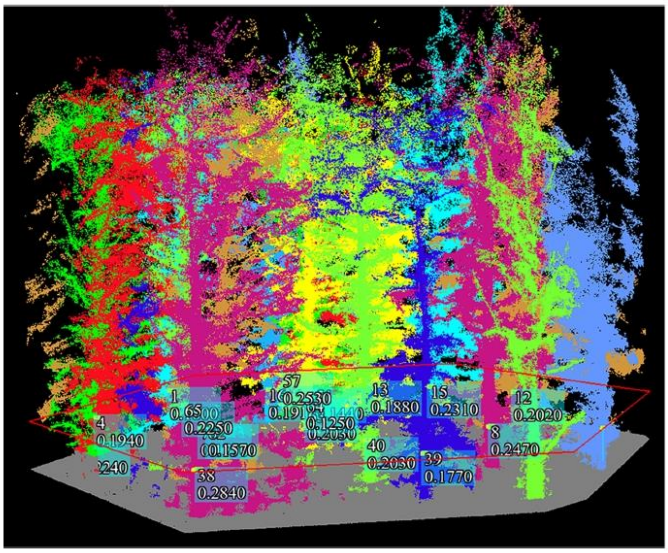


Figure 5. Individual tree segmentation.

2.3.2. AdQSM Reconstruction Method for Individual Trees

The AdQSM method is a method for reconstructing individual tree structure models based on point cloud data, which was proposed by Fan et al. after improving and extending the AdTree algorithm [23]. This method is based on the Adtree algorithm and uses the minimum spanning tree algorithm (MST) to extract the initial skeleton of the tree from the input point cloud and to crop it. A series of cylinders are then fitted to approximate the trunk and branch geometry. Thus, a closed convex envelope polyhedron was obtained, enabling the accurate calculation of tree (branch and trunk) volumes from the reconstructed structure. The individual tree model reconstruction was completed in the C++ AdQSM program (Figure 6), and tree (trunk, branch) volumes (Equation (1)) were obtained and used to further estimate the individual tree AGB.

$$\text{Volume}_{\text{tree}} = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{|(\mathrm{a}\times\mathrm{b})\cdot\mathrm{c}|}{6}\right) \quad (1)$$

where $\text{Volume}_{\text{tree}}$ denotes the total volume including the trunk and branches, m denotes the number of all convex polyhedra that make up the tree model, and n denotes the number of all triangular pyramids that make up the convex polyhedra. a, b, and c denote the three vectors that pass through the vertices of the triangular pyramids.

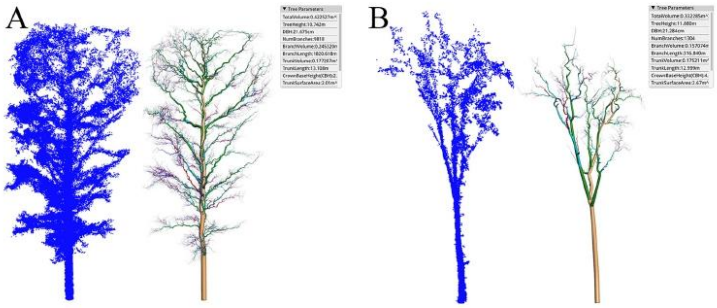


Figure 6. (**A**) 3D structural model of *Larix gmelinii* individual tree point cloud data and AdQSM reconstruction, and (**B**) 3D structural model of *Betula platyphylla* individual tree point cloud data and AdQSM reconstruction.

2.3.3. AdQSM Parameter Optimization

There are two important parameters in the AdQSM modeling process: Height_Segmentation (HS) and Cloud_Parameter (CP). HS represents the height of each segment of the trunk point cloud being segmented in meters, and CP represents the thinning rate of the point cloud processing. Fan et al. [23] defined the default values for the parameters HS and CP as 0.5 m and 0.003, respectively. Since the AdQSM modeling process is not sensitive to the input point cloud density, CP was set as the default value. The different trunk point cloud segmentation heights affect the radius of the initial cylinder of the trunk and, thus, the accuracy of the tree 3D reconstruction [23]. Therefore, 20 trees from each tree species were selected separately to test different parameter values of HS to determine the optimal parameter values applicable to each tree species.

Our aim was to select the optimal parameters applicable to the different tree species from the different test values of HS (0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, and 1.0). First, the individual tree was modeled using the different test values, and the tree volume was extracted. Second, the volume was multiplied by the basic wood density ρ of the respective species to obtain the individual tree AGB and compared with the AGB calculated by the allometric biomass models. Finally, the parameter value corresponding to the minimum value of root mean square error (RMSE) was defined as the optimal parameter applicable to the species.

2.3.4. Estimation of AGB

We estimated the individual tree AGB by multiplying the individual tree volume by the basic wood density ρ (Equation (2)). The biomass of the trunk and branch parts of the tree accounts for approximately 80%–90% of the total biomass, while the leaf biomass accounts for only 10% of the total biomass [18]. We, therefore, estimated the AGB, including the trunk and branch fractions, without considering the leaf biomass.

$$\mathrm{AGB} = \rho V_b \tag{2}$$

where ρ is the basic wood density of the specific tree species (g/cm^3) and V_b is the individual tree volume estimated by backpack–AdQSM (m^3).

We used the AGB of individual trees calculated using the allometric biomass models for the corresponding tree species in a given region as a reference value and compared it with the AGB of individual trees estimated based on LiDAR data and the AdQSM 3D reconstructed tree model. The corresponding basic wood density [31] and allometric biomass models [32] for *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* are shown in Table 3. The DBH data were obtained from manual measurement data.

Table 3. Allometric biomass models and basic wood density values for each tree species.

Species	Allometric Biomass Models	Wood Density (ρ) (g/cm^3)
Larix gmelinii	AGB = 0.0277 × DBH$^{2.793}$	0.498
Betula platyphylla	AGB = 0.1905 × DBH$^{2.243}$	0.427

To verify the accuracy of extracting DBH and tree height from backpack LiDAR point cloud data and the feasibility of estimating AGB based on the AdQSM method, measured data and parameters estimated from TLS point clouds were used as reference values. The coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) were used to evaluate the extraction accuracy. The equations are as follows:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x_i})^2} \tag{3}$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x}_i)^2} \tag{4}$$

where x_i is the measured value of the individual tree parameter, $\hat{x}_i$ is the estimated value of the individual tree parameter, $\overline{x_i}$ is the sample mean, and n is the number of samples. The larger the value of R^2 is, the better the fit. The smaller the value of RMSE is, the higher the accuracy of the individual tree parameter estimation.

3. Results

3.1. Accuracy Assessment of LiDAR-Extracted DBH and Tree Height

The accuracy of the backpack LiDAR-extracted individual tree structure parameters (DBH, tree height) was evaluated using field measurements as a reference value, with extracted DBH values ranging from 5.2 to 29.9 cm and tree height ranging from 4.3 to 14.9 m. Figure 7A shows that the backpack LiDAR-extracted DBH had a high correlation with the measured values. This indicates that the individual tree DBH extracted by the backpack LiDAR could be obtained with good correlation and high accuracy when considering the measured data. The R^2 value was greater than 0.97 in all four sample plots, and the RMSE was between 0.43 and 0.84 cm, indicating that the individual tree DBHs extracted by the backpack LiDAR have a certain reliability. From Figure 7B, we can see that the DBH extracted by TLS had a good linear relationship with the field measurements. The R^2 value was greater than 0.97 for all four sample plots, and the RMSE was between 0.42 and

0.53 cm, which means that the extraction accuracy of this study is comparable to existing studies [33–35].

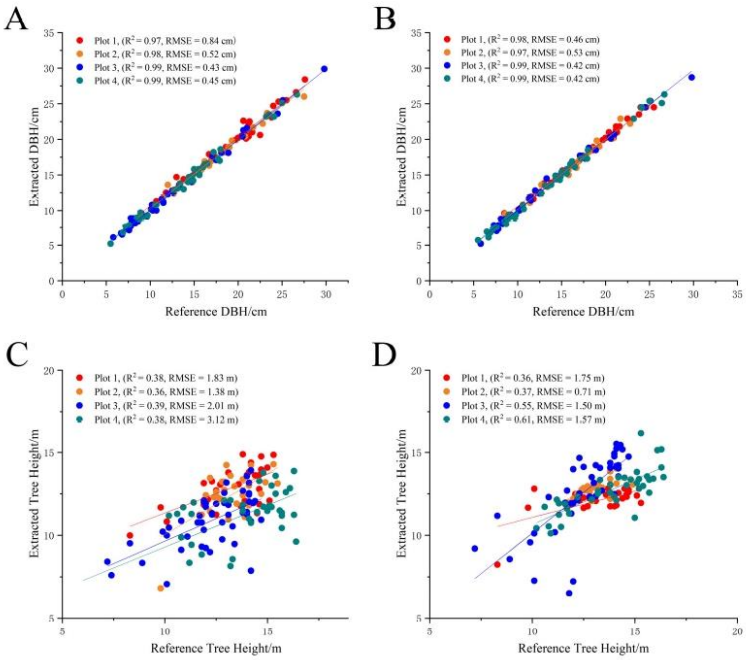


Figure 7. Comparison of DBH (**A**) and tree height (**C**) extracted by backpack LiDAR with measured data, and comparison of DBH (**B**) and tree height (**D**) extracted from TLS data with measured data (four colors indicate each of the four sample plots).

Figure 7C shows that the correlation between tree height extracted by the backpack LiDAR and field measurements was low. The R^2 values of the four sample plots were all less than 0.4, and the RMSE ranged from 1.38 m to 3.12 m. Figure 7D shows that the correlation between tree height extracted from TLS data and field measurements was also low. R^2 values were less than 0.6 in all four plots, and the RMSE ranged from 0.71 m to 1.75 m. This indicates that in a natural forest environment with high stand density and mutual shading of branches and leaves, LiDAR had difficulty accurately detecting the top of the tree canopy, resulting in large differences between the tree height values extracted from the point cloud data and the measured data.

3.2. AdQSM Parameter Optimization Results

We used different parameter values of HS in AdQSM to estimate individual tree AGB and defined the parameter corresponding to the minimum value of RMSE as the optimal parameter applicable to *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* species. Table 4 shows the results of individual tree AGB estimation for *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* with different parameter values of HS in AdQSM. The highest individual tree AGB accuracy was obtained for the *Larix gmelinii* reconstruction model with HS set to 0.4 m, with an RMSE value of 29.51 kg. The highest individual tree AGB accuracy was obtained for the *Betula platyphylla* reconstruction model with HS set to 0.6 m, with an RMSE value of 28.86 kg. Therefore, the optimal parameter values for the *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* reconstruction models were HS = 0.4 m and HS = 0.6 m, respectively.

Table 4. Estimating AGB results of different tree species with different HS parameters in AdQSM.

Species	RMSE (HS = 0.4)/kg	RMSE (HS = 0.5)/kg	RMSE (HS = 0.6)/kg	RMSE (HS = 0.7)/kg	RMSE (HS = 0.8)/kg	RMSE (HS = 0.9)/kg	RMSE (HS = 1.0)/kg
Larix gmelinii	29.51	55.95	143.17	114.42	185.73	104.3	119.84
Betula platyphylla	54.21	65.64	28.86	45.83	77.24	126.81	125.73

3.3. Estimation of Aboveground Biomass

We randomly selected 20 *Larix gmelinii* and 20 *Betula platyphylla* trees from four sample plots to assess the accuracy of AGB estimation based on backpack LiDAR point cloud data and the AdQSM method (backpack–AdQSM). The reference AGB values for an individual tree of *Larix gmelinii* ranged from 10.9 kg to 293.1 kg, and the reference AGB values for an individual tree of *Betula platyphylla* ranged from 8.7 kg to 301.7 kg. The AGB of an individual tree of *Larix gmelinii* estimated by backpack–AdQSM ranged from 8.8 kg to 327.5 kg, and the AGB of an individual tree of *Betula platyphylla* estimated by backpack–AdQSM ranged from 3.9 kg to 432 kg. Figure 8 shows the regression of the individual tree AGB estimated by backpack–AdQSM on the AGB calculated by the allometric biomass models. Figure 8A shows that the *Larix gmelinii* individual tree AGB estimated by backpack–AdQSM correlates well with the reference value, with an R^2 value of 0.84 and an RMSE of 29.51 kg. The distribution of residuals for the estimated *Larix gmelinii* individual tree AGB is shown in Figure 8B. It can be seen that most residuals for individual *Larix gmelinii* trees AGB are more consistently and evenly distributed on either side of the line y = 0 and are not over- or underestimated. The R^2 value between the estimated and reference values of *Betula platyphylla* individual tree AGB expressed by the linear regression model in Figure 8C was 0.86, and the RMSE was 28.86 kg. From Figure 8D, it can be seen that the residual values of *Betula platyphylla* individual tree AGB were mostly in a range of −30 to 30 kg. The *Betula platyphylla* individual tree AGB estimated by backpack–AdQSM was generally large compared to the reference value, and as the AGB reference value increased, the *Betula platyphylla* AGB was again underestimated.

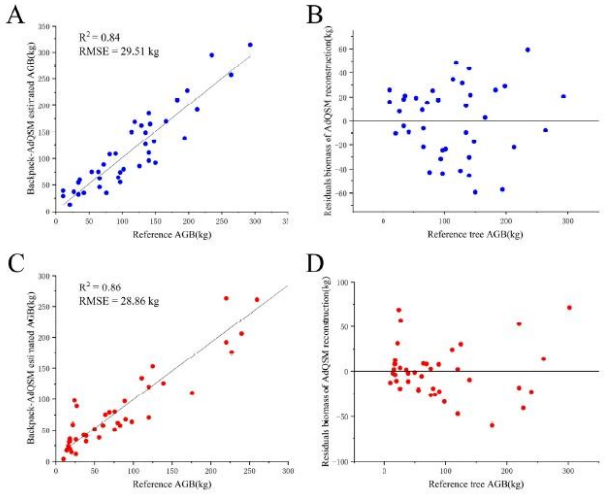


Figure 8. Comparison of AGB results based on the backpack–AdQSM estimates with those calculated by the allometric biomass models. (**A**,**B**) Comparison of estimated individual tree AGB of *Larix gmelinii* with reference values and residual distributions. (**C**,**D**) Comparison of estimated individual tree AGB of *Betula platyphylla* with reference values and residual distributions, respectively.

4. Discussion

In this study, we used backpack LiDAR point cloud data to extract individual tree structural parameters and reconstructed a 3D model of the trees based on the parameter-optimized AdQSM method to estimate the individual tree AGB based on the reconstructed individual tree volume combined with the basic wood density values of specific tree species to explore the accuracy and potential of backpack LiDAR for the nondestructive estimation of individual tree AGB in temperate natural forest inventories.

Compared to traditional manual DBH measurements and TLS DBH measurements, backpack LiDAR allows for accurate scanning and real-time data integration during movement, providing a more flexible and efficient way to collect data for forest inventories [13,14] and is suitable for surveying large and complex forest areas [12]. To start with, manual measurement requires standing on the high-angle side of the tree base and measuring the DBH at 1.3 m using a DBH ruler, which is recorded in the sample plot record sheet, which can be subject to human error and can be made more difficult by practical conditions such as leaning trunk growth or interlocking branches. Secondly, TLS data collection requires multiple stations to be set up within the measurement site, which can make the operation more difficult, time-consuming, and costly in the case of dense natural forests or sloping stands. Backpack LiDAR as a portable device can compensate for these shortcomings; data collection only requires one surveyor to carry the equipment across the measurement site, greatly reducing the time and cost and improving efficiency. As shown in Table 5, when collecting point cloud data from a 10 m × 40 m sample, the data collection process is as follows: a manual survey takes, on average, about 36 min, TLS takes about 42 min, while backpack LiDAR only takes about 6 min to complete the operation. The traditional manual survey method requires the contents of the record sheet to be entered into excel, which takes approximately 5 min. The point cloud data collected by TLS requires the registration of each site's point cloud into a single map, which takes about 50 min longer. Backpack LiDAR point cloud data pre-processing took approximately 25 min. Comparing the average area measured per person in one minute, the manual survey method has a time efficiency of 3.3 m^2/min and the backpack LiDAR has a time efficiency 13.5 m^2/min. The time efficiency of the backpack LiDAR method is approximately 4.2 times higher than the manual survey method, demonstrating the time efficiency of the backpack LiDAR method. The *Larix gmelinii* sample site was densely branched, and to avoid scratching the LiDAR module, the branches had to be cut down in advance along the designed route to ensure safe operation of the backpack LiDAR. Therefore, the acquisition times of backpack LiDAR data collection vary depending on the forest stand and need to be further validated in more operational environments. Internal data processing time varies depending on the size of the tree dataset and computer configuration.

Table 5. Comparison of the efficiency of manual measurement methods with BLS survey methods.

Survey Method	Personnel	Plot	Area (m^2)	Time Consumption			
				Data Collection	Data Processing	Total	m^2/min
Manual measurement	3	1	400	30:16	5:16	35:32	3.78
		2		31:27	4:30	35:57	3.75
		3		42:14	6:09	48:23	2.76
		4		39:07	5:36	44:43	3.00
BLS	1	1		5:42	21:04	26:46	15.12
		2		5:23	23:36	28:59	13.99
		3		6:24	26:16	32:40	12.35
		4		6:04	25:42	31:46	12.71

The forest resource survey work also has to take into account practical and cost-effectiveness issues while meeting time efficiency. The cost of inputs in this study consists of two types, the first being labor costs (including travel, labor, etc.). Traditional manual survey work requires a minimum of three people to perform the work; at a total of RMB 2000 per person per day, the total labor cost is approximately RMB 6000/day, while the

backpack LiDAR requires only one person to operate; the labor cost is approximately RMB 2000/day. The second is the cost of equipment. The cost of equipment required for manual surveying is approximately RMB 2000 (laser altimeter, DBH ruler, etc.), while the cost of backpack LiDAR equipment is approximately RMB 100,000. Both types of equipment have no wear and tear costs at a later stage. We assume that, based on the time taken to measure 1 ha of data by manual survey methods and backpack LiDAR, the average person working 8 h a day would spend approximately 6.3 days on manual surveys and 1.5 days on the backpack LiDAR method. The labor cost for the manual survey method is approximately 12,600 RMB and the labor cost for the backpack LiDAR method is approximately 3000 RMB. The total cost includes labor costs and fixed equipment costs. As can be seen from Figure 9, the backpack LiDAR method has a larger initial investment compared to the traditional manual survey method, mainly due to the high price of the equipment. With the development of LiDAR technology, the price of the equipment will become more and more affordable, and its application in various industries will reach greater popularity. Therefore, the future cost of backpack LiDAR equipment has the trend of reducing year by year. Although the traditional manual survey method has a low initial input cost, as the area of forest resource surveys increases, the labor cost increases. Therefore, this study concludes that backpack LiDAR is sufficiently advantageous, both in terms of time efficiency and cost-effectiveness.

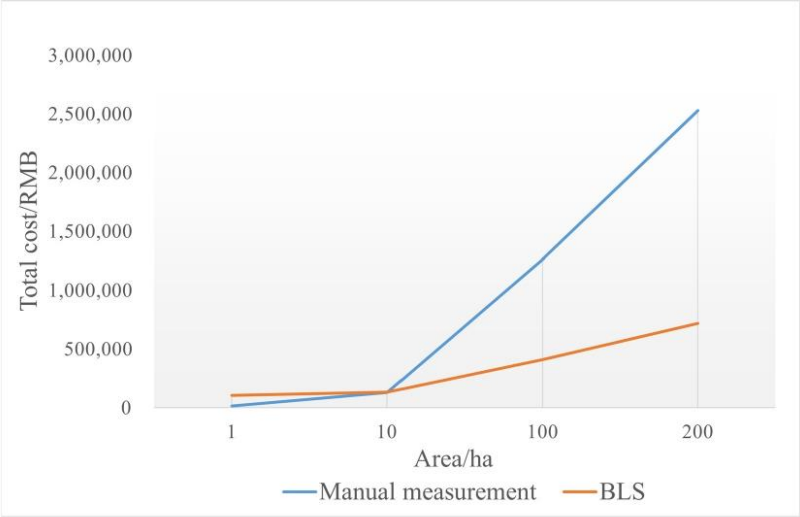


Figure 9. Cost–benefit analysis diagram of manual measurement methods versus BLS survey methods.

Our results demonstrate that the DBH extraction accuracy of the backpack LiDAR method (RMSE = 0.43 cm–0.84 cm) is comparable to that of TLS (RMSE = 0.42 cm–0.53 cm). Samples 1 and 2 (*Larix gmelinii*) both had an R^2 value greater than 0.97 and a mean RMSE of 0.68 cm, and the higher accuracy of DBH extraction (R^2 = 0.99, RMSE = 0.44 cm) for Samples 3 and 4 (*Betula platyphylla*) may be because *Betula platyphylla* has fewer branches at 1.3 m than the *Larix gmelinii* trunk and, therefore, has less impact on the accuracy of the DBH fit. We compared the results of this study with previous studies (Table 6) and found that the extraction accuracies of individual tree DBHs based on backpack LiDAR point cloud data were all between 1.0 and 3.9 cm, and the extraction accuracies of individual tree DBHs based on TLS point cloud data were between 1.2 and 6.2 cm. The extraction accuracies in this study were all higher than the results of previous studies. Compared to the DBH extraction accuracy, the backpack LiDAR-extracted tree height values were less

correlated with field measurements (mean R^2 = 0.38, RMSE = 2.08 m) and lower than the TLS-extracted tree height values (mean R^2 = 0.47, RMSE = 1.38 m). The reason for the less favorable backpack LiDAR tree height extraction results may be because in natural forests with dense canopies, the laser signal does not detect the true tree tops, thus reducing the accuracy of the backpack LiDAR-extracted tree heights, which also confirms the results of Bauwens et al. [36] and Cabo et al. [37]. From the statistics in Table 6, previous studies based on backpack LiDAR-extracted tree heights reported RMSEs between 1.4 and 2.8 m and R^2 values between 0.41 and 0.68. Other scholars have also observed low accuracy of LiDAR tree height extraction and have proposed various explanations, such as those by Hartley et al. [38], who suggested that this may be due to an overestimation of the height of dead trees in the sample plots, which leads to a reduction in the accuracy of tree height estimation for the whole sample plot. It has also been suggested that field-measured tree height values are not reliable [39]. Some studies have shown that the error in field measurements can be as high as 5% [40].

Table 6. Comparison of existing research results between backpack LiDAR and TLS.

Reference	LiDAR	Equipment	DBH		Tree Height	
			R^2	RMSE (cm)	R^2	RMSE (m)
This study	Backpack	Velodyne VLP-16	0.98	0.6	0.38	2.1
[14]	Backpack	Velodyne VLP 16	-	2.2	-	-
[13]	Backpack	Riegl VUX-1HA	-	1.6	-	1.4
[10]	Backpack	Velodyne VLP 16	0.92	1.5	-	-
[41]	Backpack	Riegl VUX-1HA	-	-	-	1.5
[16]	Backpack	Velodyne VLP-16	0.94	1.0	-	-
[42]	Backpack	Velodyne VLP-16	-	1.3	-	1.7
[43]	Backpack	Velodyne VLP-16	0.96	1.5	-	-
[39]	Backpack	Velodyne VLP-16	0.95	2.0	0.65	1.9
[38]	Backpack	Velodyne VLP-16	0.99	1.7	0.41	2.8
[12]	Backpack	Velodyne VLP 16	0.90	3.9	-	-
This study	Backpack	Faro Focus 3D x 120	0.98	0.5	0.47	1.4
[14]	TLS	Faro Focus 3D x 130	-	6.2	-	-
[18]	TLS	Faro Focus S x 150	0.97	1.2	0.9	1.3
[39]	TLS	Riegl VZ-400	0.96	2.0	0.63	2.0

It has been demonstrated that the AdQSM method can provide reliable and accurate AGB estimates for large tropical trees [24]. Our results demonstrate that the AdQSM method is also applicable to the estimation of AGB of *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* in temperate natural forests, where the staggered growth of *Larix gmelinii* branches affects the accuracy of individual tree segmentation, which in turn directly affects the accuracy of individual tree modeling [24]. This ultimately led to a lower accuracy of the estimation of the AGB of *Larix gmelinii* trees based on the backpack LiDAR point cloud data (R^2 = 0.84, RMSE = 29.51 kg). In contrast, *Betula platyphylla* biophysical morphology was relatively simple, and the point cloud data were less influenced by branching, resulting in a slightly higher individual tree AGB estimation accuracy than that of *Larix gmelinii* (R^2 = 0.86, RMSE = 28.86 kg). Previous studies have also estimated individual tree AGB for multiple tree species in temperate forests in northern China based on TLS point cloud data and the QSM algorithm [18], with an estimation accuracy higher than that of our study (CCC value of 0.97 and RMSE of 17.4 kg). This may be because our study area was in a natural forest with a more complex forest structure and more severe vegetation shading compared to forest stands previously studied. This resulted in a lower accuracy of individual tree AGB estimation. In a previous study, based on TLS point cloud data and the QSM algorithm, estimates of individual tree AGB were generally in ranges of R^2 = 0.91 to 0.98 and rRMSE = 16.1% to 28.37% [19–21,44]. Estimation of individual tree AGB based on backpack LiDAR point cloud data and the QSM algorithm was slightly less accurate than TLS compared to these previous studies. In contrast to existing methods in the literature

that used backpack LiDAR to estimate AGB [16], the method in this study is based on a realistic biomorphological structure model of the tree to estimate individual tree AGB. The potential of inputting backpack LiDAR point cloud data into the QSM algorithm for estimating individual tree AGB was demonstrated for the first time and extends the generality of the AdQSM method. This method allows not only the estimation of individual tree volume and AGB but also the monitoring of volume growth [45] as well as the quantitative analysis of structural information of fruit tree branches and trunks [26].

There are still many uncertainties in our study. First, the poor GPS signal during data acquisition by the backpack LiDAR can directly affect the quality of the track file, which can lead to point cloud solution failure or solutions of point cloud data with large errors in absolute coordinates. Moreover, acquiring point cloud data with high-precision absolute coordinates is crucial to the positioning of individual trees in the sample area. Therefore, how backpack LiDAR can efficiently collect absolute georeferenced point cloud data with high accuracy in dense forests with no GPS signal is a key focus for future research. Second, due to the low accuracy of backpack LiDAR in extracting tree height, future research should test the potential of backpack LiDAR in more diverse forest environments to explore the upper limit of forest height that it can detect and whether fusing backpack LiDAR and UAV–LiDAR data can improve the accuracy of tree height estimation. For this study, there were two main sources of error affecting the accuracy of forest AGB estimation: (i) We did not check destructively sampled individual tree AGB to verify the accuracy of the estimation but used AGB calculated by an allometric biomass model with diameter at breast height (D) as the independent variable as the reference data. The model may be subject to some error [46]; and (ii) due to the different biophysical and morphological structures of different tree species, the parameters set in the AdQSM individual tree modeling also differed, and there was also poor sensitivity and robustness in the individual tree reconstruction process. In addition, errors in the basic wood density could have an impact on the results of individual tree AGB estimation. Future research will, therefore, focus on further reducing these sources of error and the need for more tree species to optimize the AdQSM parameters to improve the accuracy of large-scale nondestructive estimation of tree timber volume and AGB based on backpack LiDAR point cloud data.

5. Conclusions

In this study, we used natural forest backpack LiDAR point cloud data from the Duraer National Forest at the southern foot of Greater Khingan to explore the accuracy of its extraction of individual tree structural parameters and the feasibility of estimating individual tree volume and AGB based on the optimized AdQSM method. The following conclusions were drawn:

(1) Compared with manual survey methods and TLS technology, backpack LiDAR can provide a more efficient way of acquiring data for forest inventory. This enables large-scale inventories of forest resources and further development of forest management plans;
(2) Backpack LiDAR can accurately measure the canopy understory structural parameters, where DBH measurement accuracy is the highest and comparable to TLS accuracy, while backpack LiDAR-extracted tree height values are less correlated with the actual measured data;
(3) Using individual tree point cloud data of *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* species, the HS parameters in the AdQSM reconstruction model were optimized, and after testing different parameter values, HS = 0.4 m and HS = 0.6 m were defined as the optimal parameter values applicable to *Larix gmelinii* and *Betula platyphylla* species;
(4) The AGB of individual trees estimated based on the backpack–AdQSM method correlated well with the AGB of individual trees calculated by the allometric biomass models. This indicates that the backpack–AdQSM method effectively accounts for the biophysical structure of individual trees and is suitable for the accurate estimation of individual tree AGB. This nondestructive estimation method can be further used to

test and calibrate new allochthonous growth models and provide a valuable reference for the accurate estimation of carbon stocks in temperate natural forest ecosystems.

Author Contributions: A.R.; methodology, software, writing—original draft preparation, W.D.; validation, W.D., H.Y. and B.W.; formal analysis, H.D.; writing—review and editing, Y.S.; data curation, resources. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Inner Mongolia "Rejuvenate Inner Mongolia Through Science and Technology" Action Key Special Project (Grant No. 2020ZD0028), Inner Mongolia Autonomous Region "14th Five-Year Plan" Key Research and Development and Achievement Transformation Program in Social Public Welfare (Grant No. 2022YFSH0027), "Forest and grassland fire monitoring and early warning and emergency management system", an autonomous region science and technology innovation guidance award fund project, The Central Leading Local Science and Technology Development Funds "Integrated Demonstration of Ecological Protection and Comprehensive Utilization of Resources Technology in Alshan", "Key Technology Research on Forest and Grassland Fire Risk Assessment" a project for the introduction of high-level talents in Inner Mongolia Autonomous Region in 2021, Project of Introducing High-level Talents to Inner Mongolia Normal University (Grant No. 2020YJRC050), "Fundamental Research Funds for the Inner Mongolia Normal University" (Grant No. 2022JBXC017), "Graduate Students' Re-search & Innovation Fund of Inner Mongolia Normal University" (Grant No. CXJJS22133).

Data Availability Statement: Not applicable.

Acknowledgments: We are grateful to the fieldwork support from the Inner Mongolia Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information Systems. And thanks to the support of the Arshan Forest and Grassland Disaster Prevention and Mitigation Field Scientific Observation and Research Station of Inner Mongolia Autonomous Region and the National Natural Science Foundation of China (No. 42201374).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Tian, X.; Su, Z.; Chen, E.; Li, Z.; van der Tol, C.; Guo, J.; He, Q. Estimation of forest above-ground biomass using multi-parameter remote sensing data over a cold and arid area. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2012**, *14*, 160–168. [CrossRef]
2. Tsui, O.W.; Coops, N.C.; Wulder, M.A.; Marshall, P.L. Integrating airborne LiDAR and space-borne radar via multivariate kriging to estimate above-ground biomass. *Remote Sens. Environ.* **2013**, *139*, 340–352. [CrossRef]
3. He, Q.-S.; Cao, C.-X.; Chen, E.-X.; Sun, G.-Q.; Ling, F.-L.; Pang, Y.; Zhang, H.; Ni, W.-J.; Xu, M.; Li, Z.-Y.; et al. Forest stand biomass estimation using ALOS PALSAR data based on LiDAR-derived prior knowledge in the Qilian Mountain, western China. *Int. J. Remote Sens.* **2011**, *33*, 710–729. [CrossRef]
4. Popescu, S.C. Estimating biomass of individual pine trees using airborne lidar. *Biomass Bioenergy* **2007**, *31*, 646–655. [CrossRef]
5. Feliciano, E.A.; Wdowinski, S.; Potts, M.D. Assessing Mangrove Above-Ground Biomass and Structure using Terrestrial Laser Scanning: A Case Study in the Everglades National Park. *Wetlands* **2014**, *34*, 955–968. [CrossRef]
6. Olschofsky, K.; Mues, V.; Köhl, M. Operational assessment of aboveground tree volume and biomass by terrestrial laser scanning. *Comput. Electron. Agric.* **2016**, *127*, 699–707. [CrossRef]
7. Zimbres, B.; Shimbo, J.; Bustamante, M.; Levick, S.; Miranda, S.; Roitman, I.; Silvério, D.; Gomes, L.; Fagg, C.; Alencar, A. Savanna vegetation structure in the Brazilian Cerrado allows for the accurate estimation of aboveground biomass using terrestrial laser scanning. *For. Ecol. Manag.* **2020**, *458*, 117798. [CrossRef]
8. Ghimire, S.; Xystrakis, F.; Koutsias, N. Using Terrestrial Laser Scanning to Measure Forest Inventory Parameters in a Mediterranean Coniferous Stand of Western Greece. *PFG–J. Photogramm. Remote Sens. Geoinf. Sci.* **2017**, *85*, 213–225. [CrossRef]
9. Beyene, S.M. Estimation of Forest Variable and Aboveground Biomass using Terrestrial Laser Scanning in the Tropical Rainforest. *J. Indian Soc. Remote Sens.* **2020**, *48*, 853–863. [CrossRef]
10. Xie, Y.; Zhang, J.; Chen, X.; Pang, S.; Zeng, H.; Shen, Z. Accuracy assessment and error analysis for diameter at breast height measurement of trees obtained using a novel backpack LiDAR system. *For. Ecosyst.* **2020**, *7*, 33. [CrossRef]
11. Liu, L.; Zhang, A.; Xiao, S.; Hu, S.; He, N.; Pang, H.; Zhang, X.; Yang, S. Single Tree Segmentation and Diameter at Breast Height Estimation With Mobile LiDAR. *IEEE Access* **2021**, *9*, 24314–24325. [CrossRef]
12. Xie, Y.; Yang, T.; Wang, X.; Chen, X.; Pang, S.; Hu, J.; Wang, A.; Chen, L.; Shen, Z. Applying a Portable Backpack Lidar to Measure and Locate Trees in a Nature Forest Plot: Accuracy and Error Analyses. *Remote Sens.* **2022**, *14*, 1806. [CrossRef]
13. Hyyppä, E.; Yu, X.; Kaartinen, H.; Hakala, T.; Kukko, A.; Vastaranta, M.; Hyyppä, J. Comparison of Backpack, Handheld, Under-Canopy UAV, and Above-Canopy UAV Laser Scanning for Field Reference Data Collection in Boreal Forests. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 3327. [CrossRef]