

การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นยางพาราและพยากรณ์ผลผลิตน้ำยาง กรณีศึกษาในพื้นที่ อ.เถิน จ.ลำปาง

Satellite remote sensing for growth monitoring and yield predicting of para-rubber: a case study in the area of Thoen district, Lampang province

ณิชารีย์ ซาลีจังกาญ<sup>1</sup>, วุฒิดา รัตนพิไชย<sup>1\*</sup>, กรรณิการ์ สัจจาพันธ์<sup>1</sup>, Yann Nouvellon<sup>2</sup> และ พูนพิภพ เกษมทรัพย์<sup>3,4</sup>

Nichalee Chaleejunghan<sup>1</sup>, Wutthida Rattanapichai<sup>1\*</sup>, Kannika Sajjaphan<sup>1</sup>, Yann Nouvellon<sup>2</sup> and Poonpipope Kasemsap<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup> Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

<sup>2</sup> ศูนย์ความร่วมมือระหว่างประเทศด้านการวิจัยเกษตรกรรมเพื่อการพัฒนา ประเทศฝรั่งเศส (CIRAD) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>2</sup> Center de Cooperation International en Recherche Agronomique pour le Development (CIRAD)

<sup>3</sup> ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>3</sup> Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

<sup>4</sup> ศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

<sup>4</sup> Center of Thai-French Cooperation on Higher Education and Research, DORAS Center, Kasetsart University, Bangkok, 10900

**บทคัดย่อ:** การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นยางพารา และการพยากรณ์ผลผลิตน้ำยางพาราโดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมในแปลงปลูกยางพารา 2 พื้นที่ในอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นเขตปลูกยางใหม่ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลชุดดิน ข้อมูลภูมิอากาศ และข้อมูลดาวเทียมจากดาวเทียม Landsat 8 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2562 จากข้อมูลดิน และข้อมูลภูมิอากาศแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกยางพารา ส่งผลให้ขนาดเส้นรอบวงลำต้นและการให้ผลผลิตต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับข้อมูลภาพดาวเทียมในพื้นที่ศึกษาพบว่า ค่าการสะท้อนช่วงคลื่น RED (630-680 nm) ให้มีความสัมพันธ์สูงกับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารา และดัชนีพืชพรรณ Difference Vegetation-Index (DVI) Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI) Ratio Vegetation Index (RVI) Enhanced Vegetation Index (EVI) และ Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI) ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูงกับการให้ผลผลิตรายเดือนของยางพารา นอกจากนี้ การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุแบบเป็นขั้นตอนระหว่างผลผลิตยางพารากับดัชนีพืชพรรณทั้ง 2 พื้นที่ พบว่า สามารถใช้ค่าดัชนี NDVI และ ค่าการสะท้อนช่วงคลื่น Near Infrared หรือ NIR (845-885 nm) ในการพยากรณ์ผลผลิตยางพาราได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.77 และ 0.63 และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ (Root Mean Square Error, RMSE) เท่ากับ 2.89 – 4.77 กก./ไร่

**คำสำคัญ:** ยางพารา; การสำรวจข้อมูลระยะไกล; ดัชนีพืชพรรณ; การพยากรณ์ผลผลิต; การติดตามการเจริญเติบโต

**ABSTRACT:** This study aims to monitor rubber tree growth and yield prediction using satellite imagery data of 2 areas in Thoen District, Lampang Province, which are new rubber plantation areas. The soil series data, climatic data, and Landsat 8 satellite imagery data were collected during 2014 to 2019. Soil series and climatic data demonstrated that both rubber plantations are not suitable for rubber production as the results in girth and yield of rubber were lower than those of the standard level. The satellite imagery data in the study area showed Red waveband (630-

\* Corresponding author: agrwtd@ku.ac.th

680 nm), provided a high correlation with the girth of rubber trees and the vegetation indices are Difference Vegetation-Index (DVI), Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI), Ratio Vegetation Index (RVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), and Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI) provided medium to high correlation coefficient (R) with monthly rubber yield. In addition, Stepwise Multiple Linear Regression Analysis between rubber yield and vegetation indices of both study areas indicated that Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and NIR waveband (845-885 nm) can be used for rubber yield prediction with the coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.77 and 0.63 and the Root Mean Square Error (RMSE) between observed yield and predicted yield of 2.89 – 4.77 kg/rai.

**Keywords:** para rubber; remote sensing; vegetative index; yield prediction; growth monitoring

## บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell.) เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยที่มีการส่งออกเป็นปริมาณมาก (Li and Fox, 2012) พื้นที่ปลูกยางพารามีการขยายตัวอย่างรวดเร็วทั่วทั้งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศไทย (Fox et al., 1995; Fox and Castella, 2013) อันเนื่องมาจากความต้องการผลผลิตยางพาราที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งก่อนหน้านี้ราคาน้ำยางมีการปรับตัวการอ้างอิงสูงอย่างต่อเนื่องจนถึงปี 2554 (Warren-Thomas et al., 2015) นั่นจึงเป็นสิ่งที่สนับสนุนให้เกษตรกรปลูกยางพารา แม้ในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม และมีเกษตรกรบางราย ได้เปลี่ยนพื้นที่จากการปลูกข้าวไปเป็นสวนยางพารา (Research and Markets, 2016; Praktikantin, 2017) แม้ยางพาราจะเป็นพืชที่ปลูกง่าย ไม่ต้องดูแลรักษามากนัก โรคและศัตรูพืชน้อย และให้ผลผลิตที่ยาวนาน (การยางแห่งประเทศไทย, 2561) แต่อย่างไรก็ตามการปลูกยางพาราให้มีประสิทธิภาพยังต้องคำนึงถึงสภาพพื้นที่ และสภาพภูมิอากาศด้วย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทยที่เป็นพื้นที่ปลูกยางใหม่ ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปริมาณน้ำฝน การกระจายน้ำฝน สภาพพื้นที่ที่มีความลาดชัน มีการกร่อนดินสูง แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางเดิมในภาคใต้และภาคตะวันออกของไทยที่สามารถเปิดกรีดได้เมื่อมีอายุ 6-7 ปี ในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเปิดกรีดได้ช้ากว่าอย่างน้อย 6 เดือน และให้ผลผลิตต่ำกว่าภาคใต้ถึงร้อยละ 10-15 (การยางแห่งประเทศไทย, 2561) ดังนั้นสภาพแวดล้อมและการจัดการสวนยางพาราที่เหมาะสมส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตยางได้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตยางพารา ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล โรค แมลง ปริมาณการผลิต และจำนวนพื้นที่เพาะปลูก (สุนทรทิพย์ และคณะ, 2557; การยางแห่งประเทศไทย, 2561) ซึ่งข้อมูลรายละเอียดเหล่านี้จะเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกรและหน่วยงานภาครัฐบาลที่จะใช้ในการประมาณการผลผลิตน้ำยางได้ถูกต้องมากขึ้น เพื่อใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการภายในสวนยางพาราที่เหมาะสม คุ่มค่า และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตยางมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีการลงเก็บข้อมูลในภาคสนามด้วยวิธีการสุ่มเก็บข้อมูล หากต้องการประเมินผลผลิตมวลรวมในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่มักจะประสบปัญหาของการขาดกำลังคนและงบประมาณ นอกจากนี้หากมีความจำเป็นในการสำรวจเพื่อทำการติดตามข้อมูลดังกล่าวในทุกปี ก็จะมีประสบปัญหาเพิ่มขึ้น (Jensen et al, 1999; Suratman et al., 2004) ด้วยเหตุนี้เทคนิคการสำรวจระยะไกล (remote sensing-based methods) จึงมีบทบาทสำคัญในการสำรวจข้อมูล ซึ่งในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาเทคนิคการสำรวจระยะไกล ได้พัฒนาเป็นอย่างมากและได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีมาตรฐานหนึ่งที่สามารถใช้ศึกษาสถานภาพและความสมบูรณ์ของพืชได้อย่างถูกต้อง และเชื่อถือได้อย่างรวดเร็วและทันการณ์ เช่น การติดตามโรคในยางพาราที่เกิดจากเชื้อรา *Corynespora* และ *Gloeosporium* (Ranganath et al., 2004) โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงและดัชนีพืชพรรณที่ได้จากดาวเทียม IRS-1C ซึ่งพบว่าแปลงยางพาราที่เป็นโรคมักค่าการสะท้อนแสงสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าการสะท้อนแสง Near Infrared ต่ำลง และมีค่า NDVI ต่ำกว่าแปลงยางพาราที่ไม่เป็นโรคและแปลงที่มีการใช้ยาป้องกันเชื้อรา และข้อมูลภาพดาวเทียมยังนำมาช่วยในการประมาณการพื้นที่ปลูกยางพารา (รัศมี และคณะ, 2555; จินดา และคณะ, 2560; ธนัชชา, 2562) นอกจากนี้สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตพืชหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง (วัลย์พร และคณะ, 2555) มันฝรั่ง (Al-Gaadi et al., 2016) และ ข้าว (เนติ และ ศิวา, 2561; ภราดร และคณะ, 2557) เป็นต้น สำหรับไม้ยืนต้น มีการใช้ภาพดาวเทียมในการพยากรณ์ผลผลิตของฝ้าย (He and Mostovoy, 2019) มะม่วง (Rahman et al, 2018) และปาล์มน้ำมัน (Balasundram et al., 2013) มากไปกว่านั้น ยังมีการใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมในการติดตามสถานะของพืช เช่น Veena et al. (2012) ได้มีการนำดัชนีพืชพรรณมาช่วยในการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของสวนปาล์ม โดยใช้ภาพจากดาวเทียม landsat 5 เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ของเรือนยอดสีเขียวของสวนปาล์ม พบว่า NDVI มากกว่า 0.65 แสดงถึงปาล์มมีสุขภาพดี สามารถนำไป

พิจารณาการใส่ปุ๋ยซึ่งส่งผลต่อปริมาณผลผลิต และ Balasundram et al. (2013) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของผลผลิตปาล์มและดัชนีพืชพรรณโดยการรวบรวมข้อมูลจากดาวเทียม QuickBird ทั้งหมด 12 ปี มาสร้างสมการถดถอย พบว่า RVI มีความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดกับปริมาณผลผลิตปาล์ม อย่างไรก็ตาม การศึกษาการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินผลผลิตและการเจริญเติบโตของยางพารายังมีน้อยมาก งานศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการเชื่อมโยงข้อมูลระยะไกลเข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อเป็นแนวทางในการติดตามการเติบโตของต้นยางพาราวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพาราพื้นที่ปลูกยางใหม่ และสร้างพารามิเตอร์ที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ในการพยากรณ์ผลผลิตน้ำยาง สำหรับเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการวางแผนและตัดสินใจในการบริหารจัดการพื้นที่ปลูกยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกยางพารา

## วิธีการศึกษา

### พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาเป็นแปลงปลูกยางพาราของของบริษัทศรีตรังแอโกรอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) ตั้งอยู่ที่อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง จำนวน 2 พื้นที่ ซึ่งทั้ง 2 พื้นที่ปลูกยางพาราสายพันธุ์ RRIT251 RRIM2025 และ RRIM3001 ตั้งแต่ปี 2553 และเริ่มเปิดกรีด ตั้งแต่ปี 2560 เมื่อยางพารามีอายุ 7 ปี โดยรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี พ.ศ. 2562 ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือน ได้แก่ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ปลูกยางพารา (ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มบริการสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา สำนักบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา) ข้อมูลชุดดิน (ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมพัฒนาที่ดิน โดยอ้างอิงแผนที่ชุดดิน 1:100,000 กรมพัฒนาที่ดิน) ข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นของยางพาราโดยทำการเก็บข้อมูลต้นยางพาราทุกต้นในพื้นที่ ซึ่งพื้นที่ที่ 1 (THOEN 1) มีจำนวนต้นยางพาราที่ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 54,545 ต้นในพื้นที่ 482.95 ไร่ และพื้นที่ที่ 2 (THOEN 2) มีจำนวนต้นยางพาราที่ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 54,397 ต้นในพื้นที่ 445.38 ไร่ โดยการวัดขนาดเส้นรอบวงลำต้น ที่ระดับความสูง 150 ซม.จากพื้นดิน ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมของทุกปี จากนั้นคำนวณอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate, RGR) ดังสมการที่ 1 และเก็บข้อมูลผลผลิตยางพาราทุกต้นในพื้นที่ศึกษา ในช่วงเวลาที่เปิดกรีด (เปิดกรีดระหว่างเดือน กรกฎาคม - กุมภาพันธ์ของปีถัดไป) และคำนวณเป็นผลผลิตเนื้อยางแห้งรายเดือน (กก./ไร่) โดยทำการเก็บข้อมูลผลผลิตตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2560 - ธันวาคม 2562

$$RGR = \frac{G_{t+1} - G_t}{G_t} \quad (1)$$

โดยที่ RGR = อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative growth rate),  $G_t$  = เส้นรอบวงของต้นยางพารา ณ เวลา t และ

$G_{t+1}$  = เส้นรอบวงของต้นยางพารา ณ เวลา t+1

### ประมวลผลข้อมูลการรับรู้ระยะไกล และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI รายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึงปี 2562 ที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric Correction) ซึ่งทำการดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในวันที่ 15 ของทุกเดือน (เลือกวิเคราะห์เฉพาะภาพที่ไม่มีเมฆปกคลุมพื้นที่ศึกษา) โดยทำการจำแนกพื้นที่ปลูกยางพาราโดยใช้ Semi-Automatic Classification ซึ่งเป็นเทคนิคการจำแนกภาพแบบกำกับดูแล (Supervised Classification) โดยการสร้างพื้นที่ตัวแทน (Training Area) เพื่อจำแนกพื้นที่ปลูกยาง จากนั้นปรับแก้ความถูกต้องของพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยสายตา และทำการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของยางพารา ดังแสดงใน Table 1

### การวิเคราะห์ข้อมูลและการวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ปัจจัยสภาพภูมิอากาศ และข้อมูลดินที่ส่งผลต่อการเติบโตของต้นยางพาราในแต่ละพื้นที่ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณของเดือนที่ทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต กับ การเจริญเติบโตของต้นยางพารา (เส้นรอบวงลำต้น) อีกทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณรายเดือนกับผลผลิตยางพารารายเดือน โดยวิธีวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation) เพื่อประเมินดัชนีพืชพรรณที่เหมาะสมที่ใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพาราแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้

สร้างสมการพยากรณ์ผลผลิตของยางพาราโดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุแบบเป็นขั้นตอน (Stepwise Multiple Linear Regression Analysis) จากนั้นสอบเทียบสมการโดยใช้ชุดข้อมูลเดียวกับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการ (Self-Consistency test) และสอบเทียบสมการโดยใช้ชุดข้อมูลอิสระ (independent validation) กล่าวคือ ใช้ชุดข้อมูลของแปลงศึกษาอีกแปลงเป็นชุดข้อมูลทดสอบ (independent dataset) และคำนวณหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง (Root Mean Square Error, RMSE) เพื่อทราบถึงความคลาดเคลื่อนของสมการพยากรณ์ผลผลิตยางพารา ซึ่งวิธีการศึกษาวิจัยแสดงดัง **Figure 1**

**Table 1** The Vegetation Indices (VIs) equation were used in the study.

Vegetation Indices	Formula	Reference
1. Ratio Vegetation Index (RVI)	$RVI = \frac{NIR}{RED}$	Jordan, 1969
2. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Kriegler et al., 1969
3. Difference Vegetation Index (DVI)	$DVI = NIR - RED$	Tucker, 1979
4. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = \frac{(1 + L) \times (NIR - RED)}{NIR + RED + L}$	Huete, 1988
5. Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)	$RDVI = \frac{NIR - RED}{\sqrt{NIR + RED}}$	Rougean and Breon, 1995
6. Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)	$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	Gitelson et al., 1996
7. Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = G^* \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L)}$	Huete, 2002
8. Modified Soil-adjusted Vegetation Index (MSAVI)	$MSAVI = 2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - RED)}$	Qi et al., 1994
9. Normalized Difference Moisture Index (NDMI)	$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$	Gao, 1996
10. Normalize Difference Water Index (NDWI)	$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)}$	Gao, 1996
11. Crop Water Stress Index (CSWI)	$CSWI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$	Ghulam et al., 2008

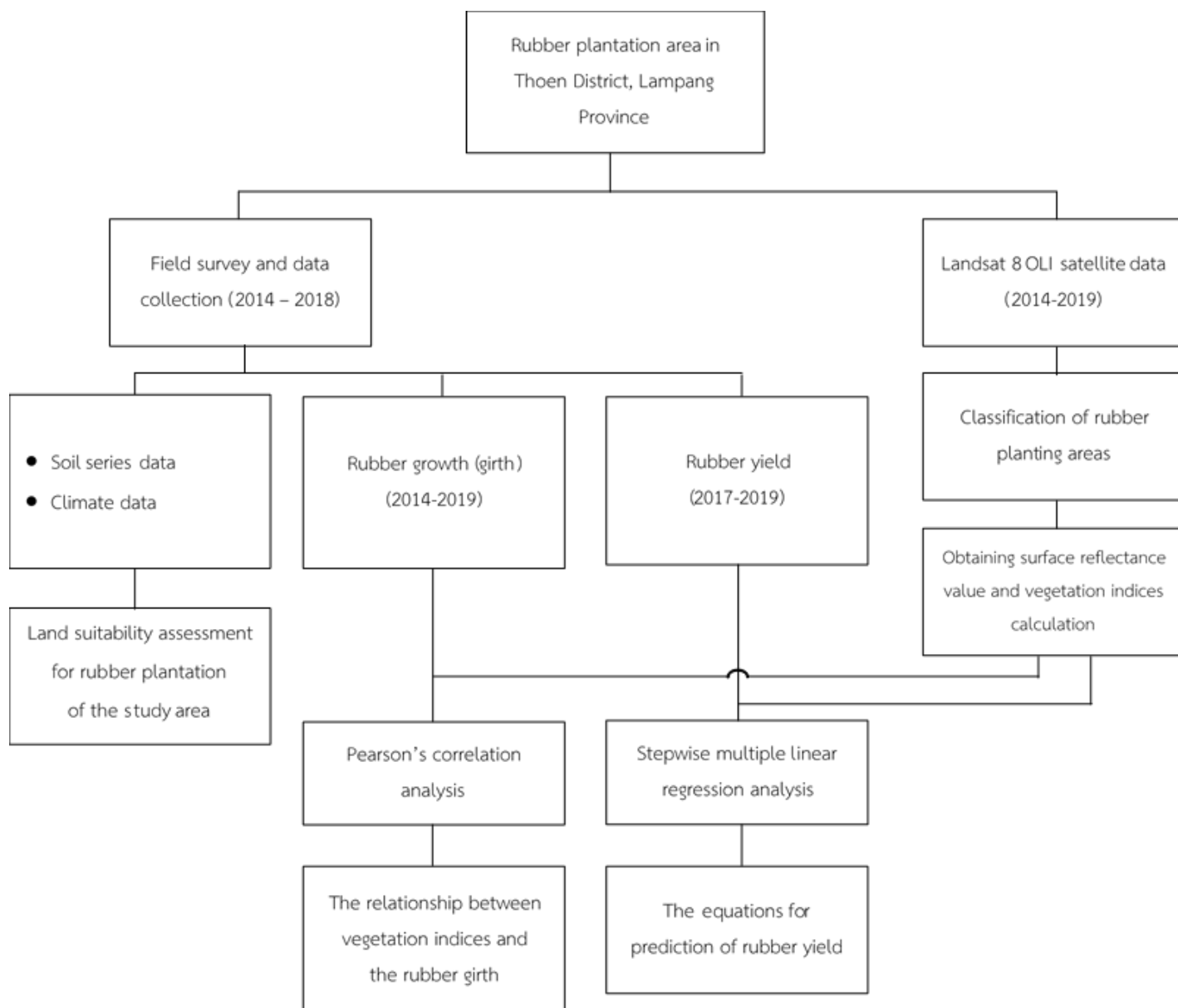


Figure 1 Research methods

**ผลการศึกษาและวิจารณ์**

**1. การวิเคราะห์พื้นที่สำหรับปลูกยางพารา**

อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง มีภูเขาทอดตัวตามแนวยาวจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ของจังหวัด บริเวณตอนใต้เป็นป่าร้างบางส่วนเป็นทุ่งหญ้า อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 268.80 เมตร จากการแปลภาพดาวเทียมในพื้นที่ศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษาที่ 1 (THOEN1) มีพื้นที่ปลูกยางพารารวม 482.95 ไร่ และพื้นที่ศึกษาที่ 2 (THOEN2) มีพื้นที่ปลูกยางพารารวม 445.38 ไร่ และจากการจำแนกชุดดินโดยใช้แผนที่ชุดดิน มาตรฐาน 1:100,000 (Figure 2) พบว่า พื้นที่ THOEN1 ประมาณ 74.15% ของพื้นที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ก้อนหินโผล่ทั่วบริเวณ (Rock Land and stony Land) รองลงมาอีกประมาณ 21.94% ของพื้นที่เป็นชุดดินแมร์ริม (Mr), ชุดดินหางฉัตร (Hc) และ ชุดดินสันป่าตอง (Sp), ประมาณ 1.56% ของพื้นที่เป็นชุดดินร้อยเอ็ด (Re) และอีก 2.35% ของพื้นที่เป็นหน่วยดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลว (AC-pd) ลักษณะโดยรวมของพื้นที่ THOEN 1 เป็นดินทรายปนร่วนถึงดินร่วน มีการระบายน้ำดี และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในขณะที่พื้นที่ THOEN 2 พบว่า ประมาณ 89.42% ของพื้นที่เป็นชุดดินสันป่าตอง (Sp) รองลงมาคือ หน่วยดินตะกอนน้ำพาเชิงซ้อนที่มีการระบายน้ำเลว ชุดดินร้อยเอ็ด และเป็นพื้นที่หินโผล่ ประมาณ 5.30%, 5.22% และ

0.06% ของพื้นที่ ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ THOEN 2 มีลักษณะโดยรวมเป็นกลุ่มดินร่วนปนทรายถึงดินทรายปนดินร่วน มีการระบายน้ำดี ปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางกลุ่มดินเป็นดินต้นมีก้อนหินหรือเศษหินปนมากกว่า 90% ของพื้นที่ (กองสำรวจดินและวิจัย ทรัพยากรดิน, 2543) หากพิจารณาลักษณะทางกายภาพของดินพบว่า พื้นที่ THOEN 2 มีความเหมาะสมกับการปลูกยางมากกว่า THOEN 1 เนื่องจากเป็นดินที่มีระบายน้ำดี ในขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของ THOEN 1 เป็นชั้นหิน มีผลทำให้อาจเกิดปัญหาการขาดน้ำของ ยางพาราในช่วงฤดูแล้งได้ โดยการยางแห่งประเทศไทยรายงานไว้ว่า พื้นที่ เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา ดินควรเป็นดินลึก มีการระบาย น้ำดี มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนทราย (การยางแห่งประเทศไทย, 2560)

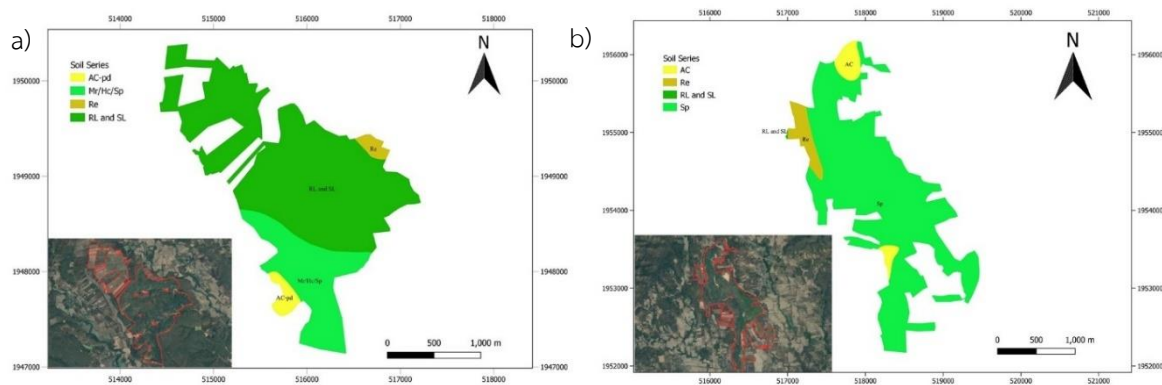
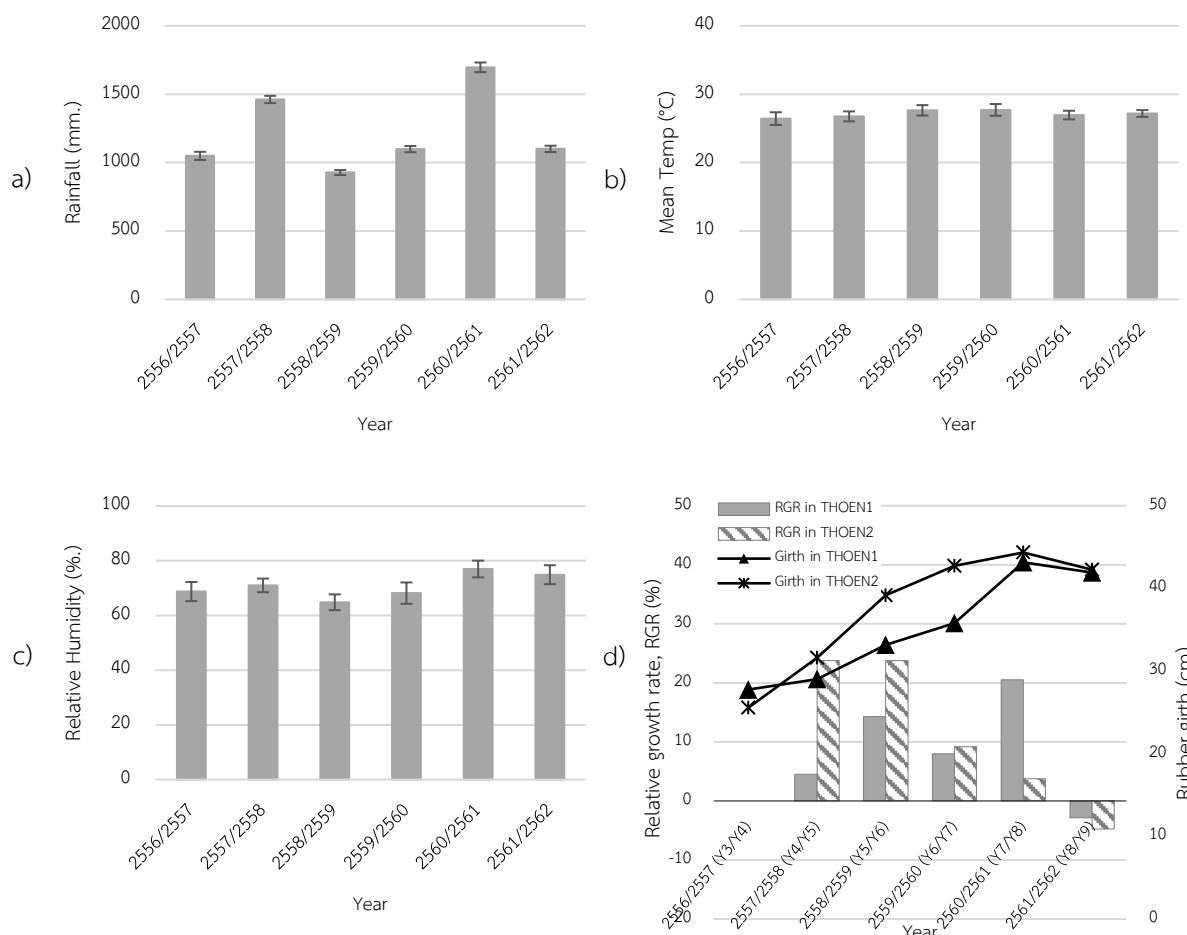


Figure 2 Soil series map of the study area (Scale 1:100,000), THOEN 1 (a) and THOEN 2 (b)

ลักษณะภูมิอากาศระหว่างปี 2557-2562 ในพื้นที่อำเภอถิ่น จังหวัดลำปาง มีปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยประมาณ 1,159.87 มิลลิเมตร/ปี อุณหภูมิเฉลี่ย 27.23 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 18.79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ 38.39 องศาเซลเซียส และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70.85 (Figure 3a, 3b และ 3c) จากข้อมูลภูมิอากาศของพื้นที่ที่ศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาค่ากว่าระดับที่เหมาะสม โดยปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของยางพาราอยู่ระหว่าง 1,500-2,000 มิลลิเมตร/ปี และไม่ควรน้อยกว่า 1,250 มิลลิเมตร/ปี ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และค่า ความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 26-30 องศา เซลเซียส (การยางแห่งประเทศไทย, 2560) ซึ่งสภาพแวดล้อมที่กล่าวมานี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโตและผลผลิต ยางพารา นอกจากนี้ นิวัตร์ และเบ็ญจรงค์ (2549) ได้รายงานไว้ว่า อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส ไม่ เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่างร้อยละ 65-90 (การยางแห่งประเทศไทย, 2560) แต่อย่างไรก็ตาม หากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นเวลานาน ต้นยางพาราที่ปลูกใหม่จะมีอัตราการตายสูง (นิวัตร์ และเบ็ญจรงค์, 2549)

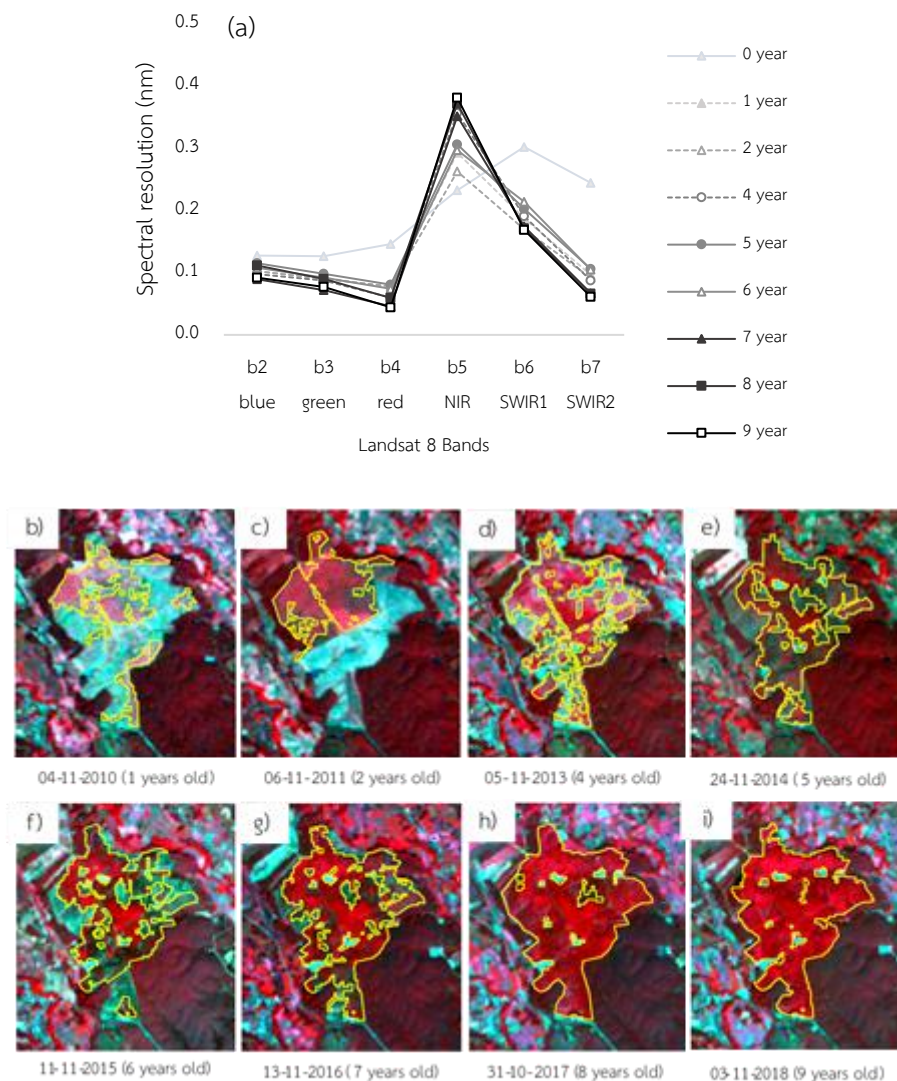
จากการรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตในพื้นที่ศึกษา (Figure 3d) พบว่า ขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารามีแนวโน้มเพิ่ม มากขึ้นเมื่อต้นยางมีอายุมากขึ้น ยกเว้นในปี 2559/2560 และ ปี 2561/2562 ที่ขนาดเส้นรอบวงลำต้นและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ ของยางพาราลดลง (Figure 3a) เนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนลดลง สอดคล้องกับ วรรณพนีย์ และคณะ (2560) รายงานว่าขนาดเส้น รอบวงลำต้นยางพาราสายพันธุ์ RRIM600 และ RRIM251 ทั้ง 2 สายพันธุ์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณน้ำฝน ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยใน พื้นที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต แม้ว่าในทั้ง 2 พื้นที่มีสภาพภูมิอากาศที่เหมือนกันแต่ยางพาราที่ปลูกในพื้นที่ THOEN 2 มีการเจริญเติบโตมากกว่าในพื้นที่ THOEN 1 ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่ THOEN 2 มีความเหมาะสมสำหรับปลูกยางพารามากกว่า ซึ่งทำให้ พื้นที่ THOEN 2 สามารถเปิดกรีดได้ในช่วงอายุที่สั้นกว่า โดย THOEN 1 เปิดกรีดที่ 40.30 เซนติเมตร (อายุ 9 ปี) และ THOEN 2 เปิด กรีดที่ 44.35 เซนติเมตร (อายุ 8 ปี) ในปี 2560 และ 2561 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามขนาดที่เหมาะสมในการเปิดกรีดควรมีขนาดเส้น รอบวงลำต้นมากกว่า 50 เซนติเมตร (การยางแห่งประเทศไทย, 2560)



**Figure 3** Annual rainfall (a) mean temperature (b) and relative humidity (c) rubber girth and relative growth rate (d) in the study area from 2014 to 2019 (B.E. 2557-2562). The bar graph represents the mean of the data from April to March of next year  $\pm$  standard deviation (SD)

## 2. การวิเคราะห์และคัดแยกพื้นที่ปลูกยางพารา

ในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจะใช้หลักการสะท้อนเชิงสเปกตรัมของพืชพรรณ ดิน และน้ำ (spectral reflectance of vegetation, soil and water) ที่มีรูปแบบการสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นที่ต่างกันของพืช ดิน และน้ำ ทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุแต่ละชนิดบนภาพถ่ายดาวเทียมได้ ซึ่งพบว่าในพื้นที่ปลูกยางพาราที่ศึกษามีรูปแบบการสะท้อนพลังงานที่แสดงความเป็นพืชพรรณ ตั้งแต่อายุ 1 ปีขึ้นไป คือ มีค่าการสะท้อนพลังงานมากในช่วงคลื่น NIR และดูดกลืนมากในช่วงคลื่นสีแดง (Figure 4a)



**Figure 4** Spectral signature of para rubber in different age (a) and the rubber plantation identification from false-color Landsat 8 OLI of 1-year-old (b) 2-year-old (c) 4-year-old (d) 5-year-old (e) 6-year-old (f) 7-year-old (g) 8-year-old (h) and 9-year-old (i) of rubber in Thoen, Lampang

จากการนำภาพถ่ายเทียมที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี และแยกพื้นที่ปลูกยางพาราด้วยภาพถ่ายเทียมสีผสมเท็จ (ซึ่งพืชพรรณจะแสดงเป็นสีแดง) ในพื้นที่ THOEN 1 ด้วยสายตา พบว่า พื้นที่ปลูกยางพาราที่มีอายุ 1-2 ปี (Figure 4b และ 4c) แม้ว่าจะสามารถจำแนกลักษณะของพืชพรรณกับพื้นผิวดินออกจากกันได้ แต่ลักษณะการขยายตัวของพืชพรรณไม่มีความต่อเนื่องกัน ทำให้ไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่าพืชพรรณนั้นคือต้นยางพารา อย่างไรก็ตาม พบพื้นที่ปลูกยางพารามีการขยายตัวของพื้นที่อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ยางพารามีอายุ 4 ปีขึ้นไป (Figure 4d, 4e, 4f, 4g, 4h และ 4i) ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงนำข้อมูลจากแปลงยางพาราที่มีอายุตั้งแต่ 4 ปีขึ้นไปมาทำการศึกษา ซึ่งต่างจากอิรดา และคณะ (2554) ที่ใช้การผสมสีช่วงคลื่นในระบบ R-G-B ร่วมกับการสำรวจในภาคสนาม เพื่อได้ภาพสีผสมจริงที่พืชพรรณแสดงสีเขียว โดยทำการเน้นภาพให้เกิดความคมชัด สามารถแยกช่วงอายุยางพาราด้วยสายตา และยังสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกยางพารา อายุ 0-3 ปี 4-6 ปี 7-15 ปี 16-25 ปี และอายุมากกว่า 25 ปีได้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence, AI) โดย Resende et al. (2020) ได้ทำการแบ่งเขตนิเวศเกษตรของปาล์มโดยใช้แบบจำลอง GIS ในการศึกษาคุณภาพของผลผลิตปาล์ม โดยมีอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมทั้ง 6 ปัจจัย ได้แก่



ระดับความสูงของภูมิประเทศ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ และการขาดน้ำ โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลกับผลผลิตปาล์มมากที่สุด คือ อุณหภูมิในพื้นที่ศึกษา โดยใช้แบบจำลองแผนที่ในคาดการณ์และตัดสินใจในการเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมัน

### 3. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของยางพารา

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ระหว่างขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารากับดัชนีพืชพรรณ และค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่นสีแดง (RED) และ NIR ของพื้นที่ปลูกยางพาราทั้ง 2 พื้นที่ (Table 2) พบว่าพื้นที่ THOEN 1 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson's correlation coefficient) ระหว่างเส้นรอบวงกับค่าการสะท้อนแสงสีแดง ดัชนี NDVI NDMI และ CSWI สูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $R = -0.845, 0.835, 0.816$  และ  $-0.816$  ตามลำดับ) และพื้นที่ THOEN 2 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงช่วงคลื่น สีแดง กับเส้นรอบวงสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $R = -0.842$ ) เนื่องจากพืชพรรณจะดูดซับช่วงคลื่นสีแดงไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และคลอโรฟิลล์ในใบพืชดูดซับช่วงคลื่นสีน้ำเงิน ช่วงคลื่นสีแดง และสะท้อนช่วงคลื่นสีเขียว มีการศึกษาในการใช้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นสีแดง รวมถึงการใช้ NDVI ในการประเมินชีวมวลส่วนเหนือดิน ปริมาตร ขนาดเส้นรอบวงลำต้น และอายุของต้นยางพารา (Suratman et al., 2004; Li and Fox., 2012; Yasen and Koedsin, 2015) สำหรับดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับชีวมวลที่ปกคลุมผิวดินอื่น ๆ ได้แก่ RVI DVI SAVI RDVI GNDVI EVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพาราและให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับความชื้นในพืชพรรณ (NDMI NDWI และ CSWI) นั้นพบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงสูงกับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารา ประเมินได้ว่าความชื้นของพื้นที่ปลูกยางพารา มีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา

จากนั้นวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างผลผลิตรายเดือนกับดัชนีพืชพรรณรายเดือนทั้งหมด 11 ดัชนี ของพื้นที่ปลูกยางพาราทั้ง 2 พื้นที่ (Table 2) พบว่า พื้นที่ THOEN 1 ค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่น NIR และดัชนีพืชพรรณ DVI SAVI RVI EVI และ MSAVI ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ปานกลางถึงสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับผลผลิต ส่วนในพื้นที่ THOEN 2 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างการสะท้อนแสงช่วงคลื่น NIR, ดัชนีพืชพรรณ NDVI, DVI SAVI RDVI, EVI, MSAVI, NDMI และ CSWI กับผลผลิตปานกลางถึงสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งดัชนีที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงสูงกับผลผลิตนั้นส่วนใหญ่เป็นดัชนีพืชพรรณที่ใช้ประเมินมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่น NIR มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดกับผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีพืชพรรณอื่น ๆ เนื่องจากพืชพรรณมีค่าการสะท้อนพลังงานมากในช่วงคลื่น NIR คล้ายคลึงกับจีวีวัฒน์ และคณะ (2562) ที่รายงานว่าการให้ผลผลิตของอ้อย และวัลย์พร และคณะ (2555) ใช้ NDVI ในการประเมินผลผลิตของมันสำปะหลัง นอกจากนี้ NDWI และ EVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Bolton and Friedl, 2013) อย่างไรก็ตามลักษณะการกระจายและแผ่รังสีของพืชล้มลุกแตกต่างจากไม้ยืนต้น

**Table 2** The Pearson's correlation between Vegetation Indices and the girth (cm) of the para rubber and correlation between Vegetation Indices and rubber yield (kg/rai)

Vegetation indices	VIs & Girth <sup>1</sup>		VIs & yield <sup>2</sup>	
	THOEN 1	THOEN 2	THOEN 1	THOEN 2
RED	-0.845 *	-0.816 *	-0.318 <sup>ns</sup>	-0.321 <sup>ns</sup>
NIR	-0.162 <sup>ns</sup>	0.590 <sup>ns</sup>	-0.824 **	-0.790**
NDVI	0.835 *	0.785 <sup>ns</sup>	-0.285 <sup>ns</sup>	-0.607*
RVI	0.787 <sup>ns</sup>	0.757 <sup>ns</sup>	-0.214 <sup>ns</sup>	-0.537 <sup>ns</sup>
DVI	0.328 <sup>ns</sup>	0.750 <sup>ns</sup>	-0.745**	-0.749**
SAVI	0.547 <sup>ns</sup>	0.770 <sup>ns</sup>	-0.601*	-0.706**
RDVI	0.603 <sup>ns</sup>	0.770 <sup>ns</sup>	-0.602*	-0.704**
GNDVI	0.757 <sup>ns</sup>	0.753 <sup>ns</sup>	-0.294 <sup>ns</sup>	-0.549 <sup>ns</sup>
EVI	0.570 <sup>ns</sup>	0.785 <sup>ns</sup>	-0.643**	-0.766**
MSAVI	0.286 <sup>ns</sup>	0.745 <sup>ns</sup>	-0.744**	-0.748**
NDMI	0.816 *	0.798 <sup>ns</sup>	-0.446 <sup>ns</sup>	-0.752**
NDWI	-0.757 <sup>ns</sup>	-0.753 <sup>ns</sup>	0.294 <sup>ns</sup>	0.549 <sup>ns</sup>
CSWI	-0.816 *	-0.798 <sup>ns</sup>	0.446 <sup>ns</sup>	0.752**

<sup>1/</sup> Pearson's correlation analysis between Vegetation Indices and girth of rubber tree on May from 2014 – 2019 (n=6).

<sup>2/</sup> Pearson's correlation analysis between Vegetation Indices and yield (kg/rai) on June 2017 to December 2019 (n=16) for THOEN1 area and on September 2017 to December 2019 (n=13) for THOEN2 area.

<sup>ns</sup>, \* and \*\* are no significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

#### 4. การพยากรณ์ผลผลิตยางพารา

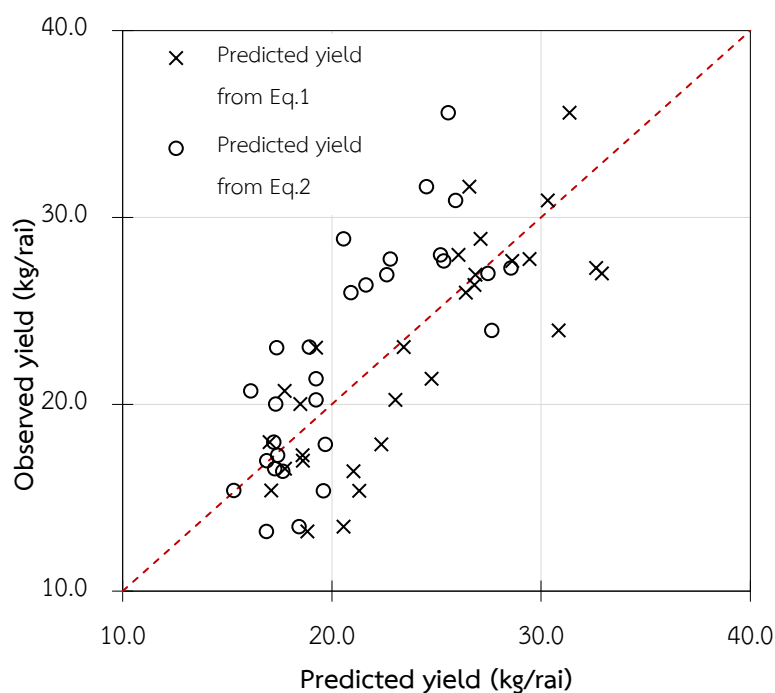
ผลผลิตยางพารามีหลายปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต จึงใช้ multiple regression analysis ซึ่งเป็นการวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม บนตัวแปรอิสระที่มากกว่าหนึ่งตัวแปร การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเพื่อสร้างสมการในการพยากรณ์ผลผลิตยางพาราโดยใช้ข้อมูลผลผลิตในพื้นที่ THOEN 1 และ THOEN 2 มีรูปแบบสมการดังแสดงใน Table 3 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.766 และ 0.625 โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่น RED และ NIR ในการอธิบายการให้ผลผลิตของยางพารา ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการทดลองของ Yasen and Koedsin (2015) ที่ใช้ข้อมูลดาวเทียม WoeldView-2 มาประเมินมวลชีวภาพส่วนเหนือดินของยางพาราโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุแบบเป็นขั้นตอนพบว่า สมการใช้ค่าใช้ช่วงคลื่น RED RED-EDGE และ NIR ในการอธิบายมวลชีวภาพของยางพารา และจากการสอบเทียบสมการการพยากรณ์ผลผลิตรายเดือนโดยใช้ชุดข้อมูลเดียวกับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการ (Self-Consistency test) พบว่า สมการที่ 1 มีค่า RMSE เท่ากับ 2.89 และสมการที่ 2 มีค่า RMSE เท่ากับ 3.36 กก./ไร่ และเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นได้จึงนำข้อมูลจากอีกพื้นที่หนึ่งมาทำการสอบเทียบสมการพบว่า ค่า RMSE มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล่าวคือ สมการที่ 1 มีค่า RMSE เท่ากับ 4.77 และ 3.62 สำหรับสมการที่ 2 มีค่า RMSE เท่ากับ 4.35 และ 4.20 กก./ไร่ และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตที่สำรวจได้จริงกับผลผลิตที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้สมการที่แตกต่างกัน (Figure 5) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวบริเวณเส้น 1:1 คล้ายคลึงกันทั้ง 2 สมการ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลผลผลิตทั้ง 2 พื้นที่พบว่า พื้นที่ THOEN 1 มีผลผลิตยางเฉลี่ย 24 กก./ไร่/เดือน พื้นที่ THOEN 2 มีผลผลิตยางเฉลี่ย 21 กก./ไร่/เดือน จะเห็นได้ว่าการใช้สมการที่ 1 ที่มีการใช้ค่าการสะท้อนพลังงานช่วงคลื่น NIR และดัชนีพืชพรรณ NDVI ในการประเมินผลผลิตอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ประมาณ 12-20% อย่างไรก็ตาม การใช้สมการที่ 2 ที่มีการใช้ค่าการสะท้อนพลังงานช่วงคลื่น NIR เพียงอย่างเดียวใน

การคำนวณอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ประมาณ 16-21% จะเห็นได้ว่าสมการพยากรณ์ผลผลิตนี้มีแนวโน้มนำไปใช้ในการประเมินผลผลิตในพื้นที่อื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษาได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนสูง ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่มีค่าสูง อาจเนื่องมาจากจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการมีน้อย และการให้ผลผลิตของยางพาราแตกต่างจากพืชชนิดอื่น ปริมาณผลผลิตยางพารานอกจากจะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นยางพารา ปัจจัยดิน สภาพภูมิอากาศ และการใส่ปุ๋ยแล้วยังขึ้นกับความถี่ในการกรีดยางพาราด้วย (Somboonsuke, 2018) เพื่อการประเมินที่แม่นยำมากขึ้น ควรพิจารณาการจำแนกพันธุ์ยางพาราในแต่ละพื้นที่ก่อนทำการศึกษา สำหรับการศึกษานในอนาคตสามารถนำรูปแบบวิธีการไปใช้ศึกษากับพื้นที่อื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับผลการศึกษากการเจริญเติบโต การเปิดกรีต และการคาดการณ์ผลผลิตยางพาราจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 ซึ่งจะส่งผลให้งานวิจัยมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

**Table 3** The rubber yield predicted equations developed from data of THOEN 1 and THOEN 2 area and the root mean squared error (RMSE) test

Equations	R <sup>2</sup>	Root Mean Square Error, RMSE		
		THOEN 1	THOEN 2	All data
THOEN 1 (Eq.1) Yield (kg/rai) = 59.02 – 179.37NIR <sub>monthly</sub> + 40.81NDVI <sub>monthly</sub>	0.766**	2.89 <sup>a</sup>	4.77 <sup>b</sup>	3.62
THOEN 2 (Eq.2) Yield (kg/rai) = 58.12 – 104.70NIR <sub>monthly</sub>	0.625**	4.35 <sup>b</sup>	3.36 <sup>a</sup>	4.20

<sup>a/</sup> Self-Consistency test and <sup>b/</sup> independent validation



**Figure 5** The relationship between observed monthly yield and predicted monthly yield in 2017-2019 from equation 1 (Yield (kg/rai) = 59.02 – 179.37NIR + 40.81NDVI<sub>monthly</sub>) and equation 2 (Yield (kg/rai) = 58.12 – 104.70NIR<sub>monthly</sub>). The 1:1 reference line is represented by the red dotted line

## สรุป

จากการศึกษาสภาพพื้นที่ปลูกยางในอำเภอเถิน จังหวัดลำปางเป็นเขตปลูกยางใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา เนื่องจากปัจจัยสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศไม่เหมาะสม ทำให้ยางพารามีการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน กล่าวคือ ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่มีลักษณะเป็นหินโผล่ และเป็นดินเนื้อหยาบ จึงอาจเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษามีค่าต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา นอกจากนี้ การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการติดตามการเจริญเติบโตของต้นยางพาราได้ โดยค่าการสะท้อนแสงสีแดงมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพาราในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ และค่าการสะท้อนแสงช่วงคลื่น NIR และ ดัชนี DVI SAVI RVI EVI และ MSAVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตของยางพารา มากไปกว่านั้น มีความเป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตของยางพารา ซึ่งสมการพยากรณ์อธิบายการให้ผลผลิตของยางพาราในพื้นที่ศึกษาได้  $R^2$  เท่ากับ 0.77 และ 0.63 โดยมีค่า RMSE ประมาณ 2.89 – 4.77 และ 3.36 – 4.35 กก./ไร่

## คำขอบคุณ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยทุนพัฒนาบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบคุณบริษัท ศรีตรังแอมโกลอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) และ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน): GISTDA ที่ช่วยสนับสนุนและดำเนินการให้การทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มบริการสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา สำนักบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา. 2563. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา. กลุ่มบริการสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา สำนักบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา. แหล่งข้อมูล: <https://www.tmd.go.th/services/services.php>. ค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2563.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2543. กลุ่มชุดดิน 62 กลุ่ม. แหล่งข้อมูล: [http://oss101.ldd.go.th/thaisoils\\_museum/62\\_soilgroup/main\\_62soilgroup.htm](http://oss101.ldd.go.th/thaisoils_museum/62_soilgroup/main_62soilgroup.htm). ค้นเมื่อ 6 พฤศจิกายน 2563.
- การยางแห่งประเทศไทย. 2560. การปลูกสวนยางพาราที่มีประสิทธิภาพ. องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- การยางแห่งประเทศไทย. 2561. ข้อมูลวิชาการยางพาราปี 2561. นวัตกรรมดาการพิมพ์. กรุงเทพฯ.
- จินดา มุนละมณี, สุพรรณ กาญจนสุธรรม, แก้ว นวลฉวี และ นฤมล อินทวิเชียร. 2560. การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิศาสตร์สารสนเทศเพื่อจำแนกพื้นที่ยืนต้นยางพาราด้วยข้อมูลจากดาวเทียม กรณิศึกษา จังหวัดบลิคำไซ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. 2: 13-26.
- จิรวัดน์ โนดโฮสง, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์, Chanreaksa Chea, เจษฎา โพธิ์สม, เสรี วงศ์พิเชษฐ, ศุภสิทธิ์ คนใหญ่ และ มหิศร ว่องผาดิ. 2562. การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Clred edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข. เก่นเกษตร. 47: 679-694.
- ธัชชา ศิริแก้ว. 2562. การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ปลูกยางพารา กรณิศึกษา อำเภอ นครไทย จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- ธิดา ยงสถิตศักดิ์, อานันต์ คำภีระ, เกริกชัย ทองหนู, อุดลย์ เบ็ญญ์, พีระพิทย์ พิษมงคล ยงเฉลิมชัย และ เอกภักษ์ ใฝ่บุญ. 2554. การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม THEOS ในการจำแนกช่วงอายุยางพาราเพื่อประเมินปริมาณไม้ยางพาราสำหรับภาคอุตสาหกรรม กรณิศึกษากลุ่มแม่น้ำอุ้ตะเกา จังหวัดสงขลา. สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 12: 28-42.
- นิวัตร วรธนนิธกุล และ เบ็ญจรงค์ จิรเศวตกุล. 2549. Crop requirement ยางพารา. กลุ่มส่งเสริมการผลิตยางพาราและปาล์มน้ำมัน, สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

- เนติ ศรีหามู และ ศิวา แก้วปลั่ง. 2561. การประมาณผลผลิตข้าวโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม MODIS ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม. น. 61-69. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 14 6 – 7 กันยายน 2561. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม.
- พิศมัย จันทุมมา, วารุณี บุญนำ, อนเนก กุณาละสิริ, ศุภมิตร ลิ้มปชัย, เฉลิมพงษ์ ชาวช่วง, นภาพรรณ เลขะวิวัฒน์, กฤษดา สังข์สิงห์, รัตน์ติยา พวงแก้ว, ดารุณี โกศัยเสวี, สุรเดช ปัจฉิมกุล, พุฒนา รุ่งระวี, อารักษ์ จันทุมมา และ ศจีรัตน์ แรมลี. 2553. การประเมินการเจริญเติบโตของต้นยางในเขตปลูกยางใหม่. กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยยาง, กรุงเทพฯ.
- ภราดร กาญจนสุธรรม, นิพนธ์ ตั้งธรรม และ เรืองโร โตกฤษณะ. 2557. การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI): กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22: 55-56.
- รัศมี สุวรรณวีระกัธร, วาสนา พุฒกลาง, อูรวรรณ จันทร์เกษ, พัทยา คำแดง, พงษ์เทพ วรรณรส และสิริพร กมลธรรม. 2555. การติดตามการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราบริเวณจังหวัดมุกดาหาร ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม THEOS. การสัมมนาวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศประจำปี 2555 เรื่อง เข้าใจเข้าถึงพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ 5-7 กันยายน 2555. โรงแรมเดอะแกรนด์ริเวอร์ไซด์ จังหวัดพิษณุโลก และโรงแรมอิมพีเรียลภูเก็ตภูเก็ต รีสอร์ทแอนด์สปา จังหวัดเพชรบูรณ์.
- วรรณทนี มีลุน, สุภัทร อิศรางกูร ณ อยุธยา และศิวพร ศีลเตโช. 2560. อิทธิพลของพื้นที่ปลูกต่อการเจริญเติบโตของยางพาราสายพันธุ์ RRIM 600 และ RRIT 251 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. แก่นเกษตร. 45: 325-330.
- วลัยพร ศะศิประภา, นริลักษณ์ วรรณสาย, สุภาพร ราจันติก และ นิชา โปทอง. 2555. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอร์แมลไลซ์กับผลผลิตมันสำปะหลังในจังหวัดกำแพงเพชร. วิชาการเกษตร. 30: 290-299.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. 2552. ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
- สุคนธ์ทิพย์ เวียนมานะ, สุภาพรณ พวงชมภู และ ไพศาล กะกุลพิมพ์. 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. แก่นเกษตร. 42: 499-504.
- Al-Gaadi, K., A.A. Hassaballa, E. Tola, A.G. Kayad, R. Madugundu, B. Alblewi, and F. Assiri. 2016. Prediction of Potato Crop Yield Using Precision Agriculture Techniques. PLOS ONE. 11: 1-16.
- Balasundram, S., H. Memarian, and R. Khosla. 2013. Estimating oil palm yields using vegetation indices derived from QuickBird. Life Science Journal. 10: 851-860.
- Best, J. W. 1977. Research in education: 3rd ed. Englewood Cliffs, Nj: Prentice-Hall.
- Bolton, D., and M. Friedl. 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. Agricultural and Forest Meteorology. 173: 74-84.
- Fox, J., and J. Castella. 2013. Expansion of rubber (*Hevea brasiliensis*) in mainland Southeast Asia: What are the prospects for small holders?. Journal of Peasant Studies. 40: 155-170.
- Fox, J., J. Krummel, S. Yarnasarn, M. Ekasingh, and N. Podger. 1995. Land-use and landscape dynamics in Northern Thailand: Assessing change in three upland watersheds since 1954. A Journal of the Human Environment. 24: 328-334.
- Gao, B. 1996. NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment. 58: 257-266.

- Ghulam, A., Z. Li, Q. Qin, H. Yimit, and J. Wang. 2008. Estimating crop water stress with ETM+ NIR and SWIR data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148: 1679-1695.
- Gitelson, A., Y. Kaufman, and M. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS- MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 58: 289-298.
- He, L., and G. Mostovoy. 2019. Cotton Yield Estimate Using Sentinel-2 Data and an Ecosystem Model over the Southern US. *Remote Sensing*. 11: 2000.
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25: 295-309.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, and L. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83: 195-213.
- Jensen, J.R., F. Qiu, and M. Ji. 1999. Predictive modelling of coniferous forest age using statistical and artificial neural network approaches applied to remote sensor data. *International Journal of Remote Sensing*. 20: 2805-2822.
- Jongschaap, R. 2006. Run-time calibration of simulation models by integrating remote sensing estimates of leaf area index and canopy nitrogen. *European Journal of Agronomy*. 24: 316-324.
- Jordan, C. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. *Ecology*. 50: 663-666.
- Kriegler, F., W.A. Malila, R.F. Nalepka, and W. Richardson. 1969. Preprocessing Transformations and Their Effects on Multispectral Recognition. *Proceedings of the 6<sup>th</sup>. International Symposium on Remote Sensing of Environment*. 97-131.
- Li, Z., and J.M. Fox. 2012. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS250 m NDVI and statistical data. *Applied Geography*. 32: 420-432.
- Praktikantin. 2017. Rubber Farm Economics in Thailand. Available: <https://pugnatorius.com/rubber-farm-investments/>. Accessed Mar. 26, 2021.
- Qi, J., A. Chehbouni, A.R. Huete, Y.H. Kerr, and S. Sorooshian. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. 48: 119-126.
- Rahman M.M., A. Robson, and M. Bristow. Exploring the Potential of High Resolution WorldView-3 Imagery for Estimating Yield of Mango. 2018. *Remote Sensing*. 10: 1866.
- Research and Markets. 2016. Assessment of Thailand's Rubber Industry 2016. Available: <https://www.businesswire.com/news/home/20161103006207/en/AssessmentofThailandsRubberIndustry2016ResearchandMarkets>. Accessed Mar. 26, 2021.
- Resende, R., K.N. Kuki, T.R. Corrêa, Ú.R. Zaidan, P.H. Mota, L.A. Telles, D.G. Gonzales, S.Y. Motoike, M. Resende, H. Leite, and A.S. Lorenzon. 2020. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. *Industrial Crops and Products*. 154: 112749.
- Roujean, J.L., and F.M. Bréon. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*. 51: 375-384.
- Somboonsuke, B., C. Kongmanee, N. Thongtrai, and P. Phitthayaphinant. 2018. Potential of para-rubber production in Thailand: Production technology management, problems and suggestions for yield improvement. *Kasetsart Journal of Social Sciences*. 39: 645-659.

- Suratman, M., G. Bull, D. Leckie, V. Lemay, P. Marshall, and M. Mispan. 2004. Prediction models for estimating the area, volume, and age of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations in Malaysia using Landsat TM data. *The International Forestry Review*. 6: 1-12.
- Tucker, C. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8: 127-150.
- Veena, S., S. Mohamed, N. Laili, and P. Biswajeet. 2012. NDVI of Oil Palm Trees by LANDSAT-5 Imagery. In *Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Asian Conference on Remote Sensing 26-30 November 2012*. Pattaya, Thailand.
- Warren-Thomas, E.M., P. Dolman, and D. P. Edwards. 2015. Increasing demand for natural rubber necessitates a robust sustainability initiative to mitigate impacts on tropical biodiversity. *Conservation Letters*. 8: 230-241.
- Yasen, K., and W. Koedsin. 2015. Estimating Aboveground Biomass of Rubber Tree Using Remote Sensing in Phuket Province, Thailand. *Journal of Medical and Bioengineering*. 4: 451-456.