

- 1 การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมเพื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นยางพาราและ
2 พยากรณ์ผลผลิตน้ำยาง กรณีศึกษาในพื้นที่ อ.เถิน จ.ลำปาง
- 3 Satellite remote sensing for growth monitoring and yield predicting of para-
4 rubber: a case study in the area of Thoen district, Lampang province
- 5 ณิชารีย์ ชาลีจ้งหาญ¹, วุฒิดา รัตนพิไชย^{1*}, กรรณิการ์ สัจจาพันธ์¹, Yann Nouvellon² และ พูน
6 พิภพ เกษมทรัพย์^{3,4}
- 7 Nichalee Chaleejunghan¹, Wutthida Rattanapichai^{1*}, Kannika Sajjaphan¹, Yann
8 Nouvellon² and Poonpipope Kasemsap^{3,4}

¹ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

³ ศูนย์ความร่วมมือระหว่างประเทศด้านการวิจัยเกษตรกรรมเพื่อการพัฒนา ประเทศฝรั่งเศส (CIRAD) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

⁴ Center de Cooperation International en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD)

⁵ ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

⁶ Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok, 10900

⁷ ศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

⁸ Center of Thai-French Cooperation on Higher Education and Research, DORAS Center, Kasetsart University, Bangkok, 10900

บทคัดย่อ: การติดตามการเจริญเติบโตของต้นยางพาราและการพยากรณ์ผลผลิตน้ำยางพาราโดยใช้ข้อมูลภาพดาวเทียมในแปลงปลูกยางพารา 2 พื้นที่ในอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นเขตปลูกยางใหม่ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลชุดดิน ข้อมูลภูมิอากาศ และข้อมูลภาพดาวเทียมจากดาวเทียม Landsat 8 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2562 จากข้อมูลดิน และข้อมูลภูมิอากาศแสดงให้เห็นว่า พื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ไม่เหมาะสมกับการปลูกยางพารา ส่งผลให้ขนาดเส้นรอบวงลำต้นและการให้ผลผลิตต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับข้อมูลภาพดาวเทียมในพื้นที่ศึกษาพบว่า ค่าการสะท้อนช่วงคลื่น RED (630-680 nm) ให้ความสัมพันธ์สูงกับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารา และค่า Difference Vegetation-Index (DVI) Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI) Ratio Vegetation Index (RVI) The 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: The growth monitoring of rubber trees and yield prediction using satellite imagery data of 2 areas in Thoen District, Lampang Province, which are new rubber plantation areas. Soil series data, climatic data, and Landsat 8 satellite imagery data were collected from 2014 to 2019. Soil series and climatic data demonstrated that both rubber plantations are not suitable for rubber production resulted in girth and yield of rubber lower than those provided by standard level. The satellite imagery data in the study area showed Red waveband (630-680 nm)

* Corresponding author: agrwtd@ku.ac.th

Received: date; Accepted: date; Published: date;

provided a high correlation with the girth of rubber trees and Difference Vegetation-Index (DVI) Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI) Ratio Vegetation Index (RVI) The 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 NDVI and NIR (845-885 nm) can use 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 ซึ่งก่อนหน้านี้ราคายางมีการปรับตัวการอ้างอิงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปี 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 มีการร่อนดินสูง แตกต่างจากพื้นที่ปลูกยางเดิมในภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทยที่สามารถเปิดกรีดได้เมื่อยางมีอายุ 6-7 ปี ในขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเปิดกรีดได้ช้ากว่าอย่างน้อย 6 เดือน และให้ผลผลิตต่ำกว่าภาคใต้ถึงร้อยละ 10-15 (การยางแห่งประเทศไทย, 2561) ดังนั้นสภาพแวดล้อมและการจัดการสวนยางพาราที่เหมาะสมส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตยางได้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตยางพารา ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล โรค แมลง ปริมาณการผลิต และจำนวนพื้นที่เพาะปลูก (สุคนธ์ทิพย์ และคณะ, 2557; การยางแห่งประเทศไทย, 2561) ซึ่งข้อมูลรายละเอียดเหล่านี้จะเป็นประโยชน์สำหรับเกษตรกรและหน่วยงานภาครัฐบาลที่จะใช้ในการประมาณการผลผลิตน้ำยางได้ถูกต้องมากขึ้น เพื่อใช้สนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการภายในสวนยางพาราที่เหมาะสม คุ่มค่า และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตยางมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการจะได้มาซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีการลงเก็บข้อมูลในภาคสนามด้วยวิธีการสุ่มเก็บข้อมูล หากต้องมีการประเมินผลผลิตมวลรวมในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่มักจะประสบปัญหาของการขาดกำลังคนและงบประมาณ นอกจากนี้หากมีความจำเป็นในการสำรวจเพื่อทำการติดตามข้อมูลดังกล่าวในทุกปี ก็จะต้องประสบปัญหามากขึ้น (Jensen et al, 1999; Suratman et al., 2004) ด้วยเหตุนี้เทคนิคการสำรวจระยะไกล (remote sensing-based methods) จึงมีบทบาทสำคัญในการสำรวจข้อมูล ซึ่งในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาเทคนิคการสำรวจระยะไกล ได้พัฒนาเป็นอย่างมากและได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีมาตรฐานหนึ่งที่สามารถใช้ศึกษาสถานภาพและความสมบูรณ์ของพืชได้อย่างถูกต้องและเชื่อถือได้อย่างรวดเร็วและทันการณ์ เช่น การติดตามโรคในยางพาราที่เกิดจากเชื้อรา *Corynespora* และ *Gloeosporium* (Ranganath et al., 2004) โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงและดัชนีพืชพรรณที่ได้จากดาวเทียม IRS-1C ซึ่งพบว่าแปลงยางพาราที่เป็นโรคมีค่าการสะท้อนแสงสีแดงเพิ่มขึ้น ค่าการสะท้อนแสง Near Infrared ต่ำลง และมีค่า NDVI ต่ำกว่าแปลงยางพาราที่ไม่เป็นโรคและแปลงที่มีการใช้ยาป้องกันเชื้อรา และข้อมูลภาพดาวเทียมยังนำมาช่วยในการประมาณการพื้นที่ปลูกยางพารา (รัศมี และคณะ, 2555; จินดา และคณะ, 2560; ธนัชชา, 2562) นอกจากนี้สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ผลผลิตพืชหลายชนิด เช่น มันสำปะหลัง (วลัยพร และคณะ, 2555) มันฝรั่ง (Al-Gaadi et al., 2016) และ ข้าว (เนติ และ ศิลา, 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 งานศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการเชื่อมโยงข้อมูลระยะไกลเข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ 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) ข้อมูลการเจริญเติบโตทางลำต้นของยางพาราโดยการเก็บข้อมูลต้นยางพาราทุกต้นในพื้นที่ 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) ดยทำการเก็บข้อมูลผลผลิตตั้งแต่เดือนมิถุนายน 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 (เลือกวิเคราะห์เฉพาะภาพที่มีไม่มีเมฆปกคลุมพื้นที่ศึกษา) 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) จากนั้นทดสอบเทียบสมการโดยใช้ชุดข้อมูลเดียวกับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการ (Self-Consistency test) และทดสอบเทียบสมการโดยใช้ชุดข้อมูลอิสระ (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)	$EVI = G^* \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \cdot RED - C2 \cdot BLUE + L)}$	Huete, 2002
8. Modified Soil-adjusted Vegetation Index (MSAVI)	$MSAVI = 2 \cdot NIR + 1 - \sqrt{(2 \cdot NIR + 1)^2 - 8 \cdot (NIR - RED)}$	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

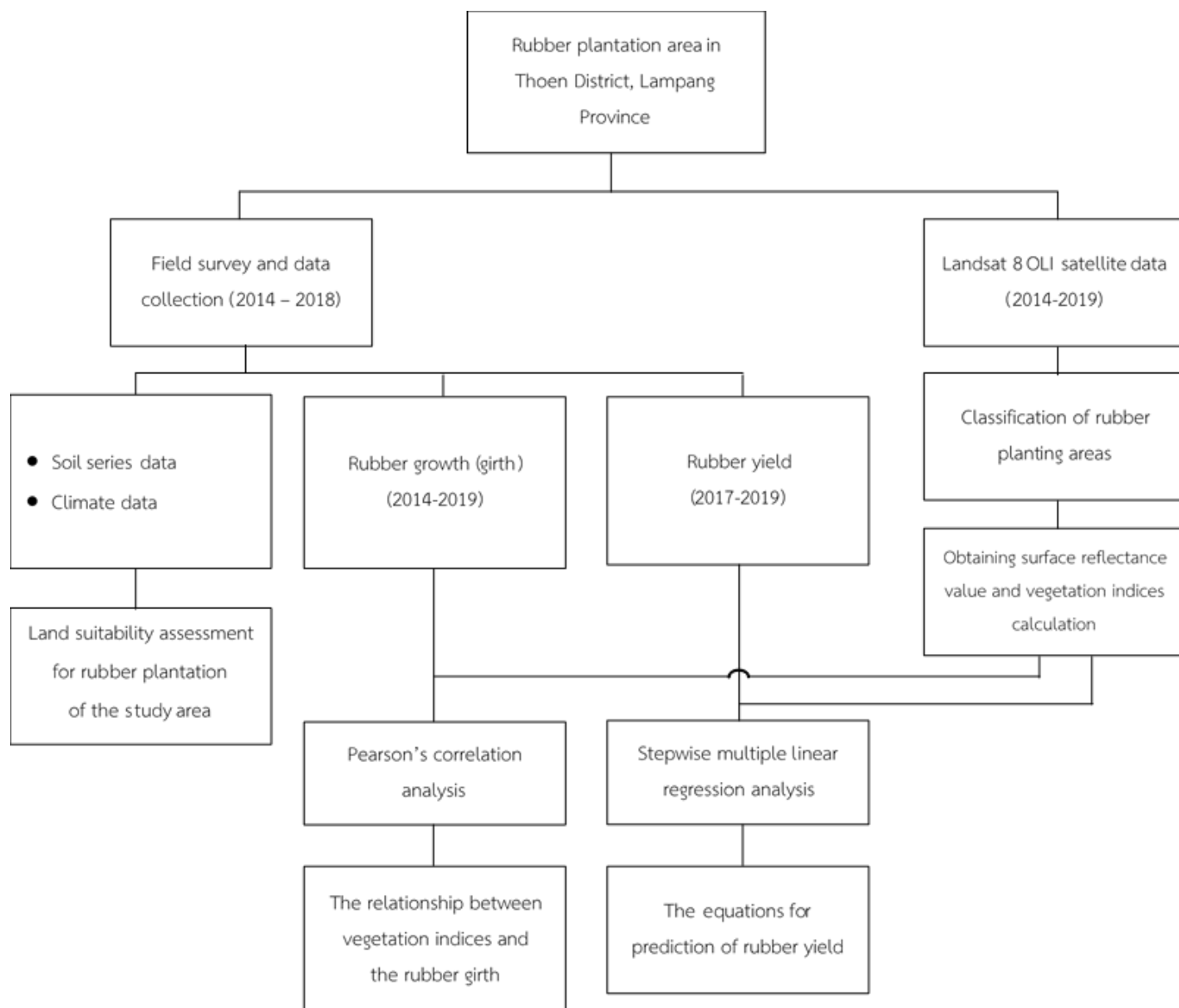


Figure 1 Research methods

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์พื้นที่สำหรับปลูกยางพารา

อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบสูง มีภูเขาทอดตัวตามแนวยาวจากทิศเหนือไปยังทิศใต้ของจังหวัด บริเวณตอนใต้เป็นป่าร้างบางส่วนเป็นทุ่งหญ้า อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 268.80 เมตร จากการแปลภาพถ่ายเทียมในพื้นที่ศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษาที่ 1 (THOEN1) มีพื้นที่ปลูกยางพารารวม 482.95 ไร่ และพื้นที่ศึกษาที่ 2 (THOEN2) มีพื้นที่ปลูกยางพารารวม 445.38 ไร่ และจากการจำแนกชุดดินโดยใช้แผนที่ชุดดิน มาตราส่วน 1:100,000 (Figure 2) พบว่า พื้นที่ THOEN1 ประมาณ 74.15% ของพื้นที่มีลักษณะเป็นพื้นที่กอนหินโผล่ทั่วบริเวณ (Rock Land and stony Land) รองลงมาอีกประมาณ 21.94% ของพื้นที่เป็นชุดดินแมร์ม (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

140 0.06% ของพื้นที่ ตามลำดับ ซึ่งพื้นที่ THOEN 2 มีลักษณะโดยรวมเป็นกลุ่มดินร่วนปนทรายถึงดินทรายปนดินร่วน มีการระบายน้ำดี
 141 ปานกลาง และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บางกลุ่มดินเป็นดินต้นมีก้อนหินหรือเศษหินปนมากกว่า 90% ของพื้นที่ (กองสำรวจดินและวิจัย
 142 ทรัพยากรดิน, 2543) หากพิจารณาลักษณะทางกายภาพของดินพบว่า พื้นที่ THOEN 2 มีความเหมาะสมกับการปลูกยางมากกว่า
 143 THOEN 1 เนื่องจากเป็นดินที่มีระบายน้ำดี ในขณะที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของ THOEN 1 เป็นชั้นหิน มีผลทำให้อาจเกิดปัญหาการขาดน้ำของ
 144 ยางพาราในช่วงฤดูแล้งได้ โดยการยางแห่งประเทศไทยรายงานว่ พื้นที่ เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา ดินควรเป็นดินลึก มีการระบาย
 145 น้ำดี มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ดินร่วน ดินร่วนเหนียวปนทราย และดินร่วนทราย (การยางแห่งประเทศไทย, 2560)

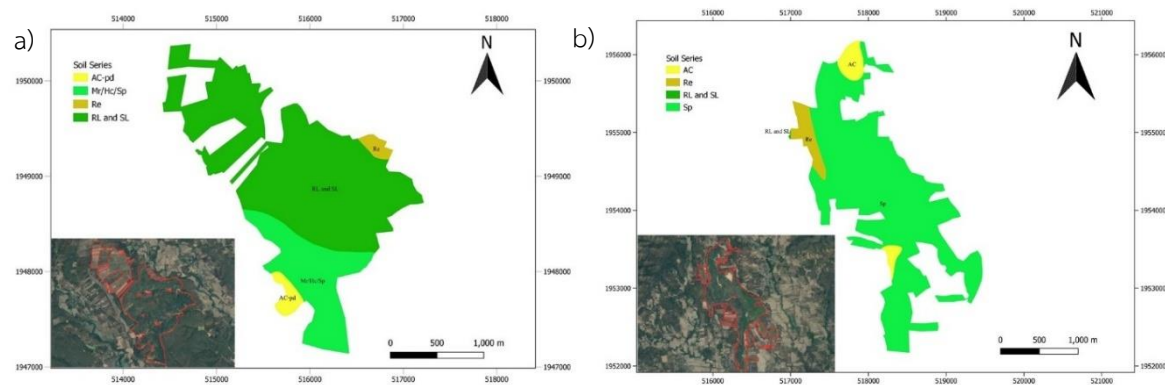


Figure 2 Soil series map of the study area (Scale 1:100,000), THOEN 1 (a) and THOEN 2 (b)

149 ลักษณะภูมิอากาศระหว่างปี 2557-2562 ในพื้นที่อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง มีปริมาณน้ำฝนสะสมเฉลี่ยประมาณ 1,159.87
 150 มิลลิเมตร/ปี อุณหภูมิเฉลี่ย 27.23 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประมาณ 18.79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประมาณ
 151 38.39 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70.85 (Figure 3a, 3b และ 3c) จากข้อมูลภูมิอากาศของพื้นที่ที่ศึกษาพบว่า
 152 ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาค่าว่าระดับที่เหมาะสม โดยปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของยางพาราอยู่ระหว่าง
 153 1,500-2,000 มิลลิเมตร/ปี และไม่ควรน้อยกว่า 1,250 มิลลิเมตร/ปี ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด และค่า
 154 ความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปลูกยางพารา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 26-30 องศา
 155 เซลเซียส (การยางแห่งประเทศไทย, 2560) ซึ่งสภาพแวดล้อมที่กล่าวมานี้เป็นปัจจัยที่มีผลต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโตและผลผลิต
 156 ยางพารา นอกจากนี้ นิวัตร และเบญจรงค์ (2549) ได้รายงานว่ อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส ไม่
 157 เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา สำหรับค่าความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ระหว่างร้อยละ 65-90 (การยางแห่งประเทศไทย, 2560) แต่อย่างไรก็ตาม หากความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นเวลานาน ต้นยางพาราที่ปลูกใหม่จะมีอัตราการตายสูง (นิวัตร และเบญจรงค์,
 158 2549)

160 จากการรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตในพื้นที่ศึกษา (Figure 3d) พบว่ ขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารามีแนวโน้มเพิ่ม
 161 มากขึ้นเมื่อต้นยางมีอายุมากขึ้น ยกเว้นในปี 2559/2560 และ ปี 2561/2562 ที่ขนาดเส้นรอบวงลำต้นและอัตราการเจริญเติบโตสัมพันธ์
 162 ของยางพาราลดลง (Figure 3a) เนื่องมาจากปริมาณน้ำฝนลดลง สอดคล้องกับ วรรณพินัย และคณะ (2560) รายงานว่ขนาดเส้น
 163 รอบวงลำต้นยางพาราสายพันธุ์ RRIM600 และ RRIM251 ทั้ง 2 สายพันธุ์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณน้ำฝน ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยใน
 164 พื้นที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต แม้ว่าในทั้ง 2 พื้นที่มีสภาพภูมิอากาศที่เหมือนกันแต่ยางพาราที่ปลูกในพื้นที่ THOEN 2
 165 มีการเจริญเติบโตมากกว่าในพื้นที่ THOEN 1 ทั้งนี้เนื่องจากสภาพพื้นที่ THOEN 2 มีความเหมาะสมสำหรับปลูกยางพารามากกว่า ซึ่งทำให้
 166 พื้นที่ THOEN 2 สามารถเปิดกรีดได้ในช่วงอายุที่สั้นกว่า โดย THOEN 1 เปิดกรีดที่ 40.30 เซนติเมตร (อายุ 9 ปี) และ THOEN 2 เปิด
 167 กรีดที่ 44.35 เซนติเมตร (อายุ 8 ปี) ในปี 2560 และ 2561 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามขนาดที่เหมาะสมในการเปิดกรีดควรมีขนาดเส้น
 168 รอบวงลำต้นมากกว่า 50 เซนติเมตร (การยางแห่งประเทศไทย, 2560)

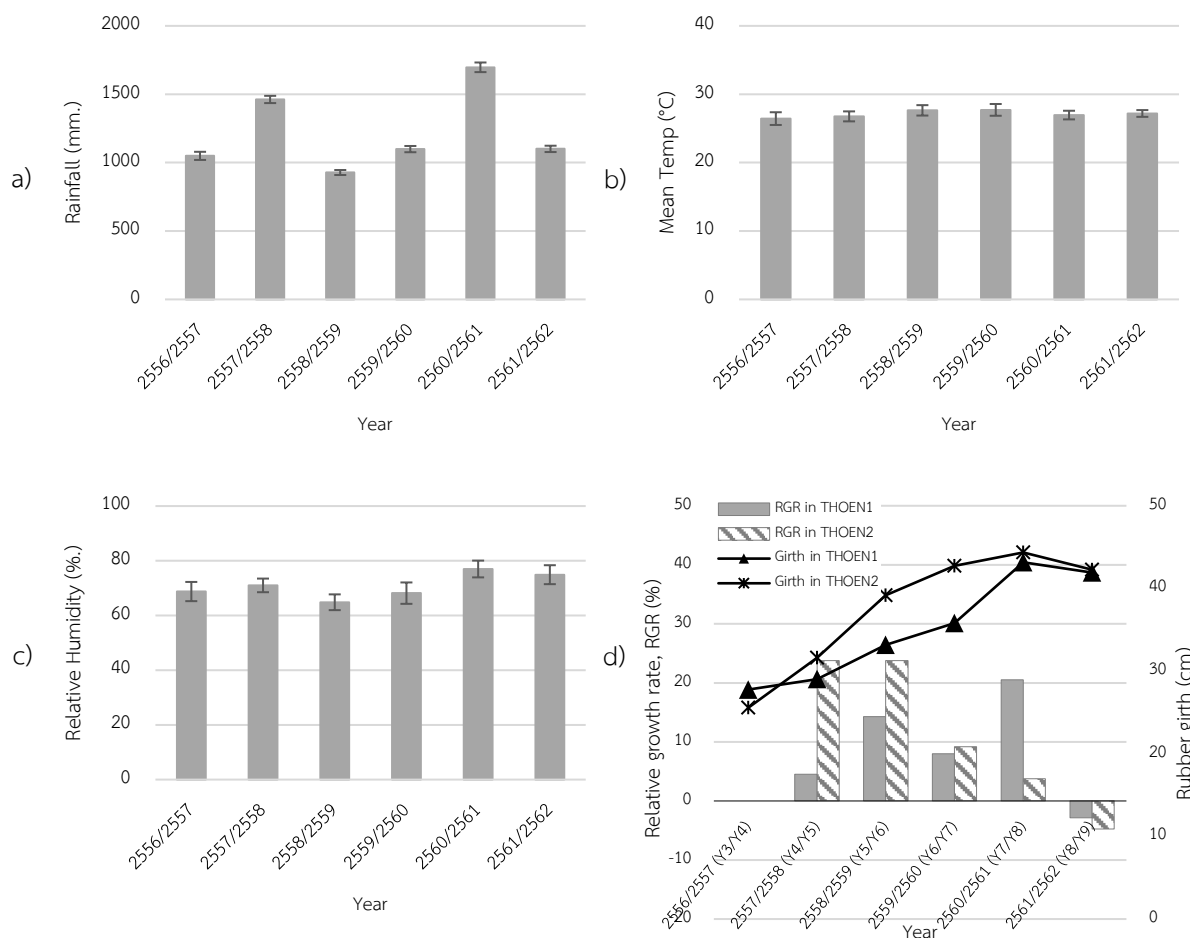


Figure 3 Annual rainfall (a) mean temperature (b) and relative humidity (c) rubber girth and relative growth rate (d) in the study area from 2014 to 2019 (B.E. 2557-2562). The bar graph represents the mean of the data from April to March of next year $\pm$ standard deviation (SD)

2. การวิเคราะห์และคัดแยกพื้นที่ปลูกยางพารา

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

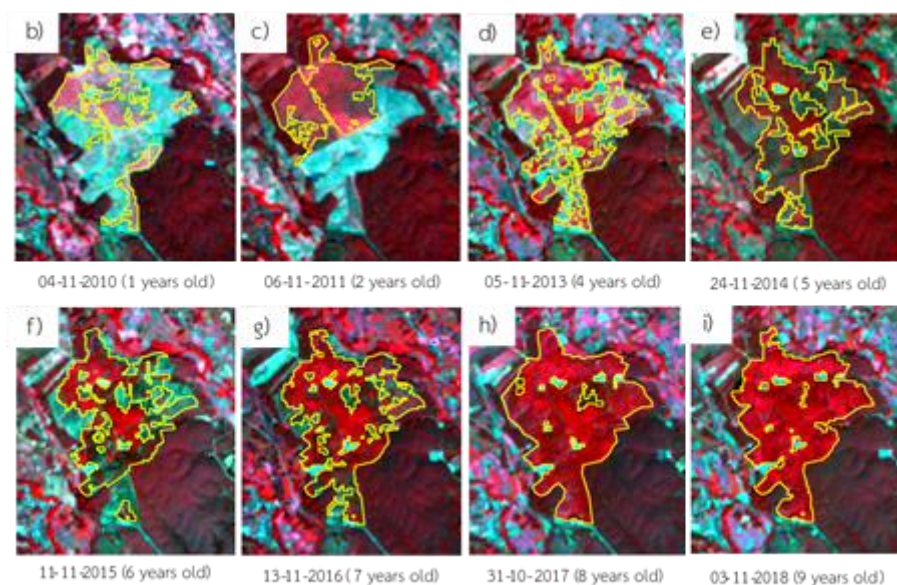
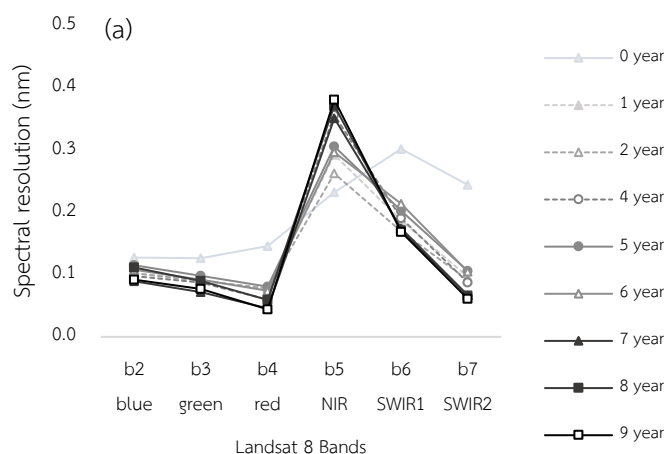


Figure 4 Spectral signature of para rubber in different age (a) and the rubber plantation identification from false-color Landsat 8 OLI of 1-year-old (b) 2-year-old (c) 4-year-old (d) 5-year-old (e) 6-year-old (f) 7-year-old (g) 8-year-old (h) and 9-year-old (i) of rubber in Thoen, Lampang

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 ซึ่งต่างจากจิรดา 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 ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ (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) สำหรับดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับชีวมวลที่ปกคลุมผิวดินอื่นๆ ได้แก่ RVI DVI SAVI RDVI GNDVI EVI มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพาราและให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับปานกลาง แต่อย่างไรก็ตามไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับความชื้นในพืชพรรณ (NDMI NDWI และ CSWI) นั้นพบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระดับปานกลางถึงสูงกับขนาดเส้นรอบวงลำต้นของยางพารา ประเมินได้ว่าความชื้นของพื้นที่ปลูกยางพารามีความสัมพันธ์ต่อการเจริญเติบโตของต้นยางพารา

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 มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดกับผลผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับดัชนีพืชพรรณอื่นๆ เนื่องจากพืชพรรณมีค่าการสะท้อนพลังงานมากในช่วงคลื่น NIR คล้ายคลึงกับจีร์วัฒน์ และคณะ (2562) ที่รายงานว่า NDVI มีความสัมพันธ์กับการให้ผลผลิตของอ้อย และวลัยพร 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 ¹		VIs & yield ²	
	THOEN 1	THOEN 2	THOEN 1	THOEN 2
RED	-0.845 *	-0.816 *	-0.318 ^{ns}	-0.321 ^{ns}
NIR	-0.162 ^{ns}	0.590 ^{ns}	-0.824 **	-0.790**
NDVI	0.835 *	0.785 ^{ns}	-0.285 ^{ns}	-0.607*
RVI	0.787 ^{ns}	0.757 ^{ns}	-0.214 ^{ns}	-0.537 ^{ns}
DVI	0.328 ^{ns}	0.750 ^{ns}	-0.745**	-0.749**
SAVI	0.547 ^{ns}	0.770 ^{ns}	-0.601*	-0.706**
RDVI	0.603 ^{ns}	0.770 ^{ns}	-0.602*	-0.704**
GNDVI	0.757 ^{ns}	0.753 ^{ns}	-0.294 ^{ns}	-0.549 ^{ns}
EVI	0.570 ^{ns}	0.785 ^{ns}	-0.643**	-0.766**
MSAVI	0.286 ^{ns}	0.745 ^{ns}	-0.744**	-0.748**
NDMI	0.816 *	0.798 ^{ns}	-0.446 ^{ns}	-0.752**
NDWI	-0.757 ^{ns}	-0.753 ^{ns}	0.294 ^{ns}	0.549 ^{ns}
CSWI	-0.816 *	-0.798 ^{ns}	0.446 ^{ns}	0.752**

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

^{2/} 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.

^{ns}, * 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 และจากการพหุความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตที่สำรวจได้จริงกับผลผลิตที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้สมการที่แตกต่างกัน (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 สำหรับการศึกษาในอนาคตสามารถนำรูปแบบวิธีการไปใช้ศึกษากับพื้นที่อื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบกับผลการศึกษากการเจริญเติบโต การเปิดกรีด 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^2	Root Mean Square Error, RMSE		
		THOEN 1	THOEN 2	All data
THOEN 1 (Eq.1) Yield (kg/rai) = $59.02 - 179.37NIR_{monthly} + 40.81NDVI_{monthly}$	0.766**	2.89 ^a	4.77 ^b	3.62
THOEN 2 (Eq.2) Yield (kg/rai) = $58.12 - 104.70NIR_{monthly}$	0.625**	4.35 ^b	3.36 ^a	4.20

^{a/} Self-Consistency test and ^{b/} independent validation

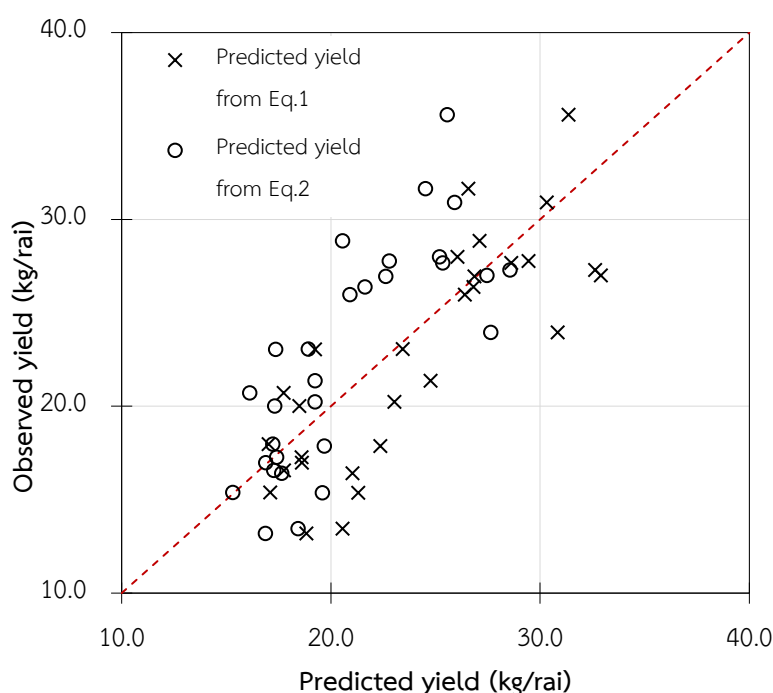


Figure 5 The relationship between observed monthly yield and predicted monthly yield in 2017-2019 from equation 1 (Yield (kg/rai) = $59.02 - 179.37NIR + 40.81NDVI_{monthly}$) and equation 2 (Yield (kg/rai) = $58.12 - 104.70NIR_{monthly}$). The 1:1 reference line is represented by the red dotted line

สรุป

จากการศึกษาสภาพพื้นที่ปลูกยางในอำเภอเงิน จังหวัดลำปางเป็นเขตปลูกยางใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกยางพารา เนื่องจากปัจจัยสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศไม่เหมาะสม ทำให้ยางพารามีการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 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

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยทุนพัฒนาศักยภาพบุคลากรจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบคุณบริษัท ศรีตรังแอโกรอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) และ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน): GISTDA ที่ช่วยสนับสนุนและดำเนินการให้การทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มบริการสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา สำนักบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา. 2563. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา. กลุ่มบริการสารสนเทศอุตุนิยมวิทยา สำนักบริการดิจิทัลอุตุนิยมวิทยา. แหล่งที่มา: <https://www.tmd.go.th/services/services.php>. ค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2563.
- กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน. 2543. กลุ่มชุดดิน 62 กลุ่ม. แหล่งที่มา: 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 มุลละมณี, สุพรรณ กาญจนสุธรรม, แก้ว นวลฉวี และ นฤมล อินทวิเชียร. 2560. การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิศาสตร์สารสนเทศเพื่อจำแนกพื้นที่ต้นยางพาราด้วยข้อมูลจากดาวเทียม กรณิศศึกษา จังหวัดบึงกาฬ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. 2: 13-26.
- จิรวัดน์ โนดโฮง, ขวัญตรี แสงประชานารักษ์, Chanreaksa Chea, เจษฎา โพธิ์สม, เสรี วงศ์พิเชษฐ, ศุภสิทธิ์ คนใหญ่ และ มหิศร ว่องผาติ. 2562. การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Cired edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข. แก่นเกษตร. 47: 679-694.
- ธัญชา ศิริแก้ว. 2562. การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ปลูกยางพารา กรณิศศึกษา อำเภอหนองไทย จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก.
- ธิดา ยงสถิตศักดิ์, อานันต์ คำภีระ, เกริกชัย ทองหนู, อุดลย์ เบ็ญนัย, พิระพทย์ พิษมงคล ยงเฉลิมชัย และ เอกภักษ์ ใญ่บุญ. 2554. การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม THEOS ในการจำแนกช่วงอายุยางพาราเพื่อประเมินปริมาณไม้ยางพาราสำหรับภาคอุตสาหกรรม กรณิศศึกษากลุ่มแม่น้ำอุตะเนาะ จังหวัดสงขลา. วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). 12: 28-42.
- นิวัตร วรธนนิธกุล และ เบ็ญจรงค์ จิรเศวตกุล. 2549. Crop requirement ยางพารา. กลุ่มส่งเสริมการผลิตยางพาราและปาล์มน้ำมัน, สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร, กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

- 313 เนติ ศรีหาม และ ศิวา แก้วปลั่ง. 2561. การประมาณผลผลิตข้าวโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม MODIS ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม. น. 61-69.
- 314 การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 14 6 – 7 กันยายน 2561. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
- 315 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาสารคาม.
- 316 พิศมัย จันทุมมา, วารุณี บุญนำ, อเนก กุณาละสิริ, ศุภมิตร ลิ้มปิชัย, เฉลิมพงษ์ ขาวช่วง, นภาพรณ เลขะวิวัฒน์, กฤษดา สังข์สิงห์, รัตน์ติ
- 317 ยา พวงแก้ว, ดารุณี โกศัยเสวี, สุรเดช ปัจฉิมกุล, พุฒนา รุ่งระวี, อารักษ์ จันทุมมา และ ศจีรัตน์ แรมลี. 2553. การประเมินการ
- 318 เจริญเติบโตของต้นยางในเขตปลูกยางใหม่. กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยยาง, กรุงเทพฯ.
- 319 ภราดร กาญจนสุธรรม, นิพนธ์ ตั้งธรรม และ เรืองโร โตกฤษณะ. 2557. การประมาณผลผลิตต่อไร่ของข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม
- 320 SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI): กรณีศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และ
- 321 เทคโนโลยี. 22: 55-56.
- 322 รัชมี สุวรรณวีระกัธ, วาสนา พุฒกลาง, อูรวรรณ จันทร์เกษ, พัทยา คำแดง, พงษ์เทพ วรรณรส และสิริพร กมลธรรม. 2555. การ
- 323 ติดตามการขยายพื้นที่เพาะปลูกยางพาราบริเวณจังหวัดมุกดาหาร ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม THEOS. การสัมมนาวิชาการ
- 324 เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศประจำปี 2555 เรื่อง เข้าใจเข้าถึงพื้นที่ด้วยเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ 5-7
- 325 กันยายน 2555. โรงแรมเดอะแกรนด์ริเวอร์ไซด์ จังหวัดพิษณุโลก และโรงแรมอิมพีเรียลภูเก็ตวอลล์ รีสอร์ทเขาคว่ำ จังหวัด
- 326 เพชรบูรณ์.
- 327 วรรณทัย มีลุน, สุภัทร อิศรางกุล ณ อยุธยา และศิวพร ศิลเตโซ. 2560. อิทธิพลของพื้นที่ปลูกต่อการเจริญเติบโตของยางพาราสาย
- 328 พันธุ์ RRIM 600 และ RRIT 251 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. แก่นเกษตร. 45: 325-330.
- 329 วลัยพร ศะศิประภา, นริลักษณ์ วรรณสาย, สุภาพร ราจันติก และ นิชา โปทอง. 2555. ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบ
- 330 นอร์มัลไลซ์กับผลผลิตมันสำปะหลังในจังหวัดกำแพงเพชร. วารสารวิชาการเกษตร. 30: 290-299.
- 331 สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. 2552. ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์.
- 332 พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), กรุงเทพฯ.
- 333 สุคนธ์ทิพย์ เวียนมานะ, สุภาภรณ์ พวงชมภู และ ไพศาล กะกุลพิมพ์. 2557. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตยางพาราในภาค
- 334 ตะวันออกเฉียงเหนือ. แก่นเกษตร. 42: 499-504.
- 335 Al-Gaadi, K., A.A. Hassaballa, E. Tola, A.G. Kayad, R. Madugundu, B. Alblewi, and F. Assiri. 2016. Prediction of Potato
- 336 Crop Yield Using Precision Agriculture Techniques. PLoS ONE. 11: 1-16.
- 337 Balasundram, S., H. Memarian, and R. Khosla. 2013. Estimating oil palm yields using vegetation indices derived from
- 338 QuickBird. Life Science Journal. 10: 851-860.
- 339 Best, J. W. 1977. Research in education: 3rd ed. Englewood Cliffs, Nj: Prentice-Hall.
- 340 Bolton, D., and M. Friedl. 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology
- 341 metrics. Agricultural and Forest Meteorology. 173: 74-84.
- 342 Fox, J., and J. Castella. 2013. Expansion of rubber (*Hevea brasiliensis*) in mainland Southeast Asia: What are the
- 343 prospects for small holders?. Journal of Peasant Studies. 40: 155-170.
- 344 Fox, J., J. Krummel, S. Yarnasarn, M. Ekasingh, and N. Podger. 1995. Land-use and landscape dynamics in Northern
- 345 Thailand: Assessing change in three upland watersheds since 1954. AMBIO A Journal of the Human
- 346 Environment. 24: 328-334.
- 347 Gao, B. 1996. NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space.
- 348 Remote Sensing of Environment. 58: 257-266.

- 349 Ghulam, A., Z. Li, Q. Qin, H. Yimit, and J. Wang. 2008. Estimating crop water stress with ETM+ NIR and SWIR data.
350 Agricultural and Forest Meteorology. 148: 1679-1695.
- 351 Gitelson, A., Y. Kaufman, and M. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from
352 EOS- MODIS. Remote Sensing of Environment. 58: 289-298.
- 353 He, L., and G. Mostovoy. 2019. Cotton Yield Estimate Using Sentinel-2 Data and an Ecosystem Model over the
354 Southern US. Remote Sensing. 11: 2000.
- 355 Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. 25: 295-309.
- 356 Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, and L. Ferreira. 2002. Overview of the radiometric and biophysical
357 performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment. 83: 195-213.
- 358 Jensen, J.R., F. Qiu, and M. Ji. 1999. Predictive modelling of coniferous forest age using statistical and artificial neural
359 network approaches applied to remote sensor data. International Journal of Remote Sensing. 20, 2805-
360 2822.
- 361 Jongschaap, R. 2006. Run-time calibration of simulation models by integrating remote sensing estimates of leaf area
362 index and canopy nitrogen. European Journal of Agronomy. 24: 316-324.
- 363 Jordan, C. 1969. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. Ecology. 50: 663-666.
- 364 Kriegler, F., W.A. Malila, R.F. Nalepka, and W. Richardson. 1969. Preprocessing Transformations and Their Effects on
365 Multispectral Recognition. Proceedings of the 6th International Symposium on Remote Sensing of
366 Environment. 97-131.
- 367 Li, Z., and J.M. Fox. 2012. Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS250 m
368 NDVI and statistical data. Applied Geography. 32: 420-432.
- 369 Praktikantin. 2017. Rubber Farm Economics in Thailand. Available: [https://pugnatorius.com/rubber-farm-](https://pugnatorius.com/rubber-farm-investments/)
370 [investments/](https://pugnatorius.com/rubber-farm-investments/). Accessed Mar.26, 2021.
- 371 Qi, J., A. Chehbouni, A.R. Huete, Y.H. Kerr, and S. Sorooshian. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. Remote
372 Sensing of Environment. 48: 119-126.
- 373 Rahman M.M., A. Robson, and M. Bristow. Exploring the Potential of High Resolution WorldView-3 Imagery for
374 Estimating Yield of Mango. 2018. Remote Sensing. 10: 1866.
- 375 Research and Markets. 2016. Assessment of Thailand's Rubber Industry 2016. Available: [https://www.busines](https://www.businesswire.com/news/home/20161103006207/en/Assessment-of-Thailands-Rubber-Industry-2016---Research-and-Markets)
376 [swire.com/news/home/20161103006207/en/Assessment-of-Thailands-Rubber-Industry-2016---Research-](https://www.businesswire.com/news/home/20161103006207/en/Assessment-of-Thailands-Rubber-Industry-2016---Research-and-Markets)
377 [and-Markets](https://www.businesswire.com/news/home/20161103006207/en/Assessment-of-Thailands-Rubber-Industry-2016---Research-and-Markets). Accessed Mar.26, 2021.
- 378 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.
379 Leite, and A.S. Lorenzon. 2020. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and
380 ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. Industrial Crops and Products. 154.
- 381 Roujean, J.L., and F.M. Bréon. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance
382 measurements. Remote Sensing of Environment. 51: 375-384.
- 383 Somboonsuke, B., C. Kongmanee, N. Thongtrai, and P. Phitthayaphinant. 2018. Potential of para-rubber production
384 in Thailand: Production technology management, problems and suggestions for yield improvement.
385 Kasetsart Journal of Social Sciences. 39: 645-659.

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