

รายงานผลงานเรื่องเต็มการทดลองที่สิ้นสุด

1. แผนงานวิจัย : วิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล
2. โครงการวิจัย : พัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ
กิจกรรม : ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตไม้ผลเศรษฐกิจ
กิจกรรมย่อย (ถ้ามี) : -
3. ชื่อการทดลอง (ภาษาไทย) : ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตมะม่วง
ชื่อการทดลอง (ภาษาอังกฤษ) : Study on Factor of Mango Production
4. คณะผู้ดำเนินงาน
หัวหน้าการทดลอง : นางกฤษณา แสงดี
ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
ผู้ร่วมงาน :
นายอิสวิวัฒน์ บัณฑราภิวัดณ์ : สังกัด ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
นายเกษมศักดิ์ ผลการ : สังกัด สถาบันวิจัยพืชสวน
นางสาวนครินทร์ทิพย์ พุทธสิทธิ์ : สังกัด ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
นายวีรศักดิ์ ขุนชำนาญ : สังกัด ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
นายธีรภัทร ธรรมไชยงกูร : สังกัด ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
5. บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตมะม่วง เป็นการศึกษาระยะยาวที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิตของมะม่วง ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และสระแก้ว โดยได้รวบรวมข้อมูลสภาพอากาศ ดิน การดูแลรักษาในแต่ละพื้นที่ที่มีความหลากหลายซึ่งมีอิทธิพลต่อการให้ผลผลิตของมะม่วง จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแปลงเกษตรกร ข้อมูลเกษตรกร ข้อมูลอุตุวิทยามา ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของมะม่วงที่ระดับนัยสำคัญ .05 ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความเป็นกรดต่างของดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความสูง ความ

กว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด รวมทั้งสร้างสมการถดถอยโลจิสติกส์ เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์และพยากรณ์เชิงพื้นที่ร่วมกับดัชนีพืชพรรณในระบบภูมิสารสนเทศ และนำไปสู่การพยากรณ์เชิงพื้นที่ต่อไป

6. คำนำ

มะม่วง เป็นพืชที่มีศักยภาพการส่งออกสูง มีพื้นที่การผลิตประมาณ 2.09 ล้านไร่ ผลิตได้ 3.14 ล้านตัน ใช้ภายในประเทศประมาณ 3.07 ล้านตัน หรือร้อยละ 98 ในรูปผลสด และส่งออกรวม 73,167 ตันสด มะม่วงมีช่วงการผลิตมากในเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และมีผลผลิตได้ตลอดทั้งปี มีแหล่งเพาะปลูก 5 อันดับแรก คือ จังหวัดพิจนุโลก เลย เชียงใหม่ นครราชสีมา และประจวบคีรีขันธ์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) มะม่วงน้ำดอกไม้ ปลูกมากที่ฉะเชิงเทรา (22,867 ไร่) ประจวบคีรีขันธ์ (16,943 ไร่) ชลบุรี (15,512 ไร่) นครราชสีมา (14,141 ไร่) และเชียงใหม่ (11,892 ไร่) ให้ผลผลิตมากที่สุดในจังหวัดพิจนุโลก (23,624 ตัน) ชลบุรี (21,226 ตัน) ประจวบคีรีขันธ์ (13,561 ตัน) นครราชสีมา (9,526 ตัน) และสระแก้ว (9,087 ตัน) (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2547)

ปัญหาการผลิตไม้ผลของประเทศไทยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ส่วนใหญ่มาจากการขยายพื้นที่เพาะปลูกโดยไม่คำนึงว่าที่ดินเหล่านั้นจะเหมาะสมกับการผลิตหรือไม่ ทำให้ประสบปัญหาและส่งผลกระทบต่อตลาดและราคา รวมถึงสภาพดินฟ้าอากาศที่แปรปรวนในช่วงเดือนที่ไม้ผลกำลังติดดอกออกผล ทำให้ผลผลิตร่วงหล่นเสียหายดังนั้น การวางแผนและนโยบายภาครัฐจึงได้เน้นเรื่องคุณภาพ ปริมาณ และการสร้างมูลค่าเพิ่ม เช่น การส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลผลิตสู่มาตรฐานการผลิตพืช (GAP) และมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ ส่งเสริมเกษตรกรให้รวมกลุ่มเพื่อผลิตไม้ผลในลักษณะแปลงใหญ่ อบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยี ทั้งนี้ การวางแผนดังกล่าวย่อมต้องการข้อมูลสารสนเทศประกอบการตัดสินใจ ข้อมูลสารสนเทศควรถูกต้อง ครบถ้วน ปรับปรุงข้อมูลให้ตรงกับสถานการณ์และสถานภาพที่เป็นปัจจุบัน ซึ่งระบบภูมิสารสนเทศ (Geo information system) สามารถสนองความต้องการดังกล่าว เนื่องจากระบบภูมิสารสนเทศเป็นเทคโนโลยีที่เน้นการบูรณาการระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS : Global Positioning System) การสำรวจและรับรู้จากระยะไกล (RS : Remote Sensing) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS : Geographic Information System) นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้แบบจำลองการผลิตพืช (Crop Model) ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศ เพื่อวิเคราะห์และวางแผนระบบการผลิตพืชที่เหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของตลาด แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันกับเหตุการณ์และวางแผนล่วงหน้าได้ ทั้งนี้ เพื่อให้เกษตรกรได้มีแนวทางเลือกเพาะปลูกพืช และเลือกใช้เทคโนโลยีและการบริหารจัดการการผลิตพืชที่เหมาะสมกับเศรษฐกิจและสังคมท้องถิ่นของเกษตรกร

การวิเคราะห์และประเมินระดับการผลิตไม้ผลจากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม สามารถใช้ประกอบการตัดสินใจวางแผนการผลิตได้เป็นอย่างดี และเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองการผลิตพืช ทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตพืช ทั้งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ เช่น ธาตุอาหารพืช ปุ๋ย น้ำ และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากระบบภูมิสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ผลผลิต สามารถนำไปใช้ในการวางแผนพัฒนาและส่งเสริมแนะนำการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้ผลผลิตต่อไป

การสำรวจและรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุ พื้นที หรือปรากฏการณ์จากเครื่องมือบันทึกข้อมูล โดยปราศจากการเข้าไปสัมผัสวัตถุเป้าหมาย ทั้งนี้ การได้มาของข้อมูลอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางการประยุกต์ข้อมูลจากดาวเทียมกับเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก โดยประเทศไทยได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ชื่อ Thailand earth observation system หรือ THEOS พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานชื่อใหม่เป็น ไทยโชต (Thaichote) ขึ้นไปบันทึกข้อมูล เมื่อต้นปี พ.ศ. 2551 และประเทศไทยได้ร่วมมือกับประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนในการส่งดาวเทียมอเนกประสงค์ขนาดเล็ก (Small Multi Mission Satellite : SMMS) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา วิจัย ออกแบบเทคโนโลยีอวกาศและพัฒนาบุคลากรไทยให้มีศักยภาพในการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และสามารถนำมาประยุกต์กับงานด้านต่างๆ ได้

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ดำเนินการโครงการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดาวเทียม SMMS ดำเนินการตรวจสอบพื้นที่การเกษตรด้วย Spectrum Library ซึ่งเป็นการสร้าง Spectrum Library สำหรับพืชเศรษฐกิจ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย ยางพารา และสับปะรด โดยการวัดค่าอ้างอิงจากในพื้นที่เพาะปลูก เพื่อสร้าง Spectrum และนำไปเปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมแบบ Hyperspectrum ทำให้สามารถทราบได้ถึงพื้นที่ในการเพาะปลูกอย่างชัดเจน รวมทั้ง สามารถแยกแยะช่วงอายุของพืชออกจากกันได้ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลผลิตได้เป็นอย่างดี โดยต้องวัดค่า Spectrum ของพืชในแต่ละช่วงอายุมาสร้าง Spectrum Library เพื่อให้ภาพถ่ายดาวเทียมสามารถแยกแยะและประเมินพื้นที่ที่ให้ผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แบบจำลองการผลิตพืช มาจากการประมวลองค์ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการผลิตพืชที่อาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์ คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เป็นปัจจัยกำหนดการเจริญเติบโต พัฒนาการ และผลผลิตของพืช ดังนั้นแบบจำลองการผลิตพืชจึงต้องการข้อมูลเชิงปริมาณด้านภูมิอากาศ สมบัติของดิน รวมถึงการจัดการเขตกรรม และเนื่องจากความซับซ้อนของปัจจัยและความสัมพันธ์

างๆ เหล่านั้น ทำให้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีบทบาทอย่างสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองของพืชต่างๆ (อรรถชัย, 2545) แบบจำลองการผลิตพืชที่นิยมกันในปัจจุบัน ได้แก่

1) WOFOST เป็นแบบจำลองการผลิตพืชที่พัฒนาขึ้นโดย Center for World Food Studies ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในปี ค.ศ. 1988 ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเพื่อการจำลองการปลูกพืชใน 3 ระดับคือ

- ศักยภาพของผลผลิต (Potential production) ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพืช และ ปัจจัยอื่นๆ เช่น ระดับของรังสี (level of irradiance) อุณหภูมิ (Temperature) เป็นต้น
- ผลผลิตที่อาศัยน้ำฝน (Water- limited production) ผลผลิตผันแปรตามความชื้น (ในดิน)
- ผลผลิตที่ผันแปรตามความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Nutrient- limited production)

2) DSSAT เป็นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย มหาวิทยาลัยมิชิแกน และมหาวิทยาลัยฮาวาย ในปี ค.ศ. 1986 ภายใต้โครงการ IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) ใช้กับไมโครคอมพิวเตอร์ DSSAT เป็นโปรแกรมที่รวมแบบจำลองการปลูกพืชเฉพาะหลายๆ พืช เขาเป็นระบบ โดยผนวกเอาผลทาง ด้านเศรษฐศาสตร์ในการปลูกพืชนั้นๆ ในแต่ละพื้นที่เขาไวด้วย

3) AquaCrop เป็นแบบจำลองพืชที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น สามารถใช้ได้กับพืชหลายชนิด ทั้งพวก ป่าไม้ พืชผัก ธัญพืช ผลไม้ และพืชน้ำมัน ใช้ในการจำลองมวลชีวภาพและผลผลิตของพืชไร่ตามระดับของน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้ โดยต้องมีการปรับแต่งให้เข้ากับพืชชนิดนั้นๆ สามารถวิเคราะห์และสร้างแนวทางการจัดการ เพื่อเพิ่มผลผลิตและการเก็บรักษาน้ำ ปัจจัยที่วิเคราะห์และข้อมูลจากการสำรวจจะส่งผลถึงผลผลิตพืชในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ

ผลผลิตพืชมีอิทธิพลจากปัจจัยหลายๆ อย่างที่เกี่ยวข้องกับดิน สภาพอากาศ ภูมิอากาศ และการดูแลรักษาแปลง เมื่อบูรณาการผลของปัจจัยเหล่านี้กับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมทำให้ทราบถึงการเจริญเติบโตของพืช และสามารถใช้ในแบบจำลองผลผลิตพืช แนวทางการใช้แบบจำลองผลผลิตพืชร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมได้พัฒนามาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว ได้แก่ ดัชนีพืชพรรณ (spectral vegetation indices) โปรไฟล์การเจริญเติบโต (spectral growth profile) และแบบจำลองผลผลิตร่วมกับดัชนีทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิสะสม (Growing Degraded Day : GDD) อุณหภูมิเฉลี่ย (mean Temperature : Tmean) ดัชนีปริมาณฝน (Rainfall index : RI) และ Crop Water Stress Index (CWSI) เป็นต้น

วิทยาการข้อมูล (Data Science) เป็นศาสตร์ในแบบสหสาขาที่เน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์ความรู้ (Knowledge) และความเข้าใจเชิงลึก (Insights) จากข้อมูล (Data) ที่มีหลากหลายรูปแบบ วิทยาการข้อมูลประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล (Statistics & Data Analysis) วิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) ความรู้เฉพาะในแต่ละสาขา (Domain

Experience) สถิติและการเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นกลไกหลักสำคัญในวิทยาการข้อมูล การตั้งคำถามอย่างนักสถิติช่วยให้สามารถนำทรัพยากรข้อมูลมาใช้เพื่อสกัดความรู้ออกมาได้มากที่สุดและได้คำตอบที่ดียิ่งกว่าเดิม แกนกลางหลักของการอนุมานเชิงสถิติคือการสุ่มของข้อมูล (Randomness of Data) ช่วยให้สามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับกระบวนการเบื้องหลังของข้อมูล และทำให้สามารถระบุปริมาณความไม่แน่นอนของคำตอบที่พยายามค้นหาได้ กรอบความคิดทางสถิติช่วยให้นักวิจัยแยกแยะระหว่างสหสัมพันธ์ และความสัมพันธ์เชิงสาเหตุออกจากกันได้และช่วยให้ระบุสิ่งที่ต้องทำเพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในผลลัพธ์ตามที่ปรารถนา กรอบความคิดทางสถิติยังช่วยให้สามารถหาวิธีการในการพยากรณ์และการประมาณค่าซึ่งทำให้ความไม่แน่นอนออกมาเป็นปริมาณได้ และการจะทำเช่นนี้ได้ย่อมต้องอาศัยขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ต้องแสดงพฤติกรรมที่ทำได้แน่นอน และสามารถพยากรณ์ได้แม่นยำ (อาานนท์, 2561)

สมการถดถอยโลจิสติกส์แบบลำดับ (Ordered Logistic Regression) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่มีตัวแปรพยากรณ์ (Y) ซึ่งเป็นตัวแปรแบบลำดับ ขึ้นอยู่กับตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ (X) ซึ่งเป็นตัวแปรแบบใดก็ได้ ดังนั้น โมเดลพื้นฐานมีตัวแปรตามเป็นตัวแปรแฝงที่ไม่สามารถสังเกตได้ (Latent Variable) ดังนี้

$$y_i^* = \Phi(X\beta) + \epsilon$$

กำหนดค่าตัวแปร y เป็น 3 ระดับ

$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } y^* \leq \mu_1 \\ 2 & \text{if } \mu_1 < y^* \leq \mu_2 \\ 3 & \text{if } \mu_2 < y^* \end{cases}$$

โดยที่ y_i = ระดับการให้ผลผลิต (ระดับ 1 = น้อย 2 = ปานกลาง 3 = มาก)

สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของระดับการให้ผลผลิต ได้ดังนี้

$$\text{Prob}(y=1 | x) = \text{Prob}(y^* \leq \mu_1) = \Phi(-\beta x)$$

$$\text{Prob}(y=2 | x) = \text{Prob}(\mu_1 < y^* \leq \mu_2) = \Phi(\mu_2 - \beta x) - \Phi(\mu_1 - \beta x)$$

$$\text{Prob}(y=3 | x) = \text{Prob}(\mu_2 < y^*) = 1 - \Phi(\mu_2 - \beta x)$$

โดยที่ Φ คือ ฟังก์ชันของการกระจายแบบโลจิสติกสะสม (Cumulative Logistic Distribution Function) เมื่อ y เป็นพารามิเตอร์ที่รู้ค่า และถูกประมาณค่าพร้อมกับ β และเมื่อทดสอบโมเดลโดยวิธี

Maximum Likelihood แล้ว ค่าที่อยู่ในแบบจำลองจะเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์กับตัวแปรแฝง (หรือความน่าจะเป็น) ถ้ามีเครื่องหมายบวก แสดงว่าเมื่อปัจจัยต่างๆ (ตัวแปร X_i) เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ค่าตัวแปรแฝงเพิ่มขึ้นด้วย

7. วิธีดำเนินการ

- สิ่งที่ใช้ในการทดลอง

1. แบบสำรวจข้อมูล
2. แบบสัมภาษณ์เกษตรกร
3. แปลงมะม่วงของเกษตรกรในจังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และสระแก้ว
4. เครื่องเจาะดิน
5. อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นในดิน
6. อุปกรณ์ระบุพิกัดตำแหน่งพื้นที่โลก (GPS)
7. อุปกรณ์ตรวจวัดความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (RapiTest)
8. อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด
9. อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มของแสง
10. อุปกรณ์วัดระยะทางแบบอัลตราโซนิก
11. วัสดุสำรวจ (ตลับเมตร, กล้องถ่ายรูป, กล้องส่องทางไกล)
12. วัสดุสำนักงานและคอมพิวเตอร์ (กระดาษ หมึกพิมพ์ Handy Drive ฯลฯ)
13. Data Logger

- แบบและวิธีการทดลอง

1. คัดเลือกพื้นที่ที่จะศึกษาโดยการสุ่มตัวอย่าง
2. สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากแปลงเกษตรกร
3. สัมภาษณ์และรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกร
4. เก็บรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมนิคมวิทยา

- วิธีปฏิบัติการทดลองและบันทึกข้อมูล

1. คัดเลือกพื้นที่ที่จะศึกษา ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และสระแก้ว
2. สุ่มตัวอย่างแปลงที่ต้องการศึกษา จังหวัดละ 10 แปลง
3. สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากแปลงเกษตรกรปีละ 3 ครั้ง ได้แก่ ช่วงระยะก่อนให้ผลผลิต ระยะให้ผลผลิต และระยะหลังให้ผลผลิต

3.1.1 สภาพพื้นที่ปลูก

- พิกัดตำแหน่ง และความลาดเอียงของพื้นที่ : วัดจากอุปกรณ์ระบุพิกัดตำแหน่งพื้นที่โลก (GPS)
- ลักษณะเนื้อดิน : เจาะดินบริเวณรอบต้น 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 จุด แล้วนำดินไปวิเคราะห์ทางกายภาพ โดยใช้วิธีพิจารณาเนื้อสัมผัส
- อุณหภูมิของดิน ความชื้นของดิน : ตรวจวัดอุณหภูมิของดิน และความชื้นของดิน โดยใช้อุปกรณ์เจาะลงในดินบริเวณรอบต้น 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 จุด
- ความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารในดิน ความเป็นกรดต่างของดิน : เจาะดินบริเวณรอบต้น 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 จุด ที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. เก็บตัวอย่างดินไปวิเคราะห์

3.1.2 สภาพของต้นพืช

- ความสูงต้น : วัดระยะความสูง 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 จุด
- ความกว้างทรงพุ่ม : วัดระยะความกว้างของทรงพุ่ม 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 จุด
- ดัชนีความเข้มของสีเขียว (Dark Green Color Index : DGCI) ถ่ายภาพใบ 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 ภาพ นำมาวัดค่า H (Hue), S (Saturation) และ B (Brightness) โดยใช้โปรแกรม Color Picker แล้วคำนวณ DGCI โดยใช้สูตร

$$DGCI = [(H - 60/60) + (1 - S) + (1 - B)]/3$$

- สภาพแวดล้อมในแปลงขณะที่สำรวจ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มของแสง : ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดจากบริเวณรอบต้น 10 ต้นๆ ละ 3 จุด รวมแปลงละ 30 จุด

3.2 สำรวจและรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกร

- จำนวนพื้นที่ปลูกจริง และพื้นที่ที่ให้ผลผลิต
- การให้ผลผลิตในฤดูปลูกที่แล้ว (ปริมาณผลผลิตทั้งหมด พื้นที่ที่ให้ผลผลิต จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ช่วงเดือนที่เก็บเกี่ยวผลผลิต)
- ประมาณการผลผลิตในฤดูปลูกปัจจุบัน(ปริมาณผลผลิตทั้งหมด พื้นที่ที่ให้ผลผลิต จำนวนผลต่อต้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ช่วงเดือนที่เก็บเกี่ยวผลผลิต)
- การดูแลรักษา เช่น การให้น้ำ เวลาใส่ปุ๋ย อัตราปุ๋ยที่ใช้ ความเสียหายจากสาเหตุต่างๆ วิธีป้องกันกำจัดศัตรูพืช สารเคมีที่ใช้ เป็นต้น

3.3 เก็บรวบรวมข้อมูลอุตุนิมวิทยารายวัน

3.3.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในระดับมหภาค ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากศูนย์อุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

3.3.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในระดับจุลภาค ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความชื้น โดยเก็บรวบรวมจากการติดตั้ง Data Logger ในแปลงที่ศึกษาจังหวัดละ 1 แปลง รวม 3 แปลง

4. วิเคราะห์ข้อมูล

4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการให้ผลผลิตกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ผลผลิต ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) สมการถดถอยโลจิสติกส์ (Logistics regression)

ระยะเวลาดำเนินการ ปีเริ่มต้น 2559 – สิ้นสุด 2561

สถานที่ทำการทดลอง

1. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
2. แปลงเกษตรกร จังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และสระแก้ว

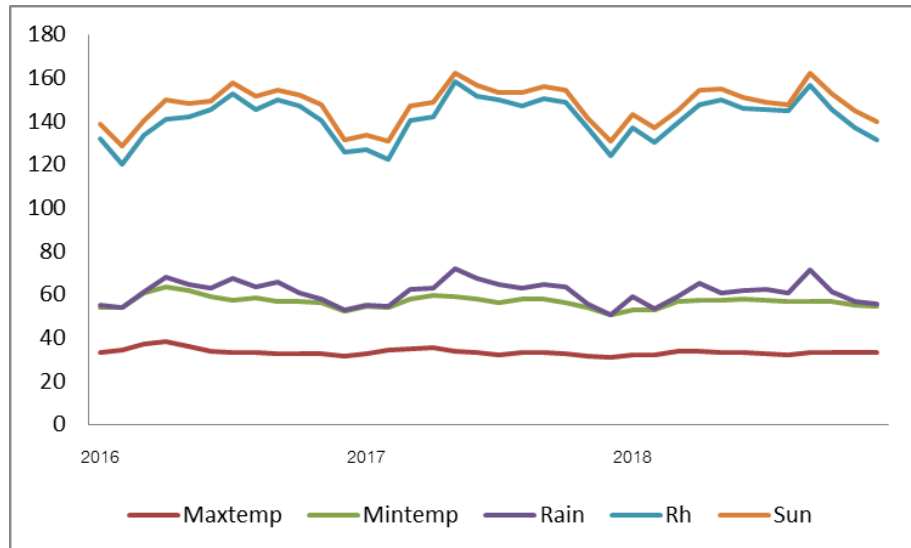
8. ผลการทดลองและวิจารณ์

8.1 ข้อมูลที่นำมาศึกษา

1) ได้ข้อมูลจากแปลงมะม่วงที่ศึกษาใน 3 จังหวัด จำนวน 30 แปลง คือ ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดิน ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน อุณหภูมิของดิน ความชื้นในดิน ความชื้นใต้ทรงพุ่ม อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม ความเข้มแสง ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม ดัชนีความเข้มของสีใบ พิกัดตำแหน่งแปลง ภาพแปลง ภาพต้นและผลผลิต ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล

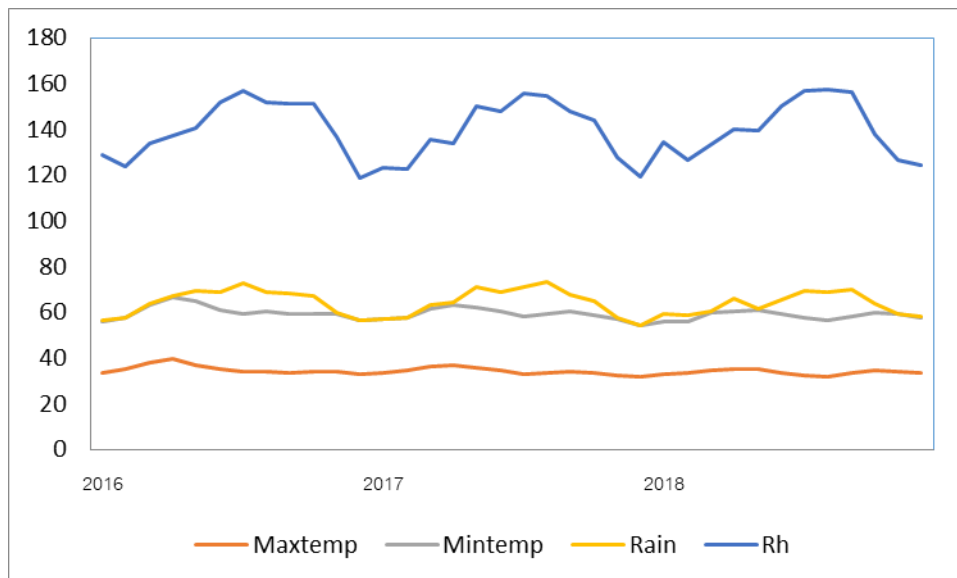
2) เก็บรวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน จากสถานีอุตุนิยมวิทยา ดังนี้

2.1 จังหวัดฉะเชิงเทรา : สถานีอุตุนิยมวิทยาฉะเชิงเทรา ตำบลลาดกระโทง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561



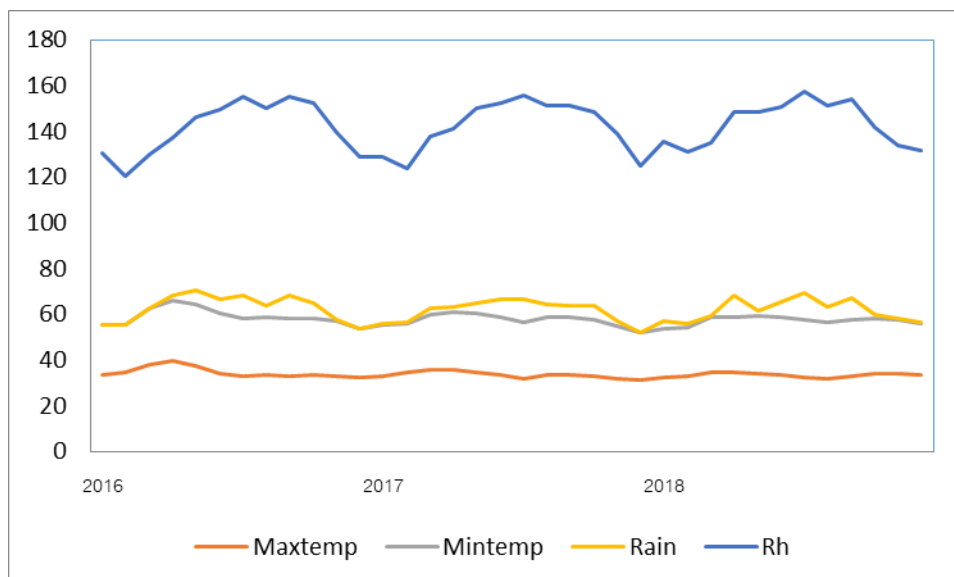
ภาพที่ 1 แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดพะเยา ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561

2.2 จังหวัดปราจีนบุรี : สถานีอุตุนิยมวิทยาปราจีนบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561



ภาพที่ 2 แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดปราจีนบุรี ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561

2.3 จังหวัดสระแก้ว : สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว กลุ่มงานอุตุนิยมวิทยาอุทกสระแก้ว ตำบลสระขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561



ภาพที่ 3 แสดงข้อมูลอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสระแก้ว ตั้งแต่ มกราคม 2559 – ธันวาคม 2561

8.2 การกำหนดระดับการให้ผลผลิตมะม่วง

1) เก็บรวบรวมข้อมูลข้อมูลสถิติผลผลิตมะม่วงของจังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี สระแก้ว ระหว่างปี 2554 – 2558 ปรากฏผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถิติผลผลิตมะม่วง ปี 2554 – 2558 (กิโลกรัม/ไร่)

จังหวัด	ปี 2554	ปี 2555	ปี 2556	ปี 2557	ปี 2558	ค่าเฉลี่ย
จันทบุรี	1,225.47	780.37	675.56	778.92	494.39	790.94
ระยอง	1,103.11	678.69	533.79	687.73	328.4	666.34
ตราด	2,799.23	3,135.38	2,157.91	3,991.06	1,747.02	2,766.12
ค่าเฉลี่ย	1,709.27	1,531.48	1,122.42	1,819.24	856.60	1,407.80

2) กำหนดระดับการให้ผลผลิตมะม่วง ซึ่งเป็นตัวแปรพยากรณ์ (predictor variable) เป็น 3 ระดับ คือ ให้ผลผลิตน้อย ปานกลาง และมาก ปรากฏดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกำหนดระดับการให้ผลผลิตทุเรียน (ตัวแปรพยากรณ์)

ระดับการให้ผลผลิต	ช่วงผลผลิต (กก./ไร่)
1 = น้อย	$\leq 1,400$
2 = ปานกลาง	1,401 – 1,800
3 = มาก	$>1,800$

3) กำหนดความหมายและระดับการวัดของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อระดับการให้ผลผลิต ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความหมายของปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิต (ตัวแปรอิสระ)

ชื่อตัวแปร	ความหมาย	ระดับการวัด
X ₁	ลักษณะเนื้อดิน	1 = ดินทราย 2 = ดินร่วนปนทราย 3 = ดินร่วน 4 = ดินเหนียว
X ₂	การระบายน้ำของดิน	1 = ไม่ดี 2 = ปานกลาง 3 = ดี
X ₃	ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	1 = ต่ำมาก 2 = ต่ำ 3 = ปานกลาง 4 = สูง 5 = สูงมาก
X ₄	ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	1 = น้อยกว่า 6.0 2 = 6.1 – 7.0 3 = มากกว่า 7.0
X ₅	อุณหภูมิดิน	ค่าจริง (องศาเซลเซียส)
X ₆	ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	ค่าจริง (เปอร์เซ็นต์)
X ₇	ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	ค่าจริง (เปอร์เซ็นต์)
X ₈	อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	ค่าจริง (องศาเซลเซียส)
X ₉	ความสูงต้น	ค่าจริง (เซนติเมตร)
X ₁₀	ความกว้างทรงพุ่ม	ค่าจริง (เซนติเมตร)

ชื่อตัวแปร	ความหมาย	ระดับการวัด
X ₁₁	ดัชนีความเข้มของสีใบ	คำนวณจากสูตร (เปอร์เซ็นต์)
X ₁₂	ปริมาณฝน	ค่าจริง (มิลลิเมตร)
X ₁₃	อุณหภูมิสูงสุด	ค่าจริง (องศาเซลเซียส)
X ₁₄	อุณหภูมิต่ำสุด	ค่าจริง (องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละของแปลงมะม่วง จำแนกตามระดับการให้ผลผลิต

จังหวัด	ระดับการให้ผลผลิต	จำนวน (แปลง)	ร้อยละ	สะสม
ฉะเชิงเทรา	น้อย	49	54.4	54.4
	ปานกลาง	24	26.7	81.1
	มาก	17	18.9	100.0
	รวม	90	100.0	
ปราจีนบุรี	น้อย	55	61.1	61.1
	ปานกลาง	26	28.9	90.0
	มาก	9	10.0	100.0
	รวม	90	100.0	
สระแก้ว	น้อย	42	46.7	46.7
	ปานกลาง	38	42.2	88.9
	มาก	10	11.1	100.0
	รวม	90	100.0	

8.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์

1) ปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตมะม่วงจังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ระดับนัยสำคัญ .05 คือ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ระดับความเป็นกรดต่างของดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ (ตารางที่ 5) และสมการ มีดังนี้

$$S = 0.66X_1 + 0.78X_2 + 1.10X_4 + 0.16X_6$$

$$\begin{aligned} \text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "น้อย")} &= \text{Prob (S} \pm u \leq -28.43) \\ \text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "ปานกลาง")} &= \text{Prob (-28.43 < S} \pm u \leq -26.27) \\ \text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "มาก")} &= \text{Prob (-26.27 < S} \pm u) \end{aligned}$$

โดยที่ S = สมการเส้นตรงของ X
 Prob = ความน่าจะเป็นของค่าพยากรณ์
 u = ตัวแปรแฝงที่รับกวนการกระจาย (logistically distributed disturbance)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดฉะเชิงเทรา ปี 2559-2561

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	1.94	0.013*	1.15	3.28
X ₂ การระบายน้ำของดิน	2.18	0.049*	1.00	4.72
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	0.97	0.923	0.56	1.69
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	3.00	0.006*	1.36	6.61
X ₅ อุณหภูมิดิน	1.08	0.538	0.84	1.40
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	1.18	0.018*	1.03	1.35
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.96	0.501	0.85	1.08
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.85	0.394	0.60	1.23
X ₉ ความสูงต้น	1.01	0.055	1.00	1.02
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	0.99	0.097	0.99	1.00
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	1.10	0.187	0.95	1.27
X ₁₂ ปริมาณฝน	0.98	0.606	0.91	1.06

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	1.22	0.395	0.77	1.92
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	1.10	0.544	0.81	1.48

* ระดับนัยสำคัญ .05

2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดปราจีนบุรี ที่ระดับนัยสำคัญ .05 คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความสูงต้น ความกว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด (ตารางที่ 6) และสมการ มีดังนี้

$$S = 0.22X_6 + 0.02X_9 - 0.01X_{10} + 1.01X_{13} - 1.07X_{14}$$

$$\text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "น้อย")} = \text{Prob (S+u} \leq -30.05)$$

$$\text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "ปานกลาง")} = \text{Prob (-30.05 < S+u} \leq -26.13)$$

$$\text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "มาก")} = \text{Prob (-26.13 < S+u)}$$

โดยที่ S = สมการเส้นตรงของ X

Prob = ความน่าจะเป็นของค่าพยากรณ์

u = ตัวแปรแฝงที่รบกวนการกระจาย (logistically distributed disturbance)

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง
จังหวัดปราจีนบุรี ปี 2559-2561

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	0.76	0.653	0.22	2.56
X ₂ การระบายน้ำของดิน	0.81	0.767	0.20	3.34
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	0.69	0.441	0.26	1.79
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	2.05	0.221	0.65	6.49
X ₅ อุณหภูมิดิน	0.89	0.368	0.68	1.15
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	1.25	0.022*	1.03	1.51
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	0.95	0.300	0.87	1.04
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.98	0.777	0.85	1.13
X ₉ ความสูงต้น	1.02	0.005*	1.01	1.04
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	0.99	0.053*	0.98	1.00
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	1.17	0.164	0.94	1.46
X ₁₂ ปริมาณฝน	1.21	0.430	0.75	1.95
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	2.76	0.002*	1.45	5.25
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	0.34	0.002*	0.17	0.69

* ระดับนัยสำคัญ .05

3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดสระแก้ว ที่ระดับนัยสำคัญ .05 คือ การระบายน้ำของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ตารางที่ 7) และสมการ มีดังนี้

$$S = 1.60X_2 + 1.09X_3$$

$$\text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "น้อย")} = \text{Prob (S} \pm u \leq 6.02)$$

$$\text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "ปานกลาง")} = \text{Prob (6.02 < S+u} \leq 9.50)$$

$$\text{Prob (ระดับการให้ผลผลิต = "มาก")} = \text{Prob (9.50 < S+u)}$$

โดยที่ S = สมการเส้นตรงของ X

Prob = ความน่าจะเป็นของค่าพยากรณ์

u = ตัวแปรแฝงที่รบกวนการกระจาย (logistically distributed disturbance)

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์ระหว่างปัจจัยต่างๆ กับระดับการให้ผลผลิตมะม่วง จังหวัดสระแก้ว ปี 2559-2561

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₁ ลักษณะเนื้อดิน	1.37	0.388	0.67	2.78
X ₂ การระบายน้ำของดิน	4.97	0.002*	1.78	13.86
X ₃ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	2.98	0.000*	1.75	5.08
X ₄ ระดับความเป็นกรดต่างของดิน	1.07	0.895	0.37	3.13
X ₅ อุณหภูมิดิน	1.06	0.618	0.83	1.36
X ₆ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ	0.89	0.174	0.75	1.05
X ₇ ความชื้นใต้ทรงพุ่ม	1.05	0.409	0.93	1.18
X ₈ อุณหภูมิใต้ทรงพุ่ม	0.95	0.737	0.72	1.26

ปัจจัย	Adjusted Odds Ratio	p-Value	(95% Conf. Interval)	
			lower	upper
X ₉ ความสูงต้น	1.00	0.946	0.99	1.01
X ₁₀ ความกว้างทรงพุ่ม	1.00	0.531	1.00	1.01
X ₁₁ ดัชนีความเข้มของสีใบ	1.02	0.783	0.88	1.19
X ₁₂ ปริมาณฝน	1.13	0.174	0.95	1.33
X ₁₃ อุณหภูมิสูงสุด	0.70	0.128	0.44	1.11
X ₁₄ อุณหภูมิต่ำสุด	1.09	0.646	0.76	1.56

* ระดับนัยสำคัญ .05

วิจารณ์ผลการทดลอง

มะม่วงมีความสามารถในการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ดีในสภาพความเป็นกรดต่างของดินค่อนข้างจะกว้าง (กรมวิชาการเกษตร, 2552) **เนื้อดินและโครงสร้างดิน**ที่เป็นดินทรายถึงดินร่วนปนทราย ดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และดูดยึดธาตุอาหารได้น้อย หากฝนทิ้งช่วงพืชจะได้รับผลกระทบจากความแห้งแล้งอย่างรวดเร็วและรุนแรง ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากดินค่อนข้างเป็นทราย การมีน้ำท่วมขังทำให้ดินมีการระบายน้ำเลวถึงค่อนข้างเลว จึงต้องทำการปรับปรุงดิน เพื่อเพิ่มการดูดยึดน้ำและธาตุอาหารไว้ในดิน และทำระบบป้องกันน้ำท่วมขัง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

ความสามารถการงอกของละอองเกสร ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการติดผล **อุณหภูมิ**มีผลต่อความมีชีวิต ถ้าอุณหภูมิต่ำลงถึง 16 องศาเซลเซียส หรือสูงถึง 40 องศาเซลเซียส เกสรตัวผู้จะตายหมดไม่สามารถงอกได้เลย (เกษม พวงจิก, 2543)

ความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าสูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลต่อการแตกของอับละอองเกสรได้ หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูง จะเป็นสาเหตุให้มีการระบาดของโรคที่มีเชื้อราเป็นสาเหตุมากขึ้น

ความเครียดของน้ำในดินมีผลต่อการร่วงของดอกและผลเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในช่วงที่มะม่วง ออกดอกและติดผล ในระยะที่เริ่มติดผลและผลอ่อน มะม่วงต้องการน้ำมากจึงจำเป็นต้องให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มะม่วงติดผลได้ดี และสามารถป้องกันผลแตกได้เป็นอย่างดี แต่ถ้ารากได้รับน้ำมากเกินไป เนื่องจาก สภาพน้ำท่วมขังอาจทำให้รากขาดออกซิเจนได้ รากจะไม่สามารถดูดน้ำอันเป็นสาเหตุให้มะม่วงขาดน้ำได้ (เกษม พวงจิก, 2543)

การตัดแต่งกิ่ง ช่วยลดความทึบความทรงพุ่ม ทำให้แสงแดดส่องเข้าถึงในทรงพุ่ม กิ่งที่อยู่ในทรงพุ่มหรือ กิ่งที่ไม่ได้รับแสงแดด มักจะติดผลน้อยกว่ากิ่งที่ได้รับแสง และยังเป็นทีหลบซ่อนของเพลี้ยจักจั่นมะม่วงด้วย

9. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ :

การทดลองนี้ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อระดับการให้ผลผลิตของมะม่วง ได้แก่ ลักษณะเนื้อดิน การระบายน้ำของดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ระดับความเป็นกรดต่างของดิน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งจะได้นำปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ไปวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เพื่อหาความสัมพันธ์กับดัชนีพืชพรรณในระบบภูมิสารสนเทศ และนำไปสู่การพยากรณ์เชิงพื้นที่ต่อไป

10. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ได้ข้อมูลและความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการให้ผลผลิตมะม่วง นักวิจัยสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานและนำไปศึกษาเพิ่มเติม

11. คำขอบคุณ (ถ้ามี)

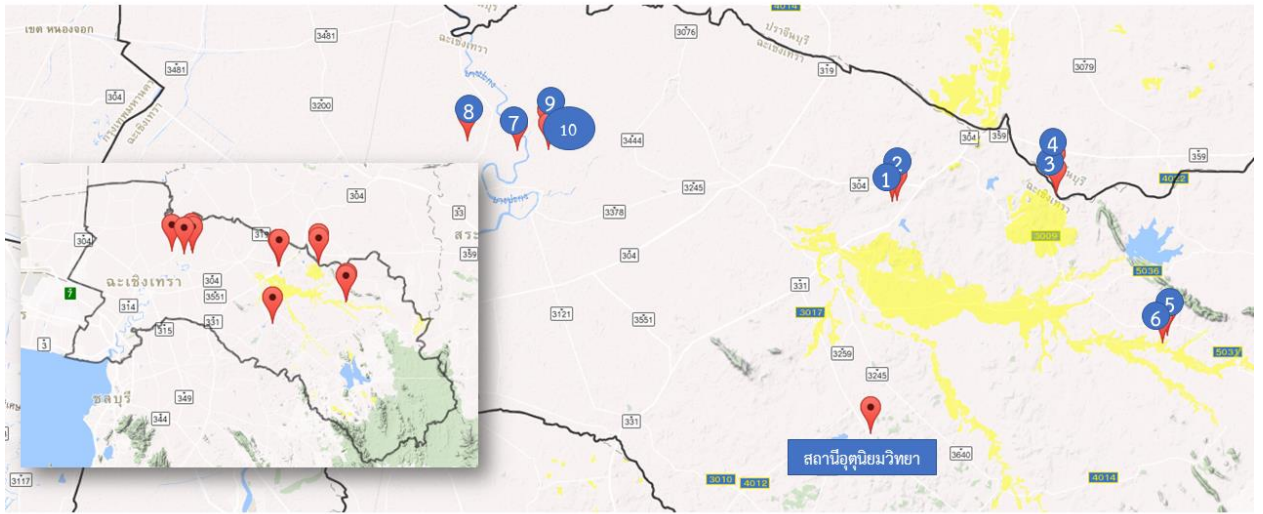
งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของแผนวิจัยและพัฒนาระบบสารสนเทศสู่เกษตรกรดิจิทัล ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำ ปรับแก้งานวิจัยนี้เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กรมส่งเสริมการเกษตร เจ้าหน้าที่ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ขอขอบคุณเกษตรกรแปลงมะม่วงจังหวัดฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี และสระแก้ว ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเป็นอย่างดี ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

12. เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 1 ดินบนพื้นที่ราบต่ำ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 579 หน้า.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 2 ดินบนพื้นที่ดอน. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 1939 หน้า.
- เกษม พวงจิก. 2543. การติดผลของมะม่วง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** (ภาษาไทย) ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2543.
- ภราดร กาญจนสุธรรม, นิพนธ์ ตั้งธรรม และเรืองโร โตกฤษณะ. 2557. การประมาณผลผลิตต่อไร่ของ ข้าวนาปรังด้วยข้อมูลดาวเทียม SMMS โดยใช้ดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (NDVI) : กรณีศึกษา อำเภอเมืองจังหวัดสุพรรณบุรี. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2557.
- ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2556. **โครงการประยุกต์ใช้ ประโยชน์จากดาวเทียมมอเนกประสงค์ขนาดเล็ก (SMMS)**. ที่มา <http://smms.eng.ku.ac.th/>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2556. **เอกสารสถิติ การเกษตร**เลขที่ 402. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 104 หน้า.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2557. **วารสารการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร** ปีที่ 29 ฉบับที่ 2 (มิถุนายน 2557). ที่มา : http://www2.oae.go.th/forecast/page2_th.html
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560. สำนักงาน เศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 215 หน้า.
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2547. พื้นที่การปลูกรวม และ ผลผลิตมะม่วงพันธุ์ต่างๆ ในปี พ.ศ. 2547. กรมส่งเสริมการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำเนาโรเนียว.
- อรรถชัย จินตะเวช และศรีนทิพย์ พรหมฤทธิ. 2545. **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยการประมาณ ผลผลิตอ้อย ด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์**. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตร ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 508 น.
- Ralf Hartmut Güting. 1994. **An Introduction to Spatial Database Systems** Fern Universität Hagen, Germany.
- Satya Priya. 2013. **GIS based crop production model and its application**. RMSI Pvt. Ltd., India.

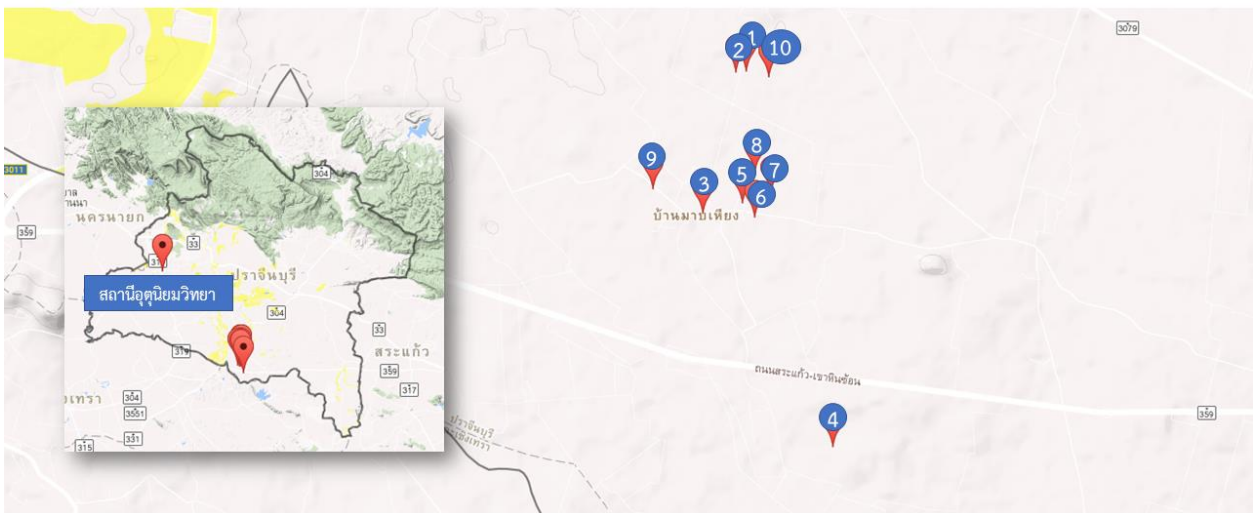
Wang, J., Rich, P.M., & Price, K.P., (2003). **Temporal Responses of NDVI to Precipitation and Temperature in the Central Great Plains, USA.** *International Journal Remote Sensing*, 24(11), 2345-2364.

ภาคผนวก



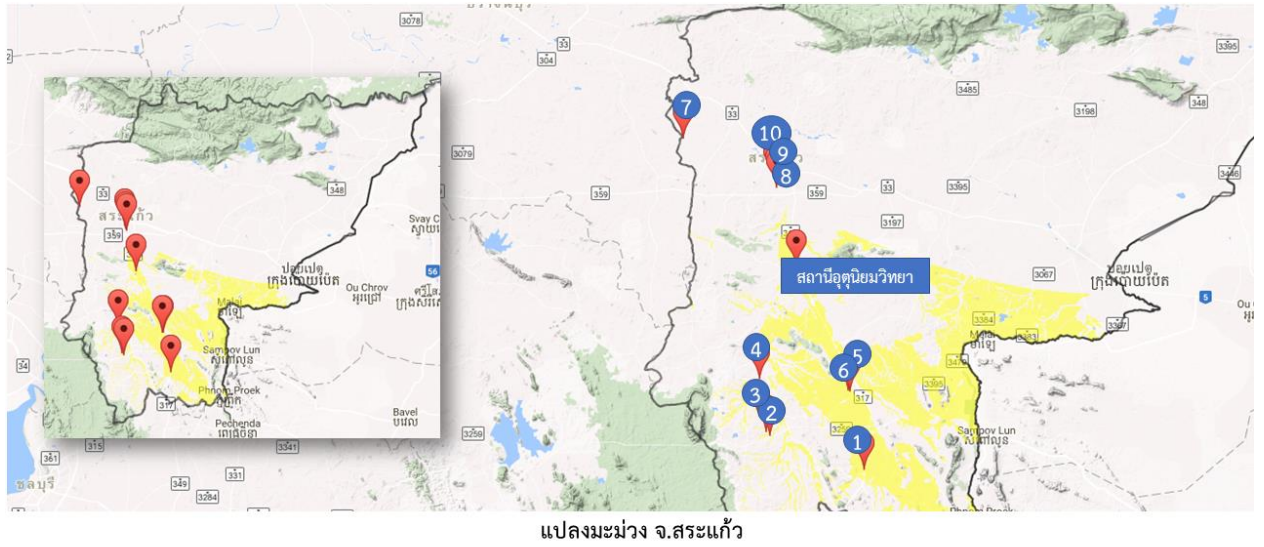
แปลงมะม่วง จ.ฉะเชิงเทรา

ภาพที่ 1 แผนที่แปลงมะม่วงของเกษตรกรจังหวัดฉะเชิงเทรา และสถานีอุดุนิยมวิทยาฉะเชิงเทรา ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา



แปลงมะม่วง จ.ปราจีนบุรี

ภาพที่ 2 แผนที่แปลงมะม่วงของเกษตรกรจังหวัดปราจีนบุรี และสถานีอุดุนิยมวิทยาปราจีนบุรี ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี



ภาพที่ 3 แผนที่ผังแผนที่ของเครือข่ายจังหวัดสระแก้ว และสถานีอุดุนิยมวิทยาสระแก้ว กลุ่มงานอุดุนิยมวิทยา อุทกสระแก้ว ตำบลสระขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดสระแก้ว