

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากโดรนในการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำ และประมาณ
ค่าผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI สำหรับการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์สมัยใหม่

APPLICATION OF DRONE MAPPING AERIAL IMAGERY FOR PRECISION
VARIABLE RATE NITROGEN AND YIELD ESTIMATION USING NDVI ON
MODERN MAIZE CULTIVATION

ภูมิชัย ตรัยดลานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากโดรนในการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำ
และประมาณค่าผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI สำหรับการปลูก
ข้าวโพดอาหารสัตว์สมัยใหม่

ภูมิชัย ตริยดลานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.



(นายภูมิชัย ทรัพย์ดลานนท์)



หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากโดรนในการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำ และ
ประมาณค่าผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI สำหรับการปลูกข้าวโพด
อาหารสัตว์สมัยใหม่

Application of Drone Mapping Aerial Imagery for Precision Variable
Rate Nitrogen and Yield Estimation Using NDVI on Modern Maize
Cultivation

ชื่อ - นามสกุล

นายภูมิชัย ตรีดลานนท์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร

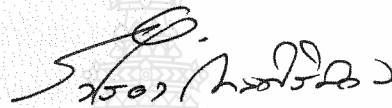
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.

ปีการศึกษา

2565

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรษา ลิบลับ, Ph.D.)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เกรียงไกร แคมสีม่วง, D.Eng.)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)

วันที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2566

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากโดรนในการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำ และ ประมาณค่าผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI สำหรับการปลูกข้าวโพดอาหาร สัตว์สมัยใหม่
ชื่อ – นามสกุล	นายภูมิชัย ตริยดลนันท
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากโดรนในการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำ และประมาณค่าผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI สำหรับการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์สมัยใหม่ โดยการใช้การสะท้อนของภาพถ่ายแบบมัลติสเปกตรัมในคลื่นแสงสีแดง ที่ความยาวคลื่น 668 nm และเนียร์อินฟราเรดที่ความยาวคลื่น 842 nm

ทำการวิจัยในอำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน 2564 พื้นที่ที่ใช้ทดลองขนาด 12,467 m² แบ่งเป็นสองแปลง แปลง A และ B แปลงละ 99 บล็อก ขนาด 6x10 ตรม./บล็อก

ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณากลุ่มตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-100% พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด สามารถประมาณการผลผลิตเมื่อข้าวโพดมีอายุในช่วง 65-82 วัน เนื่องจากพบความสัมพันธ์ระหว่างค่า NDVI กับน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยความสัมพันธ์ 78% ที่ระดับความมั่นใจ 95% และ R² เท่ากับ 61% ด้วยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติถดถอยเชิงเส้นตรง ได้ค่าเท่ากับ $Y = 0.67X - 30.927$ เมื่อประมาณการณ์ผลผลิตบนพื้นที่ทั้งหมด พบว่าค่าการประมาณผลผลิตของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ พบความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.75 และ 1.67 ของผลผลิตของแปลง A และแปลง B ตามลำดับ

คำสำคัญ: การทำแผนที่ทางอากาศ UAVs NDVI ภาพถ่ายความยาวคลื่นหลายคลื่น การประมาณค่าผลผลิตข้าวโพด

Thesis Title	Application of Drone Mapping Aerial Imagery for Precision Variable Rate Nitrogen and Yield Estimation Using NDVI on Modern Maize Cultivation
Name-Surname	Mr. Phoomchai Traidalanon
Program	Agricultural Machinery Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kiattisak Sangpradit, Ph.D.
Academic Year	2022

ABSTRACT

The objective of this research was to apply drone mapping aerial imagery for precision variable rate nitrogen and yield estimation using NDVI on modern maize cultivation by using multi-spectral reflection in red light at a wavelength of 668 nm and near-infrared at a wavelength of 842 nm.

The research was conducted in Wang Noi district, Phra Nakhon Si Ayutthaya province, starting from June to November 2021. The experimental area is 12,467 m², divided into two plots, A and B. Each plot has 99 blocks, and each block has a size of 6x10 m²/block.

The research results were obtained from the data collected on the two plots of land by considering the samples based on the five levels of completeness of the maize canopy in the range of 50-100%. It was found that the relationship between the NDVI value and the weight of maize seeds can estimate the yields when maize is aged in the range of 65-82 days. This is because the correlations between the NDVI values and the weights of maize seeds were in the same direction with a correlation of 78% at a confidence level of 95% and R² of 61%. For the linear regression statistical analysis, the equation was $Y = 0.67X - 30.927$. When estimating yields on the total area, it was found that the maize yield estimation using aerial imagery combined with NDVI of plot A and plot B had errors of 1.75 and 1.67%, respectively.

Keywords: aerial imagery, maize yield estimation, multi-wavelength photograph, NDVI

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบ
ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ที่ได้ให้คำปรึกษา แนวทางการแก้ไขปัญหาและเทคนิคการปรับแต่งในการทำวิทยานิพนธ์ เพื่อให้ผลวิจัย
เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ และได้ให้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้พร้อมทั้งดูแล
และสอบถามถึงความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ตลอดมา ทำให้คณะผู้จัดทำสามารถทำงานสำเร็จลุล่วงไป
ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และ
อุปกรณ์พร้อมทั้งการอำนวยความสะดวกให้แก่คณะผู้จัดทำให้สามารถทำวิทยานิพนธ์ได้อย่างราบรื่น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยให้การสนับสนุนใน
การศึกษา ให้คำปรึกษาและกำลังใจรวมทั้งกระตุ้นให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จและสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ภูมิชัย ตรัยตานนท์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(7)
สารบัญภาพ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	15
1.4 ขั้นตอนวิจัย/กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	16
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวโพด.....	17
2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวโพดอาหารสัตว์.....	24
2.3 การปลูกข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย.....	29
2.4 การเกษตรอัจฉริยะ.....	31
2.5 การวัดผลการเจริญเติบโตพืชด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI).....	35
2.6 โดรน (Drone).....	37
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	47
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	47
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	52
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์.....	68
4.1 ผลของการศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ.....	67
4.2 ผลของการออกแบบระบบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน.....	69
4.3 ผลการทดสอบและประเมินระบบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	77
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก.....	84
ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงาน.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	111



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 พันธุ์ข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ ก.....	25
ตารางที่ 2.2 พันธุ์ข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ ข.....	34
ตารางที่ 3.1 พันธุ์ข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ ค.....	50
ตารางที่ 4.1 ผลความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของชั้นเรือนยอดและความเร็วรอบของเครื่องให้ปุ๋ย.....	70
ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI และน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากแต่ละกริดของแปลง A และ B.....	74
ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละ NDVI และน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด.....	76



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ลักษณะของข้าวโพดหัวบุบ.....	18
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของข้าวโพดหัวแข็ง.....	19
ภาพที่ 2.3 ลักษณะของข้าวโพดหวาน.....	19
ภาพที่ 2.4 ลักษณะของข้าวโพดคั่ว.....	20
ภาพที่ 2.5 ลักษณะของข้าวโพดข้าวเหนียว.....	20
ภาพที่ 2.6 ลักษณะของข้าวโพดแป็ง.....	21
ภาพที่ 2.7 ลักษณะของข้าวโพดป่า.....	21
ภาพที่ 2.8 ลานตากผลผลิตที่นำมาใช้ทำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม.....	27
ภาพที่ 2.9 ยุงเก็บข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.....	28
ภาพที่ 2.10 พันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมกับแต่ละสภาพพื้นที่.....	30
ภาพที่ 2.11 แหล่งผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สำคัญของไทย.....	31
ภาพที่ 2.12 การใช้ AI เพื่อดูแลสุขภาพพืช.....	33
ภาพที่ 2.13 ระดับความละเอียดของภาพถ่ายระหว่างโดรนและดาวเทียม.....	34
ภาพที่ 2.14 การสะท้อนของแสงบนใบแห้งตาย ใบเขียวฉ่ำ และใบสุขภาพดี.....	36
ภาพที่ 2.15 การสะท้อนของแสงในย่านต่าง ๆ ของพืชที่สุขภาพดีและไม่ดี.....	36
ภาพที่ 2.16 ศึกษาการสะท้อนแสงที่เกิดบนใบพืชพร้อมตัวอย่างการคำนวณค่า.....	37
ภาพที่ 2.17 Multicopter UAVs Drones.....	37
ภาพที่ 2.18 Fixed-wing Drones.....	38
ภาพที่ 2.19 Hybrid Model (Tilt-Wing) Drones.....	38
ภาพที่ 2.20 ภาพถ่ายเชิงพื้นที่ด้วยกล้องมัลติสเปกตรัมและตัวอย่างการประมวลผลภาพชนิด NDVI.....	39
ภาพที่ 2.21 DJI AGRAS T10 4 หัวฉีด 4 ใบพัด.....	41
ภาพที่ 2.22 DJI AGRAS T30 16 หัวฉีด 6 ใบพัด.....	41
ภาพที่ 2.23 Hybrid Model (Tilt-Wing) Drones.....	42
ภาพที่ 2.24 การวิเคราะห์ภาพถ่าย multispectral ในพื้นที่เพาะปลูก.....	43
ภาพที่ 2.25 ตำแหน่งและขนาดพื้นที่บริเวณที่เกิดโรคใบต่งในไร่นาสำปะหลัง.....	43
ภาพที่ 2.26 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากโดรนแสดงผลกระทบที่นาข้าวได้รับการปล่อยน้ำเสีย..	44

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 3.1 โดรนสำหรับติดกล้องถ่ายภาพ.....	47
ภาพที่ 3.2 กล้องถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม.....	48
ภาพที่ 3.3 DJI Ground Station Pro	48
ภาพที่ 3.4 โปรแกรม DJI Terra	49
ภาพที่ 3.5 เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์พันธุ์ ซี.พี.303.....	50
ภาพที่ 3.6 ภาพถ่ายจากโดรนแสดงแปลง A และแปลง B	51
ภาพที่ 3.7 โรงงานผลิตเหป่น้ำหยด พร้อมระบบ และผลิตภัณฑ์.....	51
ภาพที่ 3.8 พื้นที่ศึกษาวิจัย.....	52
ภาพที่ 3.9 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินและน้ำในพื้นที่ที่วัดค่าก่อนการเพาะปลูก.....	53
ภาพที่ 3.10 ใส่ปูนขาวปรับสภาพดิน.....	53
ภาพที่ 3.11 การเตรียมดิน.....	53
ภาพที่ 3.12 การปรับสภาพดิน.....	54
ภาพที่ 3.13 การออกแบบแปลงปลูก.....	54
ภาพที่ 3.14 การหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด.....	55
ภาพที่ 3.15 ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถวของการปลูกข้าวโพด.....	55
ภาพที่ 3.16 งานให้ปุ๋ย กำจัดศัตรูพืช วัชพืช.....	55
ภาพที่ 3.17 การตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน.....	56
ภาพที่ 3.18 การตั้งค่าพารามิเตอร์ขั้นสูง.....	56
ภาพที่ 3.19 การ Calibrate the compass ก่อนการขึ้นบิน.....	57
ภาพที่ 3.20 หน้าจอแสดงผลการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์.....	57
ภาพที่ 3.21 การสร้าง New Mission บนโปรแกรม DJI Terra.....	58
ภาพที่ 3.22 การทำภาพมัลติสเปกตรัม.....	58
ภาพที่ 3.23 การสร้างโฟลเดอร์ และอัปโหลดข้อมูลเข้าโปรแกรม.....	59
ภาพที่ 3.24 การประมวลผลภาพมัลติสเปกตรัม.....	59
ภาพที่ 3.25 ภาพ RGB ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA.....	59
ภาพที่ 3.26 ภาพ NDVI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA.....	60
ภาพที่ 3.27 ภาพ GNDVI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA.....	60

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 3.28	ภาพ LCI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA.....	60
ภาพที่ 3.29	ภาพ NDRE ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA.....	61
ภาพที่ 3.30	ภาพ OSAVI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA.....	61
ภาพที่ 3.31	ระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว.....	62
ภาพที่ 3.32	ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ.....	64
ภาพที่ 3.33	ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน.....	65
ภาพที่ 3.34	ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน.....	65
ภาพที่ 3.35	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ในแต่ละกริด ของแปลง B เมื่ออายุ ข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน.....	66
ภาพที่ 3.36	ตัวอย่างค่า NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน.....	67
ภาพที่ 4.1	ภาพถ่าย RGB และ NDVI สำหรับใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณเมื่อข้าวโพดมีอายุ 82 วัน.....	69
ภาพที่ 4.2	ภาพถ่าย RGB และ NDVI สำหรับใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณเมื่อข้าวโพดมีอายุ 96 วัน.....	69
ภาพที่ 4.3	การให้ปุ๋ยตามค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ ความเร็วรอบ ของเครื่องให้ปุ๋ย ก.....	70
ภาพที่ 4.4	การให้ปุ๋ยตามค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ ความเร็วรอบ ของเครื่องให้ปุ๋ย ข.....	71
ภาพที่ 4.5	ภาพถ่ายทางอากาศ ระยะ VE,V3 และ V8 ของแปลง B.....	72
ภาพที่ 4.6	ภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B.....	73
ภาพที่ 4.7	เปอร์เซ็นต์ NDVI ของ 10 กริดกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า NDVI อยู่ในช่วง 50% ถึง 100%..	73
ภาพที่ 4.8	ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติแบบเชิงเส้นถดถอยของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดกับเปอร์เซ็นต์ ดัชนี NDVI.....	75
ภาพที่ 4.9	แสดงผลการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอย ก.....	75
ภาพที่ 4.10	แสดงผลการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอย ข.....	75
ภาพที่ 4.11	แสดงผลการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอย ค.....	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ ความต้องการใช้วัตถุดิบนี้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวของปริมาณการผลิตอาหารสัตว์จนถึงปัจจุบัน ในขณะที่ผลผลิตยังไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ในประเทศ จึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2564-2565 ประเทศไทยนำเข้าวัตถุดิบประเภทข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณ 1.8 ล้านตัน มูลค่ารวมสูงถึง 12,723 ล้านบาท [1] และจากรายงานโครงการ Agricultural Outlook 2021-2030 ขององค์การเพื่อการร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) และ องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่าใน 7 ปีข้างหน้า ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น 116 ถึง 787 ล้านตัน [2]

ในปี 2565 ประเทศไทยผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้เพียง 4.9 ล้านตัน เฉลี่ยเป็น 735 กิโลกรัม/ไร่/รอบ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศที่มีความต้องการใช้ที่ 9 ล้านตัน การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรเนื่องจากมีตลาดรองรับผลผลิต โดยเฉพาะการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา เนื่องจากเป็นพืชอายุสั้นและใช้น้ำน้อย [3]

การเกษตรแบบใหม่ หรือ Smart Farm เป็นการนำเทคโนโลยีมาบริหารจัดการระบบการเพาะปลูก สามารถติดตามและวางแผนการเพาะปลูก เก็บข้อมูลมาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาการปลูกแบบเรียลไทม์ พร้อมแสดงข้อมูลการเจริญเติบโตและสามารถทำนายผลผลิตจากข้อมูลการเพาะปลูกได้ [4] เทคโนโลยีในการสำรวจภาพถ่ายทางอากาศ โดยการใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียม สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค่าดัชนีต่าง ๆ ของพืชพรรณได้ เช่น การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูกด้วย NDVI แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมนั้นยังไม่เหมาะกับพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่า 40 กิโลเมตร [5] ภาพถ่ายทางอากาศจากโดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) จึงมีบทบาทสำคัญเพราะมีความละเอียดของภาพต่อพิกเซลที่สูงกว่าภาพถ่ายทางดาวเทียม เช่น เมื่อถ่ายภาพจากระดับความสูง 100 เมตร จะได้ความละเอียดของภาพ 8 เซนติเมตรต่อพิกเซล เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางดาวเทียมของ Sentinel-2 ที่มีความละเอียดของภาพเพียง 10 ถึง 60 เมตรต่อพิกเซล ในระดับความสูง 40 กิโลเมตร [6] นอกจากนี้การทำฟาร์มแบบเกษตรแม่นยำเป็นหนึ่งในการปฏิวัติทางการเกษตรที่เน้นการบริหารที่ถูกต้องในสถานที่ อัตรา และเวลาที่เหมาะสมทั้งในแง่ของการใช้ปุ๋ยของยาฆ่าแมลง หรือไถพรวนและการชลประทานเพื่อเพิ่มผลผลิตหรือคุณภาพของพืชผลและ ลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง [7]

ดัชนีพืชพรรณ NDVI สามารถคำนวณหาได้จากผลต่างของการการนำค่าสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด และคลื่นแสงสีแดง จากใบพืช โดยถ้าใบพืชมีการสะท้อนของ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดมากจะแสดงให้เห็นว่าพืชมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าพืชที่มีการสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่น้อย [8] แต่ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้ภาพถ่ายจากโดรนที่ใช้กล้องมัลติสเปกตรัมซึ่งยังมีราคาสูงมากในปัจจุบัน เพื่อถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่นแสง เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาดัชนีพืชพรรณเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามยังมีดัชนีพืชพรรณบางตัวที่สามารถการใช้คลื่นแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน หรือ RGB ในการคำนวณหาได้เช่นกันเช่น Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) และ Green Leaf Index (GLI) ณภัทร โรจนสกุล และคณะ ได้ศึกษา การใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบของข้าว โดยการถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตรเหนือทรงพุ่มต้นข้าวที่ช่วงอายุ 20, 40, 60, 80 และ 100 วัน หลังปลูก แต่แต่ละครั้งจะถ่ายภาพ 3 ช่วงเวลา คือ 08:00, 12:00 และ 16:00 น. วัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ อัตโนมัติ พบว่าการวัดพื้นที่ใบข้าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเจริญเติบโตของข้าวโดยไม่มีการทำลายตัวอย่างพืชนั้นมีความแม่นยำที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งมีแสงสว่างที่สุด แต่โดยรวมแล้วยังคงไม่มีความแม่นยำมากพอ เนื่องจากยิ่งพืชมีการเจริญเติบโตจะยิ่งมีใบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการซ้อนทับกัน ทำให้การวิเคราะห์คาดเคลื่อนตามไปด้วย [9] สุริพร ขอนพิกุล และคณะ ศึกษา การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยและแนวทางการลด เพื่อการผลิตรายยั่งยืน โดยพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ปัจจุบันมีมากถึง 1.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สาเหตุหลักเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร้อยละ 83 และมาจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรร้อยละ 17 นอกจากนี้ วิธีการปลูกของประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากปลูกในพื้นที่ลาดชันและอยู่ในเขตป่าไม้ ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันจากการเผาป่าและไร่ข้าวโพด อีกทั้งยังเป็นการสูญเสียพื้นที่ป่าอนุรักษ์ต้นน้ำ พบว่าการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ราบและในพื้นที่ที่เหมาะสมนั้น จะช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ใช้ปุ๋ยและสารเคมีกำจัดวัชพืชในปริมาณที่เหมาะสม ส่วนแนวทางแก้ปัญหาหมอกควันทางอากาศ ปัญหาหมอกควันที่เกิดจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ต้องมีการหาแนวทางเพื่อการจัดการเศษวัสดุด้วยการนำไปแปรรูปทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF) หรือการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) จากการวิจัยนี้ การปรับปรุงในสถานการณ์จำลองโดยการใช้ปุ๋ยสั่งตัด สามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 22 และปรับปรุงโดยการใช้ปุ๋ยสั่งตัดร่วมกับการย้ายพื้นที่ปลูกและการจัดการชีวมวลอย่างถูกต้องเหมาะสม พบว่าจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 48 [10] ปาณทัช เจิมโสธง และ คณะ ได้ศึกษา การตอบสนองของดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอัมัลไลซ์ต่อปุ๋ยไนโตรเจน ในข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งทำการบันทึกภาพถ่ายสีผสมจริงและภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น เมื่อข้าวโพดมีการเจริญเติบโตในระยะ R1 ซึ่งมีอายุ 66 วัน

จากผลการคำนวณค่า NDVI พบว่าพื้นที่บริเวณร่องทางเดินระหว่างแปลงมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.16 และพื้นที่บริเวณต้นข้าวโพดที่มีทรงพุ่มเปี่ยมมีค่ามากที่สุดคือ 0.96 โดยการตอบสนองค่า NDVI ต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้มีการทดสอบการให้ปุ๋ย 4 ตำรับ และมีผลผลิตดังนี้ ตำรับ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ให้ผลผลิต 401.65 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับตำรับ 2, 3 และ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 8, 20 และ 32 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 969.64, 1,306.22 และ 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยการให้ปุ๋ยมากกว่า 20 กิโลกรัมต่อไร่ไม่ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ การทดสอบนี้เมื่อถึงระดับหนึ่งข้าวโพดข้าวเหนียวจะเริ่มตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในรูปผลผลิตน้อยลง แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับผลผลิตยังอยู่ในระดับมีความสัมพันธ์มาก [11]

ปริยานันท์ สวนทับทิม และคณะ ได้ศึกษา การประเมินผลผลิตอ้อยด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล ในจังหวัดนครสวรรค์ โดยดัชนีพืชพรรณที่นำมาใช้คือ NDCI, NDRE, NDVI ซึ่งพบว่าดัชนี NDRE มีความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อยดีที่สุด และอายุอ้อย 8-10 เดือน ค่าความแม่นยำของประมาณการผลิตดีที่สุด การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน SMLR มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เทคนิคแปลงแบบ PCA โดยถ้าผลผลิตอ้อยสูงขึ้น ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง โดยการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยวิธี SMLR จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงกว่าการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยดัชนีพืชพรรณ [12]

จิรวรรณ โนดโธสง และคณะ ได้ศึกษา การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Clred edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข ได้ใช้กล้องแบบหลายช่วงคลื่น ได้แก่คลื่นสีแดง เขียว น้ำเงิน NIR และ Red Edge ติดตั้งไว้กับเครื่องอากาศยานไร้คนขับทำการถ่ายภาพและรวบรวมภาพเพื่อประมวลผลและคำนวณค่าดัชนี พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่าการใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ Clred edge) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขมาทำนายผลผลิตอ้อยมีค่า $r = 0.77, 0.78$ และ 0.87 ตามลำดับ ค่าดัชนีทั้ง 3 ค่า สมการที่ทำนายผลผลิตอ้อยได้ดีที่สุดคือ ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข [14]

Etienne David และคณะ ได้ทำการศึกษาการตรวจจับ และการนับพืชจากภาพ RGB ความละเอียดสูงที่ได้รับจาก UAV: การเปรียบเทียบระหว่างวิธี Deep Learning กับ Handcrafted ในข้าวโพด บัณฑิตา และพืชทานตะวัน โดย Deep Learning (DL) จะให้ Machine ฝึกกับรูปภาพที่เลือกมาที่ Represent แต่ละช่วงการเติบโตของพืช และ Handcrafted (HC) จะมีกฎเกณฑ์ต่างๆ เช่น แบ่งส่วนพิกเซลของสีเขียวกับพื้นหลัง แยกแถวและ Object ที่เกี่ยวกับพืชจากความรู้การหว่าน ผลคือ DL ทำได้ดีกว่าโดยเฉพาะข้าวโพดและทานตะวัน แต่ปัญหาของทั้ง 2 วิธีคือจะทำงานได้แย่งถ้าคุณภาพของรูปไม่ดี และสำหรับ DL จะทำงานได้แย่งถ้ามีวัชพืช ดังนั้นจึงมีวิธีที่ 3 คือ Hybrid (HY) จะใช้กฎของ HC มาร่วมด้วย ซึ่งทำให้ทำงานดีกว่า DL เล็กน้อย หลังจากนั้นจึงใช้ Active learning คือการเพิ่มภาพที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขของชุดข้อมูลเพื่อฝึกฝน DL จะทำให้พัฒนาประสิทธิภาพได้ดีมาก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ยังไม่พบงานวิจัยเกี่ยวกับการประมาณค่าผลผลิตด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI ในการปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือการหาค่าความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ และประมาณการผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน รวมถึงการใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการผลิต ที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ทั้งในด้านการคัดเลือก พื้นที่ปลูก การจัดการดิน ปุ๋ยและน้ำ การจัดการศัตรูพืช รวมถึงการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและสร้างแผนที่ทางภูมิศาสตร์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศแบบไร้คนขับ
- 1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและผลผลิตของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดร่วมกับค่าดัชนีพืชพรรณและการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ
- 1.2.3 เพื่อทำนายผลผลิตของข้าวโพดอาหารสัตว์เลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ถ่ายภาพทางอากาศด้วยยานพาหนะทางอากาศแบบไร้คนขับทุก 14 วัน
- 1.3.2 สร้างแผนที่ทางภูมิศาสตร์ทางอากาศ และคำนวณดัชนีพืชพรรณในโปรแกรม QGIS
- 1.3.3 เพิ่มการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำเมื่อข้าวโพดอายุ 25 วัน เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยแบบดั้งเดิม 2 ครั้ง ในระยะข้าวโพดอายุ 14 วัน และ 40 วัน
- 1.3.4 ข้าวโพดพันธุ์ ซี.พี.303 ปลูกบนแปลงทดสอบในพื้นที่อำเภอดงหลวง จังหวัดสุพรรณบุรี พื้นที่จำนวน 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่

1.4 ขั้นตอนวิจัย/กรอบแนวคิดในการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายภาพทางอากาศ และค่าดัชนีพืชพรรณ
- 1.4.2 ประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในการให้ปุ๋ย พร้อมกับการทำนายผลผลิตของข้าวโพดอาหารสัตว์
- 1.4.3 ทดสอบและประเมินการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน
- 1.4.4 สรุปผลการทดสอบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรนและผลการทำนาย
- 1.4.5 ระบบปลูกแบบน้ำหยด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้องค์ความรู้การให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำเพื่อให้เกษตรกรนำไปใช้ในไร่ข้าวโพดอาหารสัตว์
- 1.5.2 ได้รับข้อมูลอ้างอิงในการประเมินความแม่นยำในการใส่ปุ๋ยให้ตรงกับความต้องการและสามารถประมาณการณปริมาณผลผลิตที่ได้ของข้าวโพดอาหารสัตว์
- 1.5.3 สามารถช่วยเกษตรกรเพิ่มผลผลิตจากการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ และช่วยบำรุงฟื้นฟูสภาพดิน
- 1.5.4 ช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการที่จะทำงานวิจัยนั้นมีความจำเป็นต้องทราบถึงข้อมูลเอกสารหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในแต่ละเรื่องให้เข้าใจก่อนที่จะลงมือออกแบบ สร้าง หรือทดสอบระบบและอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดข้อผิดพลาดให้น้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุนการผลิตในการออกแบบ และสร้างระบบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน

2.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวโพด

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชตระกูลหญ้ามีอายุสั้นเพียงฤดูเดียวเจริญเติบโตได้ง่าย ลำต้นสีเขียวจะมีลักษณะที่ตั้งตรงแข็งแรง อวบน้ำ มีแกนเนื้อคล้ายฟองน้ำ มีข้อและปล้อง มีขนหยาบปกคลุม ส่วนใบมีลักษณะยาวรี ก้านใบออกหุ้มรอบลำต้น มีขนสีเขียวเล็กปกคลุม ออกดอกเป็นช่อโดยดอกตัวเมียมีลักษณะทรงกรวยยาวมีกาบบาง ๆ มีสีเขียวหลายชั้นล้อมรอบ มีเส้นคล้ายเส้นไหมยาวสีน้ำตาลม่วงอ่อน สีม่วงอ่อน หรือสีเหลืองส้ม โดยจะออกอยู่ด้านบนเป็นกระจุก ก้านช่อดอกจะสั้น ดอกออกตามกาบของใบและลำต้น ตัวผู้จะออกดอกปลายยอดและมีดอกย่อยเล็ก ๆ ซึ่งมีเกสรสีเหลืองเบาปลิวกระจายได้ ส่วนผลจะมีลักษณะเป็นฝักทรงกระบอกหุ้มด้วยกาบบาง ๆ หลายชั้น ในช่วงเป็นฝักอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อกลายเป็นฝักแก่กาบจะแห้งมีสีน้ำตาล ข้างในจะมีเส้นคล้ายเส้นไหมยาวหุ้มเมล็ดอยู่ประปรายและมีเมล็ดทรงกลมแบนเล็ก ๆ เรียงอยู่สม่ำเสมอ เยื่อหุ้มเมล็ดผิวเรียบบางใสโดยมีสีแตกต่างกันตามสายพันธุ์ เช่น สีขาว สีเหลือง สีขาวหรือสีม่วงดำ มีรสชาติหวานมัน เมล็ดเมื่อยังอ่อนอยู่มีเนื้อนุ่มฉ่ำน้ำและเมื่อแก่แล้วจะแข็งมาก สามารถนำมาทำเครื่องดื่มต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังนำมาประกอบอาหารต่าง ๆ ได้หลายเมนู ประเทศไทยมีสายพันธุ์ที่นิยมปลูกหลายสายพันธุ์ โดยพันธุ์ข้าวโพดหวาน [13] จะเป็นที่นิยมมากที่สุด

2.1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าวโพด

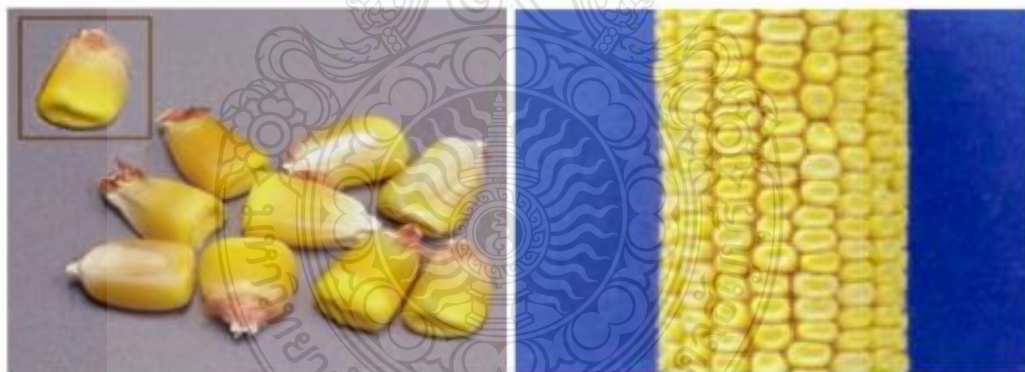
ข้าวโพดเป็นพืชจำพวกหญ้า หลังจากข้าวโพดเจริญเติบโต ได้ประมาณ 7 - 10 วัน รากถาวรจะงอกขึ้นรอบ ๆ ข้อปลานในระดับใต้พื้นดินประมาณ 1 - 2 นิ้ว รากถาวรนี้ เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แผ่ออกไปโดยรอบประมาณ 100 เซนติเมตร รากของข้าวโพดเป็นระบบรากฝอย (Fibrous Root System) นอกจากรากที่อยู่ใต้ดินแล้ว ยังมีรากยึดเหนี่ยว (Brace Root) ซึ่งเกิดขึ้นรอบ ๆ ข้อที่อยู่ใกล้ผิวดิน มีลำต้นตั้งตรงแข็งแรง เนื้อภายในพามคล้ายฟองน้ำสูงประมาณ 1.4 เมตร ลำต้นมีข้อ (Node) และปล้อง (Internode) ปล้องที่อยู่ในดินและใกล้ผิวดินสั้น และจะค่อย ๆ ยาวขึ้นไปทาง ด้านปลาย ปล้องเหนือพื้นดินจะมีจำนวนประมาณ 8 - 20 ปล้อง ลำต้นสดมีสีเขียว ใบยาวรี

เป็นเส้นตรงปลายแหลม ยาวประมาณ 30 - 100 ซม. เส้นกลางของใบจะเห็นได้ชัด ตรงขอบใบมีขนอ่อน ๆ มีสีเขียว ลักษณะของใบ รวมทั้งสีของใบแตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของพันธุ์บางพันธุ์ใบสีเขียว บางพันธุ์ใบสีม่วงและบางพันธุ์ใบลาย จำนวนใบก็เช่นเดียวกันอาจมีตั้งแต่ 8 - 48 ใบ ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่ในต้นเดียวกัน ช่อดอกตัวผู้อยู่ส่วน ยอดของลำต้น ช่อดอกตัวเมียอยู่ต่ำลงมาอยู่ระหว่างกาบของใบ และลำต้น ช่อดอกตัวผู้ (Tassel) อยู่ตอนบนสุดของลำต้น ดอกตัวผู้ดอกหนึ่งจะมีอับเกสร (Anther) 3 อับ ส่วนดอกตัวเมียอยู่รวมกันเป็นช่อ เกิดขึ้นตอนข้อกลางๆ ลำต้น ฝักเกิดจากดอกตัวเมียที่เจริญเติบโตแล้ว ฝักอ่อนจะมีสีเขียว พอแก่เป็นสีนวล [14]

2.1.3 ชนิดของข้าวโพดแบบจำแนกทางพฤกษศาสตร์ [15][16]

การจำแนกทางพฤกษศาสตร์การจำแนกแบบนี้ถือเอาลักษณะของแป้งและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นหลัก จำแนกออกเป็น 7 ชนิด

2.1.3.1 ข้าวโพดหัวบุบ (Dent Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays Indentata* เมล็ดตอนบนมีรอยบุบ เนื่องจากตอนบนมีแป้งอ่อน ๆ และตอนข้าง ๆ เป็นแป้งชนิดแข็ง เมื่อบดเมล็ดให้แห้ง แป้งอ่อนจะยุบหดตัวลง จึงเกิดลักษณะหัวบุบดังกล่าว (ภาพที่ 2.1) ขนาดของลำต้น ความสูง เหมือนข้าวโพดไร่ทั่วไป สีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลืองหรือสีอื่น ๆ แล้วแต่พันธุ์นิยมปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกา



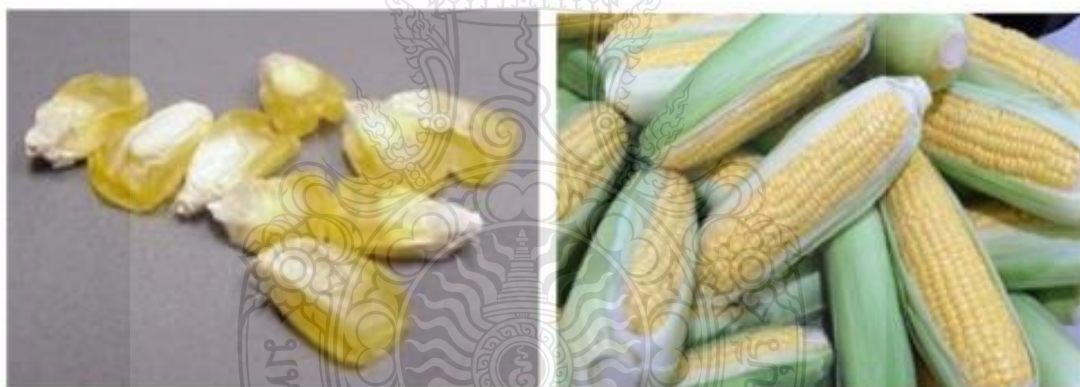
ภาพที่ 2.1 ลักษณะของข้าวโพดหัวบุบ [16]

2.1.3.2 ข้าวโพดหัวแข็ง (Flint Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays Indurata* เมล็ดมีแป้งแข็งห่อหุ้มโดยรอบ หัวเรียบไม่บุบเมล็ดค่อนข้างกลม (ภาพที่ 2.2) มีปลูกกันมากในเอเชียและอเมริกาใต้ ข้าวโพดไร่ของคนไทยที่นิยมปลูกกันอยู่เป็นชนิดนี้ทั้งสีของเมล็ดอาจเป็นสีขาว สีเหลือง สีม่วง หรือสีอื่น แล้วแต่พันธุ์



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของข้าวโพดหัวแข็ง [16]

2.1.3.3 ข้าวโพดหวาน (Sweet Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays Saccharata* นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลาย เพื่อรับประทานฝักสด เพราะฝักมีน้ำตาลมาก ทำให้มีรสหวานเมื่อแก่เต็มที่ หรือแห้งเมล็ดจะหดตัวเหี่ยวยุ่น (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของข้าวโพดหวาน [16]

2.1.3.4 ข้าวโพดคั่ว (Pop Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays Everta* เมล็ดมีขนาดเล็ก มีแป้งประเภทแข็งอยู่ภายใน ภายนอกห่อหุ้มด้วยเยื่อที่เหนียวและยึดตัวได้เมล็ดมีความชื้นภายในอยู่พอสมควร เมื่อถูกความร้อนจะเกิดแรงดันภายในเมล็ดระเบิดตัวออกมาเมล็ดอาจมีลักษณะกลม หรือหัวแหลมก็ได้มีสีต่าง ๆ กัน เช่น เหลือง ขาว ม่วง (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 ลักษณะของข้าวโพดคั่ว [16]

2.1.3.5 ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy Corn) ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays ceratina* เมล็ดมีแป้งอ่อนคล้ายแป้งมันสำปะหลังนิยมปลูกเพื่อรับประทานฝักสดคล้ายข้าวโพดหวานแม้จะไม่หวานมากแต่เมล็ดนี้มึน รสอร่อย ไม่ติดฟัน เมล็ดมีสีต่าง ๆ กัน เหลือง ขาว ส้ม ม่วง หรือมีหลายสีในฝักเดียวกัน (ภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของข้าวโพดข้าวเหนียว [16]

2.1.3.6 ข้าวโพดแป้ง (Flour Corn) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays Amylocea* โดยเมล็ดประกอบด้วยแป้งชนิดอ่อนมาก เมล็ดค่อนข้างกลมหัวไม่บุบ หรือบุบเล็กน้อย (ภาพที่ 2.6) นิยมปลูกในอเมริกาใต้ อเมริกากลางและสหรัฐอเมริกา ชาวอินเดียนแดงนิยมปลูกไว้รับประทานเป็นอาหาร



ภาพที่ 2.6 ลักษณะของข้าวโพดแป้ง [16]

2.1.3.7 ข้าวโพดป่า (Pod Corn) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea Mays Tunica* มีลักษณะใกล้เคียงข้าวโพดพันธุ์ป่า มีลำต้น และฝักเล็กกว่าข้าวโพดธรรมดา ขนาดเมล็ดค่อนข้างเล็กเท่า ๆ กับเมล็ดข้าวโพด มีข้าวเปลือกหุ้มทุกเมล็ด และยังมีเปลือกหุ้มฝักอีกชั้นหนึ่งเหมือนข้าวโพดธรรมดาทั่วไป เมล็ด มีลักษณะต่าง ๆ กัน (ภาพที่ 2.7) ข้าวโพดชนิดนี้ไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจปลูกไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น



ภาพที่ 2.7 ลักษณะของข้าวโพดป่า [16]

2.1.4 ชนิดของข้าวโพดแบบจำแนกตามวัตถุประสงค์การปลูก [15]

การจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการปลูก อาจจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิด

2.1.4.1 ข้าวโพดใช้เมล็ด (Grain Corn) ปลูกเพื่อเก็บเมล็ดแก่ใช้เป็นอาหารหรือทำอุตสาหกรรม

2.1.4.2 ข้าวโพดหมัก (Silage Corn) ปลูกเพื่อตัดต้นสดมาหมักใช้เป็นอาหารสัตว์

2.1.4.3 ข้าวโพดอาหารสัตว์ (Fodder Corn) ปลูกเพื่อตัดต้นสดไปใช้เลี้ยงสัตว์

2.1.4.4 ข้าวโพดฝักอ่อน (Baby Corn) นิยมปลูกเพื่อเก็บฝักอ่อนไปใช้ในการปรุงอาหาร

2.1.5 แหล่งปลูก

2.1.5.1 ข้าวโพดสามารถปลูกได้อย่างกว้างขวางทั่วโลกตั้งแต่ละติจูดที่ 58 องศาในประเทศแคนาดา ผ่านเขตโซนร้อนลงมาถึงเขตตอนใต้ประมาณละติจูดที่ 35-40 ข้าวโพดสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนพื้นที่ซึ่งมีระดับเดียวกันกับน้ำทะเลไปจนถึงพื้นที่ที่มีระดับสูงกว่าน้ำทะเล 3000-3900 เมตร ในประเทศเปรูและเม็กซิโก แหล่งผลิตข้าวโพดสำคัญ ๆ เรียงตามการผลิตจากมากไปน้อยคือ สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต รัสเซีย เม็กซิโก สหภาพแอฟริกาใต้ อาร์เจนตินา โรมาเนีย ยูโกสลาเวีย อินเดีย อิตาลี ฝรั่งเศส และอินโดนีเซีย

2.1.5.2 สำหรับในประเทศไทยอาจกล่าวได้ว่า ข้าวโพดสามารถปลูกได้ดีทุกภาค จังหวัดที่ผลิตข้าวโพดมากในแต่ละภาคเรียงตามปริมาณการผลิตจากมากไปหาน้อย ดังนี้ ภาคกลาง เพชรบูรณ์ ลพบุรี นครสวรรค์ สระบุรี พิษณุโลก พิจิตร สุโขทัย และปราจีนบุรี ภาคเหนือ แพร่ น่าน เชียงราย และเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ขอนแก่น และชัยภูมิ และภาคใต้ปลูกมากที่สุดที่ สงขลา สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช

2.1.6 ฤดูปลูกของข้าวโพด

ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่ค่อนข้างทนทานปลูกง่ายในสภาพดินฟ้าอากาศของเมืองไทย ถ้ามีน้ำเพียงพอจะสามารถปลูกข้าวโพดได้ตลอดปี การปลุกส่วนใหญ่อาศัยน้ำจากน้ำฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ดังนั้นฤดูปลูกข้าวโพดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับจำนวนน้ำฝน และการกระจายตัวของฝนในแต่ละเดือนปกติเฉลี่ยโดยทั่ว ๆ ไป ฝนจะเริ่มตกมากตั้งแต่เดือนมีนาคม พฤศจิกายน และระหว่างสิงหาคมถึงกันยายนเป็นช่วงที่ฝนตกชุกที่สุด พันธุ์ข้าวโพดที่นิยมปลูกกันอยู่ในปัจจุบันมีอายุปานกลางคือ ประมาณ 110-120 วัน ดังนั้นจึงอาจเลือกปลูกข้าวโพดได้ตามความเหมาะสมถ้าปีใดมีฝนตกสม่ำเสมอตั้งแต่ต้นปี อาจปลูกข้าวโพดได้ 2 ครั้ง คือ ครั้งแรกปลูกในระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงกลางเดือนสิงหาคมสำหรับที่ปลูกในฝนโดยทั่ว ๆ ไป มักได้ผลิตผลสูงกว่าที่ปลูกปลายฤดูฝน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำฝนกำลัง

พอเหมาะ โรคและแมลงรบกวนน้อย แต่มีข้อยุ่งยากในการเก็บเกี่ยว ไม่สะดวกแก่การตากข้าวโพด เนื่องจากฝนตกชุก

2.1.7 การเลือกและการเตรียมที่ปลูก

ที่ดินที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดควรเป็นที่ดินมีการระบายน้ำได้ดี ถ้าเป็นที่ลุ่มควรยกร่องระบายน้ำอย่าให้น้ำขัง ข้าวโพดขึ้นได้ดีในดินร่วนปนทรายที่ระบายน้ำได้ดี มีความอุดมสมบูรณ์ของดินและปริมาณแร่ธาตุอาหารสูงพอสมควร ดินมีความเป็นกรดเป็นด่างปานกลาง (ค่า PH ประมาณ 5.5-8) หรือค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย นอกจากนี้ข้าวโพดยังเป็นพืชที่ปลูกได้ดีบนพื้นที่ลาดเอียงหรือสูง ๆ ต่ำ ๆ อีกด้วย ข้อควรระวังคือดอกตัวเมียแสดงให้เห็นเส้นไหมโยงติดต่อกับรังไข่ ซึ่งเมื่อได้รับการผสมละอองเกสร จะเจริญเติบโตเป็นเมล็ดต่อไป

2.1.8 วิธีการปลูก

ก่อนปลูกข้าวโพดต้องมีการเตรียมดินเพื่อกำจัดวัชพืช และทำให้สมบัติทางกายภาพของดินดี มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก นอกจากนั้นการเตรียมดินยังทำให้ดินเก็บความชื้นได้ดีอีกด้วย การเตรียมดินครั้งแรก ควรเริ่มทันทีหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยการไถกลบต้นตอซังของข้าวโพดให้เน่าเปื่อยเป็นปุ๋ยในดินต่อไปการเตรียมดินจะต้องทำอีกครั้ง ตอนไถจะปลูกข้าวโพดในฤดูต่อไปการไถควรทำหลังจากฝนตกแล้วประมาณ 1-2 ครั้ง ควรไถตะและไถแปรอย่างละ 1 ครั้ง และไถลึกประมาณ 15 เซนติเมตร ไม่ควรเตรียมดินในขณะที่ดินเปียกเกินไป จะทำให้ดินเกิดการอัดตัว ไม่เหมาะแก่การแผ่กระจายของรากข้าวโพด ในที่ลาดเอียงมากควรไถครั้งสุดท้ายตามขวางกับแนวลาดเอียง เพื่อป้องกันการชะล้างพื้นผิวดิน

เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมดินมีหลายชนิด เช่น ไถพื้นเมืองที่ใช้ลากด้วยแรงสัตว์และแทรกเตอร์ไถที่เดินด้วยเครื่องยนต์ ปัจจุบันนิยมใช้แทรกเตอร์กันอย่างแพร่หลาย เพราะสะดวกและรวดเร็ว ไถได้ลึกและกลบส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ดีกว่าไถลากด้วยแรงสัตว์ อย่างไรก็ตามที่ดินที่จะใช้แทรกเตอร์นั้น ต้องถางและปรับที่ให้มีตอไม้ที่น้อยที่สุดจึงจะไถได้สะดวก

การปลูกข้าวโพดควรปลูกเป็นแถว ทั้งนี้เพื่อสะดวกแก่การปฏิบัติรักษา เช่น การไถพรวน ระยะระหว่างแถวประมาณ 35-100 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุมประมาณ 25 เซนติเมตร หยอดเมล็ดข้าวโพดลงในหลุมซึ่งลึกประมาณ 5 เซนติเมตร จำนวน 2-3 เมล็ด เพื่อกันเมล็ดไม่งอก เมื่องอกแล้วควรถอนให้เหลือหลุมละต้น ถ้าปลูกโดยวิธีนี้จะได้จำนวนต้นข้าวโพดประมาณ 6000-8000 ต้น/ไร่ อย่างไรก็ตามระยะระหว่างหลุมอาจเปลี่ยนแปลงได้เป็น 50 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มเป็น 2 ต้น/หลุม ซึ่งโดยทั่วไป ชาวไร่ไม่นิยมการถอนแยก เพราะสิ้นเปลืองแรงงานค่าใช้จ่ายมาก เวลาปลูกจึงหยอด 2-3 เมล็ด ลงไปในหลุม และไม่ถอนแยกเลยตลอดฤดูการปลูก การจะปลูกถี่หรือห่างเท่าใดนั้น

ขึ้นอยู่กับสภาพของดิน ถ้าเป็นที่ดินป่าเปิดใหม่มีอินทรีย์วัตถุสูง ควรปลูกให้ถี่ขึ้น อาจปลูกได้ถึงไร่ละ 12000 ต้น ดังนั้น อัตราปลูกหรือระยะปลูกจึงต้องปรับให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่นเฉพาะแห่ง

วิธีการหยอดเมล็ดอาจทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ไม้สักให้เป็นหลุม แล้วหยอดเมล็ดตามใช้จอบขุด แล้วหยอดเมล็ดตามรอยขุด หรือใช้เครื่องมือทุ่นแรงก่อนปลูกควรทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์เสียก่อน ถ้าอัตราความงอกต่ำ ควรหยอดเมล็ดเผื่อไว้ให้เพียงพอ เช่น ถ้าอัตราความงอกมีเพียงร้อยละ 80 จากปลูกหลุม ละ 2 ต้น ก็ควรหยอดไว้หลุมละ 5-4 เมล็ด

2.1.9 การปฏิบัติรักษา

2.1.9.1 การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ถ้าที่ดินเป็นป่าเปิดใหม่และความอุดมสมบูรณ์ของดินยังสูงอยู่ การใส่ปุ๋ยยังไม่จำเป็น เมื่อปลูกข้าวโพดติดต่อกันไป 4-5 ปี ควรจะเริ่มปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน ซึ่งอาจใส่ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์

การปลูกพืชตระกูลถั่ว เช่น ปอเทือง (*Crota Laria Juncea*) และโสนใต้หวัน (*Sesbania Swsban*) เพื่อไถกลบเป็นปุ๋ยพืชสด เป็นวิธีเพิ่มอินทรีย์วัตถุและอาหารลงในดินที่ดีและประหยัดวิธีหนึ่ง ถ้ามีปุ๋ยมูลวัวควายให้ใส่ด้วยไร่ละประมาณ 3-4 ตัน/ปี

สำหรับการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์นั้น ในแหล่งปลูกข้าวโพดทั่ว ๆ ไปควรใช้ปุ๋ยที่ธาตุไนโตรเจน และฟอสฟอรัสประมาณ 8-18 กิโลกรัม/ไร่ และมีธาตุโพแทสเซียม ประมาณ 4-8 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยนั้น อาจใส่ปุ๋ยผสมทั้งหมดก่อนปลูก หรืออาจใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครึ่งหนึ่งร่วมกับปุ๋ยผสมฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมทั้งหมดก่อนปลูก แล้วใส่ปุ๋ยไนโตรเจนครั้งที่เหลือเมื่อข้าวโพดอายุประมาณ 2-3 สัปดาห์

2.1.9.2 การปราบวัชพืช วัชพืชเป็นศัตรูสำคัญของข้าวโพด ยิ่งถ้าเตรียมดินไม่ดี วัชพืชจะขึ้นมาแย่งอาหารในดินของข้าวโพดทำให้ได้ผลผลิตน้อย การกำจัดวัชพืชควรกระทำอย่างน้อย 1 ครั้ง หลังจากปลูก อาจจะใช้วิธีไถพรวนระหว่างแถวหรือจะใช้จอบถากก็ได้ การใช้สารเคมี พวงอะทราซีน (*Atrazine*) พ่นก่อนปลูกข้าวโพดนั้นว่าควบคุมการงอกของวัชพืชได้ดี วิธีการใช้คือละลายเนือยาแท้มประมาณ 500-1000 กรัม/น้ำ 40-80 ลิตร พ่นในเนื้อที่ 1 ไร่ ก่อนหรือหลังจากปลูกเสร็จอย่างใดก็ตาม ยาปราบวัชพืชนี้จะให้ผลดีก็ต่อเมื่อมีความชื้นในดินดีเท่านั้น [17]

2.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวโพดอาหารสัตว์

2.2.1 พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำแนกออกได้เป็น 3 แบบ คือ ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม และข้าวโพดพันธุ์แท้ ซึ่งแต่ละประเภทมีพันธุ์ที่สำคัญดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พันธุ์ข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ ก. [18]

ข้าวโพดพันธุ์ผสมเปิด	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลูกผสม	ข้าวโพดพันธุ์แท้
นครสวรรค์ 1	นครสวรรค์ 72	พันธุ์แท้นครสวรรค์ 1
สุวรรณ 1	นครสวรรค์ 2	พันธุ์แท้นครสวรรค์ 2
สุวรรณ 3 (มก.)	สุวรรณ 2602(มก.)	
สุวรรณ 5 (มก.)	สุวรรณ 3101(มก.)	
	สุวรรณ 4452	
	ซีพีดีเค 888	
	ซีพี 989	
	ไฟโอเนียร์ 3013	
	แปซิฟิก 983	
	แปซิฟิก 984	
	คาร์กิลล์ 919	
	เทพีวินัส 49	
	เอ็นเค 46	
	เอ็นเค 48	
	บีก 919	
	บีก 949	
	บีก 959	
	30 เอ 33	
	30 เอ 97	

2.2.2 การปลูกและการดูแลรักษา

ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่เจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิด โดยเฉพาะในดินร่วนปนทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีและมีปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชอุดมสมบูรณ์ดี มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 5.5 - 7.0 ควรมีอินทรีย์วัตถุสูงกว่า 1% ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมไม่ต่ำกว่า 10 และ 60 ส่วนในล้านส่วนแร่ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นและมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิดเพื่อใช้ในการสร้างระบบสรีรวิทยาต่าง ๆ เซลล์ โปรตีน และเนื้อเยื่อ อีกทั้งเป็นส่วนผสมหลักในการสร้างปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ดังนั้นการคำนวณปริมาณปุ๋ยที่ใช้ต้องคำนึงถึงอินทรีย์วัตถุเดิมที่มีอยู่ในดินด้วย

ปุ๋ยเคมีสามารถพบได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ ไนเตรต (NO_3) และแอมโมเนียม (NH_4) โดยปุ๋ยเดี่ยว เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต (21 - 0 - 0) หรือยูเรีย (45 - 0 - 0) นอกเหนือจากนี้ปุ๋ยที่เป็นหลักในการให้สารอาหารแก่พืชรวมถึงการผลิตปุ๋ยที่มีการผสมหลายสูตร คือ แอมโมเนียมคลอไรด์ (26 - 0 - 0)

สำหรับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนปุ๋ยจะต้องถูกใส่ 2 ครั้ง หรือมากกว่าครั้งที่หนึ่งคือการใส่ปุ๋ยเมื่อปลูกหรือหลังจากการที่พืชงอก 10 วัน หลังจากนั้น การใส่ปุ๋ยครั้งถัดมาคือเมื่อต้นข้าวโพดมีอายุประมาณ 20-25 วันหรือเมื่อต้นข้าวโพดมีความสูง 30 เซนติเมตร โดยเป็นการโรยบริเวณข้างๆแถวปลูก และมีระยะห่างจากต้น 10 เซนติเมตร สิ่งที่ต้องคำนึงเมื่อใส่ปุ๋ยคือ ปุ๋ยควรถูกใส่ในช่วงเวลาที่มีความชื้นในดิน หากในช่วงนั้นดินแห้ง การใส่ปุ๋ยสามารถถูกยึดเวลาออกไป เพราะปุ๋ยจะเกิดการระเหิดก่อนการดูดซึมเมื่อถูกใช้ในดินแห้ง

ค่าอินทรีย์วัตถุที่ถูกวัดได้ในดินกลุ่มต่าง ๆ สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการแนะนำการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน โดยข้อมูลที่ละเอียดขึ้น เช่น ชื่อของชุดดินที่ถูกใช้ในการปลูก สามารถทำให้คำแนะนำมีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ โดยคำแนะนำเหล่านี้มีประโยชน์ในการนำปุ๋ยมาใช้ในการพัฒนาผลผลิต

2.2.3 การเก็บเกี่ยว [19]

แรงงานมนุษย์ยังคงเป็นวิธีหลักในการเกี่ยวเกี่ยวผลผลิตข้าวโพดการใช้ปลายแหลมในการกรีดไม่เป็นที่แนะนำ สารอะพลาที่อกซินมีโอกาสบบป่นเปื้อนสูง หากผลผลิตถูกนำมาเทรวมทิ้งไว้โดยปราศจากกระบวนการจัดการที่ถูกต้อง เนื่องจากความชื้นในข้าวโพด

รถเก็บเกี่ยวชนิดเกี่ยววนดัดขับเคลื่อนเอง (Combine Harvester) มักถูกนำมาใช้ในพื้นที่ราบ เช่น ลพบุรี สระบุรี โดยสามารถเกี่ยวได้ 4 แถวต่อรอบ ฝักของผลผลิตจะถูกนำไปนวดเพื่อนำเมล็ดออกมาและนำไปสู่ถังเก็บ และขนส่งไปยังรถบรรทุก เมื่อวิเคราะห์จากผลการทดสอบถึงแม้ชุดเก็บเกี่ยวจะมีประสิทธิภาพที่ดี ขนาดของตัวถังน้ำหนัก 10 ตันเป็นอุปสรรคให้การทำงานในแปลงขนาดเล็กเป็นไปได้ยาก ทั้งในด้านการเคลื่อนที่และขนย้าย รวมไปถึงการปรับความชื้นของเมล็ดที่จะนำเสียดหากไม่สามารถทำได้ทันเวลา

ความชื้นข้าวโพดที่ร้อยละ 21 - 28 ที่ช่วงที่ผลผลิตควรถูกเก็บเกี่ยวโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวด ในทางกลับกันต้นข้าวโพดมีความเสี่ยงในการล้มหากถูกเกี่ยวช้าเกินไป หรือจะมีการใช้พลังงานในการลดความชื้นมากหากข้าวโพดมีความชื้นมากกว่าช่วงที่เหมาะสม

เครื่องเก็บเกี่ยวแบบปลิดฝักข้าวโพด (Corn Snapper) แบบปลิดและรูดเปลือกหุ้มฝักข้าวโพด (Corn Picker - Husker) คือตัวเลือกในการเก็บเกี่ยวเช่นกัน โดยเครื่องมือเหล่านี้เก็บเกี่ยว 1-2 แถวต่อรอบ การเก็บและควบคุมความชื้นและอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและยึดหลักการเกิดคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 1 สามารถทำให้มีระยะเวลาจัดเก็บ 41 วัน

ความชื้นข้าวโพดที่น้อยกว่าร้อยละ 23 คือค่าที่ข้าวโพดสมควรถูกเก็บเกี่ยว โดยการเก็บเกี่ยวในช่วงนี้ จะทำให้คุณภาพที่ได้รับอยู่ในระดับที่ดีในช่วงเวลาที่ผลผลิตถูกเก็บอยู่ในยุ้ง เนื่องจากเชื้อราและอะฟลาท็อกซินถูกกำจัด อย่างไรก็ตามเปลี่ยนแปลงของความชื้นมักเกิดจากหลายปัจจัยรวมถึง พันธุ์ข้าวโพด สภาพแวดล้อม และอายุของพืช รวมทั้งโดยทั่วไปแล้ว พันธุ์ของข้าวโพดที่เป็นที่นิยมนั้นมีหลากหลาย การที่ศึกษาช่วงอายุที่สมควรเก็บเกี่ยวของแต่ละพันธุ์จึงเป็นไปได้ยาก แม้กระนั้นในการศึกษาหัวข้อนี้ในข้าวโพดลูกผสมเดี่ยว 4-5 สายพันธุ์ พบว่าความชื้นในเมล็ดข้าวโพดจะน้อยกว่าร้อยละ 25 เมื่อใบข้าวโพดทั้งแปลงกลายเป็นสีฟางข้าวหรือแห้งลงไป

2.2.4 การลดความชื้น [20]

วิธีการลดความชื้นมี 2 ประเภท ดังนี้

2.2.4.1 การตากแดด (ภาพที่ 2.8) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเมล็ดผลผลิตมาวางตากแดดไว้บนพื้นคอนกรีต ความชื้นสามารถถูกกำจัดได้มากถึงร้อยละ 7 อย่างไรก็ตามในช่วงต้นฤดูการเก็บเกี่ยวอุปสรรคของวิธีนี้ของฝนที่มักตกลงมาใส่ผลผลิต

2.2.4.2 การใช้เครื่องลดความชื้น ซึ่งใช้ระบบการเป่าลมความชื้นต่ำ โดยทำให้อุณหภูมิของอากาศปรับตัวสูงขึ้นและทำให้น้ำระเหยขึ้นมา เครื่องลดความชื้นมี 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ ตัวสร้างความร้อน เครื่องเป่า และภาชนะบรรจุเมล็ด นอกจากนี้อุปกรณ์นี้มี 2 ชนิดโดยทั่วไป คือ ชนิดที่ทำให้เมล็ดพืชไหล และอยู่นิ่ง



ภาพที่ 2.8 ลานตากผลผลิตที่นำมาใช้ทำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม [20]

2.2.5 การเก็บรักษา [19]

เกษตรกรโดยส่วนใหญ่มักมียุ่งไว้สำหรับเก็บฝักข้าวโพด และฝักข้าวโพดที่มักถูกจัดเก็บโดยไม่มีการกระบวนการจัดการคุณภาพใด ๆ ทั้งสิ้น (ภาพที่ 2.9) ระยะการเก็บรักษาโดยเฉลี่ยแล้วจะนาน 1 เดือน ยิ่งข้าวโพดมักมีหลายรูปแบบ เช่น ทำคอกบริเวณใต้ถุน หรือแยกออกจากบ้าน พื้นมีความสูงเท่าดินหรือยกขึ้น พื้นยัง อาจถูกสร้างด้วยไม้กระดาน คอนกรีต ไม้ หรืออาจจะไม่มีพื้นและสัมผัสพื้นดิน

เมื่อเก็บข้าวโพดมาใหม่ๆ ความชื้นในเมล็ดจะยังคงอยู่ในระดับสูงรวมไปถึงอัตราการหายใจ ซึ่งส่งผลถึงความร้อนที่มีมากขึ้น ยิ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในพื้นที่ยิ่งมากกว่าทางด้านนอก 2 - 5 องศาเซลเซียส รวมไปถึงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในระดับสูงประมาณร้อยละ 90 - 95 ทำให้สารอะพลาที่อกซินถูกผลิตขึ้นโดยเชื้อราในนั้น ตามธรรมชาติแล้ว ความชื้นในยิ่งจะลดลงร้อยละ 1 - 2 ใน 1 สัปดาห์ ดังนั้น การแก้ไขทำให้ยิ่งมีอากาศถ่ายเทมาก ความชื้นและความร้อนของผลผลิตข้าวโพดย่อมลดลง รวมถึงฝักข้าวโพดจะมีผิวแห้งลง ซึ่งทำให้ความเสี่ยงการเกิดอะพลาที่อกซินลดลง อย่างไรก็ตาม มีความคิดเกี่ยวกับการนำท่อระบายอากาศในยุ้ง ซึ่งพบว่ามีควมยากลำบากในการใช้งานจริงเนื่องจากผลผลิตจะถูกทำลายโดยแมลงหลังจากผ่านไป 1 เดือนและจะถูกทำลายมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 2.9 ยุ้งเก็บข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ [19]

2.3 การปลูกข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย

2.3.1 การปลูกแยกตามลักษณะทางภูมิศาสตร์

การปลูกข้าวโพดรุ่นฝน ถือเป็นฤดูกาลหลักของประเทศไทย โดยการปลูกข้าวโพดรุ่นฝน จะมีการปลูกแยกตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ แบ่งเป็น 3 พื้นที่ คือ ที่ลุ่ม ที่ราบ ที่เนินหรือที่ดอน โดยพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมกับแต่ละสภาพพื้นที่ถูกแสดงดังภาพที่ 2.10

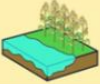
2.3.1.1 พื้นที่ลุ่ม ที่ดินริมแม่น้ำ ริมหนอง คลอง บึง และอ่างเก็บน้ำจะมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน เกษตรกรต้องเลือกพันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ไม่เกิน 100 วัน เพื่อให้เก็บเกี่ยวได้ก่อนน้ำจะขึ้นเมื่อถึงกลางฤดูฝน ดังนั้น เราไม่ต้องมัวไปเลือกพันธุ์อายุยาว ยืนต้นนาน ๆ ให้เสียเวลา พื้นที่นี้เราจะพบได้ในภาคเหนือ เช่น จังหวัดลำปาง จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงราย

2.3.1.2 พื้นที่ราบ หรือที่ไร่ พื้นที่ดินมีความสม่ำเสมอ เป็นพื้นที่หลักของการปลูกข้าวโพด สามารถปลูกได้ทั้ง ต้นฤดูฝน และปลายฤดูฝน ส่วนมากเป็นแปลงปลูกขนาดใหญ่มีการใช้เครื่องมือเครื่องจักรตั้งแต่ปลูก ทำร่น ใส่ปุ๋ย จนถึงเก็บเกี่ยว เกษตรกรควรเลือกใช้พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงทนต่อการปลูกถี่ 11,000 - 15,000 ต้นต่อไร่ พันธุ์ข้าวโพดมีการตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยมากอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100 - 120 วัน สามารถเก็บเกี่ยวได้ทั้งแบบเก็บสด และแบบกึ่งสดกึ่งแห้ง และสามารถเก็บเกี่ยวได้ด้วยรถเก็บเกี่ยวแล้วเมล็ดไม่แตก พื้นที่ปลูกส่วนใหญ่จะพบใน จังหวัดสระบุรี จังหวัดลพบุรี จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดนครราชสีมา เป็นต้น

2.3.1.3 พื้นที่เนินหรือที่ดอน คือสภาพแปลงที่มีความลาดเท ในพื้นที่นี้การระบาดของโรคจะมีมาก เช่น โรคใบไหม้แผลใหญ่ โรครากเน่าและลำต้นเน่า เกษตรกรควรเลือกใช้พันธุ์ที่มีความต้านทานที่ดี มีระบบรากและลำต้นที่แข็งแรง อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 110 - 150 วัน หรือในบางพื้นที่ต้องสามารถยืนต้นได้นานถึง 180 วัน ต้นจะต้องไม่หักล้ม ฝักไม่ขึ้นรา เพื่อให้ฝนหมดไปแล้วจึงเข้าไปเก็บเกี่ยวได้และน้ำหนักมีการสูญหายน้อยเมื่อมีการเก็บเข้ายุ้งฉางเพื่อรอเวลาขาย พื้นที่ปลูกพบในจังหวัดเลย จังหวัดเชียงราย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดพะเยา จังหวัดลำปาง จังหวัดตาก จังหวัดแพร่ และจังหวัดอุดรดิตถ์ [21]

นอกจากนี้ในปัจจุบัน การปลูกข้าวโพดหลังนามีความสนใจปลูกกันมากขึ้นเนื่องจากการดูแลรักษาง่ายกว่าพืชอื่น ผลผลิตในฤดูแล้งก็สามารถขายได้ราคาดี โดยสภาพดินในนาส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มมีน้ำขังง่ายมีทั้งสภาพดินทราย ดินร่วน และดินเหนียว ดังนั้นการปลูกข้าวโพดในนาจะต้องมีการระบายน้ำให้ดีและน้ำต้องเพียงพอตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 800 - 900 ลูกบาศก์เมตร ต่อ 1 ไร่ หรือ 500 - 600 มิลลิเมตร ต่อ 1 ฤดูกาลเพาะปลูก ปัจจุบันประเทศไทยมีการปลูกข้าวโพดหลังนาประมาณ 5% หรือ คิดเป็น 350,000 ไร่ พื้นที่ที่สามารถปลูกข้าวโพดหลังนาได้ดี เช่น จ.อุบลราชธานี จ.ชัยภูมิ จ.พิษณุโลก จ.อุดรดิตถ์ จ.ลำปาง จ.แพร่ จ.ตาก จ.อุทัยธานี จ.ชัยนาท เป็นต้น ควรเลือกใช้

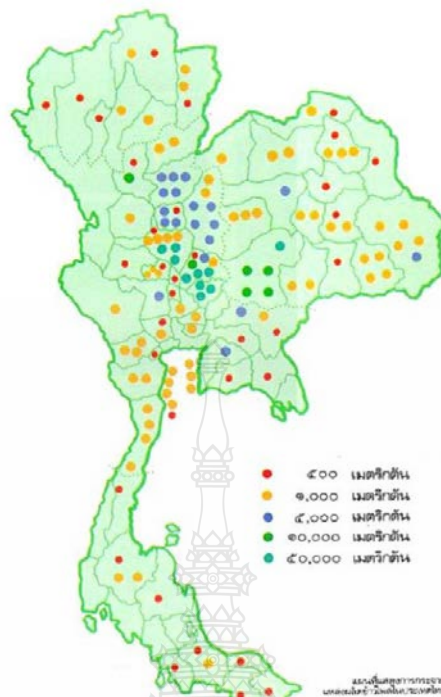
พันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงประมาณ 1,500 - 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ที่น้ำหนักเก็บเกี่ยวสด หรือ ไม่ต่ำกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ที่น้ำหนักแห้ง ความชื้น 14.5% ข้าวโพดต้องทนต่อการปลูกลึ มีลักษณะใบตั้ง ต้นเตี้ย และแข็งแรง ส่วนใหญ่อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 100 - 120 วัน มีการตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยมากทนต่อสภาพน้ำขังได้ดี และทนทานต่อการเข้าทำลายของแมลงศัตรูพืช [22]

หัวข้อเปรียบเทียบ	พื้นที่ลุ่ม	พื้นที่ราบ	พื้นที่เนินหรือดอน	พื้นที่นา
ลักษณะพื้นที่				
พบในเขตพื้นที่	ภาคเหนือตอนล่าง ภาคเหนือตอนบน	ภาคกลาง ภาคเหนือตอนล่าง ภาคอีสานบางส่วน	ภาคเหนือตอนบน ภาคอีสานบางส่วน	ภาคกลาง ภาคเหนือตอนล่าง ภาคอีสาน
ลักษณะพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสม	มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น อายุประมาณ 100 วัน เพื่อให้ทันต่อการเก็บเกี่ยวก่อนหน้าฝน	- อายุเก็บเกี่ยว 100 - 120 วัน - สามารถเก็บผลและเก็บกิ่งตอทิ้งได้ - เมล็ดไม่แตก - เลือกใช้พันธุ์ที่ทนแล้งสูง - ทนต่อการปลูกลึ 10,000 - 15,000 ต้น / ไร่ - ตอบสนองต่อสารใส่ปุ๋ยมาก	- มีรากและลำต้นแข็งแรง - ทนต่อโรคใบไหม้และโรคไหม้ - ไรโรคเน่าและลำต้นเน่า - อายุเก็บเกี่ยว 110 - 150 วัน - บางพันธุ์ยืนได้ 180 วัน - ต้นไม่หักล้ม ไม่ขึ้นรา - น้ำหนักหยาบเมื่อมีการเก็บเข้าถุงฉาง	- มีใบตั้ง, ต้นเตี้ย และแข็งแรง - อายุเก็บเกี่ยว 100 - 120 วัน - ตอบสนองต่อการใส่ปุ๋ยมาก - ให้ผลผลิตเก็บเกี่ยวสดน้ำหนักสูง 1,500 - 2,000 กก/ไร่ - ทนต่อการปลูกลึ 11,000 - 15,000 ต้น / ไร่
เบอร์ปุ๋ยซีพี				

ภาพที่ 2.10 พันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมกับแต่ละสภาพพื้นที่ [17]

2.3.2 แหล่งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สำคัญของไทย

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทยที่มีการใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออกมายาวนาน รวมถึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ ต่ออุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยแต่ละปีไทยมีการส่งออกอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ยังเป็นวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมในประเทศที่มีความสามารถในการรับซื้อ ผลผลิตจากเกษตรกร และนำไปแปรรูปเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มได้หลากหลายจากภาพที่ 2.11 แสดงแหล่งผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สำคัญของไทย โดยจังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญของประเทศไทย เช่น จังหวัดเพชรบูรณ์ นครราชสีมา เลย ลพบุรี และนครสวรรค์



ภาพที่ 2.11 แหล่งผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สำคัญของไทย [23]

2.4 การเกษตรอัจฉริยะ

2.4.1 ความหมายของการเกษตรอัจฉริยะ

การเกษตรอัจฉริยะ หรือ Smart Farming คือการนำเทคโนโลยีเข้ามาบริหารจัดการระบบการเพาะปลูกในทุก ๆ ขั้นตอน และสามารถควบคุมทุกอย่างได้ด้วยเทคโนโลยี เพื่อทำการตรวจสอบ เก็บข้อมูล วิเคราะห์ และแก้ปัญหาการเพาะปลูกได้แบบ Real-Time พร้อมทั้งสามารถแสดงผลข้อมูลการเจริญเติบโตและคาดการณ์ผลผลิตได้อย่างแม่นยำ ปัจจุบัน ประเทศไทยยังคงอยู่ในจุดเริ่มต้นของการทำการเกษตรประเภนี้ เนื่องจากการทำ Smart Farming จำเป็นต้องมีบุคลากรที่เชี่ยวชาญ และได้รับการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน อีกทั้งตัวเกษตรกรเองก็จำเป็นต้องมีการเรียนรู้พัฒนาตัวเอง และพร้อมที่จะเปลี่ยนแปลงจากวิถีเดิมที่เคยทำมา [24]

นอกจากนี้ การเกษตรแม่นยำสูง (Precision Agriculture) หมายถึง การนำเทคโนโลยีมาผสมผสานเพื่อการเกษตรยุคดิจิทัล ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศและดิจิทัล เช่น เซอร์เทคโนโลยีชีวภาพ รวมทั้งนาโนเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต อันนำไปสู่การแข่งขันได้ในระดับสากลการนำเทคโนโลยีมาผสมผสานเพื่อการเกษตรยุคดิจิทัล ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยี

สารสนเทศและดิจิทัล เช่น เซอร์ เทคโนโลยีชีวภาพ รวมทั้งนาโนเทคโนโลยี เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต อันนำไปสู่การแข่งขันได้ในระดับสากล [25]

2.4.2 เทคโนโลยีที่ประยุกต์ใช้ในการเกษตรอัจฉริยะ

2.4.2.1 รถแทรกเตอร์ไร้คนขับ (Robot Tractor) เป็นระบบที่ดำเนินการงานเกษตรกรรมร่วมกัน โดย Robot Tractor ทำงานโดยอัตโนมัติตามเส้นทางที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในทุ่งนา และรถแทรกเตอร์ที่คนขับต้องประสานงานร่วมกันเพื่อทำงาน ควบคุมโดยใช้ Tablet ที่มีการลงทะเบียนรูปร่างของทุ่งนา และขั้นตอนการทำงานไว้ล่วงหน้าด้วยดาวเทียม ที่ถูกเรียกว่า GNSS ทำให้สามารถทำงานไปพร้อมกับตรวจสอบขั้นตอนและพิกัดของตัวเอง [26]

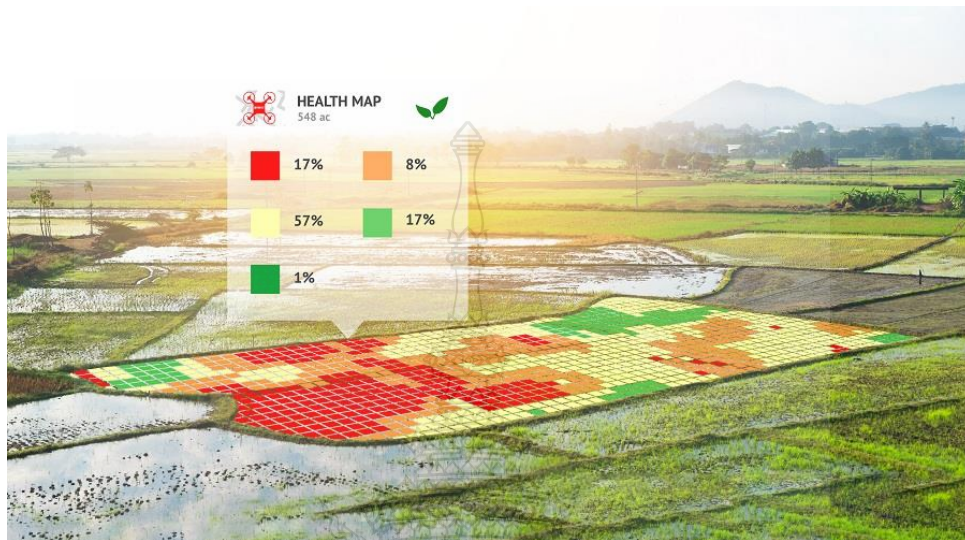
2.4.2.2 การสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) เทคโนโลยีที่ช่วยด้านการวัดและตรวจวิเคราะห์ข้อมูล เช่น วิเคราะห์ภาพถ่าย ดัชนีพืชพรรณ จำนวนลำต้น แสดงข้อมูลสภาพการเพาะปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของดิน การตรวจวิเคราะห์ดิน การวัดปริมาณผลผลิต เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดินต่อไป [26]

2.4.2.3 เทคโนโลยี Big Data นำมาประยุกต์ใช้เพื่อรวบรวมข้อมูลการปลูกพืชทั้งหมด เช่น ช่วยทำให้การทำงานภายในฟาร์มง่ายขึ้น ทำให้การทำเกษตรกรรมเกิดความโปร่งใส ช่วยรับประกันผลผลิต ระดับการเจริญเติบโตของแต่ละเดือน สภาพอากาศในแต่ละช่วงมีผลอย่างไรกับพืช ปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละช่วง มาวิเคราะห์ว่าการทำการเกษตรแบบไหนสามารถให้ผลตอบแทนได้ดีที่สุด โดยใช้ในการวางแผน บริหารจัดการ เพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิตได้ [27]

2.4.2.4 ระบบ AI และ Machine Learning กำจัดสิ่งรบกวนและระบบวิดีโอแจ้งเตือน คือ การนำเทคโนโลยี AI มาใช้ในการดูแล ตรวจสอบและระมัดระวังทั้งภายในและรอบ ๆ ฟาร์ม จากทั้งสัตว์ที่มักมาบุกรุกหรือทำลายพืชในพื้นที่หรือจากมนุษย์ด้วยกันเอง โดยการใช้วิดีโอแบบเรียลไทม์ที่มี AI และอัลกอริทึมที่สามารถตรวจสอบ รวมถึงควบคุมได้ทั้งในระยะใกล้และระยะไกล พร้อมส่งการแจ้งเตือนทันที

ปัจจุบันมีการใช้ Data และ AI ในการวิเคราะห์แปลงพืช เพื่อกำหนดหาผลผลิตต่อพื้นที่ โดยจำลองภาพสามมิติของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดที่มีอยู่ แล้วนำข้อมูลของสภาพแวดล้อมในด้านต่าง ๆ เช่น สภาพของดิน, น้ำ, สารอาหาร ฯลฯ ก่อนจะลงมือเพาะปลูกพืชในแต่ละรอบการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูก และทราบอัตราผลตอบแทนที่เป็นไปได้จากพื้นที่ทั้งหมดที่มีคุณภาพมากพอจะทำให้พืชเติบโตและให้ผลผลิตตามมาตรฐานที่กำหนดได้ล่วงหน้า ซึ่งช่วยให้ควบคุมต้นทุนและค่าความเสียหายได้มากเลยทีเดียว นอกจากนี้ยังสามารถใช้ AI ในการกำจัดศัตรูพืชได้อีกด้วย โดยสามารถใช้โดรนติดกล้องอินฟราเรดสำรวจดูสุขภาพพืชที่ปลูกร่วมกับเซ็นเซอร์อัจฉริยะที่ติดตั้งไว้รอบฟาร์มว่า มีการเจริญเติบโตอย่างไร หรือมีศัตรูพืชมากน้อยแค่ไหน (ภาพที่ 2.12) ทำให้ AI

สามารถทำนายและระบุการระบาดของศัตรูพืชได้ก่อนที่จะเกิดขึ้นได้ และทำการกำหนดส่วนผสมของสารกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมที่สุด เพื่อลดการคุกคามของศัตรูพืชที่แพร่กระจายออกไป ทำให้พืชมีสุขภาพแข็งแรงและปราศจากศัตรูพืชเข้ามาก่อวินาศกรรมได้แบบทันท่วงที



ภาพที่ 2.12 การใช้ AI เพื่อดูสุขภาพพืช [28]

2.4.2.5 อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial vehicles : UAV) ถูกนำมาใช้เพื่อสร้างแผนที่ทางภูมิศาสตร์ทางอากาศ โดยมีการใช้งานตามความถี่ในการรับข้อมูลและความสูงของภาพถ่ายทางอากาศจากเครื่องบินแต่ละประเภท ภาพที่ได้จาก UAV มีความละเอียดค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม ดังภาพที่ 2.13 โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างจำกัด จากตารางที่ 2.2 ผู้ใช้ควรถ่ายรูปในวันที่ชัดเจนและการถ่ายภาพโดรนนี้มีความครอบคลุมต่ำ พื้นที่ฮอตสปอตเพียง 1-10 km² การเลือกความละเอียดสเปกตรัมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ ปัจจุบันมีการใช้หลายประเภทเช่น multispectral, hyperspectral และ thermal



ภาพที่ 2.13 ระดับความละเอียดของภาพถ่ายระหว่างโดรนและดาวเทียม [29]

ตารางที่ 2.2 พันธุ์ข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ ข. [29]

Item	UAV	EO Satellite
Spatial resolution	Not Cloudy (2 – 10 cm)	Cloudy (sub-meter: 50 cm)
Temporal resolution	On demand	Capturing 10.00 – 11.00 h Pleiades (Daily), Geoeye 2 (Daily), Worldwild (Daily)
Spectral Resolution	Now Available: Multispectral, Hyperspectral, Thermal.	Full sensors
Coverage	Low: Hot spot area (1-10 Km ²)	(> 50 Km ²)

2.4.2.6 การประมวลผลภาพ (Image Processing) มีเทคนิคการทำ Image Processing หลากหลายขั้นตอน เริ่มจากการปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) การกรองภาพหรือการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ (Image Filters) การซ้อนทับภาพ (Image Registration) การคืนสภาพของภาพ (Image Restoration) การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) การหาขอบภาพในวัตถุ (Image Segmentation and Ed Detection) การบีบอัดภาพ (Image Compression) จนถึงขั้นตอนการสร้างภาพ 3 มิติ (3D Image Reconstruction) [30]

การเลือกประเภทสีของภาพเพื่อการวิเคราะห์นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ระบบสี RGB และ Grayscale เป็น 2 ประเภทที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุด ภาพในระบบสี RGB ก็หมายความว่ามีความถี่ขนาด 2D ซ้อนกันจำนวน 3 เมทริกซ์ซึ่งก็คือค่าความเข้มแสงในสี

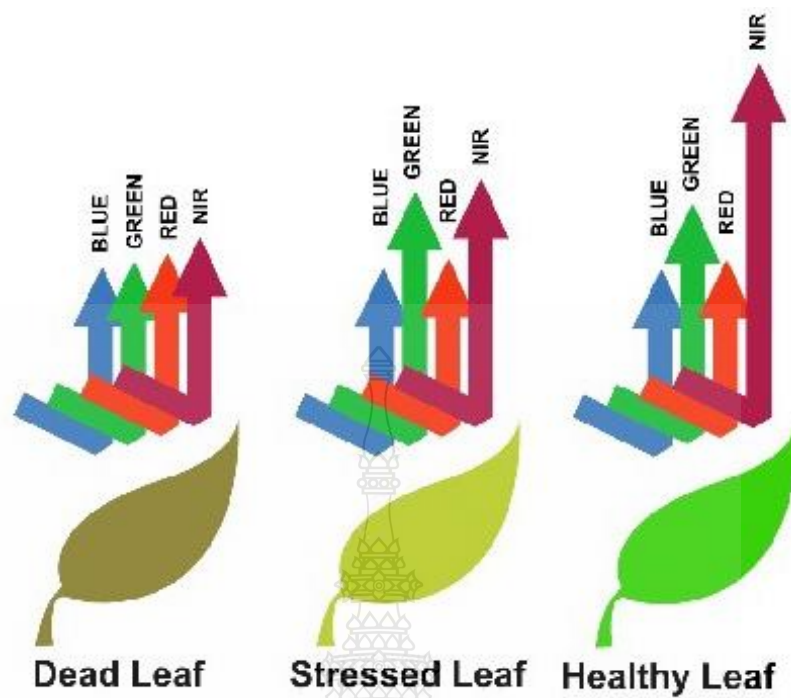
ต่าง ๆ โดย R,G,B จะมีค่าตัวละ 8 บิต (8 บิต = $2^8 = 256$ สี (0-255)) ระบบ RGB จะมีจำนวนบิตต่อพิกเซลคือ 24 บิต หมายความว่าสามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 สี ส่วนภาพเกรย์สเกลหรือภาพระดับสีเทา คือภาพ ขาว-ดำ-เทา โดยจะมีระดับความเข้มจากการแปลงสีเท่าคือ 0-255 (8-bit) เกิดจากการแปลงภาพสี RGB มาเป็น Grayscale โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ $Gray = 0.299*R+0.587*G+0.114*B$ โดย Gray คือ ค่าความเข้มของสีเทา มีค่า 0-255 (R : มีค่า 0-255, G : มีค่า 0-255, B : มีค่า 0-255) [31]

2.5 การวัดผลการเจริญเติบโตพืชด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI)

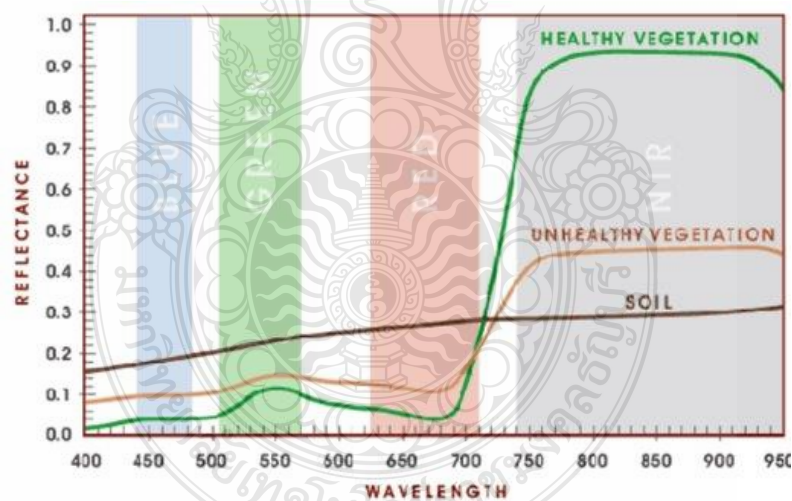
ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI: Normalized Difference Vegetable Index) คือค่าดัชนีที่บ่งบอกสุขภาพของพืชโดยการวัดการจากสะท้อนของแสงย่าน NIR(Near Infrared) ของใบพืช โดยพืชที่สมบูรณ์ จะให้ปริมาณการสะท้อนแสงที่สูงกว่าพืชที่ไม่สมบูรณ์ และเหมาะสำหรับวัดในพื้นที่ปลูกขนาดใหญ่ด้วยการภาพถ่ายทางอากาศ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (2.1)$$

โดยค่า NDVI มีค่าตั้งแต่ 1 (สุขภาพดี) ถึง -1 (สุขภาพไม่ดี) สำหรับพืชที่สุขภาพดี จะดูดกลืนแสงในย่านสีแดงไปใช้ในการสังเคราะห์แสงได้มากและสะท้อนแสงในย่าน NIR ออกมาเหมือนกัน แต่สำหรับพืชที่สุขภาพไม่ดี พืชจะดูดกลืนแสงในย่านสีแดงได้น้อยและมีการสะท้อนแสงย่าน NIR ได้น้อยเช่นกัน ดังภาพที่ 2.14 และแสดงผลการสะท้อนในย่านต่าง ๆ ในภาพที่ 2.15 [19]

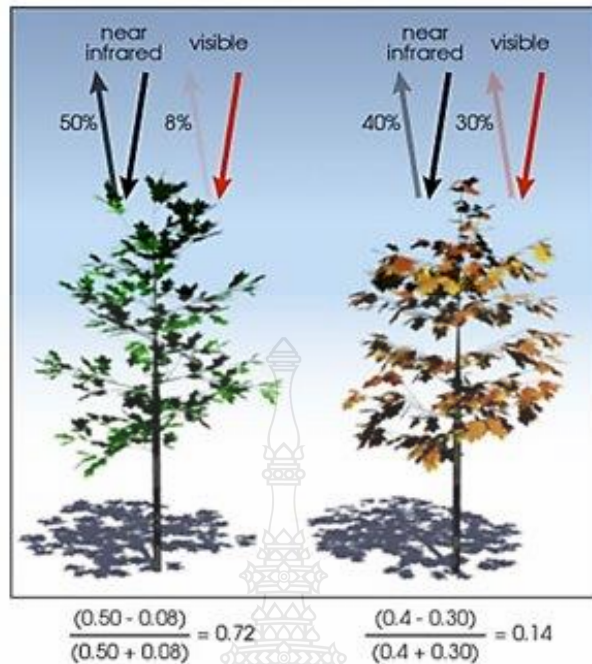


ภาพที่ 2.14 การสะท้อนของแสงบนใบแห้งตาย ใบเหี่ยวเฉา และใบสุขภาพดี [32]



ภาพที่ 2.15 การสะท้อนของแสงในย่านต่าง ๆ ของพืชที่สุขภาพดีและไม่ดี [32]

ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะใช้ในการจำแนกพืช ออกจากสิ่งปกคลุมดินประเภทอื่นที่มีลักษณะการสะท้อนแตกต่างกัน เช่น น้ำ ถนน อาคาร ได้ค่อนข้างชัดเจน รวมไปถึง ถ้ามีข้อมูลในพื้นที่ศึกษาแบบเชิงลึกยังสามารถใช้ NDVI ติดตามและประเมิน ความสมบูรณ์ของพืช จากการค่าสะท้อนแสงที่เกิดบนใบพืช (ภาพที่ 2.16)



ภาพที่ 2.16 ศึกษาการสะท้อนแสงที่เกิดบนใบพืชพร้อมตัวอย่างการคำนวณค่า [33]

2.6 โดรน (Drone) [34]

โดรนหรืออากาศยานไร้คนขับหรือ UAV (Unmanned Aviation Vehicle) ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้ใน หลากหลายรูปแบบ เช่น การสำรวจ ตรวจสอบสภาพสิ่งก่อสร้าง การขนส่ง การเฝ้าระวัง การถ่ายภาพทางอากาศ สร้างแผนที่ 3 มิติ และทางด้านการเกษตร ตลอดจนใช้เพื่อกิจกรรมการบินเชิงอื่น ๆ โดยโดรนแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. Multirotor UAVs เป็นโดรนประเภทที่ใช้งานทั่วไป เนื่องจากมีความคล่องแคล่ว สะดวก เพราะไม่ต้องใช้รันเวย์ในการบินขึ้นและลงจอด
- 2.



ภาพที่ 2.17 Multirotor UAVs Drones [35]

2. Fixed-wing Drones มีความเร็วสูงกว่าโดรนประเภท Multicopter UAVs และสามารถบินได้นานกว่าจึงเหมาะกับการสำรวจพื้นที่ขนาดใหญ่แต่จำเป็นต้องมีรันเวย์ในการบินขึ้นและลงจอด



ภาพที่ 2.18 Fixed-wing Drones [36]

3. Hybrid Model (Tilt-Wing) เป็นประเภทที่พบได้ยาก มีความเร็วในการบิน และระยะในการบินสูงกว่าสองแบบแรก และไม่ต้องใช้รันเวย์ในการบินขึ้นและลงจอด



ภาพที่ 2.19 Hybrid Model (Tilt-Wing) Drones [37]

2.6.1 ประโยชน์ของโดรน

2.6.1.1 ใช้ในการถ่ายภาพมุมสูง โดยการนำกล้องมาติดที่ตัวโดรนเพื่อถ่ายรูปจากมุมมองแปลก ๆ ใหม่ ๆ และในมุมที่เราไม่สามารถถ่ายได้ด้วยตัวเอง ทำให้เห็นภาพมุมกว้างที่สวยงามแปลกตาและมีรายละเอียดครบครันยิ่งขึ้น เช่น การถ่ายภาพวิว



ภาพที่ 2.20 ภาพถ่ายเชิงพื้นที่ด้วยกล้องมัลติสเปกตรัมและตัวอย่างการประมวลผลภาพชนิด NDVI [38]

2.6.1.2 ใช้ในการถ่ายทอดสดต่าง ๆ มีลักษณะการใช้งานคล้ายการติดกล้องเพื่อถ่ายรูป แต่เปลี่ยนมาเป็นกล้องวิดีโอเพื่อบันทึกภาพเคลื่อนไหวจากมุมต่าง ๆ แทน การใช้โดรนในลักษณะนี้ส่วนมากเราพบได้ในการถ่ายทอดกีฬาหรือคอนเสิร์ต เป็นต้น

2.6.1.3 การใช้โดรนเป็นพาหนะในการขนส่งสินค้า โดยมีบริษัทใหญ่เริ่มนำร่องการใช้งานโดรนเพื่อโลจิสติกส์ คือ google และ amazon ซึ่งเทคโนโลยีนี้กำลังได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2.6.1.4 ใช้โดรนเพื่อฉีดพ่นปุ๋ยและสารเคมีต่าง ๆ ในด้านการเกษตร เป็นการลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีโดยตรงของมนุษย์

2.6.1.5 การใช้โดรนติดกล้องเพื่อสำรวจสภาพการจราจรและลักษณะภูมิศาสตร์ภูมิประเทศต่าง ๆ

2.6.1.6 การใช้โดรนในด้านความปลอดภัยและความมั่นคง โดยในระยะหลังโดรนสามารถเข้าร่วมกับการค้นหาผู้รอดชีวิตจากเหตุการณ์ร้ายแรง เช่น ดินถล่ม หรือภัยธรรมชาติต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.2 กฎหมายโดรนในไทยที่ควรรู้

ก่อนการนำโดรนมาใช้ทางการเกษตร หรือนำมาใช้งานอื่น ๆ ผู้ใช้งานควรศึกษากฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานโดรนให้เข้าใจก่อน ราชกิจจานุเบกษา และประกาศกระทรวงคมนาคม มีการกำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตและเงื่อนไขในการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. 2558 เพื่อเป็นการควบคุมการบินตามกฎหมายของไทย หากผู้ใดทำกระทำความผิดต่อกฎอย่างใดอย่างหนึ่งต้องระวางโทษจำคุกไม่เกิน 1 ปี หรือปรับ

ไม่เกิน 40,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ โดยราชกิจจานุเบกษา ข้อ 4 มีหลักเกณฑ์ และมีการแบ่งอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.6.2.1 ประเภทที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเล่นเป็นงานอดิเรก เพื่อความบันเทิง หรือเพื่อการกีฬา แบ่งออกเป็น 2 ขนาด คือ

1. ที่มีน้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม
2. ที่มีน้ำหนักเกิน 2 กิโลกรัมแต่ไม่เกิน 25 กิโลกรัม

2.6.2.2 ประเภทที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นนอกจาก 1. ที่มีน้ำหนักไม่เกิน 25 กิโลกรัม ดังต่อไปนี้

1. เพื่อการรายงานเหตุการณ์หรือรายงานการจราจร (สื่อมวลชน)
2. เพื่อการถ่ายภาพ ถ่ายทำ การแสดงในภาพยนตร์หรือรายการโทรทัศน์
3. เพื่อการวิจัยและพัฒนาอากาศยาน
4. เพื่อการอื่น ๆ ประเภทที่ 2. นั้นกำหนดขนาดไม่เกิน 25 กิโลกรัม ขณะที่

ประเภทที่ 1. มีแบ่งย่อยตามขนาด ดังนี้ ประเภท 1.ก มีน้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม กำหนดให้ผู้บังคับหรือปล่อยอากาศยานต้องมีอายุมากกว่า 18 ปี หรือมีผู้แทนโดยชอบธรรมควบคุมดูแล ซึ่งอากาศยานในข้อนี้ กระทรวงคมนาคมอนุญาตให้ทำการบินได้ โดยต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

อากาศยานประเภท 2. ก็ต้องขึ้นทะเบียนและปฏิบัติเงื่อนไขเดียวกันกับประเภท 1.ข กรณีที่ใช้เพื่อรายงานเหตุการณ์หรือรายงานจราจร (สื่อมวลชน) หรือวิจัยและพัฒนาอากาศยาน การขึ้นทะเบียนต้องเป็นนิติบุคคลที่มีวัตถุประสงค์ตามนั้น ส่วนเพื่อใช้ถ่ายภาพหรือการอื่นจะขึ้นทะเบียนเป็นบุคคลธรรมดาหรือนิติบุคคลได้ โดยการขึ้นทะเบียนเป็นนิติบุคคลต้องระบุรายชื่อผู้บังคับหรือปล่อยอากาศยานหรือบุคคลที่จำเป็นในการปฏิบัติการบินของอากาศยานด้วยโดยต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ สำหรับผู้ใดประสงค์จะบังคับหรือปล่อยอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอกที่มีน้ำหนักเกิน 25 กิโลกรัม ให้ยื่นขออนุญาตต่ออธิบดีเป็นกรณีไป

2.6.3 การใช้โดรนสำหรับการเกษตร

ปัจจุบันการทำการเกษตรของไทยมีการพัฒนาไปอย่างมาก โดยเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้นในทุกกระบวนการ ตั้งแต่กระบวนการผลิต การใช้เทคโนโลยีเครื่องจักรระบบอัตโนมัติในกระบวนการต่าง ๆ ไปจนถึงการตลาดโดยใช้ช่องทางออนไลน์ เพื่อให้เกษตรกรสามารถขายผลผลิตตรงสู่ผู้บริโภคได้ โดยไม่ผ่านพ่อค้าคนกลาง เทคโนโลยีสามารถช่วยลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรไทยได้ ซึ่งโดรนเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดเวลา ลดแรงงานในการทำงาน โดยโดรนสามารถนำมาใช้ในการเกษตร ได้ดังนี้

2.6.3.1 โดรนสำหรับหว่านปุ๋ย และฉีดพ่นสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชในนาข้าว

โดยปกติแล้วการฉีดพ่นยากำจัดศัตรูพืชและหว่านปุ๋ยในแปลงนาข้าวโดยใช้แรงงานคน จะใช้เวลาในการทำงานหลายชั่วโมงต่อพื้นที่นา 10 ไร่ โดยมีค่าจ้างอยู่ที่ประมาณ 50 บาท/ไร่ และมีการเหยียบย่ำลงในแปลงนาข้าวเพื่อให้ทำการหว่านปุ๋ยและฉีดพ่นยาได้ทั่วถึง จึงอาจทำให้พืชผลได้รับความเสียหาย และมีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากการฟุ้งกระจายสารเคมีที่ใช้ต่อแรงงานที่เป็นผู้ฉีดพ่นยา หากนำโดรนมาใช้ในการฉีดพ่นยาและหว่านปุ๋ยในแปลงนาจะมีค่าใช้จ่าย 120 บาท/ไร่ แต่การใช้โดรนจะทำให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้แรงงานคน สามารถลดเวลาในการทำงานได้ โดยที่พื้นที่ปลูกข้าว 10 ไร่ ใช้เวลาเพียงประมาณ 10 นาทีในการฉีดพ่นยาและหว่านปุ๋ย และใช้แรงงานคนในการควบคุมเพียง 1-2 คนเท่านั้น



ภาพที่ 2.21 DJI AGRAS T10 4 หัวฉีด 4 ใบพัด [39]



ภาพที่ 2.22 DJI AGRAS T30 16 หัวฉีด 6 ใบพัด [39]



ภาพที่ 2.23 DJI AGRAS T20p 2 หัวฉีด (แบบหัวเจ็ท) 4 ใบพัด [39]

ข้อดี ของการใช้โดรนพ่นสารเคมี คือลดเวลาที่ต้องใช้คนนำถังน้ำยาเดินฉีดหรือพ่นยาไปตามท้องไร่หรือสวน ซึ่งจะใช้เวลาาน และไม่สามารถพ่นยาได้อย่างทั่วถึงอีกทั้งการเดินตามท้องไร่หรือสวนจะทำให้เกิดการเหยียบย่ำพืชให้เสียหาย ซึ่งหากมีการวางแผนในระยะยาว การใช้โดรนพ่นยาจะทำให้คุ้มทุนมากกว่าการจ้างคนเพื่อพ่นยา และสามารถแก้ไขปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงานคนได้

ข้อเสีย ของการใช้โดรนพ่นสารเคมี คือค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับค่าจ้างแรงงานในการพ่นยา อีกทั้งผู้ใช้งานต้องเรียนรู้ระบบการใช้งานของโดรนที่ค่อนข้างซับซ้อน และค่าแบตเตอรี่ซึ่งมีราคาแพง และมีความเสี่ยงต่อการที่เครื่องยนต์มีปัญหา อุปกรณ์ขัดข้อง แบตเตอรี่เสื่อม เกิดอุบัติเหตุ เช่น บินชนต้นไม้ ทำให้เครื่องตก หรือเกิดความเสียหาย รวมถึงมีความลำบากจากการต้องเติมน้ำยาบ่อยครั้ง เนื่องจากเครื่องบินบรรทุกน้ำยาได้ไม่มาก และการต้องคอยดูแลรักษาเครื่อง เช่น การเปลี่ยนแบตเตอรี่ เป็นต้น

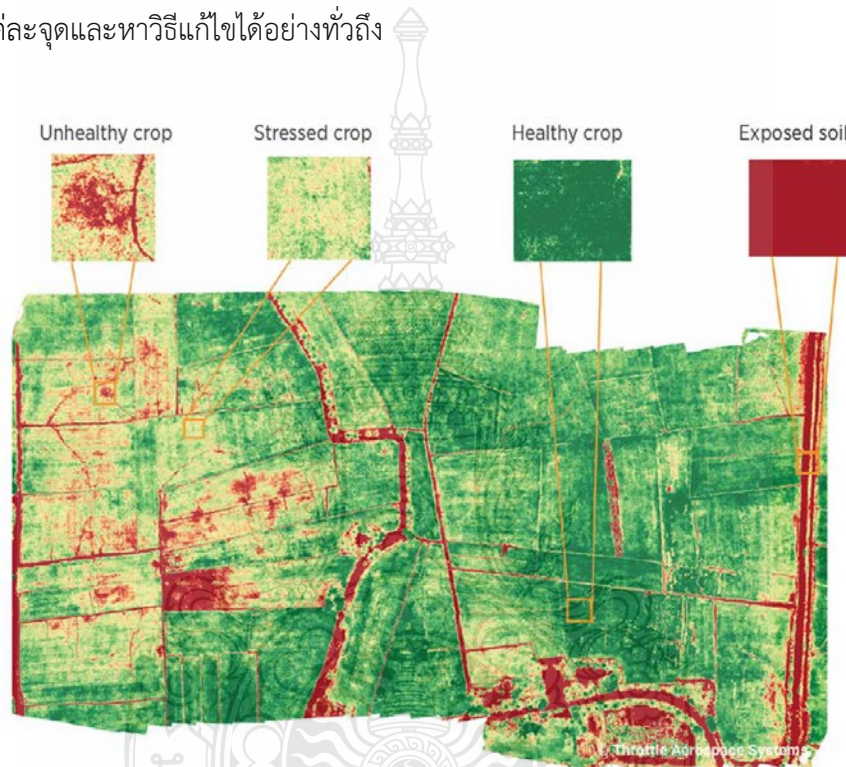
2.6.4 โดรนสำหรับการรดน้ำ การให้ฮอร์โมน

ในการรดน้ำและการให้ฮอร์โมนพืช ช่วงเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญมากพืชจะสามารถดูดซึมอาหารและฮอร์โมนได้ดีที่สุดในช่วงเวลาที่ปากใบเปิด คือเวลาไม่เกิน 7 โมงเช้า หากเกษตรกรมีพื้นที่ทำการเกษตรหลายไร่ ก็จะต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการรดน้ำและให้ฮอร์โมนพืชให้ทันเวลา ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้โดรนในการรดน้ำและให้ฮอร์โมนพืชแทนแรงงานคน ซึ่งจะสามารถลดเวลาและใช้แรงงานในการรดน้ำและให้ฮอร์โมนพืชได้ และยังลดการเหยียบย่ำในพื้นที่แปลงนาให้เกิดความเสียหายด้วย โดยโดรน 1 ลำ สามารถฉีดพ่นพืชในตระกูลพืชไร่ เช่น ข้าว มันสำปะหลัง

และอ้อย ได้จำนวน 100-200 ไร่ต่อวัน โดยใช้คนควบคุมการทำงานของโดรนเพียง 1-2 คน เท่านั้น ในขณะที่การรดน้ำและให้ฮอร์โมนพืชโดยทั่วไป อาจต้องใช้แรงงานคนถึง 10-20 คนเลยทีเดียว

2.6.5 โดรนสำหรับการถ่ายภาพวิเคราะห์/ตรวจโรคพืช

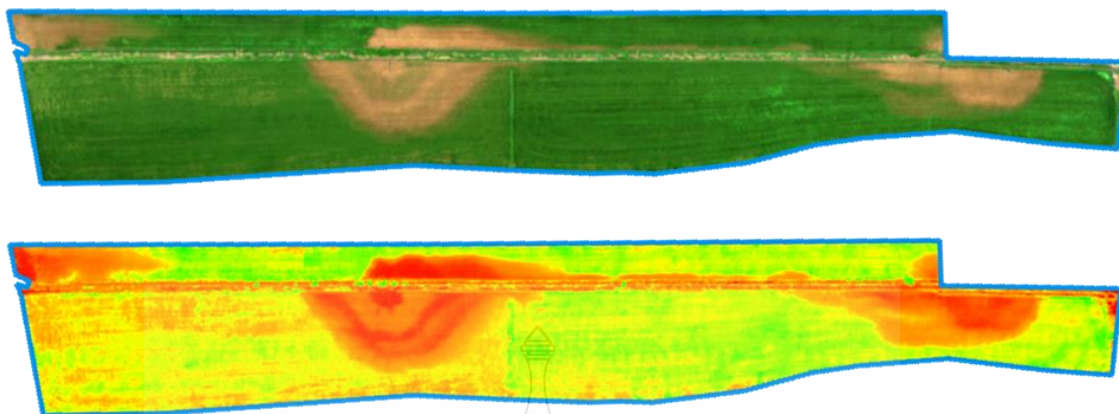
เทคโนโลยีโดรนสามารถนำมาช่วยให้เกษตรกรสามารถดูแลรักษาโรคพืชได้อย่างตรงจุด โดยการนำโดรนมาติดระบบเซ็นเซอร์ และกล้องสำหรับการถ่ายภาพทางอากาศโดยใช้ระบบ GPS ในการหาพิกัดต่าง ๆ การตรวจสอบภาพพื้นที่เพาะปลูกในมุมสูง เพื่อวิเคราะห์หาการเจริญเติบโตของพืชในแต่ละจุดและหาวิธีแก้ไขได้อย่างทั่วถึง



ภาพที่ 2.24 การวิเคราะห์ภาพถ่าย multispectral ในพื้นที่เพาะปลูก [40]



ภาพที่ 2.25 ตำแหน่งและขนาดพื้นที่บริเวณที่เกิดโรคใบด่างในไร่นาสำปะหลัง [17]



ภาพที่ 2.26 ผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากโดรนแสดงผลกระทบที่นาข้าวได้รับจากการปล่อยน้ำเสีย [17]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำการเกษตรอัจฉริยะ เกษตรแม่นยำ และค่าดัชนีพืชพรรณ โดยนำข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการออกแบบ สร้าง ทดสอบ และประเมินผลระบบการให้ปุ๋ยในโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน ซึ่งจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ณภัทร โรจนสกุล, รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ และเกรียงไกร แก้วตระกูลพงษ์ ได้ทำการวิจัย “การใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบของข้าว (Using Digital Image for Estimating Leaf Area of Rice)” โดยการถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตร เหนือทรงพุ่มต้นข้าวที่ช่วงอายุ 20, 40, 60, 80 และ 100 วัน หลังปลูก แต่ละครั้งจะถ่ายภาพ 3 ช่วงเวลา คือ 08:00, 12:00 และ 16:00 น. วัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบ อัตโนมัติ พบว่าการวัดพื้นที่ใบข้าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเจริญเติบโตของข้าวโดยไม่มีการทำลายตัวอย่างพืชนั้นมีความแม่นยำที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งมีแสงสว่างที่สุด แต่โดยรวมแล้วยังคงไม่มีความแม่นยำมากพอ เนื่องจากยิ่งพืชมีการเจริญเติบโตจะยิ่งมีใบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการซ้อนทับกัน ทำให้การวิเคราะห์ค่าเคลื่อนตามไปด้วย [41]

สุริพร ขอนพิกุล และคณะ ได้ทำการวิจัย “การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยและแนวทางการลด เพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน” โดยพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ปัจจุบันมีมากถึง 1.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สาเหตุหลักเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร้อยละ 83 และมาจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรร้อยละ 17 นอกจากนี้ การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากการปลูกในพื้นที่ลาดชันและอยู่ในเขตป่าไม้ทำให้เกิดการปล่อย

ก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันจากการเผาป่าและไร่ข้าวโพด อีกทั้งยังเป็นการสูญเสียพื้นที่ป่าอนุรักษ์ต้นน้ำ พบว่าการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ราบและในพื้นที่ที่เหมาะสมนั้นจะช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งการแก้ปัญหาหมอกควันทางอากาศ ปัญหาหมอกควันที่เกิดจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ต้องมีการหาแนวทางเพื่อการจัดการเศษวัสดุ ด้วยการนำไปแปรรูปทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF) หรือการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) จากการศึกษา การปรับปรุงในสถานการณ์จำลองโดยการใช้ปุ๋ยสั่งตัด สามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 22 และปรับปรุงโดยการใช้ปุ๋ยสั่งตัดร่วมกับการย้ายพื้นที่ปลูกและการจัดการชีวมวลอย่างถูกต้องเหมาะสม พบว่าจะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 48 [42]

ปาณัท จิมีโสสง, สุนันทา กิ่งไพบูลย์, เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และ Yasushi Kiyoki ได้ทำการวิจัย “การตอบสนองของดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอนัลไลซ์ต่อปุ๋ยไนโตรเจน ในข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ” ซึ่งทำการบันทึกภาพถ่ายสี่มุมจริงและภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น เมื่อข้าวโพดมีการเจริญเติบโตในระยะ R1 ซึ่งมีอายุ 66 วัน จากผลการคำนวณค่า NDVI พบว่าพื้นที่บริเวณร่องทางเดินระหว่างแปลงมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.16 และพื้นที่บริเวณต้นข้าวโพดที่มีทรงพุ่มเปี่ยมมีค่ามากที่สุดคือ 0.96 โดยการตอบสนองค่า NDVI ต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้มีการทดสอบการให้ปุ๋ย 4 ตำรับ และมีผลผลิตดังนี้ ตำรับ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ให้ผลผลิต 401.65 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับตำรับ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 23 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับ 3 และ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 20 และ 32 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,306.22 และ 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ การทดสอบนี้เมื่อถึงระดับหนึ่งข้าวโพดข้าวเหนียวจะเริ่มตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในรูปผลผลิตน้อยลง แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับผลผลิตยังอยู่ในระดับมีความสัมพันธ์มาก [43]

ปริยานันท์ สอนทับทิม และคณะ ได้ทำการศึกษา “การประเมินผลผลิตอ้อยด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล ในจังหวัดนครสวรรค์” โดยดัชนีพืชพรรณที่นำมาใช้คือ NDCI, NDRE, NDVI ซึ่งพบว่าดัชนี NDRE มีความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อยดีที่สุด และอายุอ้อย 8-10 เดือน ค่าความแม่นยำของประมาณการผลิตดีที่สุด การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน SMLR มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เทคนิคแปลงแบบ PCA โดยถ้าผลผลิตอ้อยสูงขึ้น ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง โดยการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยวิธี SMLR จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงกว่าการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยดัชนีพืชพรรณ [44]

จิรวัดน์ โนดโฮสง และคณะ ได้วิจัยเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Clred edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข”

โดยเก็บรวบรวมภาพถ่ายอ้อยในแปลงจากกล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral Camera) แบบ 5 ช่วงคลื่น (Red, Green, Blue, NIR และ RedEdge) ซึ่งติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ เพื่อประมวลผลและคำนวณค่าดัชนี พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า การทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ Clred edge) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขมีค่า $r = 0.77, 0.78$ และ 0.87 ตามลำดับ ค่าดัชนีทั้ง 3 ค่า สมการที่ทำนายผลผลิตอ้อยได้ดีที่สุดคือปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข [45]

Etienne David และคณะได้ทำการศึกษาการตรวจจับและการนับพืชจากภาพ RGB ความละเอียดสูงที่ได้รับจาก UAV: การเปรียบเทียบระหว่างวิธี Deep Learning กับ Handcrafted ในข้าวโพด ป่าน้ำตาล และพืชทานตะวัน โดย Deep Learning (DL) จะให้ Machine ฝึกกับรูปภาพที่เลือกมาที่ Represent แต่ละช่วงการเติบโตของพืช และ Handcrafted (HC) จะมีกฎเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น แบ่งส่วนพิกเซลของสีเขียวกับพื้นหลัง แยกแถวและ Object ที่เกี่ยวกับพืชจากความรู้การหว่านผล คือ DL ทำได้ดีกว่าโดยเฉพาะข้าวโพดและทานตะวัน แต่ปัญหาของทั้ง 2 วิธีคือจะทำงานได้แย่งถ้าคุณภาพของรูปไม่ดี และสำหรับ DL จะทำงานได้แย่งอีกถ้ามีวัชพืช ดังนั้นจึงมีวิธีที่ 3 คือ Hybrid (HY) จะใช้กฎของ HC มาร่วมด้วย ซึ่งทำให้ทำงานดีกว่า DL เล็กน้อย หลังจากนั้นจึงใช้ Active learning คือการเพิ่มภาพที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขของชุดข้อมูลเพื่อฝึกฝน DL จะทำให้พัฒนาประสิทธิภาพได้ดีมาก [46]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.1 โดรนสำหรับติดกล้องถ่ายภาพ

โดรนสำหรับติดกล้องถ่ายภาพที่ใช้คือ DJI Matrice 200 Series V2 ซึ่งเป็นโดรนขนาดกลาง (ภาพที่ 3.1) โดรนรุ่นนี้ทนทานต่อลม ทำให้สามารถถ่ายภาพต่อเนื่องและตรึงจับสิ่งกีดขวางได้ทุกทิศทาง ถ้าใช้โดรนรุ่นเล็กจะสู้แรงลมไม่ไหว การถ่ายภาพมักเกิดข้อผิดพลาดได้ง่ายอุปกรณ์นี้สามารถใช้ร่วมกับ App Pix4Dcapture เพื่อทำแผนที่เที่ยวบินและสั่งการบินอัตโนมัติได้



ภาพที่ 3.1 โดรนสำหรับติดกล้องถ่ายภาพ

3.1.2 กล้องถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม

การศึกษานี้ต้องการวัดค่าการสะท้อนของ NIR ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกล้องเฉพาะทาง เช่น กล้องมัลติสเปกตรัม ภาพที่ 3.2 แสดง DJI Phantom 4 Multispectral ที่ใช้สำหรับถ่ายภาพทางอากาศเพื่อการเกษตร สามารถใช้ตรวจสอบสภาพดิน ความอุดมสมบูรณ์ของพืช เพื่อช่วยวิเคราะห์และเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร โดยหนึ่งชุด ประกอบด้วยเลนส์ 6 ตัว: ขอบแดง NIR แสงที่มองเห็นได้ เขียว แดง และน้ำเงิน กล้องมัลติสเปกตรัมนี้มีความละเอียด 18.9 เซนติเมตร/พิกเซล มีมุมมองภาพที่กว้าง (62.7°) ซึ่งส่งผลให้ความผิดเพี้ยนและความคมชัดลดลง โปรแกรม DJI Terra จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ภาพ แต่ราคาสูงกว่าโปรแกรมอื่น ๆ



ภาพที่ 3.2 กล้องถ่ายภาพมัลติสเปกตรัม

3.1.3 โปรแกรม DJI Ground Station Pro

เป็นแอปพลิเคชันสำหรับการควบคุมการบินโดรนและสร้างแผนที่การบิน เพื่อให้การควบคุมการบินของโดรน มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีการทำงานหลัก 3 ด้าน คือ 1) Virtual Fence สามารถทำให้โดรนบินภายในขอบเขตที่กำหนดได้ 2) Waypoint Flight ทำให้โดรนสามารถบินตามจุดที่เรากำหนดก่อนขึ้นบินได้ 3) 3D Scan Area สามารถทำ Map สามมิติ เพื่อใช้ในการสำรวจได้ [26]



ภาพที่ 3.3 DJI Ground Station Pro

3.1.4 โปรแกรม DJI Terra

เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์พีซี (Windows) ใช้สำหรับการจัดทำแผนที่ GIS (geographic information system) หรือระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ภาพถ่ายจากโดรนติดกล้อง นำมาประมวลผล หลังจากประมวลผลจากภาพเสร็จ จะให้ผลลัพธ์เป็นภาพแผนที่ทางอากาศ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายด้านที่มีประโยชน์ เช่น การสำรวจ การวัดระยะพื้นที่ และงาน

เกษตรกรรมด้านการเกษตร โปรแกรมจะให้ภาพแผนที่ค่าดัชนีพืชพรรณ 5 แบบ 1) NDVI 2) GNDVI 3) NDRE 4) LCI 5) OSAVI ที่จะใช้วิเคราะห์การเกษตรโดยเฉพาะ [27]



ภาพที่ 3.4 โปรแกรม DJI Terra

3.1.3 โปรแกรม QGIS

สำหรับการทำแผนที่ทางภูมิศาสตร์ทางอากาศ โดยใช้โปรแกรมพื้นฐานอื่น ๆ แทนโปรแกรมที่มีราคาแพงที่แนะนำมาพร้อมกับโดรน และกล้องถ่ายภาพ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้งานผ่านโปรแกรม Quantum GIS (QGIS) ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประเภทหนึ่ง โดยมี Graphic User Interface (GUI) ที่เข้าใจง่ายและใช้งานง่าย QGIS ได้รับการพัฒนาภายใต้ใบอนุญาตโอเพ่นซอร์สที่สามารถใช้งานได้โดยไม่มีข้อจำกัด QGIS ได้รับการพัฒนาด้วยคุณสมบัติที่หลากหลาย ทั้งเพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป เช่น การดึงตารางการสืบค้นข้อมูลรูปภาพ การวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่ง (การสืบค้นเชิงพื้นที่) ตลอดจนการนำเสนอข้อมูลในแผนที่ทั้งออฟไลน์และออนไลน์ [26]

3.1.4 เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์พันธุ์ ซี.พี.303

ข้าวโพดที่ใช้ในการทดสอบคือ พันธุ์ ซี.พี.303 (ภาพที่ 3.3) อายุเก็บเกี่ยว 105 วัน และเก็บเกี่ยวแห้ง 115 วัน มีลักษณะเด่นคือระบบรากและลำต้นแข็งแรง การเจริญเติบโตดี ฝักเดี่ยวขนาดใหญ่ เมล็ดโต แขนงเล็ก เมล็ดลึกลับ เปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ดสูง เปลือกหุ้มฝักมิด ข้าวโพดพันธุ์นี้สามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ราบ และที่เนิน โดยต้องดินอุดมสมบูรณ์ และมีปริมาณน้ำฝนดี ให้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 1,500-2,000 กก./ไร่ ที่ความชื้น 25-30% ระยะปลูกที่แนะนำคือ 70 x 20 เซนติเมตร หลุมละ 1 ต้น ซึ่งไม่ควรเกิน 12,000 ต้น/ไร่ [27] สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ระยะปลูกคือ 70 x 17 เซนติเมตร 1 ต้นต่อหลุม เท่ากับ 13,400 ต้น/ไร่



ภาพที่ 3.5 เมล็ดข้าวโพดอาหารสัตว์พันธุ์ ซี.พี.303

3.1.5 ปุ๋ยที่ให้แก่ข้าวโพดอาหารสัตว์

เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดอาหารสัตว์นี้มีแร่ธาตุต่ำมาก จึงจำเป็นที่จะต้องมีการปรับแร่ธาตุด้วยปุ๋ย ปริมาณ 50 กิโลกรัม/ไร่ โดยปุ๋ยที่ใช้จะต้องเน้นที่ไนโตรเจน เช่น สูตร 18-4-5, 18-5-3, 12-4-4, 15-3-7 เป็นต้น โดยพื้นฐานการใส่ปุ๋ยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะทำการใส่ทั้งหมด 2 ครั้ง ครั้งที่หนึ่งเมื่อข้าวโพดอายุ 14 วัน และครั้งที่สองเมื่อข้าวโพดอายุ 40 วัน ดังตารางที่ 3.1

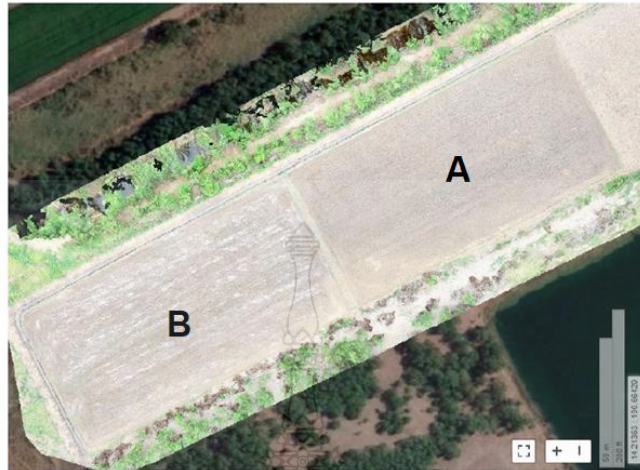
ตารางที่ 3.1 พันธุ์ข้าวโพดอาหารเลี้ยงสัตว์ ค.

การใส่ปุ๋ยขณะปลูก		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2
สูตรปุ๋ย	0-0-60	18-46-0	46-0-0	46-0-0
ปริมาณปุ๋ย (กก./ไร่)	19	14	14	18

3.1.6 พื้นที่การทดสอบ

ที่ตั้งของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่บริษัท KSP Equipment Co. Ltd. ณ ตำบลลำไทร อำเภอน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย การเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์บนพื้นที่ดังกล่าว เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ และทดลองซ้ำอีกครั้งในปี พ.ศ. 2565 เพื่อทำการทดสอบร่วมกับเครื่องให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ พื้นที่ทดลองมีขนาดทั้งหมด 12,467 ตารางเมตร แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน คือ แปลง A และแปลง B ดังภาพที่ 3.4

โดยแปลง A เป็นแปลงอ้างอิงที่ไม่มีการปรับปรุงดินในบริเวณ และแปลง B มีการปรับปรุงดินซึ่งเป็นสถานที่ที่เราสนใจในการศึกษา



ภาพที่ 3.6 ภาพถ่ายจากโดรนแสดงแปลง A และแปลง B

3.1.7 ระบบปลูกแบบน้ำหยด

งานวิจัยในครั้งนี้ใช้รูปแบบการให้น้ำแบบระบบหยด โดยการส่งน้ำผ่านเทปน้ำหยดที่ติดตั้งไว้บริเวณโคนต้นระหว่างแถวของข้าวโพด โดยการให้น้ำแบบระบบหยด น้ำจะหยดออกจากเทปช้า ๆ อย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ ในอัตรา 0.8 - 2 ลิตรต่อชั่วโมง โดยการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เลือกใช้เทปน้ำหยดยี่ห้อเคดี ดังในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.7 โรงงานผลิตเทปน้ำหยด พร้อมระบบ และผลิตภัณฑ์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

พื้นที่การวิจัยตั้งอยู่ที่บริษัท เคเอสพี อีควิเมนต์ จำกัด ตำบลลำไทร อำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และได้ทำการศึกษาวิจัยเป็นระยะเวลา 6 เดือน เริ่มตั้งแต่มิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2564 บนพื้นที่ทดลอง 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ แบ่งเป็น 2 แปลง ขนาดแปลงละ 3.5 ไร่ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบความเจริญเติบโต และผลผลิตของน้ำหนักรากเมล็ดข้าวโพด ของพื้นที่ที่มีการปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดิน โดย แปลง A ไม่มีการปรับปรุงดินค่าความเป็นกรดเป็นด่างก่อนเพาะปลูก และแปลง B มีการปรับปรุงความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้อยู่ในระดับ pH 5.5-6.5 ก่อนเพาะปลูก ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว รวมไปถึงน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกควรมีค่า pH 5.6-6.5 เช่นเดียวกัน [1] ภาพที่ 3.7 และภาพที่ 3.8 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพก่อนการเพาะปลูก ซึ่งในแปลง A พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ยที่ 4.4 ซึ่งมีความเป็นกรดสูง ในขณะที่แปลง B พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ย 5.3 จึงใช้เป็นแปลงที่มีการปรับปรุงดิน โดยใช้ ปูนขาว $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ในปริมาณ 740 กิโลกรัมต่อไร่ในการปรับสภาพดิน ดังภาพที่ 3.8 ภาพที่ 3.9 และภาพที่ 3.10 ซึ่งหลังจากการปรับสภาพดินเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ของแปลง B พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 6.0 ส่วนแนวทางการปรับสภาพค่า pH ของน้ำได้ใช้ มูลไก่ ในการลดค่ากรด ซึ่งจากการวัดค่า pH เฉลี่ยของ น้ำหลังการปรับสภาพ วัด pH ได้ 4.5 ซึ่งยังถือว่าเป็นกรด และยังไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช



ภาพที่ 3.8 พื้นที่ศึกษาวิจัย



ภาพที่ 3.9 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินและน้ำในพื้นที่ที่วัดค่าก่อนการเพาะปลูก



ภาพที่ 3.10 ใส่ปูนขาวปรับสภาพดิน

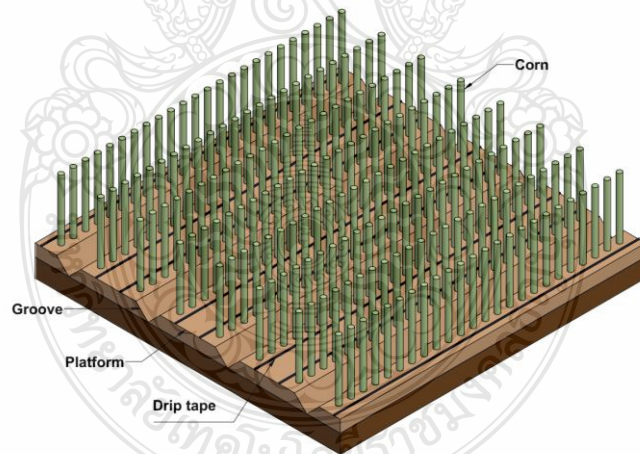


ภาพที่ 3.11 การเตรียมดิน



ภาพที่ 3.12 การปรับสภาพดิน

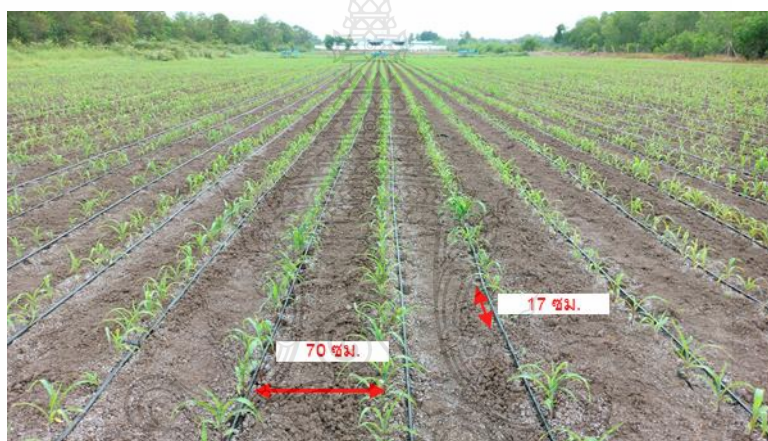
เมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดที่ใช้ในการปลูกทดสอบคือ พันธุ์ CP303 อายุข้าวโพดที่พร้อมในการเก็บเกี่ยวผลผลิต อยู่ในช่วง 105 ถึง 115 วัน ข้าวโพดพันธุ์นี้สามารถปลูกได้ทั้งในพื้นที่ราบและเนินเขา โดยต้องมีดินอุดมสมบูรณ์และมีฝนตกชุก คาดการณ์ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 1,500-2,000 กก./ไร่ ที่ความชื้น 25-30% [12] โดยระยะการหยอดเมล็ดปลูกข้าวโพดจะห่างกัน 17 เซนติเมตร 1 ต้นต่อหลุม และระยะห่างระหว่างแถวห่างกัน 70 เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับ 13,400 ต้น/ไร่ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 ภาพที่ 3.12 และ 3.13 ระยะเวลาการให้ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ 14 25 และ 40 วัน ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.13 การออกแบบแปลงปลูก



ภาพที่ 3.14 การหยอดเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด



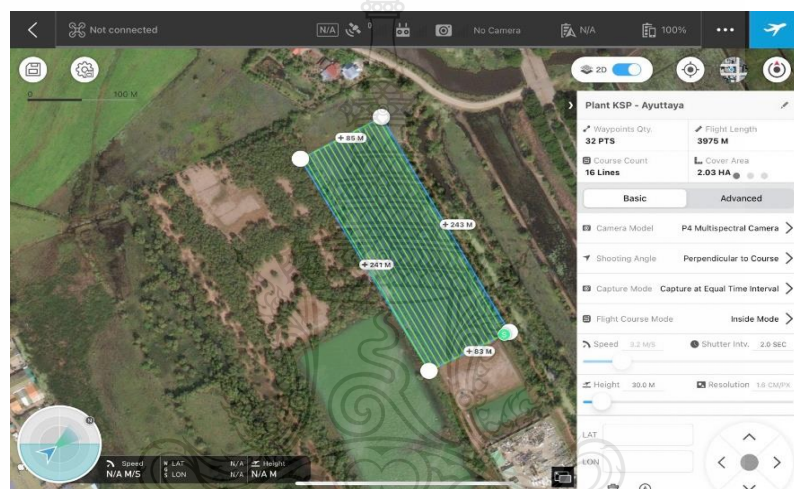
ภาพที่ 3.15 ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถวของการปลูกข้าวโพด



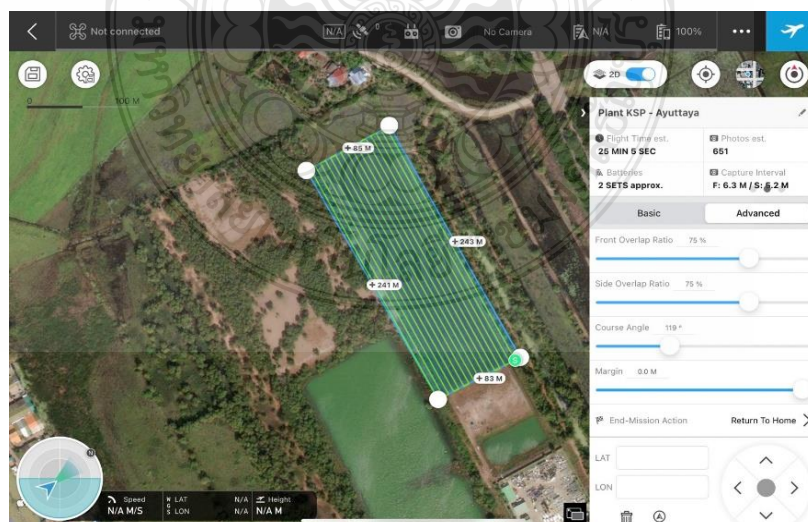
ภาพที่ 3.16 งานให้ปุ๋ย กำจัดศัตรูพืช วัชพืช

3.2.2 วิธีการดำเนินงานการสร้างแผนที่

เข้าใช้งานโปรแกรม DJI Ground Station Pro เพื่อสร้างแผนที่การบินพร้อมเลือกประเภทของภาพแผนที่ที่ต้องการ จากนั้นทำการตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่าง ๆ ดังภาพที่ 3.15 พร้อมเลือกชนิดของกล้องของโดรน เลือกทิศทางของกล้องเมื่อบินไปตามเส้น เลือกโหมดการบิน เลือกความเร็วในการบิน กำหนดช่วงเวลาของชัตเตอร์ และเลือกระดับความสูงของการบิน เมื่อเลือกค่าพารามิเตอร์พื้นฐานเรียบร้อยแล้ว ให้ดำเนินการตั้งค่าพารามิเตอร์ขั้นสูง ดังภาพที่ 3.16 โดยการตั้งค่าอัตราส่วนการซ้อนทับด้านหน้าและด้านข้างของภาพ กำหนดทิศทางและเลือกโหมดของเส้นการบิน ตั้งขอบพื้นที่



ภาพที่ 3.17 การตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน

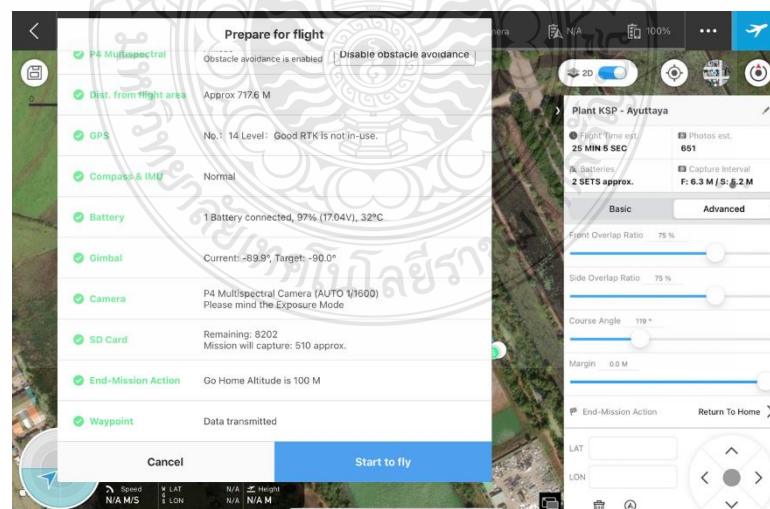


ภาพที่ 3.18 การตั้งค่าพารามิเตอร์ขั้นสูง

สำหรับควบคุมพื้นที่การบิน โดยมีค่าที่ตั้ง 0.0 ม. และตั้งค่าโดรนให้บินกลับตำแหน่งเดิมเมื่อจบภารกิจ หลังจากตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ให้นำโดรนไปวางตรงจุดที่จะทำการขึ้นบิน ซึ่งจุดนั้นต้องเป็นที่โล่งไม่มีสิ่งกีดขวางทั้งด้านบนและด้านล่าง และทำการ Calibrate the compass ก่อนการขึ้นบิน ดังภาพที่ 3.17 เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วให้กดโหมดบิน โปรแกรมจะแสดงค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งทุกตัวต้องขึ้นเป็นตัวหนังสือสีเขียว ดังภาพที่ 3.18 จากนั้นก็ให้กดเริ่มบินโดรน โดยโดรนจะบินเก็บภาพตามที่กำหนด

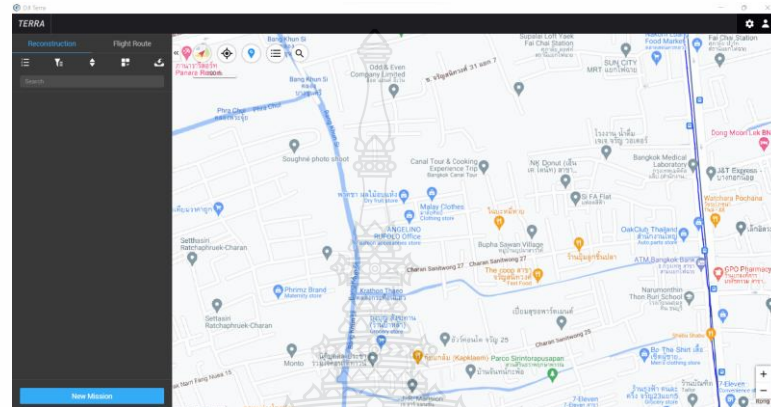


ภาพที่ 3.19 การ Calibrate the compass ก่อนการขึ้นบิน



ภาพที่ 3.20 หน้าจอแสดงผลการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์

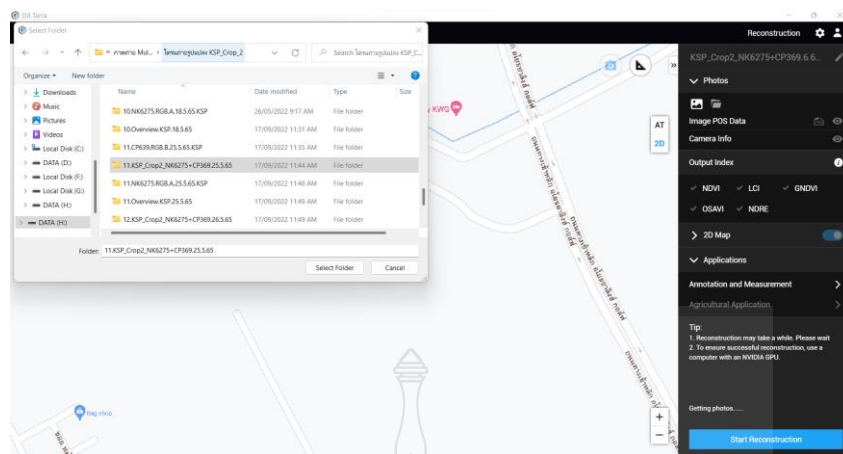
หลังจากได้ข้อมูลการจากบินโดรนเก็บภาพเรียบร้อยแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มา Mapping ด้วยโปรแกรม Dji Terra โดยมีวิธีการ ดังภาพที่ 3.19 ถึงภาพที่ 3.22 1) สร้าง New mission 2) เลือกมัลติสเปคตรัม 3) สร้างไฟล์เตอร์พร้อมอัปโหลดรูปภาพเข้าโปรแกรม และ 3) เลือกเริ่มต้นสร้างแผนที่ (Strat Reconstruction) และรอโปรแกรมประมวลผลจนเสร็จสิ้น และจะได้ภาพแผนที่สำหรับการคำนวณในรูปแบบ RGB, NDVI, GNDVI, LCI, NDRE และ OSAVI ดังภาพที่ 3.23 ถึงภาพที่ 3.29



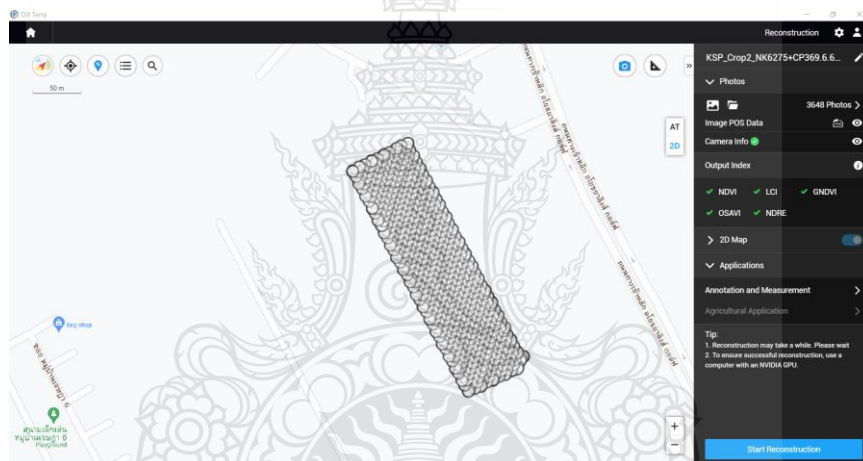
ภาพที่ 3.21 การสร้าง New Mission บนโปรแกรม Dji Terra



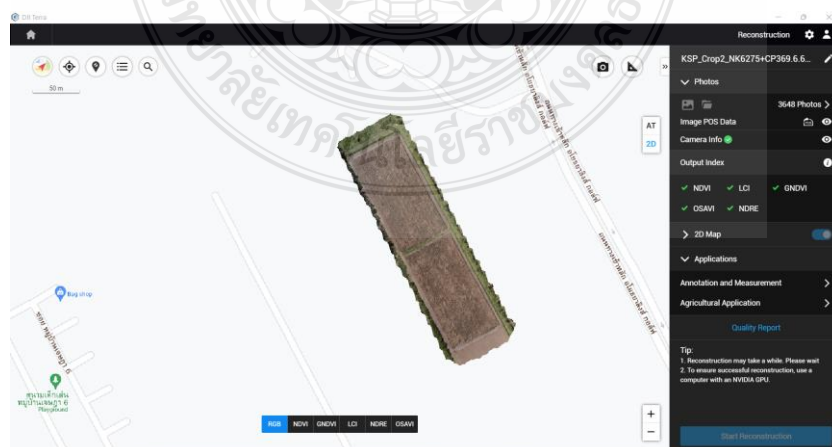
ภาพที่ 3.22 การทำภาพมัลติสเปคตรัม



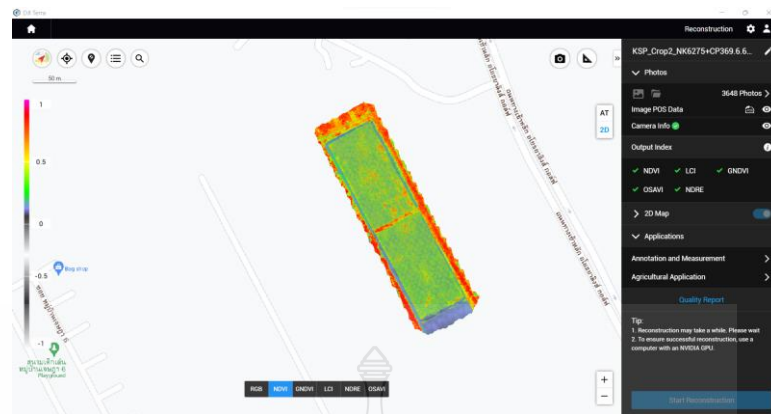
ภาพที่ 3.23 การสร้างโฟลเดอร์ และอัปโหลดข้อมูลเข้าโปรแกรม



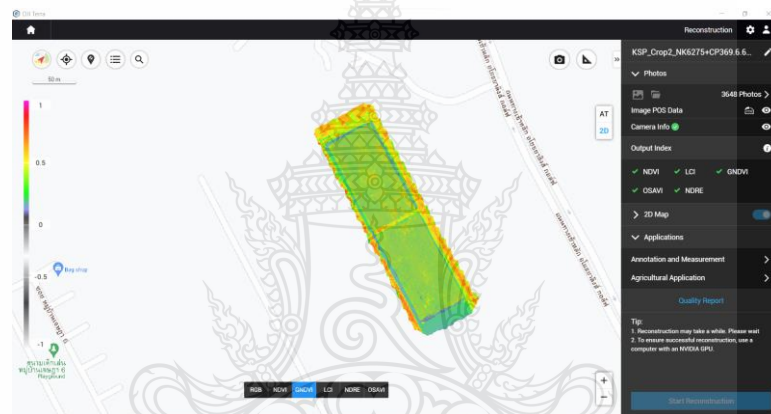
ภาพที่ 3.24 การประมวลผลภาพมัลติสเปกตรัม



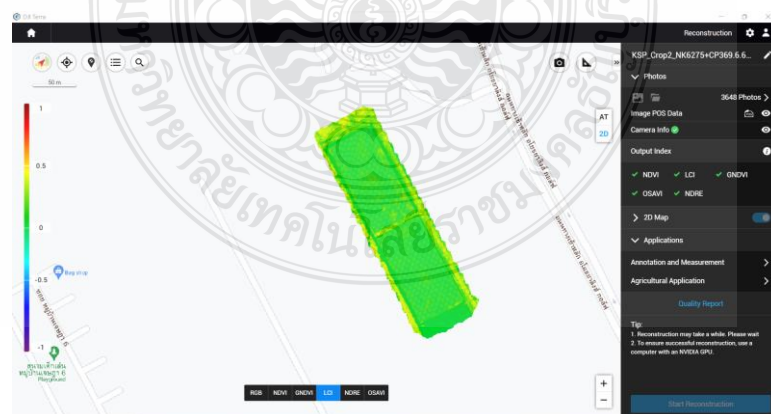
ภาพที่ 3.25 ภาพ RGB ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA



ภาพที่ 3.26 ภาพ NDVI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA



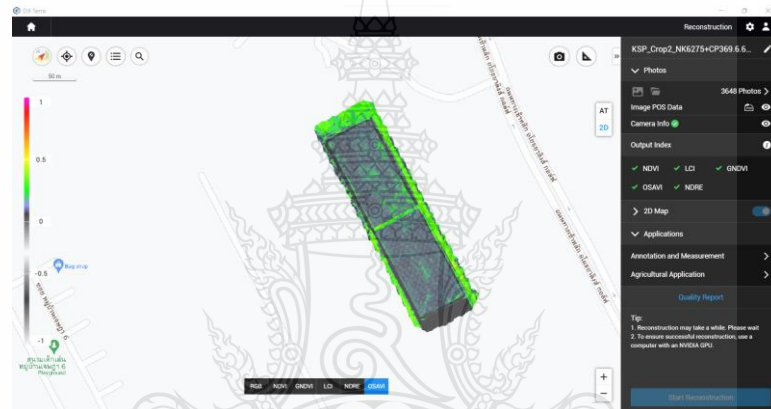
ภาพที่ 3.27 ภาพ GNDVI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA



ภาพที่ 3.28 ภาพ LCI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA



ภาพที่ 3.29 ภาพ NDRE ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA



ภาพที่ 3.30 ภาพ OSAVI ที่ได้จากการ Mapping ด้วยโปรแกรม DJI TERRA

3.2.3 การศึกษาผลผลิต

การประมาณค่าผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI และหาช่วงอายุที่เหมาะสมในการใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาประมาณการณ์ผลผลิต ถูกดำเนินการโดยใช้ข้อมูลภาคพื้นดินของการเจริญเติบโตตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ซึ่ง O'Keeffe, Kieran [15] ได้แบ่งไว้ 8 ระยะ ดังนี้ 1) Stage VE คือระยะเริ่มหยอดเมล็ดถึงแปลงปลูก 2) V2 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 2 ใบ และความสูงที่ 10 เซนติเมตร ในระยะเวลา 7 วันจากการปลูก 3) V5 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 5 ใบ และความสูงที่ 30 เซนติเมตร ในระยะเวลา 20 วันจากการปลูก 4) V8 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 8 ใบ และความสูงที่ 60 เซนติเมตร ในระยะเวลา 7 วันจากการปลูก 5) V12 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 12 ใบ ในระยะเวลา 45 วันจากการปลูก 6) V16 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 16 ใบ ในระยะเวลา 60 วันจากการปลูก 7) R1 คือ ระยะการออกรวงใหม่จนถึงระยะฝักอ่อน มี 20 ใบ และความสูงที่ 270 เซนติเมตร ในระยะเวลา 70 วันจากการปลูก 8) R5 คือ ระยะที่ฝักเริ่มแห้งพร้อมเก็บเกี่ยวและสีของใบจะเริ่มเป็นสีน้ำตาลเหลือง มีความสูงที่ 270 เซนติเมตร ในระยะเวลา 110 วันจากการ

Stage	VE	V2	V5	V8	V12	V16
Emergence	2 leaves fully emerged	5 leaves fully emerged	8 leaves fully emerged	12 leaves	16 leaves	Pollination 20 leaves
			Tassel and ear initiation			
Days	0	10	20	30	40	60
Days	0	7	17	28	45	60

การเจริญเติบโตของข้าวโพดตั้งแต่เริ่มปลูกลงจนถึงเก็บเกี่ยว

ศึกษาดัชนีพืชพรรณ



เจริญเติบโตของข้าวโพดตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว
ชาตฉินพีพพรรณ

ชาติพันธุ์พืชพรรณ

พืชพรรณ (Vegetation Index หรือ VI) คือ ค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณ
คำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน
ใช้ในการคำนวณ คือ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index),
Difference Red-Edge Index), GNDVI (Green Normalized Difference
CI (Canopy Chlorophyll Content Index), Clgreen (Chlorophyll Index
ied Soil Adjusted Vegetation Index) ในการศึกษาครั้งนี้จะหาค่า NDVI

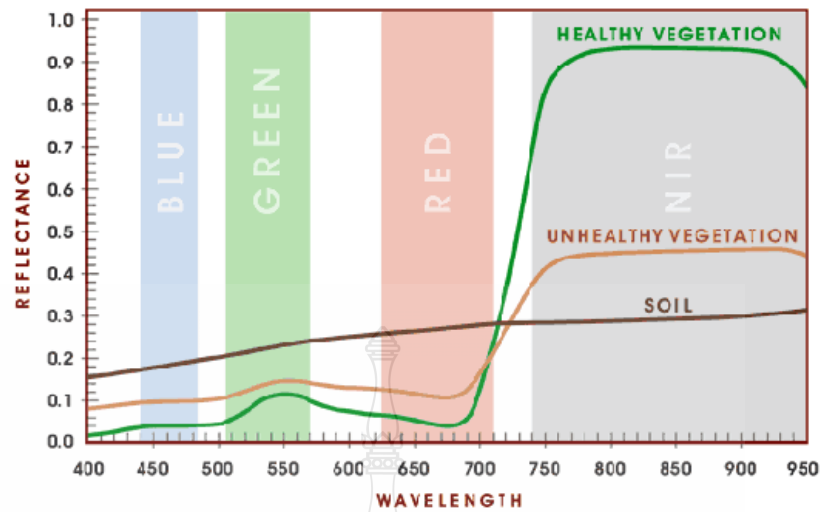
ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากกว่าดัชนีพืชพรรณอื่น โดยการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิวระหว่างช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด กับช่วงคลื่นสีแดงที่ตามองเห็น มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ดังสมการที่ (1) ทำให้ผลลัพธ์ NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งสามารถแปลผลได้ดังนี้ ค่า 0 หรือ 0.1 หมายถึงไม่มีพืชพรรณใบเขียว หรือมีพืชพรรณใบเขียวอยู่น้อยมากในบริเวณพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ ถ้าค่า NDVI เข้าใกล้ 1 เช่น 0.8 หรือ 0.9 หมายถึง พื้นที่ที่สำรวจ มีพืชพรรณใบเขียวที่หนาแน่น ดังแสดงในภาพที่ 2.5 กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีการสะท้อนในช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่ถ้าพื้นผิวที่สำรวจเป็นดินจะมีการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนกรณีที่พื้นผิวเป็นน้ำ จะมีการสะท้อนในช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (3.1)$$

ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงจากภาพมัลติสเปกตรัม จะมีค่าคลื่นแสงสีน้ำเงินอยู่ในช่วง 440 - 480 นาโนเมตร คลื่นแสงสีเขียวอยู่ในช่วง 505 - 570 นาโนเมตร คลื่นแสงสีแดงอยู่ในช่วง 625 - 710 นาโนเมตร และ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด อยู่ในช่วง 740 - 950 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.15 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องมัลติสเปกตรัม MicaSense RedEdge-MX จากบริษัท AgEagle Aerial Systems Inc ดังแสดงในภาพที่ 3.16 ซึ่งมีค่าการสะท้อนของคลื่นแสงสีน้ำเงินที่ 475 นาโนเมตร คลื่นแสงสีเขียวที่ 560 นาโนเมตร คลื่นแสงสีแดงที่ 668 นาโนเมตร คลื่นแสงขอบสีแดงที่ 717 และ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่ 840 นาโนเมตร มาใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะได้สมการในการคำนวณ NDVI ดังสมการที่ 2 คือ

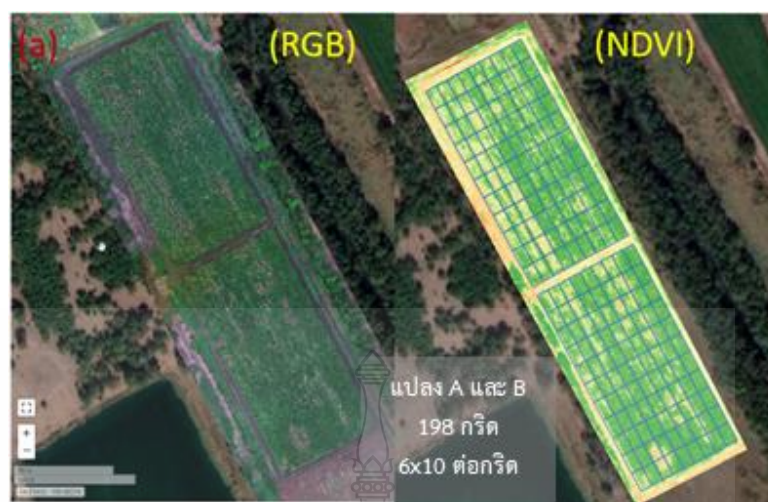
$$NDVI = \frac{(NIR(840)nm-RED(668)nm)}{(NIR(840)nm+RED(668)nm)} \quad (3.2)$$

เมื่อ NIR (840) nm คือ ค่าสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่ 840 นาโนเมตร
RED (668) nm คือ ค่าสะท้อนของคลื่นแสงสีแดงที่ 668 นาโนเมตร

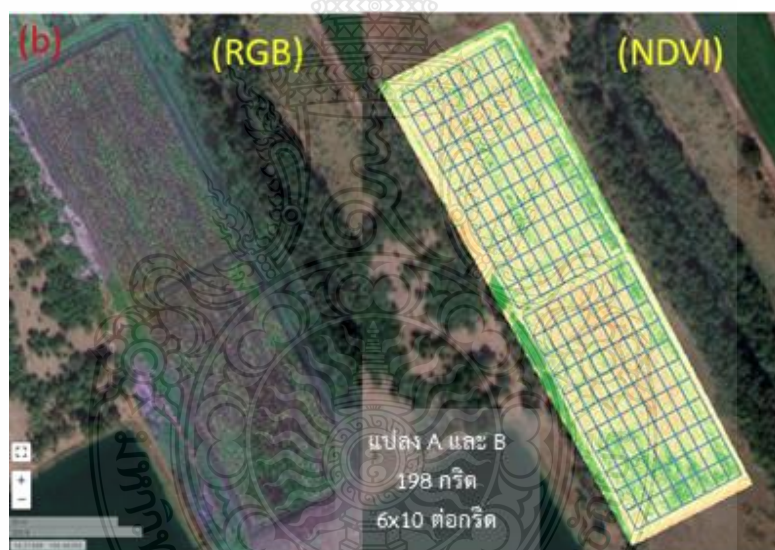


ภาพที่ 3.32 ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ

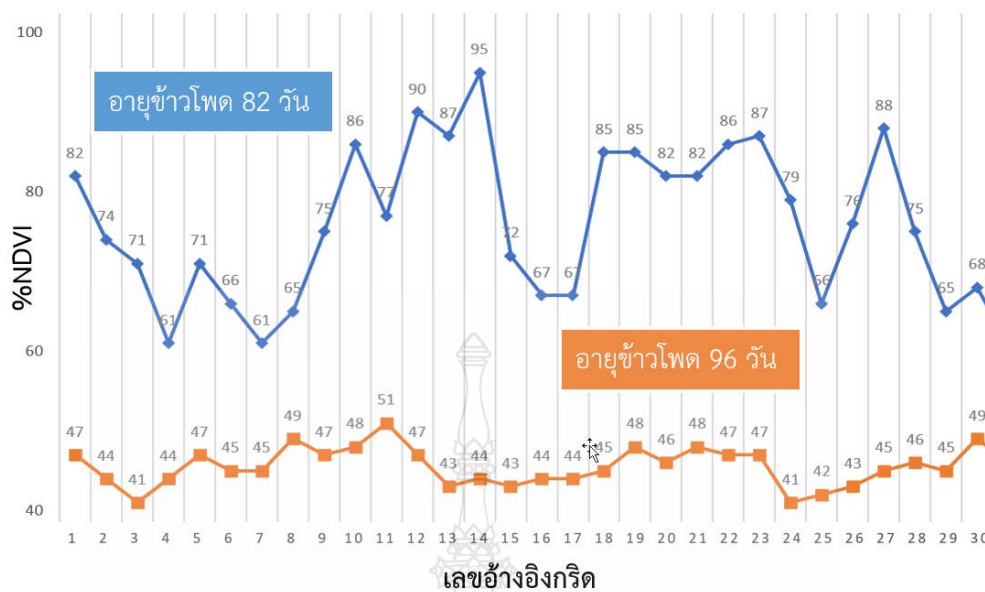
การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้คำนวณ NDVI เมื่ออายุของข้าวโพดมีอายุ 82 วันเนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่า NDVI และความสมบูรณ์สูงสุด และมีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ปลูก และค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.5 - 1 หรือ 50 % - 100% ดังแสดงในภาพที่ 3.18 สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดช่วงอายุข้าวโพด 96 วัน ดังแสดงในภาพที่ 3.19 พบว่ามีพื้นที่สีเขียวลดลง และ ค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.4 - 0.7 หรือ 40 % - 70% โปรแกรม OpenDronMap ได้ถูกนำมาใช้ในการรวมภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายเชิงพื้นที่แบบออร์โธ ดังแสดงในภาพที่ 3.17 และ 3.18 (RGB) ในขณะที่โปรแกรม QGIS ได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งพื้นที่แปลงทั้งหมดให้เป็นกริดย่อยเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า NDVI ใน แต่ละแปลง โดยทั้งแปลง A และ B แบ่งกริดขนาด 6x10 เมตร จะได้ 99 กริดต่อแปลง รวมทั้งแปลง A และ B เป็นจำนวน 198 กริด ดังแสดงในภาพที่ 3.17 และ 3.18 (NDVI)



ภาพที่ 3.33 ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน



ภาพที่ 3.34 ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน



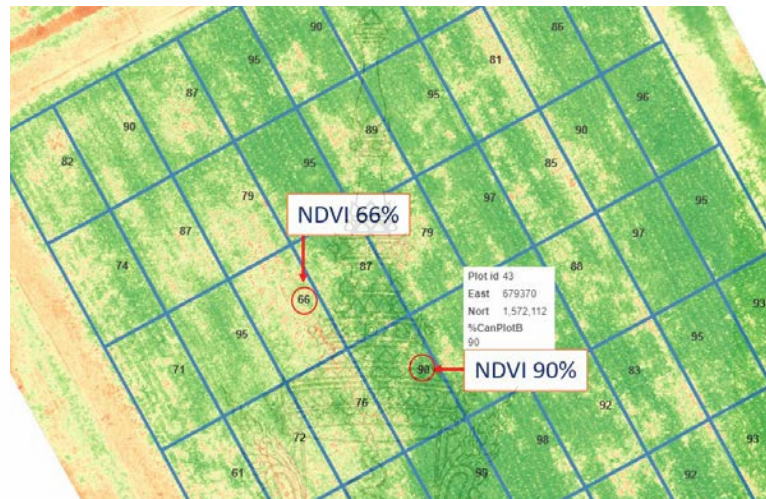
ภาพที่ 3.35 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ในแต่ละกริด ของแปลง B เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน

กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ NDVI ของทรงพุ่มต้นข้าวโพด ในแต่ละกริดของแปลง B เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน แสดงดังภาพที่ 3.20 โดยแกน Y จะแสดงเลขอ้างอิงกริดเริ่มตั้งแต่กริดที่ 1 ถึง กริดที่ 99 แกน X แสดงเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ NDVI ในแต่ละกริด ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่า เปอร์เซ็นต์ NDVI ของข้าวโพด อายุ 96 วัน ลดลงเป็น สัดส่วนส่วนกว่า 40% เมื่อเทียบกับ ข้าวโพด อายุ 82 วัน ซึ่งเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยจะพบว่า NDVI เฉลี่ย ของอายุข้าวโพด 82 วันอยู่ในช่วง 0.5 -1 หรือ 50 % - 100% ในขณะที่ NDVI เฉลี่ย ของอายุข้าวโพด 96 วันอยู่ในช่วง 0.4 - 0.7 หรือ 40 % - 70%

3.2.4 การประเมินผลทดสอบงานวิจัย

การประเมินผลทดสอบของงานวิจัยกับข้อมูลภาคพื้นดิน ได้แบ่งการเก็บข้อมูล ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1) หาค่าเฉลี่ยรวม NDVI ของแปลงที่ปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดินเพื่อเทียบสอบ กับข้อมูลน้ำหนักเมล็ดของการเก็บเกี่ยวรวมในแต่ละแปลง และ 2) สุ่มเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ ตัวอย่าง ในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณาตัวแทนกลุ่มตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่ม ต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% เพื่อเทียบสอบกับข้อมูล น้ำหนักเมล็ดของการเก็บเกี่ยว ทั้ง 10 กริดตัวอย่าง ที่ขนาดของกริดเท่ากับ 6x10 เมตร โดยการหา ค่าเฉลี่ยรวมของดัชนี NDVI ในพื้นที่ทดลองทั้งหมด ทั้งพื้นที่แปลง A ไม่ปรับปรุงดิน และแปลง B

ปรับปรุงดิน เพื่อเปรียบเทียบค่า NDVI ของทั้งสองแปลง ซึ่งคำนวณหาจากการแบ่งกริดของพื้นที่แปลง A และ B ออกเป็นแปลงละ 99 กริด รวมทั้งสองแปลงมี 198 กริด ที่มีขนาดกริดละ 6x10 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.17 และ 3.18 และภาพที่ 3.20 แสดงตัวอย่างค่า เปอร์เซนต์ NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งในแต่ละกริดจะมีค่าตัวเลขที่แสดงเปอร์เซนต์ NDVI ซึ่งคำนวณหาจากสมการที่ 2 พร้อมทั้งรายงานตำแหน่งละติจูด ลองติจูดของกริดนั้น ๆ



ภาพที่ 3.36 ตัวอย่างค่า NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน



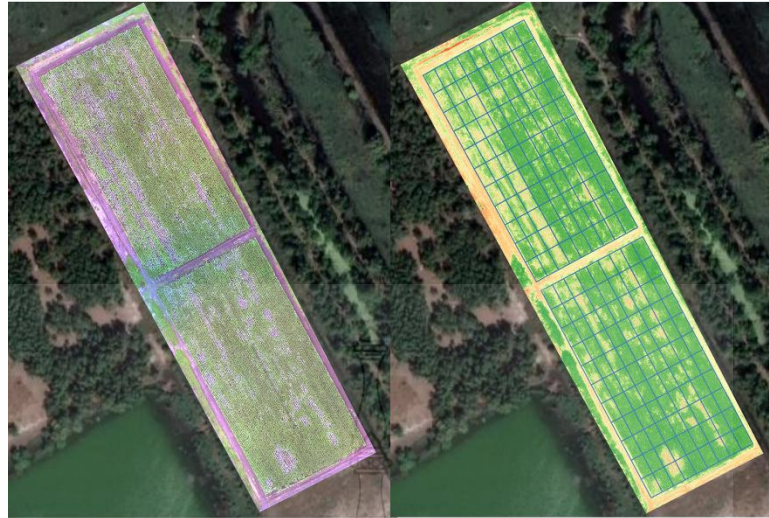
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

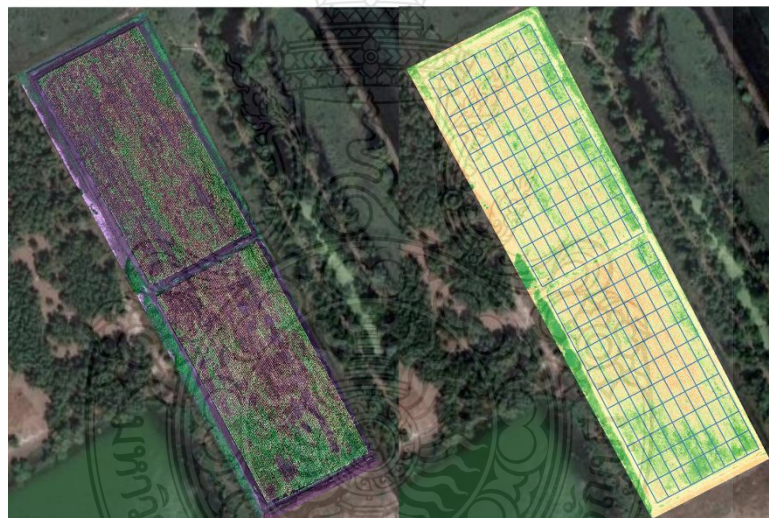
ในบทนี้ ผลการดำเนินงาน ทั้ง 3 ส่วน ของการศึกษาในครั้งนี้ ดังนี้ 1.การศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ 2.การออกแบบระบบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน และ 3. การทดสอบและประเมินระบบการให้ปุ๋ยไนโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน

4.1 ผลของการศึกษาข้อมูลที่เป็นต่อการออกแบบ

จากการศึกษาพบว่าเกษตรกรจำเป็นต้องมีการให้ปุ๋ยแก่ต้นข้าวโพดเป็นจำนวนมากเป็นจำนวนทั้งหมด 2 ครั้ง เมื่อข้าวโพดมีอายุได้ 14 วัน และ 40 วัน แต่ต้นข้าวโพดทุกต้นในแปลงปลูกก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเท่ากัน จึงจำเป็นต้องเพิ่มการให้ปุ๋ยด้วยเครื่องให้ปุ๋ยแบบแม่นยำเพิ่มเติม ปริมาณปุ๋ยให้แก่ต้นข้าวโพดที่เจริญเติบโตได้ดี และลดปริมาณปุ๋ยแก่ต้นข้าวโพดที่มีการเจริญเติบโตได้ดีแล้ว จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้มีการใส่ปุ๋ยเพิ่มเติมให้แก่ข้าวโพดในพื้นที่ที่มีการเจริญเติบโตไม่ดีเมื่อข้าวโพดอายุ 25 วัน นอกจากนี้การศึกษาข้อมูลพื้นฐานเพื่อประยุกต์ใช้ภาพถ่ายทางอากาศกับการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ จากผลการศึกษาพบว่า การใช้โปรแกรม QGIS โปรแกรม DJI Ground Station Pro และโปรแกรม DJI Terra มาช่วยสร้างแผนที่ทางอากาศสามารถทำได้โดยง่าย สำหรับการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI หลังจากนั้นโปรแกรมจะทำการบอกตำแหน่งที่ต้องการศึกษา โดยนำเสนอ ชื่อ ID พิกัดในระบบ Universal Transverse Mercator (UTM) และค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI อีกที ดังภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 โดยระบบพิกัด UTM เป็นชุดของหกลิบโซนที่ฉายพิกัดทางตะวันออก และทิศเหนือในหน่วยเมตร ระยะห่างจากค่ามัธยฐานกลางคือพิกัดตะวันออก และระยะทางจากเส้นศูนย์สูตรของทุกโซนคือพิกัดทิศเหนือ



ภาพที่ 4.1 ภาพถ่าย RGB และ NDVI สำหรับใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณเมื่อข้าวโพดมีอายุ 82 วัน



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่าย RGB และ NDVI สำหรับใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณเมื่อข้าวโพดมีอายุ 96 วัน

4.2 การให้ปุ๋ยในโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน

ภาพถ่ายจากโดรนจะถูกนำมาคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ด้วยโปรแกรม QGIS เพื่อวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าวโพดอาหารสัตว์ พร้อมแบ่งกริดการทดสอบออกเป็นโซนตามค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ซึ่งจะแบ่งค่า NDVI ออกเป็น 4 ช่วงความสมบูรณ์ 1-25%, 26-50%, 51-75% และ 76-100% ตามลำดับ และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้กับคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการทำงานของเครื่องให้ปุ๋ย โดยมีความเร็วรอบ 4 ระดับ ดังนี้ ความเร็วรอบ 95 RPM จะให้ปุ๋ย 100 กรัม ความเร็วรอบ 112 RPM

จะให้ปุ๋ย 200 กรัม ความเร็วรอบ 137 RPM จะให้ปุ๋ย 300 กรัม และ ความเร็วรอบ 162 RPM
จะให้ปุ๋ย 400 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และความเร็วรอบของเครื่องให้ปุ๋ย

ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI	ความเร็วรอบ (RPM)
76-100%	95
51-75%	112
26-50%	137
1-25%	162



ภาพที่ 4.3 การให้ปุ๋ยตามค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ ความเร็วรอบของเครื่องให้ปุ๋ย ก.



ภาพที่ 4.4 การให้ปุ๋ยตามค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI และ ความเร็วรอบของเครื่องให้ปุ๋ย ข.

4.3 ผลการทดสอบและประเมินการให้ปุ๋ยในโตรเจนแบบแม่นยำจากภาพถ่ายจากโดรน

การทดสอบและประเมินจะถูกแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

4.3.1 สุขภาพของข้าวโพดก่อนใส่ปุ๋ยและหลังใส่ปุ๋ยด้วยเครื่องให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ

การวิเคราะห์สุขภาพของข้าวโพดก่อนใส่ปุ๋ยและหลังใส่ปุ๋ยด้วยเครื่องให้ปุ๋ยแบบแม่นยำสามารถทำได้โดยการเก็บข้อมูลค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ก่อนและหลังการใส่ปุ๋ยในแต่ละรอบจาก 10 พื้นที่สุ่มเลือกจากทั้งสองแปลง

4.3.2 การเจริญเติบโตของข้าวโพดระหว่างการใส่ปุ๋ยด้วยเครื่องให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ และการใส่ปุ๋ยแบบเดิมของเกษตรกร

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของข้าวโพดระหว่างการใส่ปุ๋ยด้วยเครื่องให้ปุ๋ยแบบแม่นยำ และการใส่ปุ๋ยแบบเดิมของเกษตรกรสามารถทำได้โดยการเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของชั้นเรือนยอด หลังการใส่ปุ๋ยในแต่ละรอบ จาก 10 พื้นที่สุ่มเลือกจากทั้งสองแปลง หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงเปอร์เซ็นต์ของชั้นเรือนยอดที่พบโดยทั่วไปในไร่ข้าวโพดที่มีการใส่ปุ๋ยแบบเดิมของเกษตรกร

4.3.3 การวางแผนการเพาะปลูกเป็นไปตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 8 ระยะ โดยการเตรียมแปลงเพาะปลูกทั้งสองแปลงเริ่มขึ้นในวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2564 จากนั้นปลูก

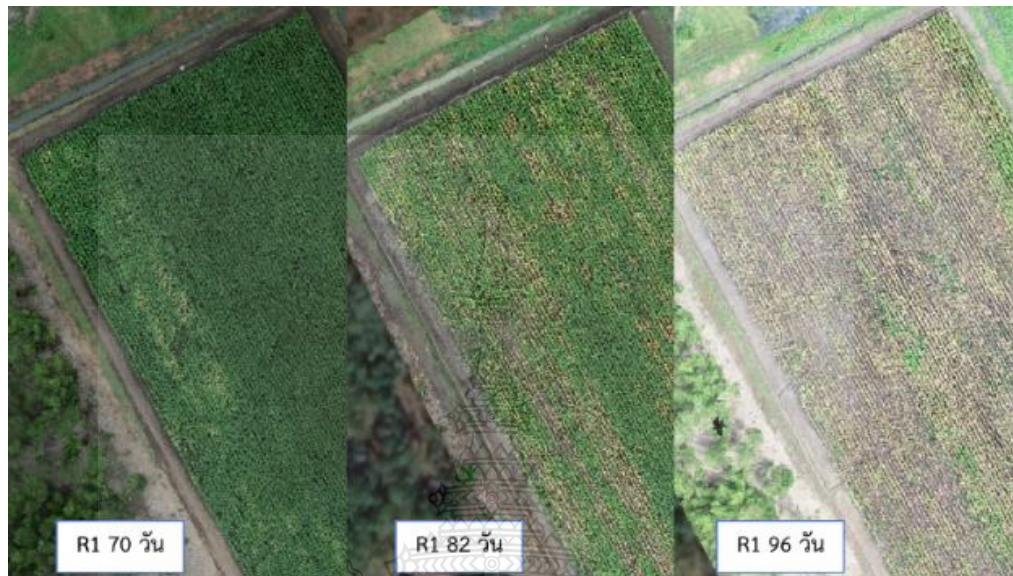
ข้าวโพดพร้อมเมล็ดในวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2564 และเก็บเกี่ยวข้าวโพดในวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวรวมทั้งหมด 107 วัน โดยได้วางแผนการบินเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ 7 ครั้ง ครั้งที่ 1 ก่อนเริ่มเพาะปลูก ครั้งที่ 2 ระยะ V3 ครั้งที่ 3 ระยะ V5 ครั้งที่ 4 ระยะ V8 ครั้งที่ 5 6 และ 7 ในระยะ R1 ที่อายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ข้อมูลภาพถ่ายก่อนเริ่มเพาะปลูก และอายุข้าวโพด 21 หรือในระยะข้าวโพด 3 ใบ V3 รวมไปถึงภาพถ่ายของข้าวโพดในระยะข้าวโพด 60 วัน หรือ V8 จะยังไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ NDVI เนื่องจากยังมีค่าคลื่นสะท้อนของแสงเนียร์อินฟราเรดอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งภาพถ่ายทางอากาศของข้าวโพดแปลง B ระยะก่อนเริ่มเพาะปลูก V0 ระยะ V3 อายุข้าวโพด 21 วัน และ ระยะ V8 อายุข้าวโพด 60 วัน แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.5 ภาพถ่ายทางอากาศ ระยะ VE,V3 และ V8 ของแปลง B

เมื่ออายุข้าวโพดอยู่ในระยะ R1 หรือ ระยะที่ข้าวโพดเริ่มออกรวงใหม่และเริ่มมีฝักนั้น ภาพถ่ายทางอากาศในระยะนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อประมาณการเทียบกับผลผลิตที่ได้จริง โดยในช่วงระยะ R1 ได้มีการเก็บข้อมูลภาพถ่าย 3 ครั้งด้วยกันคือ เมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ตามลำดับ และจากการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI พบว่าภาพถ่ายทางอากาศของอายุข้าวโพด 82 วัน มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลผลิตที่ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอายุข้าวโพด 70 วัน และ 96 วัน เนื่องจากค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI อยู่ในช่วง 0.5 -1 หรือ 50 % -

100% กระจายตัวมากที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 10 ในส่วนรูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุ ข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B



ภาพที่ 4.6 ภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B

กลุ่มตัวอย่าง 10 กริดที่เก็บข้อมูลจากทั้งแปลง A และแปลง B ได้ถูกนำมาใช้คำนวณทางสถิติ เพื่อประมาณผลผลิตน้ำหนักรวมของเมล็ดข้าวโพดเทียบกับดัชนี NDVI ของแต่ละกริด ซึ่งพิจารณาเลือก กริดจากค่าความสมบูรณ์ NDVI 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ดังแสดงในภาพที่ 4.5



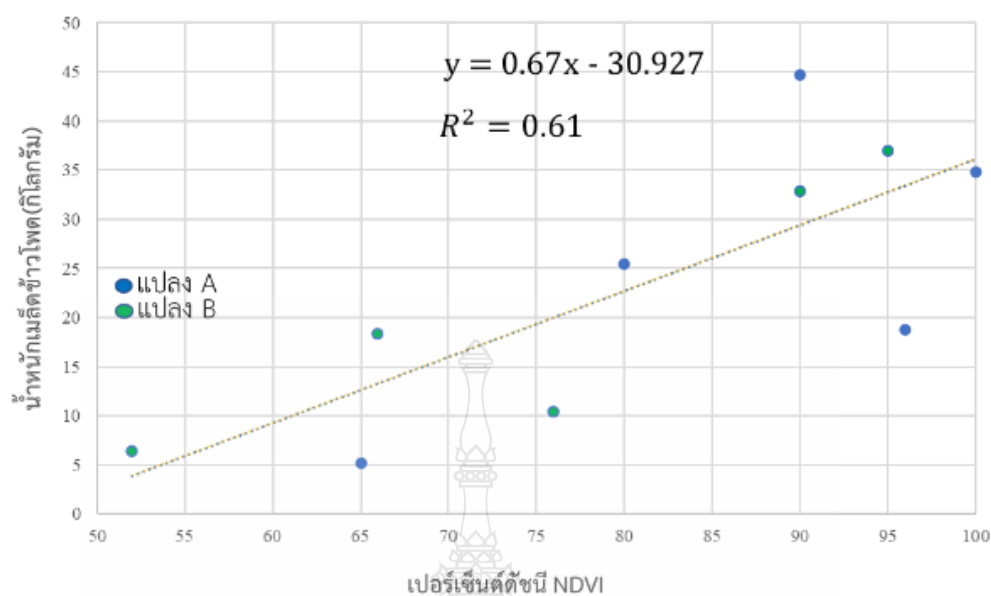
ภาพที่ 4.7 เปอร์เซนต์ NDVI ของ 10 กริดกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า NDVI อยู่ในช่วง 50% ถึง 100%

ค่าผลผลิตน้ำหนักรวมผลิตจากข้อมูลการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน 10 กริดเทียบกับเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI ในช่วง 50% ถึง 100 % แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI และน้ำหนักรวมผลิตที่ได้จากแต่ละกริดของแปลง A และ B

เปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI	แปลง	น้ำหนักรวมผลิต(กิโลกรัม)
52	B	6.4
65	A	5.2
66	B	18.3
76	B	10.4
80	A	25.4
90	A	44.67
90	B	32.8
95	B	36.9
96	A	18.8
100	A	34.8

ข้อมูลค่าผลผลิตน้ำหนักรวมผลิตข้าวโพดและเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI จากตารางที่ 4.2 ได้ถูกนำมาใช้ในหาสมการการประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักรวมผลิตด้วย การคำนวณแบบสถิติเชิงเส้นถดถอย ซึ่งแปรผลได้ว่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักรวมผลิตข้าวโพดและเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและสัมพันธ์กันร้อยละ 78 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และ ค่า R square ร้อยละ 61 ของน้ำหนักรวมผลิต สามารถอธิบายได้ด้วยเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI แบบมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในกราฟภาพที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9



ภาพที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติแบบเชิงเส้นถดถอยของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดกับเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI

Regression Statistics	
Multiple R	0.779829632
R Square	0.608134255
Adjusted R Square	0.559151037
Standard Error	9.107540847
Observations	10

ภาพที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอย ก.

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	1029.803608	1029.803608	12.41515522	0.00780567
Residual	8	663.5784023	82.94730028		
Total	9	1693.38201			

ภาพที่ 4.10 แสดงผลการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอย ข.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-30.92738482	15.67599456	-1.972913724	0.083964344	-67.07629311	5.221523472	-67.07629311	5.221523472
X Variable 1	0.670301047	0.190236489	3.523514611	0.00780567	0.231614918	1.108987176	0.231614918	1.108987176

ภาพที่ 4.11 แสดงผลการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอย ค.

เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณสถิติเชิงเส้นถดถอยมาประมาณการน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดจากเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เทียบกับน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดจากการเก็บเกี่ยวในแต่ละกริดจริง แสดงให้เห็นในตารางที่ 4.3 เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 52 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่า คิดเป็นร้อยละ 2.48 ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 80 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่า คิดเป็นร้อยละ 2.72 และเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 90 95 และ 100 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่าคิดเป็นร้อยละ 3.4 4.17 และ 1.27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละ NDVI และน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด

เปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI	แปลง	น้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริง (กิโลกรัม)	น้ำหนักเมล็ดจากการประมาณค่า (กิโลกรัม)
52	B	6.4	3.91
65	A	5.2	12.62
66	B	18.3	13.29
76	B	10.4	19.99
80	A	25.4	22.67
90	A	44.67	29.37
90	B	32.8	29.37
95	B	36.9	32.72
96	A	18.8	33.39
100	A	34.8	36.07

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผล

การประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อเปรียบเทียบความเจริญเติบโตและผลผลิตของน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด เฉลี่ยรวมของพื้นที่ที่มีการปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดิน ด้วยการวางแผนการเพาะปลูกเป็นไปตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 8 ระยะ ในพื้นที่ทดลองขนาด 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ และใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน มาใช้ในการประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด โดยการสะท้อนของ คลื่นแสงสีแดง ความยาวคลื่น 668 นาโนเมตร และเนียร์อินฟราเรด ความยาวคลื่น 840 นาโนเมตร ในการหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่างในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด ควรประมาณการผลผลิตเมื่อข้าวโพดมีอายุในช่วง 65-82 วัน หรือช่วงระยะเวลาการออกรวงใหม่จนถึงระยะฝักอ่อน และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 107 วัน หรือระยะฝักพร้อมเก็บเกี่ยว และการวัดน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพดทั้ง 10 พื้นที่ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า ดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพดเป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยความสัมพันธ์ 78% ที่ระดับความมั่นใจ 95% และ R Square 61% ด้วยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติถดถอยเชิงเส้นตรงได้ค่าเท่ากับ $Y = 0.67X - 30.927$ และเมื่อนำมาประมาณการผลผลิตบนพื้นที่ทั้งหมด แปลง A และ B พบว่าค่าการประมาณผลผลิตของน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพดด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ สามารถอภิปรายค่าน้ำหนักได้สัมพันธ์กันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการวัดผลผลิตการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน โดยผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ด ความชื้นที่ 30 % ของแปลง A เท่ากับ 3,208.87 กิโลกรัม แปลง B เท่ากับ 2,999.8 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับพื้นที่ ที่มีดัชนีพืชพรรณอยู่ในช่วง 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักรวมเมล็ดเท่ากับ 8.6 กิโลกรัม, 15.3 กิโลกรัม, 22.7 กิโลกรัม, 29.3 กิโลกรัม และ 36.1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำสัดส่วนที่ได้มาประมาณการผลผลิตของแปลง A เท่ากับ 3,265 กิโลกรัม และ แปลง B เท่ากับ 3,050 กิโลกรัม พบความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.75 และ 1.67 ตามลำดับ ทั้งนี้ผลผลิตของแปลง A ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงค่าความเป็นกรดของดินแต่สามารถให้ผลผลิตที่มากกว่าแปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งพบการให้ปุ๋ยอาจเป็นสาเหตุปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของแปลง B โดยการวิเคราะห์จากค่าดัชนี NDVI ในช่วงระยะ V2 ถึง V8 รวมไปถึงระยะ R1 พบว่าแปลง B มีการเจริญ NDVI เฉลี่ยรวมน้อยกว่าแปลง A

ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผลผลิตของน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด ยังมีปัจจัยอื่น เช่น การให้ปุ๋ยตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ การควบคุมโรคระบาดและแมลงศัตรูพืช นอกเหนือจากการปรับปรุงดินก่อนเพาะปลูกซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษาการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำและ การประเมินโรคระบาดและแมลงศัตรูพืชของข้าวโพด ซึ่งอยู่ในการทดสอบการปลูกในรอบเพาะปลูกถัด ๆ ไปเช่นกัน



บรรณานุกรม

- [1] Department of Agriculture, Maize Production Technology (online), 2019, p. 1-68.
Available: <https://www.doa.go.th/oard5/wpcontent/uploads/201909/km62.pdf>
(20 January 2023).
- [2] OECD-FAO, Agricultural Outlook (online), 2021-2030, Available:
<https://www.oecdilibrary.org> (20 January 2023).
- [3] Department of Agriculture (online), n.d., Available: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/orecastdata/files/forecast/situation/3S_MZ.pdf
(20 January 2023).
- [4] ARDA, Smart Farming, Agricultural Research Development Agency (Public organization) (online), 2018, Available: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=6 (20 January 2023).
- [5] Mitr Phol, Remote Sensing, Remote Sensing Technology (online), 2018, Available:
<https://www.mitrphol-modernfarm.com> (20 January 2023).
- [6] D. Paolo, et al., “Multispectral Sentinel-2 and SAR Sentinel-1 Integration for Automatic Land Cover Classification,” *Land*, vol. 10, pp. 611, 2021.
- [7] JM. David, and M. Yuxin, “Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing,” *1st ed. Imprint CRC Press*, pp. 161-78, 2016.
- [8] DJ Mulla, and Y. Miao, “Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing,” *1st ed. Imprint CRC Press*, pp. 161-78, 2015.
- [9] R. Naphat, S. Raksak, and K. Kriengkri, “Using digital image for estimation leaf area of rice,” *Thai Science and Technology Journal*, vol. 28, pp. 1717-1724, 2020.
- [10] K. Sureeporn, J. Napat, and M. Jitti, “Assessment of Greenhouses Gas Emission and Mitigation from Maize Cultivation in Thailand for Sustainable Production Systems,” *Thai Science and Technology Journal*, vol. 26, pp. 1176-96, 2019.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] S. Preeyanan, B. Piyatida, P. Waratchaya, and P. Arunprapa, “Sugarcane Yield Estimate from Remotely Sensed Data in Nakhon Sawan Province,” *Kasetsart University*, pp. 1-35. 2019
- [12] C. Nodthaisong, et al., “Feasibility study of sugarcane yield prediction using ndvi, cired edge indice associated with volume of digital surface model (DSM),” *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 47, pp. 679–94, 2021.
- [13] JOM, THAI-THAIFOOD.COM (online), 2016, Available: <https://www.thai-thaifood.com/th/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%94/> (20 January 2023).
- [14] ข้าวโพดในพจนานุกรมพืชเศรษฐกิจ เล่ม 1., น. 35-51. ภาควิชาพืชไร่ฯ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ (online), Available: https://eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc230_IdPro666.pdf (20 มกราคม 2566).
- [15] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มุลนิธิโครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน (online), 2015, Available: <https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=3&chap=2&page=t3-2-infodetail08.html#:~:text=๑.%20การจำแนกทางพฤษศาสตร์,ข้าวโพดข้าวเหนียวและข้าวโพดคั่ว> (20 January 2023).
- [16] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP (online), Available: <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/319-corn?showall=&start=3> (20 January 2023).
- [17] (2022). การประยุกต์ใช้โดรนเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. Unpublished manuscript.
- [18] Agricultural Research Development Agency (public organization) (online), Available: https://www.arda.or.th/kasetinfo/north/plant/fcorn_kind.html (20 January 2023).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] Agricultural Research Development Agency (public organization) (online), Available: https://www.arda.or.th/kasetinfo/north/plant/fcorn_postharvest1.html (20 January 2023).
- [20] Postharvest Technology Innovation Center (online), 2010, Available: <https://www.phtnet.org/2010/04/79/> (20 January 2023).
- [21] CPP-worldwide (online), Available: <https://www.cpp-worldwide.com/article-detail/104> (20 January 2023).
- [22] CPP-worldwide (online), Available: <https://www.cpp-worldwide.com/article-detail/117> (20 January 2023).
- [23] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP (online), Available: <http://otop.dss.go.th/index.php/en/knowledge/informationrepack/319-corn?showall=&start=1> (21 January 2023).
- [24] Agricultural Research Development Agency (public organization) (online), Available: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=6 (21 January 2023).
- [25] NECTEC a master of NSTDA (online), 2020, Available: <https://www.nectec.or.th/news/news-article/precision-farming.html> (21 January 2023).
- [26] DJI Ground Station Pro มีฟังก์ชันอะไรใหม่ ๆ บ้าง (online), 2017, Available: <https://www.djibangkok.com/dji-ground-station-pro/> (21 January 2023).
- [27] Terra Mapping Software (online), 2023, Available: <https://www.dronekaset.com/product/terra-mapping-software/> (21 January 2023).
- [26] เส้นทางเศรษฐกิจ (online), 2017, Available: https://www.sentangsedtee.com/big-idea/article_51922 (21 January 2023).
- [27] noppatsorn.k, grotech (online), 2020, Available: <https://shop.grotech.co/blog/big-data%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%99/> (23 January 2023).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [28] noppatsorn.k, grotech (online), 2021, Available: <https://shop.grotech.co/blog/smart-farming-trend-2021/> (23 January 2023).
- [29] THE WOLD BANK (online), Available: <https://uav-development.github.io/> (23 January 2023).
- [30] Dailytech (online), 2020, Available: <https://www.dailytech.in.th/image-processing/> (23 January 2023).
- [31] Medium (online), 2019, Available: https://medium.com/@loved_pastel_alpaca_906/image-processing-445f856d62cc (23 January 2023).
- [32] PhysicsOpenLab (online), 2017, Available: <https://physicsopenlab.org/2017/01/30/indice-ndvi/> (23 January 2023).
- [33] Alexandre, Spotifarm (online), 2020, Available: <https://blog.spotifarm.fr/tour-de-plaine-spotifarm/quest-ce-que-lindice-ndvi-en-agriculture> (25 January 2023).
- [34] depa (online), Available: <https://www.depa.or.th/th/article-view/tech-series-drone-smart-farming> (25 January 2023).
- [35] Technology Editor, UNMANNED SYSTEMS TECHNOLOGY (online), 2022, Available: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/expo/multirotor-drones/> (25 January 2023).
- [36] Julien BO, YellowScan (online), 2020, Available: <https://www.yellowscan-lidar.com/knowledge/vtol-fixed-wing-uav-mounted-lidar-maps-2200km-for-trans-sumatra-highway-construction-in-indonesia/> (25 January 2023).
- [37] Dufour Aerospace, startupticker (online), 2021, Available: <https://www.startupticker.ch/en/news/april-2021/session-vc-steigt-bei-dufour-aerospace-ein> (25 January 2023).
- [38] DJI, Tiger Supplies (online), Available: https://www.tigersupplies.com/Products/P4-Multispectral-Agriculture-Aerial-Mapping-Drone-w-D-RTK-2-Mobile-Station__DJIP4M--DRTKGNSS--COMBO.aspx (25 January 2023).
- [39] IATEC Plant Solutions (online), Available: <https://www.iatecps.com/dji-agras> (25 January 2023).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [40] T. Naini, Forbes India (online), 2022, Available: <https://www.forbesindia.com/article/agritech-special-2022/drones-are-becoming-the-indian-farmers-new-best-friend/79479/1> (25 January 2023).
- [41] R. Napat, S. Raksak, and K. Kriengkri, "Using Digital Image for Estimating Leaf Area of Rice," *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*, vol. 28, pp. 1717-1724, September 2020.
- [42] K. Sureeporn, and J. Napat, "Assessment of Greenhouses Gas Emission and Mitigation from Maize Cultivation in Thailand for Sustainable Production Systems," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, vol. 26, pp. 1176-1196, 2018.
- [43] J. Panat, K. Sununtha, C. Petchporn, and K. Yasushi, "NDVI response to nitrogen fertilizer application in waxy corn using UAV imagery," *KHON KAEN AGR. J.*, vol. 48, pp. 1068-1081, 2020.
- [44] S. Preeyanan, B. Piyatida, P. Waratchaya, and P. Arunprapa, "Sugarcane Yield Estimate from Remotely Sensed Data in Nakhon Sawan Province," *Kasetsart University*, pp. 1-35, 2019.
- [45] N. Cheerawat, et al., "Feasibility Study of Sugarcane Yield Prediction Using NDVI, CRed edge Indices Associated with Volume of Digital Surface Model (DSM)" *KHON KAEN AGR. J.*, vol 47, pp. 679-694, 2019.
- [46] D. Etienne et al., "Plant detection and counting from high-resolution RGB images acquired from UAVs: comparison between deep-learning and handcrafted methods with application to maize, sugar beet, and sunflower crops," *bioRxiv*, pp. 1-18. 2021.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
การเผยแพร่ผลงาน





Journal of Applied Research on Science and Technology

Institute of Research and Development
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

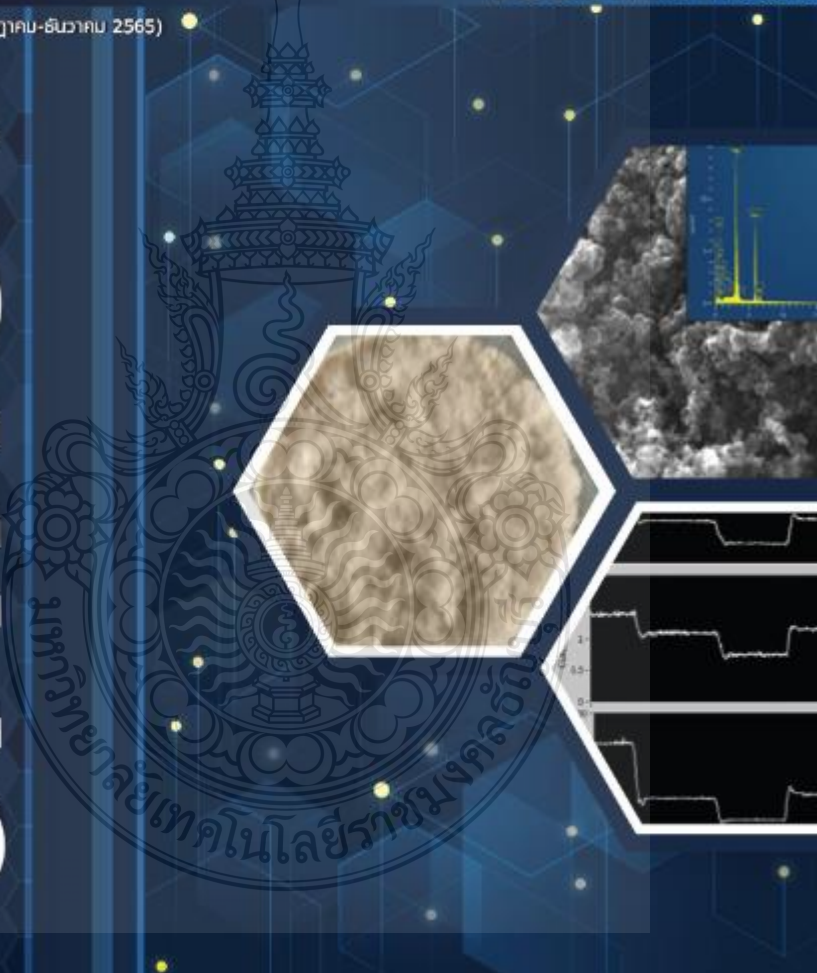


Volume 21 Issue 2 July-December 2022

ISSN Online: 2773-9473
Print: 2773-9376

ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม 2565)

JARST



การประมาณค่าผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI

Estimating of Maize Yield Using UAV Images and NDVI Index

ภูมิชัย ตรัยดลานนท์ และ เกียรติศักดิ์ แสงประดิษฐ์*

Phoomchai Traidalanon and Kiattisak Sangpradit*

สาขาวิชาวิศวกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

ระบุสังกัดภาษาอังกฤษ

*Corresponding author e-mail: k.sangpradit@mutt.ac.th

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Article history:	The objective of this research has created an aerial geographic
Received: November 24, 2022	mapping with an unmanned aerial-vehicle (UAV). This study was used
Revised: January 27, 2023	for analyzing the growth of maize by using Normalized Difference
Accepted: February 1, 2023	Vegetation Index (NDVI). The work was considered the relation
Available online: February xx, 2023	between NDVI and received from analyzing the light waves Red (668
DOI: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx	nm), Green (560 nm), NIR (842 nm) and Red Edge (717 nm), and the
Keywords Aerial mapping,	products yielded from a trial area of KSP Equipment Co. Ltd. The
UAVs, NDVI, multi-wavelength	location of the study area is in Lam Sai, Wang Noi District, Phra Nakhon
photograph, maize yield	Sri Ayutthaya Province which is started from June to November 2021.
estimation	Areas used for experiments in the size of 12,467 square meters for
	separating into 198 blocks of 6x10 square meters/block. Additionally,
	a multispectral camera is capable of detecting 5 different wavelengths
	(Red, Green, Blue, NIR and Red Edge). This technique is used to capture
	the area of experiment. The NDVI calculations were done when the
	age of the maize was 82 days old and the harvesting was made when
	the age was 107 days old. The results found that, the usage of multi
	wavelength photograph could be used to calculate NDVI. Measuring
	the weight of the maize seed from 10 randomly chosen areas it could
	be found that the relation between value of NDVI and weight of the

maize seed goes in the similar direction with 87% relationship and 95% level of confidence. After then statistical values were used to predict the weight of the maize seed. Results, determined by seed weight, were 8.1, 15.6, 23.1, 30.6, and 38.1 kg, which appeared as NDVI of 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89%, and 90-100%, respectively. which is compared to the actual weight and the error is found of $\pm 3\%$

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศแบบหลายคลื่นแสงเพื่อประมาณการผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI โดยใช้การสะท้อน ของคลื่นแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน เนียร์อินฟราเรด และขอบแสงสีแดง ซึ่งมีความยาวคลื่น 668, 560, 475, 842 และ 717 นาโนเมตรตามลำดับ ทำการศึกษาที่ อำเภอลำดวน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2564 พื้นที่ทดลองขนาด 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ แบ่งเป็น 2 แปลง คือ แปลง A ไม่มีการปรับปรุงดินก่อนเพาะปลูก และแปลง B มีการปรับปรุงดินก่อนเพาะปลูก มีขนาดแปลงละ 3.5 ไร่ เก็บข้อมูลตั้งแต่ระยะเริ่มปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวรวม 107 วัน ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่าง โดยพิจารณาจากตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ พบว่า จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด สามารถอธิบายด้วยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติถดถอยเชิงเส้นตรง และได้ค่าการประมาณการผลผลิตเท่ากับ $Y = 0.67X - 30.927$ ที่ระดับความมั่นใจ 95% และ R Square 61% และความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยความสัมพันธ์ 78% เมื่อนำมาประมาณการผลผลิตบนพื้นที่ทั้งหมด เปรียบเทียบกับค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดด้วยการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน ความชื้นเมล็ดข้าวโพดที่ 30 %

ของแปลง A เท่ากับ 3,208 กิโลกรัม แปลง B เท่ากับ 2,999 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับพื้นที่ ที่มีดัชนีพืชพรรณ NDVI อยู่ในช่วง 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ที่ข้าวโพดอายุ 82 วัน ซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดของแปลง A เท่ากับ 3,265 กิโลกรัม และ แปลง B เท่ากับ 3,050 กิโลกรัม พบความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.75 และ 1.67 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การทำแผนที่ทางอากาศ UAVs NDVI ภาพถ่ายความยาวคลื่นหลายคลื่น การประมาณค่าผลผลิตข้าวโพด

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ตามการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ ในขณะที่ผลผลิตยังไม่เพียงพอความต้องการใช้ในประเทศ จึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในปี 2564-2565 ประเทศไทยนำเข้าข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปริมาณ 1.8 ล้านตัน มูลค่ารวมสูงถึง 12,723 ล้านบาท [1] และจากรายงานโครงการ Agricultural Outlook 2021-2030 ขององค์การเพื่อการร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) และ องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่าใน 7 ปีข้างหน้า ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั่วโลกจะเพิ่มขึ้น 116 ถึง 787 ล้านตัน [2] ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี 2565 ได้เพียง 4.9 ล้านตัน

เฉลี่ยเป็น 735 กิโลกรัม/ไร่/รอบ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศที่มีความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ 9 ล้านตัน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกร เนื่องจากมีตลาดรองรับผลผลิต โดยเฉพาะ การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หลังนา เนื่องจากเป็นพืชอายุสั้นและใช้น้ำน้อย [3]

การเกษตรแบบใหม่ หรือ Smart Farm เป็นการนำเทคโนโลยีมาบริหารจัดการระบบการเพาะปลูก สามารถติดตามและวางแผนการเพาะปลูก เก็บข้อมูลมาวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาการปลูกแบบเรียลไทม์ พร้อมแสดงข้อมูลการเจริญเติบโตและสามารถทำนายผลผลิตจากข้อมูลการเพาะปลูกได้ [4] เทคโนโลยีในการสำรวจภาพถ่ายทางอากาศ โดยการใช้ภาพถ่ายทางดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและค่าดัชนีต่าง ๆ ของพืชพรรณได้ เช่น การวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูกด้วย NDVI แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความละเอียดของภาพถ่ายดาวเทียมนั้นยังไม่เหมาะกับพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่า 40 กิโลเมตร [5] ภาพถ่ายทางอากาศจากโดรน หรือ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) จึงมีบทบาทสำคัญเพราะมีความละเอียดของภาพต่อพิกเซลที่สูงกว่าภาพถ่ายทางดาวเทียม เช่น เมื่อถ่ายภาพจากระดับความสูง 100 เมตร จะได้ความละเอียดของภาพ 8 เซนติเมตรต่อพิกเซล เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายทางดาวเทียมของ Sentinel-2 ที่มีความละเอียดของภาพเพียง 10 ถึง 60 เมตรต่อพิกเซล ในระดับความสูง 40 กิโลเมตร [6] นอกจากนี้การทำฟาร์มแบบเกษตรแม่นยำเป็นหนึ่งในการปฏิวัติทางการเกษตรที่เน้นการบริหารที่ถูกต้องในสถานที่ อัตรา และเวลาที่เหมาะสม ทั้งในเงื่อนไขการใช้ปุ๋ยของยาฆ่าแมลง หรือไถพรวนและการชลประทานเพื่อเพิ่มผลผลิตหรือคุณภาพของพืชผลและลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง [7]

ดัชนีพืชพรรณ NDVI สามารถคำนวณได้จากผลต่างของการการนำค่าสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด และคลื่นแสงสีแดง จากใบพืช โดยถ้าใบพืชมีการสะท้อนของ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด มากจะแสดงให้เห็น

ว่าพืชมีความอุดมสมบูรณ์มากกว่าพืชที่มีการสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่น้อย [8] แต่ทั้งนี้ยังมีข้อจำกัดในการใช้ภาพถ่ายจากโดรนที่ใช้กล้องมัลติสเปกตรัมซึ่งยังมีราคาสูงมากในปัจจุบัน เพื่อถ่ายภาพแบบหลายช่วงคลื่นแสง เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาดัชนีพืชพรรณเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามยังมีดัชนีพืชพรรณบางตัวที่สามารถการใช้คลื่นแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน หรือ RGB ในการคำนวณหาได้เช่นกันเช่น Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) และ Green Leaf Index (GLI) ฅณภัทร โรจนสกุล และคณะ ได้ศึกษา การใช้ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินพื้นที่ใบของข้าว โดยการถ่ายภาพที่ความสูง 1 เมตรเหนือทรงพุ่มต้นข้าวที่ช่วงอายุ 20, 40, 60, 80 และ 100 วัน หลังปลูก แต่ละครั้งจะถ่ายภาพ 3 ช่วงเวลา คือ 08:00, 12:00 และ 16:00 น. วัดพื้นที่ใบด้วยเครื่องวัดพื้นที่ใบอัตโนมัติ พบว่าการวัดพื้นที่ใบข้าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มการเจริญเติบโตของข้าวโดยไม่มีการทำลายตัวอย่างพืชนั้นมีความแม่นยำที่สุดในช่วงเวลา 12.00 น. ซึ่งมีแสงสว่างที่สุด แต่โดยรวมแล้วยังคงไม่มีความแม่นยำมากพอ เนื่องจากยังพืชมีการเจริญเติบโตจะมีใบเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการซ้อนทับกัน ทำให้การวิเคราะห์คาดเคลื่อนตามไปด้วย [9] สุรพร ขอนพิกุล และคณะ ศึกษา การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยและแนวทางการลด เพื่อการผลิตรายังยืน โดยพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ปัจจุบันมีมากถึง 1.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า สาเหตุหลักเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนร้อยละ 83 และมาจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรร้อยละ 17 นอกจากนี้ การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของประเทศไทยส่วนใหญ่มีลักษณะที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากมีการปลูกในพื้นที่ลาดชันและอยู่ในเขตป่าไม้ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันจากการเผาป่าและไร่ข้าวโพด อีกทั้งยังเป็นการสูญเสียพื้นที่ป่าอนุรักษ์ต้นน้ำ พบว่าการ

ปลูกข้าวโพดในพื้นที่ราบและในพื้นที่ที่เหมาะสมนั้น จะช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ช่วยลดปริมาณการใช้ปุ๋ยและสารเคมีกำจัดวัชพืช ซึ่งการแก้ปัญหาหมอกพิษทางอากาศ ปัญหาหมอกควันที่เกิดจากการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ต้องมีการหาแนวทางเพื่อการจัดการเศษวัสดุด้วยการนำไปแปรรูปทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (RDF) หรือการนำไปผลิตเป็นปุ๋ยหมัก (ปุ๋ยอินทรีย์) จากการวิจัยนี้ การปรับปรุงในสถานการณ์จำลองโดยใช้ปุ๋ยสังเคราะห์ สามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 22 และปรับปรุงโดยใช้ปุ๋ยสังเคราะห์รวมกับการย้ายพื้นที่ปลูกและการจัดการชีวมวลอย่างถูกต้องเหมาะสม พบว่า จะสามารถลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 48 [10] ปาณัทธ ภิรมย์ และ คณะ ได้ศึกษา การตอบสนองของดัชนีพืชพรรณผลต่างแบบนอนัลไลซ์ต่อปุ๋ยไนโตรเจน ในข้าวโพดข้าวเหนียวโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งทำการบันทึกภาพถ่ายสีผสมจริงและภาพถ่ายหลายช่วงคลื่น เมื่อข้าวโพดมีการเจริญเติบโตในระยะ R1 ซึ่งมีอายุ 66 วัน จากผลการคำนวณค่า NDVI พบว่าพื้นที่บริเวณร่องทางเดินระหว่างแปลงมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.16 และพื้นที่บริเวณต้นข้าวโพดที่มีทรงพุ่มเปี่ยมมีค่ามากที่สุดคือ 0.96 โดยการตอบสนองค่า NDVI ต่อปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนนั้นมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน นอกจากนี้มีการทดสอบการให้ปุ๋ย 4 ตำรับ และมีผลผลิตดังนี้ ตำรับ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย ให้ผลผลิต 401.65 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับตำรับ 2 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 23 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนตำรับ 3 และ 4 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 20 และ 32 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลผลิต 1,306.22 และ 1,316.25 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ การทดสอบนี้เมื่อถึงระดับหนึ่งข้าวโพดข้าวเหนียวจะเริ่มตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนในรูปผลผลิตน้อยลง แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง NDVI กับผลผลิตยังอยู่ในระดับมีความสัมพันธ์มาก [12] ปรียานันท์ สอนทับทิม และคณะ ได้ศึกษา การประเมินผลผลิตอ้อยด้วยข้อมูล

การรับรู้จากระยะไกล ในจังหวัดนครสวรรค์ โดยดัชนีพืชพรรณที่นำมาใช้คือ NDCI, NDRE, NDVI ซึ่งพบว่าดัชนี NDRE มีความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อยดีที่สุด และอายุอ้อย 8-10 เดือน ค่าความแม่นยำของประมาณการผลิตดีที่สุด การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน SMLR มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เทคนิคแปลงแบบ PCA โดยถ้าผลผลิตอ้อยสูงขึ้น ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง โดยการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยวิธี SMLR จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงกว่าการประเมินผลผลิตอ้อยด้วยดัชนีพืชพรรณ [13] จีรวัฒน์ โนนโธสง และคณะ ได้ศึกษา การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI, Cired edge และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข โดยเก็บรวบรวมภาพถ่ายอ้อยในแปลงจากกล้องถ่ายภาพหลายช่วงคลื่น (Multispectral camera) แบบ 5 ช่วงคลื่น (Red, Green, Blue, NIR และ RedEdge) ซึ่งติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ เพื่อประมวลผลและคำนวณค่าดัชนี พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า การทำนายผลผลิตอ้อยในแปลงโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI และ Cired edge) และปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลขมีค่า $r = 0.77, 0.78$ และ 0.87 ตามลำดับ ค่าดัชนีทั้ง 3 ค่า สมการที่ทำนายผลผลิตอ้อยได้ดีที่สุดคือ ปริมาตรจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงตัวเลข [14] Etienne David และคณะ ได้ทำการศึกษาการตรวจจับและการนับพืชจากภาพ RGB ความละเอียดสูงที่ได้รับจาก UAV: การเปรียบเทียบระหว่างวิธี Deep Learning กับ Handcrafted ในข้าวโพด บัณฑิตา และพืชทานตะวัน โดย Deep Learning (DL) จะให้ Machine ฝึกกับรูปภาพที่เลือกมาที่ Represent แต่ละช่วงการเติบโตของพืช และ Handcrafted (HC) จะมีกฎเกณฑ์ต่าง ๆ เช่น แบ่งส่วนพิกเซลของสีเขียวกับพื้นหลัง แยกแถวและ Object ที่เกี่ยวกับพืชจากความรู้การหว่าน ผลคือ DL ทำได้ดีกว่าโดยเฉพาะข้าวโพดและทานตะวัน แต่ปัญหาของทั้ง 2 วิธีคือจะทำงานได้แย่งถ้าคุณภาพของรูปไม่ดี และสำหรับ DL จะทำงานได้แย่งถ้ามีวัชพืช ดังนั้น

จึงมีวิธีที่ 3 คือ Hybrid (HY) จะใช้กฎของ HC มาร่วมด้วย ซึ่งทำให้ทำงานดีกว่า DL เล็กน้อย หลังจากนั้นจึงใช้ Active learning คือการเพิ่มภาพที่เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขของชุดข้อมูลเพื่อฝึกฝน DL จะทำให้พัฒนาประสิทธิภาพได้ดีมาก

อย่างไรก็ตาม การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน รวมถึงการใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ทั้งในด้านการคัดเลือก พื้นที่ปลูก การจัดการดิน ปุ๋ยและน้ำ การจัดการศัตรูพืช รวมถึงการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือการหาความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศเพื่อประมาณการผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยดัชนีพืชพรรณ NDVI

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

พื้นที่การวิจัยตั้งอยู่ที่บริษัท เคเอสพี อีคิว จำกัด ตำบลลำไทร อำเภอน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 1 และได้ทำการศึกษาวิจัยเป็นระยะเวลา 6 เดือน เริ่มตั้งแต่มิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2564 บนพื้นที่ทดลอง 12,467 ตารางเมตร หรือประมาณ 7.8 ไร่ แบ่งเป็น 2 แปลง ขนาดแปลงละ 3.5 ไร่ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเปรียบเทียบความเจริญเติบโตและผลผลิตของน้ำหนักรวมเมล็ดข้าวโพด ของพื้นที่ที่มีการปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดิน โดย แปลง A ไม่มีการปรับปรุงดินค่าความเป็นกรดเป็นด่างก่อนเพาะปลูก และแปลง B มีการปรับปรุงความเป็นกรดเป็นด่างของดินให้อยู่ในระดับ pH 5.5-6.5 ก่อนเพาะปลูก ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่ที่มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว รวมไปถึงน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกควรมีค่า pH 5.6-6.5 เช่นเดียวกัน [1] รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินและน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพก่อนการ

เพาะปลูก ซึ่งในแปลง A พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ยที่ 4.4 ซึ่งมีความเป็นกรดสูง ในขณะที่แปลง B พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ย 5.3 จึงใช้เป็นแปลงที่มีการปรับปรุงดิน โดยใช้ปูนขาว Ca(OH)_2 ในปริมาณ 740 กิโลกรัมต่อไร่ในการปรับสภาพดิน ซึ่งหลังจากการปรับสภาพดินเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ของแปลง B พบค่าดินมีค่า pH เฉลี่ยเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 6.0 ส่วนแนวทางการปรับสภาพค่า pH ของน้ำได้ใช้มูลไก่ ในการลดค่ากรด ซึ่งจากการวัดค่า pH เฉลี่ยของน้ำหลังการปรับสภาพ วัด pH ได้ 4.5 ซึ่งยังถือว่าเป็นกรด และยังไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืช



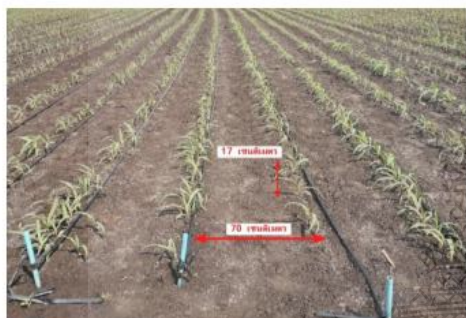
รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาวิจัย



รูปที่ 2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินและน้ำในพื้นที่วัดค่าก่อนการเพาะปลูก

เมล็ดพันธุ์ของข้าวโพดที่ใช้ในการปลูกทดสอบคือ พันธุ์ CP303 อายุข้าวโพดที่พร้อมในการเก็บเกี่ยวผลผลิต อยู่ในช่วง 105 ถึง 115 วัน ข้าวโพดพันธุ์นี้สามารถปลูกได้ทั้งในที่ราบและเนินเขา โดยต้องมีดินอุดมสมบูรณ์และมีฝนตกชุก คาดการณ์ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่

1,500-2,000 กก./ไร่ ที่ความชื้น 25-30% [12] โดยระยะการหยอดเมล็ดปลูกข้าวโพดจะห่างกัน 17 เซนติเมตร 1 ต้นต่อหลุม และระยะห่างระหว่างแถวห่างกัน 70 เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับ 13,400 ต้น/ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 3 ระยะเวลาการให้ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ 14 25 และ 40 วัน ตามลำดับ

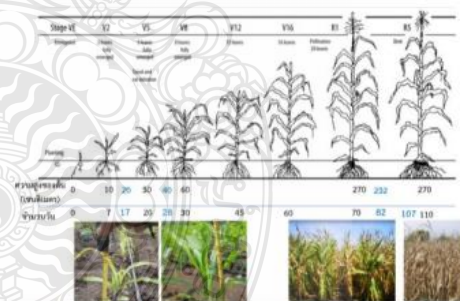


รูปที่ 3 ระยะห่างระหว่างต้นและระหว่างแถวของการปลูกข้าวโพด

2. การศึกษาผลผลิต

วัตถุประสงค์ที่ 2 ของงานวิจัยนี้ คือ การประมาณค่าผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI และหาช่วงอายุที่เหมาะสมในการใช้ภาพถ่ายทางอากาศมาประมาณการณผลผลิต โดยการใช้ข้อมูลภาคพื้นดินของการเจริญเติบโตตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ซึ่ง O'Keeffe, Kieran [15] ได้แบ่งไว้ 8 ระยะ ดังนี้ 1) Stage VE คือระยะเริ่มหยอดเมล็ดลงแปลงปลูก 2) V2 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 2 ใบ และความสูงที่ 10 เซนติเมตร ในระยะเวลา 7 วันจากการปลูก 3) V5 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 5 ใบ และความสูงที่ 30 เซนติเมตร ในระยะเวลา 20 วันจากการปลูก 4) V8 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 8 ใบ และความสูงที่ 60 เซนติเมตร ในระยะเวลา 7 วันจากการปลูก 5) V12 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 12 ใบ ในระยะเวลา 45 วันจากการปลูก 6) V16 คือระยะที่ต้นข้าวโพดมี 16 ใบ ในระยะเวลา 60 วันจากการปลูก 7) R1 คือ ระยะการออกรวงไหมจนถึง

ระยะฝักอ่อน มี 20 ใบ และความสูงที่ 270 เซนติเมตร ในระยะเวลา 70 วันจากการปลูก 8) R5 คือ ระยะที่ฝักเริ่มแห้งพร้อมเก็บเกี่ยวและสีของใบจะเริ่มเป็นสีน้ำตาลเหลือง มีความสูงที่ 270 เซนติเมตร ในระยะเวลา 110 วันจากการปลูก รูปที่ 4 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวโพดในพื้นที่ทดลองในช่วงอายุ 17 วัน ซึ่งจัดอยู่ในช่วง V4 เนื่องจากมีจำนวนใบ 4 ใบและความสูงอยู่ที่ 20 เซนติเมตรเป็นช่วงระหว่างระยะ V2 และ V5 ระยะ 28 วัน จัดอยู่ในระยะ V7 เนื่องจากมีจำนวนใบ 7 ใบและความสูงอยู่ที่ 40 เซนติเมตรเป็นช่วงระหว่างระยะ V5 และ V8 ระยะ 82 วัน เป็นระยะที่ใช้ในการใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อประมาณการผลผลิตของน้ำหนัเมล็ดข้าวโพด โดยพิจารณาจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% เนื่องจากระยะนี้เป็นระยะที่ต้นข้าวโพดออกรวงไหมและเริ่มมีฝัก และ ระยะ 107 วัน เป็นระยะที่เริ่มเก็บเกี่ยวข้าวโพด เนื่องจากเป็นระยะที่ ฝักแห้งมีความชื้นไม่เกิน 30%



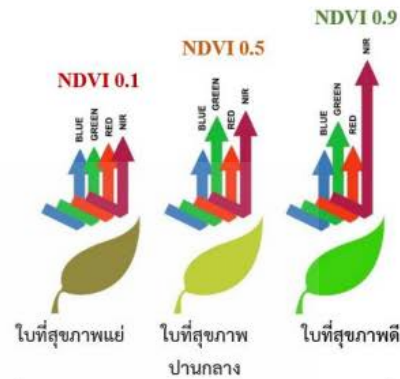
รูปที่ 4 ระยะการเจริญเติบโตของข้าวโพดตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว

3. การศึกษาดัชนีพืชพรรณ

ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index หรือ VI) คือ ค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว โดยการคำนวณจากการนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน ซึ่งมีหลายดัชนีที่นิยมใช้ในการคำนวณ คือ NDVI (Normalized

Difference Vegetation Index), NDRE (Normalized Difference Red-Edge Index), GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), CCCI (Canopy Chlorophyll Content Index), Clgreen (Chlorophyll Index Green), MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่า NDVI ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากกว่าดัชนีพืชพรรณอื่น โดยการนำค่าความแตกต่างของการสะท้อนของพื้นผิว ระหว่างช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด กับช่วงคลื่นสีแดงที่ตามองเห็น มาทำสัดส่วนกับค่าผลบวกของทั้งสองช่วงคลื่นเพื่อปรับให้เป็นลักษณะการกระจายแบบปกติ ดังสมการที่ (1) ทำให้ผลลัพธ์ NDVI มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งสามารถแปลผลได้ดังนี้ ค่า 0 หรือ 0.1 หมายถึงไม่มีพืชพรรณใบเขียว หรือมีพืชพรรณใบเขียวอยู่น้อยมากในบริเวณพื้นที่สำรวจ ในขณะที่ ถ้าค่า NDVI เข้าใกล้ 1 เช่น 0.8 หรือ 0.9 หมายถึง พื้นที่ที่สำรวจ มีพืชพรรณใบเขียวที่หนาแน่น ดังแสดงในรูปที่ 5 กรณีที่พื้นผิวมีพืชพรรณปกคลุมจะมีการสะท้อนในช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรดสูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่ถ้าพื้นผิวที่สำรวจเป็นดิน จะมีการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ NDVI มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ ส่วนกรณีที่พื้นผิวเป็นน้ำ จะมีการสะท้อนในช่วงคลื่นเนียร์อินฟราเรด ต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ทำให้ NDVI มีค่าติดลบ

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

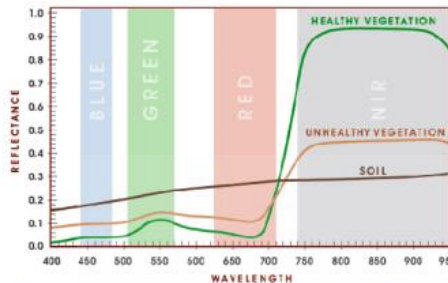


รูปที่ 5 เปรียบเทียบระดับการสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด 3 ระดับของใบพืช ที่มีผลต่อดัชนีพืชพรรณ

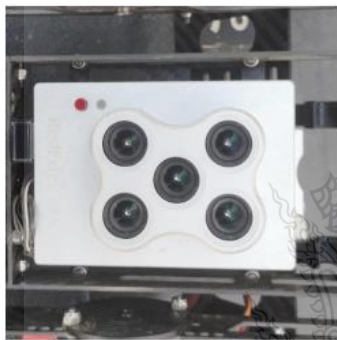
ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงจากภาพ multispectral จะมีค่าคลื่นแสงสีน้ำเงินอยู่ในช่วง 440 – 480 นาโนเมตร คลื่นแสงสีเขียวอยู่ในช่วง 505 – 570 นาโนเมตร คลื่นแสงสีแดงอยู่ในช่วง 625 – 710 นาโนเมตร และ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรด อยู่ในช่วง 740 – 950 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้อง multispectral MicaSense RedEdge-MX จากบริษัท AgEagle Aerial Systems Inc ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมีค่าการสะท้อนของคลื่นแสงสีน้ำเงินที่ 475 นาโนเมตร คลื่นแสงสีเขียวที่ 560 นาโนเมตร คลื่นแสงสีแดงที่ 668 นาโนเมตร คลื่นแสงขอบสีแดงที่ 717 และ คลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่ 840 นาโนเมตร มาใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะได้สมการในการคำนวณ NDVI ดังสมการที่ 2 คือ

$$NDVI = \frac{NIR(840nm) - RED(668nm)}{NIR(840nm) + RED(668nm)} \quad (2)$$

เมื่อ NIR (840) nm คือ ค่าสะท้อนของคลื่นแสงเนียร์อินฟราเรดที่ 840 นาโนเมตร
RED (668) nm คือ ค่าสะท้อนของคลื่นแสงสีแดงที่ 668 นาโนเมตร



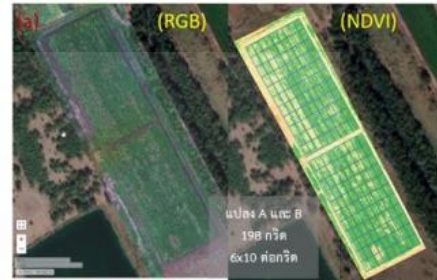
รูปที่ 6 ช่วงการสะท้อนของคลื่นแสงที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีพืชพรรณ



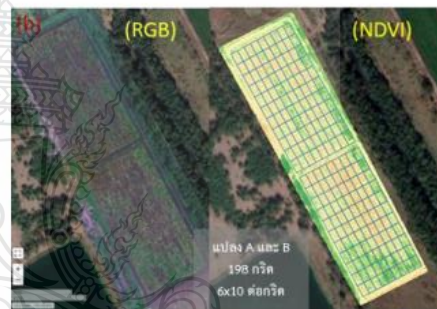
รูปที่ 7 กล้องมัลติสเปกตรัมที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้คำนวณ NDVI เมื่ออายุของข้าวโพดมีอายุ 82 วันเนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่า NDVI และความสมบูรณ์สูงสุด และมีความสัมพันธ์กับค่าผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ปลูกและค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.5 - 1 หรือ 50 % - 100% ดังแสดงในรูปที่ 8 สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพดช่วงอายุข้าวโพด 96 วัน ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่ามีพื้นที่สีเขียวลดลง และ ค่า NDVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.4 - 0.7 หรือ 40 % - 70% โปรแกรม OpenDroneMap ได้ถูกนำมาใช้ในการรวมภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายเชิงพื้นที่แบบออร์โธ ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 (RGB) ในขณะที่โปรแกรม QGIS ได้ถูกนำมาใช้ในการแบ่งพื้นที่แปลงทั้งหมดให้เป็นกริดย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า NDVI ใน แต่ละแปลง โดยทั้งแปลง A และ B แบ่งกริดขนาด 6x10 เมตรจะได้ 99 กริดต่อแปลง รวมทั้งแปลง

A และ B เป็นจำนวน 198 กริด ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 (NDVI)



รูปที่ 8 ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน



รูปที่ 9 ภาพถ่ายเปรียบเทียบ RGB และ NDVI เมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน



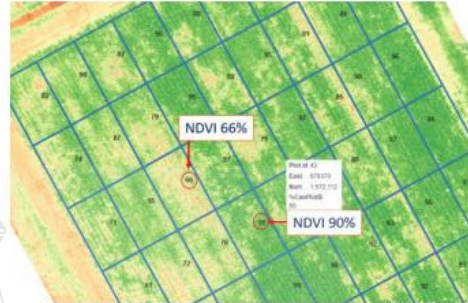
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ในแต่ละกริด ของแปลง B เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุข้าวโพด 96 วัน

กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ NDVI ของทรงพุ่มต้นข้าวโพด ในแต่ละกริดของแปลง B เมื่ออายุข้าวโพด 82 วัน และเมื่ออายุ

ข้าวโพด 96 วัน แสดงดังรูปที่ 10 โดยแกน Y จะแสดงเลขอ้างอิงกริดเริ่มตั้งแต่กริดที่ 1 ถึง กริดที่ 99 แกน X แสดงเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ NDVI ในแต่ละกริด ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่า เปอร์เซ็นต์ NDVI ของข้าวโพดอายุ 96 วัน ลดลงเป็นสัดส่วนกว่า 40% เมื่อเทียบกับข้าวโพด อายุ 82 วัน ซึ่งเมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยจะพบว่า NDVI เฉลี่ย ของอายุข้าวโพด 82 วันอยู่ในช่วง 0.5 -1 หรือ 50 % - 100% ในขณะที่ NDVI เฉลี่ย ของอายุข้าวโพด 96 วันอยู่ในช่วง 0.4 – 0.7 หรือ 40 % - 70%

4. การประเมินผลทดสอบงานวิจัย

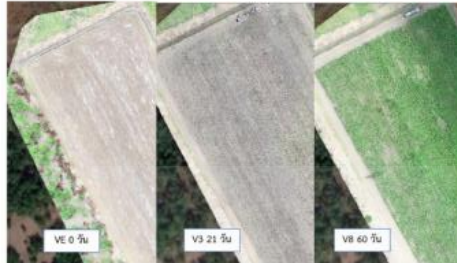
การประเมินผลทดสอบของงานวิจัยกับข้อมูลภาคพื้นดิน ได้แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ 1) หาค่าเฉลี่ยรวม NDVI ของแปลงที่ปรับปรุงดินและไม่ปรับปรุงดิน เพื่อเทียบสอบกับข้อมูลน้ำหนักเมล็ดของการเก็บเกี่ยวรวมในแต่ละแปลง และ 2) สุ่มเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่าง ในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณาตัวแทนกลุ่มตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% เพื่อเทียบสอบกับข้อมูลน้ำหนักเมล็ดของการเก็บเกี่ยว ทั้ง 10 กริดตัวอย่าง ที่ขนาดของกริดเท่ากับ 6x10 เมตร โดยการหาค่าเฉลี่ยรวมของดัชนี NDVI ในพื้นที่ทดลองทั้งหมด ทั้งพื้นที่แปลง A ไม่ปรับปรุงดิน และ แปลง B ปรับปรุงดิน เพื่อเปรียบเทียบค่า NDVI ของทั้งสองแปลง ซึ่งคำนวณหาจากการแบ่งกริดของพื้นที่แปลง A และ B ออกเป็นแปลงละ 99 กริด รวมทั้งสองแปลงมี 198 กริด ที่มีขนาดกริดละ 6x10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9 และรูปที่ 11 แสดงตัวอย่างค่า เปอร์เซ็นต์ NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งในแต่ละกริดจะมีค่าตัวเลขที่แสดงเปอร์เซ็นต์ NDVI ซึ่งคำนวณหาจากสมการที่ 2 พร้อมทั้งรายงานตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดของกริดนั้น ๆ



รูปที่ 11 ตัวอย่างค่า NDVI ในแต่ละกริดของพื้นที่แปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวางแผนการเพาะปลูกเป็นไปตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 8 ระยะ โดยการเตรียมแปลงเพาะปลูกทั้งสองแปลงเริ่มขึ้นในวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2564 จากนั้นปลูกข้าวโพดพร้อมเมล็ดในวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2564 และเก็บเกี่ยวข้าวโพดในวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลาปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวรวมทั้งหมด 107 วัน โดยได้วางแผนการบินเพื่อเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ 7 ครั้ง ครั้งที่ 1 ก่อนเริ่มเพาะปลูก ครั้งที่ 2 ระยะ V3 ครั้งที่ 3 ระยะ V5 ครั้งที่ 4 ระยะ V8 ครั้งที่ 5 6 และ 7 ในระยะ R1 ที่อายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ข้อมูลภาพถ่ายก่อนเริ่มเพาะปลูก และอายุข้าวโพด 21 หรือในระยะข้าวโพด 3 ใบ V3 รวมไปถึงภาพถ่ายของข้าวโพดในระยะข้าวโพด 60 วัน หรือ V8 จะยังไม่ได้นำมาใช้ในการคำนวณหาค่า เปอร์เซ็นต์ NDVI เนื่องจากยังมีค่าคลื่นสะท้อนของแสงเนียร์อินฟราเรดอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งภาพถ่ายทางอากาศของข้าวโพดแปลง B ระยะก่อนเริ่มเพาะปลูก V0 ระยะ V3 อายุข้าวโพด 21 วัน และ ระยะ V8 อายุข้าวโพด 60 วัน แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ภาพถ่ายทางอากาศ ระยะ VE,V3 และ V8 ของแปลง B

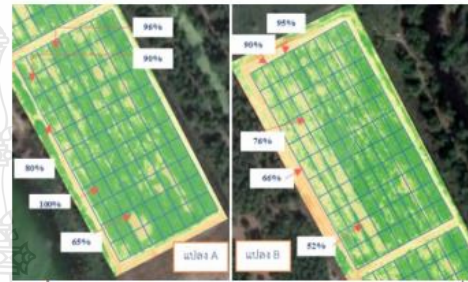
เมื่ออายุข้าวโพดอยู่ในระยะ R1 หรือ ระยะที่ข้าวโพดเริ่มออกรวงใหม่และเริ่มมีฝักนั้น ภาพถ่ายทางอากาศในระยะนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อประมาณการเทียบกับผลผลิตที่ได้จริง โดยในช่วงระยะ R1 ได้มีการเก็บข้อมูลภาพถ่าย 3 ครั้งด้วยกันคือ เมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ตามลำดับ และจากการคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI พบว่าภาพถ่ายทางอากาศของอายุข้าวโพด 82 วัน มีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลผลิตที่ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับอายุข้าวโพด 70 วัน และ 96 วัน เนื่องจากค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI อยู่ในช่วง 0.5 -1 หรือ 50 % - 100% กระจ่ายตัวมากที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 10 ในส่วนรูปที่ 13 แสดงภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B



รูปที่ 13 ภาพถ่ายทางอากาศเมื่ออายุข้าวโพด 70 วัน 82 วัน และ 96 วัน ของแปลง B

กลุ่มตัวอย่าง 10 กริดที่เก็บข้อมูลจากทั้งแปลง A และแปลง B ได้ถูกนำมาใช้คำนวณทางสถิติเพื่อประมาณผลผลิตน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเทียบกับดัชนี

NDVI ของแต่ละกริด ซึ่งพิจารณาเลือกกริดจากค่าความสมบูรณ์ NDVI 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้นข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 เปอร์เซนต์ NDVI ของ 10 กริดกลุ่มตัวอย่างที่มีค่า NDVI อยู่ในช่วง 50% ถึง 100%

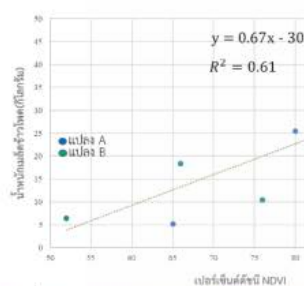
ค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดจากข้อมูลการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน 10 กริดเทียบกับเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI ในช่วง 50% ถึง 100 % แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI และน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากแต่ละกริดของแปลง A และ B

เปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI	แปลง	น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัม)
52	B	6.4
65	A	5.2
66	B	18.3
76	B	10.4
80	A	25.4
90	A	44.67
90	B	32.8
95	B	36.9
96	A	18.8
100	A	34.8

ข้อมูลค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดและเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI จากตารางที่ 1 ได้ถูกนำมาใช้ในหาสมการการประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดด้วย การคำนวณแบบ

สถิติเชิงเส้นถดถอยซึ่งแปรผลได้ว่าความสัมพันธ์ของ น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดและเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและสัมพันธ์กันร้อยละ 78 ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และ ค่า R square ร้อยละ 61 ของน้ำหนักเมล็ด สามารถอธิบายได้ด้วย เปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI แบบมีนัยยะสำคัญทางสถิติ ดัง แสดงในกราฟรูปที่ 15



รูปที่ 15 ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติแบบเชิงเส้นถดถอยของ น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดกับเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI

เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณสถิติเชิงเส้น ถดถอยมาประมาณการน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดจาก เปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เทียบกับน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด จากการเก็บเกี่ยวในแต่ละกรณีจริง แสดงให้เห็นในตาราง ที่ 2 เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 52 พบค่าความ คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่าน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยว จริงและน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่า คิดเป็น ร้อยละ 2.48 ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์ดัชนี NDVI เท่ากับ 80 พบค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ระหว่างค่าน้ำหนัก เมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและน้ำหนักเมล็ดที่ได้จากการ ประมาณค่า คิดเป็นร้อยละ 2.72 และเมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ ดัชนี NDVI เท่ากับ 90 95 และ 100 พบค่าคลาดเคลื่อน สัมบูรณ์ระหว่างค่าน้ำหนักเมล็ดที่เก็บเกี่ยวจริงและ น้ำหนักเมล็ดที่ได้จากการประมาณค่าคิดเป็นร้อยละ 3.4 4.17 และ 1.27 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่าร้อยละNDVI และน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด

เปอร์เซ็นต์ ดัชนี NDVI	แปลง	น้ำหนักเมล็ดที่ เก็บเกี่ยวจริง (กิโลกรัม)	น้ำหนักเมล็ดจาก การประมาณค่า (กิโลกรัม)
52	B	6.4	3.91
65	A	5.2	12.62
66	B	18.3	13.29
76	B	10.4	19.99
80	A	25.4	22.67
90	A	44.67	29.37
90	B	32.8	29.37
95	B	36.9	32.72
96	A	18.8	33.39
100	A	34.8	36.07

สรุปผล

การประมาณค่าผลผลิตน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด เลี้ยงสัตว์ด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณ NDVI เพื่อเปรียบเทียบความเจริญเติบโตและผลผลิตของ น้ำหนักเมล็ดข้าวโพด เฉลี่ยรวมของพื้นที่ที่มีการปรับปรุง ดินและไม่ปรับปรุงดิน ด้วยการวางแผนการเพาะปลูก เป็นไปตามวัฏจักรของข้าวโพดตั้งแต่ปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว 8 ระยะ ในพื้นที่ทดลองขนาด 12,467 ตารางเมตร หรือ ประมาณ 7.8 ไร่ และใช้ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ NDVI เมื่อ อายุข้าวโพด 82 วัน มาใช้ในการประมาณค่าผลผลิต น้ำหนักเมล็ดข้าวโพด โดยการสะท้อนของ คลื่นแสงสี แดง ความยาวคลื่น 668 นาโนเมตร และเนียร์อินฟราเรด ความยาวคลื่น 840 นาโนเมตร ในการหาค่าดัชนีพืช พพรรณ NDVI ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 10 พื้นที่ตัวอย่างในพื้นที่สองแปลง โดยพิจารณากลุ่ม ตัวอย่างจากค่าความสมบูรณ์ 5 ระดับ ของทรงพุ่มต้น ข้าวโพดในช่วง 50-59%, 60-69%, 70-79%, 80-89% และ 90-100% พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืช พพรรณ NDVI กับน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพด ควรประมาณ การผลผลิตเมื่อข้าวโพดมีอายุในช่วง 65-82 วัน หรือช่วง

ระยะการออกรวงใหม่จนถึงระยะฝักอ่อน และเก็บเกี่ยวเมื่ออายุได้ 107 วัน หรือระยะฝักพร้อมเก็บเกี่ยว และการวัดน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดทั้ง 10 พื้นที่ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI กับน้ำหนักของเมล็ดข้าวโพดเป็นไปในทิศทางเดียวกันด้วยความสัมพันธ์ 78% ที่ระดับความมั่นใจ 95% และ R Square 61% ด้วยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติถดถอยเชิงเส้นตรง ได้ค่าเท่ากับ $Y = 0.67X - 30.927$ และเมื่อนำมาประมาณการณ์ผลผลิตบนพื้นที่ทั้งหมด แปลง A และ B พบว่าค่าการประมาณผลผลิตของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดด้วยภาพถ่ายทางอากาศร่วมกับดัชนีพืชพรรณสามารถอธิบายค่าน้ำหนักได้สัมพันธ์กันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการวัดผลผลิตการเก็บเกี่ยวภาคพื้นดิน โดยผลผลิตน้ำหนักเมล็ด ความชื้นที่ 30 % ของแปลง A เท่ากับ 3,208.87 กิโลกรัม แปลง B เท่ากับ 2,999.8 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับพื้นที่ ที่มีดัชนีพืชพรรณอยู่ในช่วง 50-59%, 60-69, 70-79%, 80-89% และ 90-100% ซึ่งได้ผลผลิตน้ำหนักเมล็ดเท่ากับ 8.6 กิโลกรัม, 15.3 กิโลกรัม, 22.7 กิโลกรัม, 29.3 กิโลกรัม และ 36.1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำสัดส่วนที่ได้มาประมาณการณ์ผลผลิตของแปลง A เท่ากับ 3,265 กิโลกรัม และ แปลง B เท่ากับ 3,050 กิโลกรัม พบความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.75 และ 1.67 ตามลำดับ ทั้งนี้ผลผลิตของแปลง A ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงค่าความเป็นกรดของดินแต่สามารถให้ผลผลิตที่มากกว่าแปลง B ที่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งพบการให้ปุ๋ยอาจเป็นสาเหตุปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของแปลง B โดยการวิเคราะห์จากค่าดัชนี NDVI ในช่วงระยะ V2 ถึง V8 รวมไปถึงระยะ R1 พบว่าแปลง B มีการเจริญ NDVI เฉลี่ยรวมน้อยกว่าแปลง A ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผลผลิตของน้ำหนักเมล็ดข้าวโพด ยังมีปัจจัยอื่น เช่น การให้ปุ๋ยตามความต้องการของพื้นที่นั้น ๆ การควบคุมโรคระบาดและแมลงศัตรูพืช นอกการการปรับปรุงดินก่อนเพาะปลูก ซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษาการให้ปุ๋ยแบบแม่นยำและ การประเมิน

โรคระบาดและแมลงศัตรูพืช ของข้าวโพด ซึ่งอยู่ในการทดสอบการปลูกในรอบเพาะปลูกถัด ๆ ไปเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบริษัทเคเอสพี อุปกรณ์ จำกัด ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนงานวิจัยนี้อย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Department of Agriculture. Maize Production Technology [Internet]. 2019 [cited 2023 Jan 20]. p. 1-68. Availability from: <https://www.doa.go.th/oard5/wpcontent/uploads/201909/km62.pdf>
2. OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030. [Internet]. [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://www.oecdilibrary.org>
3. Department of Agriculture [Internet]. [cited 2023 Jan 20]. Availability from: https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/forecastdata/files/forecast/situation/3S_MZ.pdf
4. ARDA. Smart Farming, Agricultural Research Development Agency (Public organization) [Internet]. 2018 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=6
5. Mitr Phol. Remote Sensing, Remote Sensing Technology [Internet]. 2018 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://www.mitrphol-modernfarm.com>
6. Paolo DF, Tania L, Alice C, Chiara G, Pasquale D, Marco M, et al. Multispectral

- Sentinel-2 and SAR Sentinel-1 Integration for Automatic Land Cover Classification. *Land*. 2021;10(6):611.
7. David JM, Yuxin M. Precision Farming. In: *Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing*. 2016. p. 161-78.
 8. Mulla DJ, Miao Y. 2015. Precision Farming. In: *Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing*. 1st ed. Imprint CRC Press; 2015. p. 161-78.
 9. Naphat R, Raksak S, Kriengkri K. Using digital image for estimation leaf area of rice. *Thai Science and Technology Journal*. 2020;28(9): 1717-24.
 10. Sureeporn K, Napat J, Jitti M. Assessment of Greenhouses Gas Emission and Mitigation from Maize Cultivation in Thailand for Sustainable Production Systems. *Thai Science and Technology Journal*. 2019;26(7):1176-96.
 11. Panath J, Sununtha K, Petchporn C, Yasushi K. NDVI response to nitrogen fertilizer application in waxy corn using UAV imagery. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 2020;48(5): 1068-81.
 12. Preeyanan S, Piyatida B, Waratchaya P, Arunprapa P. Sugarcane Yield Estimate from Remotely Sensed Data in Nakhon Sawan Province. *Kasetsart University*; 2019. p. 1-35.
 13. Nodthaisong C, Saengprachathanarug K, Chea C, Posom J, Wongpichet S, Konyai S, et al. Feasibility study of sugarcane yield prediction using ndvi, cired edge indice associated with volume of digital surface model (DSM). *Khon Kaen Agriculture Journal*. 2021;47(4):679-94.
 14. Etienne D, Gaëtan D, François J, Philippe B, Alexis C, Benoit de S, et al. Plant detection and counting from high-resolution RGB images acquired from UAVs: comparison between deep-learning and handcrafted methods with application to maize, sugar beet, and sunflower crops. *bioRxiv*. 2021;1-18. doi: <https://doi.org/10.1101/2021.04.27.441631>
 15. Kieran O'Keeffe. Maize Growth & Development. Orange, N.S.W.: NSW Dept. of Primary Industries [Internet]. 2009 [cited 2023 Jan 20]. Availability from: <https://cornindustryppnikolakostic.wordpress.com/life-cycle-of-corn/>



RMUTCON

E - PROCEEDINGS **11th RMUTIC**

**The 11th Rajamangala University of Technology
International Conference**

Collaboration

Prachachuen Research Network

The Materials Research Society of Thailand

18 - 20 May, 2022

Royal Cliff Grand Hotel, Pattaya, Thailand



**The 11th Rajamangala University of Technology
International Conference**

***“RMUT Driving toward Innovation, Economy and
Green Technology for Sustainable Development”***



[2]

Study of Relative of UAV Imagery and NDVI for Maize Yield Estimation

Phoomchai Traidalanon, Kiattisak Sangpradit *

*Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala
University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, 12110, Thailand*

** Corresponding email; k.sangpradit@rmutt.ac.th*

Abstract

The objective of this research has created an aerial geographic mapping with an unmanned aerial vehicle (UAV). This study was used for analyzing the growth of maize by using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The work was considered the relation between NDVI and received from analyzing the light waves Red (668 nm), Green (560 nm), NIR (842 nm) and Red Edge (717 nm), and the products yielded from a trial area of KSP Equipment Co. Ltd. The location of the study area is in Lam Sai, Wang Noi District, Phra Nakhon Sri Ayutthaya Province which is started from June to November 2021. Areas used for experiments in the size of 12,467 square meters for separating into 198 blocks of 6x10 square meters/block. Additionally, a multispectral camera is capable of detecting 5 different wavelengths (Red, Green, Blue, NIR and Red Edge). This technique is used to capture the area of experiment. The NDVI calculations were done when the age of the maize was 82 days old and the harvesting was made when the age was 107 days old.

The results found that, the usage of multi wavelength photograph could be used to calculate NDVI. Measuring the weight of the maize seed from 10 randomly chosen areas it could be found that the relation between value of NDVI and weight of the maize seed goes in the similar direction with 87% relationship and 95% level of confidence. After then statistical values were used to predict the weight of the maize seed. The results are present as the NDVI value was 50-59%, the weight of seed is found of 8.1 kilograms. The NDVI value is 60-69%, the weight of seed is found of 15.6 kilograms. The NDVI value is 70-79%, the weight of seed is found of 23.1 kilograms. The NDVI value is 80-89%, the weight of seed is found of 30.6 kilograms. Finally, if the NDVI value is 90-100%, the weight of seed is found of 38.1 kilograms which is compared to the actual weight and the error is found of $\pm 3\%$

Keywords: *aerial mapping, UAVs, NDVI, multi-wavelength photograph, maize yield estimation*

Introduction

Corn can be classified into several types according to botanical classification and classification according to planting objectives. Fodder corn is grown to cut fresh stalks to feed animals. There are two open hybrid varieties of corn: hybrid corn and pure corn (Nantaka S.). In 2020/21, global maize production for animal feed increased by 19.78 million tons, bringing total production to 1,136.31 million tons (Bangkokbiznews). For Thailand's production in 2020, the production efficiency was 726 kg/rai/cycle, or 4.7 million tons. This is not enough to meet the domestic demand for feed corn, which is 8.7 million tons (Office of Agricultural Economics). There are also issues that caused the price of maize to fall over the past season, due to the concentration of produce from September to November. Farmers cultivate in undocumented areas resulting in low quality yields. There is a need to reduce cultivation of forest encroachment and adjust the proportion of production each season by expanding the planting area during the dry season to also replace part of the second crop (Sanddy).

Smart farming brings technology to manage the cultivation system can monitor, collect data, analyze and solve planting problems in real-time, while being able to display growth data and

predict accurate yields (ARDA). Remote sensing is one of the Technology to assist in measurement and to analyze data such as photographic analysis, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), stem number or yield measurement (Mitr Phol). To further improve soil and increase soil fertility, an unmanned aerial vehicle (UAV) was used to create an aerial geographic mapping, with applications based on data acquisition frequency and the altitude of aerial photography from each type of aircraft. Images obtained by UAV are relatively high resolution compared to satellite images. The spatial resolution is quite limited. Users should take pictures on clearly days and this drone photography has low coverage, hotspot area just 1-10 km². Spectral Resolution selection varies depending on user needs. Currently, many types are used like multispectral, hyperspectral and thermal (Paolo D.F.). Moreover, precision farming is one of the agricultural revolutions which focuses on the right management in the right place at a reasonable rate and at the right time, both in terms of the fertilizing use of pesticides sowing or tilling and irrigation to increase the yield or quality of crops and reduce the use of fertilizers and pesticides (David J.M.).

The NDVI vegetative index was measured by plant leaf Near-infrared spectroscopy (NIR) reflectance, with mature plants having a higher reflectance than incomplete plants. The work was considered the relation between NDVI and received from analyzing the light waves Red (668 nm), Green (560 nm), NIR (842 nm) and Red Edge (717 nm). Digital photographs were used to assess the area of rice leaves for analysis of rice growth trends. It is most accurate at 12:00 a.m., when it is brightest. But there was also an error that caused the analysis to shift as more and more plants grew to the point of overlapping leaves (Napat R.). There are also many applications for NDVI and aerial photography, NDVI response and yield studies on nitrogen fertilizer application in waxy corn (Panath J.), sugarcane production evaluation (Preeyanan S. and Cheerawat N.). Multi-spectral photography is more costly than normal photography. Sometimes, plant detection and counting can also be done from High resolution RGB photos using unmanned aerial vehicles (Etienne D.), but these methods have limited efficiency. This is because plant health cannot be analyzed from colors that invisible to the naked eye.

The main objective of this study is to apply aerial imagery of unmanned aerial vehicles to generate aerial geographic mapping and to perform a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for maize yield estimation.

Materials and Methods

Study area and plant material

The location of the study area is at KSP Equipment Co. Ltd., in Lam Sai, Wang Noi District, Phra Nakhon Sri Ayutthaya Province, Thailand. Cultivation of fodder corn on the aforementioned areas started from June to November 2021. The experimental area of 12,467 square meters was divided into two equal parts: plot A and plot B. Plot A is a witness. There is no soil amendment in this area. Plot B has a soil improvement, which is the location that we are interested in this study. The maize used for the test was cultivar CP303 with a fresh harvest of 105 days and a dry harvest of 115 days. This maize variety can be grown in both flat and hilly areas, provided that the soil is fertile and there is good rainfall. The average yield should be expected at 1,500-2,000 kg/rai at 25-30% humidity (CPP). For this study, planting distance of 70 x 17 centimeters, 1 plant per hole, equivalent to 13,400 plants/rai. Fertilizer period is 14, 25 and 40 days. Basically, maize fertilization was applied 2 times at 14 and 40 days of maize, but this study helped to improve the precision fertilization. Therefore, additional fertilization was applied at 25 days of maize as shown in Table 1. Watering during the corn growth phase, after the corn has germinated, is in the average amount of 50 cubic meters/rai/week.

Table 1 Fertilizers given to maize

Fertilizing while planting		1 st time		2 nd and 3 rd time
Fertilizer formula	0-0-60	18-46-0	46-0-0	46-0-0
Fertilizer amount (kg/rai)	19	14	14	18

Figure 1 shows the reference grid was placed on maize field. On the side enclosed by flagpoles is an analytical area of 1 x 1 square meters/block, and on the sides a reference grid of 3 x 3 square meters/block is drawn. Next, we analyze images from drones and NDVI by keeping a yield value of at least about 50 grid per test plot.



Figure 1 Reference grid on maize field

Data acquisition device and software

The camera drone used is the Dji Matrice 200 Series V2, a medium-sized drone (Figure 2). This drone is wind resistant, allowing for continuous shooting and can detect obstacles in all directions. If using a small drone, it can't fight the wind. Shooting can be highly error-prone. This device can be used in conjunction with the App Pix4 Dcapture to map the flight and to command automatic flight.



Figure 2 Camera drone

This study wanted to measure the NIR reflectance. Therefore, a specialized camera such as multispectral camera is needed. Figure 3 shows DJI Phantom 4 Multispectral which was used to

take an aerial picture for agriculture. It can be used to check soil conditions, fertility of plants to help analyze and increase productivity in agriculture. One set consists of 6 lenses: red edge, Near-Infrared(NIR), visible light, green, red and blue. This multispectral camera provides a resolution of 18.9 cm/pixel. It has a wide viewing angle (62.7°), which results in more distortion and sharpness decreased. Dji Terra is required for image analysis but its price is higher than other programs.



Figure 3 Multispectral camera

Additionally, a multispectral camera is able to detect 5 different wavelengths (Red, Green, Blue, NIR and Red Edge). This technique is used to capture the area of experiment. For aerial geographic mapping, we used other basic programs instead of expensive ones. Quantum GIS (QGIS) is a type of Geographic Information System data manipulation program with an easy to understand and easy to use Graphic User Interface (GUI). QGIS is developed under an open-source license that can be used without restrictions. QGIS is developed with a wide range of features, both for general purpose such as retrieving image data query table, analyzing location data (Spatial query) as well as presenting data in a map both offline and online (Geographic Information Division).

NDVI calculations

The NDVI calculations were done when the age of the maize was 82 days old and the harvesting was made when the age was 107 days old. Perform calculations by inserting formulas into the QGIS program. The reference equation is derived from the NDVI calculated as follows:

$$\text{Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Results and Discussion

Data acquisition

Field preparation for testing began in June 2021 for plot A and plot B. Then, maize was planted with seeds in July 2021. Three weeks after cultivation, the first aerial photographs were taken with drones. The image will not be analyzed with NDVI method because there is no noticeable growth. Two more photographs were then collected at 12 weeks after planting when fodder corn began to grow significantly, and at 14 weeks after planting when it approached harvest maturity. Thus, the maize was harvested at the age of 107 days in October 2021. NDVI calculations were used for the following last two aerial photographs. Figure 4 shows the three aerial photographs that were mapped on the Plot B using the QGIS program.



Figure 4 Drone photographs on (a) 3 weeks after planting, (b) 12 weeks after planting, and (c) 14 weeks after planting

Reference grid

A reference grid of 1 x 1 square meters/block and 3 x 3 square meters/block was tested on the QGIS program. As shown in the Figure 5, both grid reference cases were found to result in too many blocks. It is inconvenient to study each block. Therefore, the new size was resized to have a value of 6 x 10 square meters/block and a total of 99 blocks was obtained. When we consider the total area of both plot A and plot B, areas used for experiments of 12,467 square meters for separating into 198 blocks.

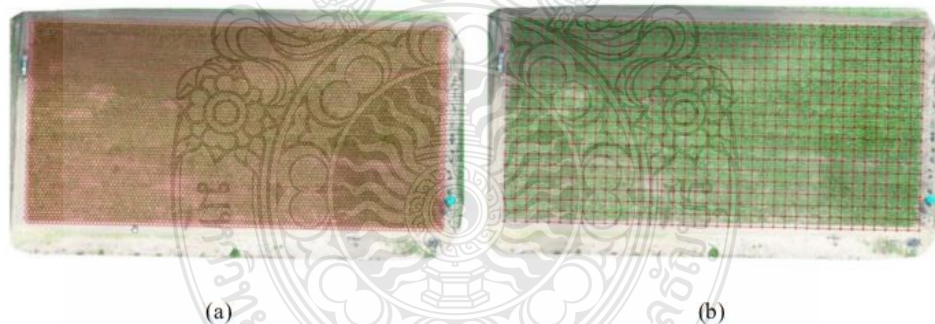


Figure 5 Reference grid of (a) 1 x 1 square meters, and (b) 3 x 3 square meters

The showed found that the use of multi wavelength photography could be used to calculate NDVI. Figure 6 shows the measurement of the maize seed weight from 10 randomly selected areas on the two plots. There are two reasons for the randomization of such areas. First, it is easier to harvesting and secondly, we want to select a percentage of canopy in the range of 50 to 100. Each block also shows additional details as shown in Figure 7; including the ID name, coordinate in Universal Transverse Mercator (UTM) system, and percentage of canopy. The UTM coordinate system is a series of sixty zones that project east and north coordinates in meters. The distance from

the central median is the east coordinate and the distance from the equator for all zones is the north coordinate (The Engineering ToolBox). Users can filter the minimum and maximum canopy level to see the values of interest which showed a blue box around the zone. It can be operated separately between plot A and plot B.

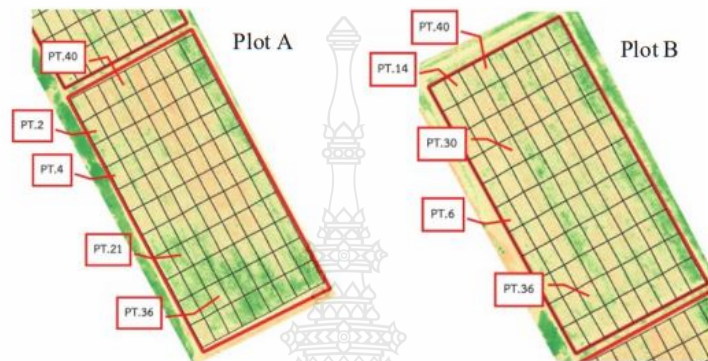


Figure 6 Randomly chosen areas on plot A and plot B



Figure 7 Information displays in each reference grid

Relative of NDVI and weight of the maize seed

On plot B, it was observed that there is a relationship between value of NDVI and weight of the maize seed from 5 randomly chosen zones. It goes in the similar direction with 87% relationship and 95% level of confidence as shown in the Figure 8. If the percentage of canopy is high, it means that the NDVI is high. It was found that the productivity was increased accordingly.

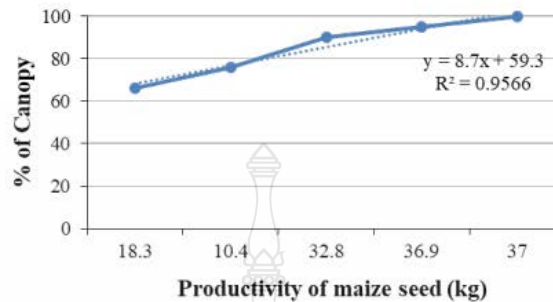


Figure 8 Relation between percentage value of canopy and weight of the maize seed

Relative of NDVI for maize yield estimation

Then, statistical values were used to predict the weight of maize seeds. Linear regression analysis is used to find the equations used to predict maize yield. According to Statistics How To, the equation of a line is $Y = a + bX$ where Y is the dependent variable, X is the independent variable, a is the y-intercept and b is the slope of the line.

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

After calculating this value, the resulting linear equation is $Y = 0.75X - 36.88$ for maize yield prediction. Figure 9 shows the yield obtained from the data collection of 5 samples in plot B and calculating values from the equations obtained to predict yield for each percentage equal to the sample.

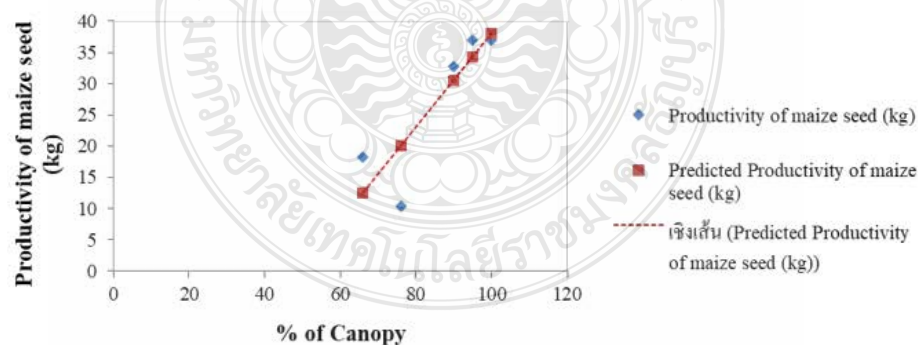


Figure 9 Relation between percentage value of canopy and productivity of the maize seed

The results obtained in table 2 are present as the NDVI value was 50-59%, the weight of seed is found of 8.1 kilograms. The NDVI value is 60-69%, the weight of seed is found of 15.6 kilograms. The NDVI value is 70-79%, the weight of seed is found of 23.1 kilograms. The NDVI value is 80-89%, the weight of seed is found of 30.6 kilograms. Finally, if the NDVI value is 90-100%, the weight of seed is found of 38.1 kilograms which is compared to the actual weight and the error is found of $\pm 3\%$.

Table 2 Value of NDVI and weight of maize seed

NDVI value	Weight of maize seed (kg)
50-59%	8.1
60-69%	15.6
70-79%	23.1
80-89%	30.6
90-100%	38.1

Conclusion

The introduction of unmanned aerial vehicles such as drones to assist in aerial photography. This helps to see the sum of all growth on the planting plot. In addition, the introduction of QGIS to help mapping and calculating the NDVI value is very useful. Because it is a program that can be used easily and for free, we can select reference grids to analyze the results as appropriate. It is also possible to display the corresponding result values at each test point with both east and north coordinates and percentage of canopy. This allows users to monitor and predict their own productivity. In addition, such analysis allows for accurate fertilizer at test points where plant fertility is a problem. This will reduce over-fertilization where the plants can grow well and can increase the total yield when all areas are equally full of growth. The test showed that the correlation of percentage completeness and yield was highly correlated with 87% relationship and 95% level of confidence. When the regression equation was found, only an error of $\pm 3\%$ in predicting yield versus yield was actually found. The values obtained from a single harvest can be inaccurate. Repeating recalculation multiple harvesting seasons is necessary to determine the accuracy of multi-wavelength image maize grain weight analysis under control parameters. In addition, the comparison with other methods in terms of accuracy or operating costs must be considered. It is important to develop techniques of yield estimation and precision fertilization in the future. The amount of fertilizer will be reduced according to the appropriateness of growth, when the corn is 25 days old.

Acknowledgments

The authors would like to thank Department of agricultural machinery engineering, Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and KSP Equipment Co. Ltd., for cooperation and support for this research.

References

- ARDA. (2018). *Smart Farming*, Khwāmsamret læ khwām thāthāi hāng yuk samai [Smart Farming, Success and Challenges of the Ages]. Agricultural Research Development Agency (Public organization), Retrieved from https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=6.
- Bangkokbiznews. (2020). “Jurin” kho prakanphai khāophōt liang sat pīkān phalit hoksipsī [“Jurin” knocks insurance on maize for the year of production 64]. Retrieved from <https://www.bangkokbiznews.com/business/929385>.

- Cheerawat N., Khwantri S., Chanreaksa C., Jetsada P., Seree W., Supasit K. and Mahisom W. (2019). Feasibility Study of Sugarcane Yield Prediction Using NDVI, CI_{red_edge} Indices Associated with Volume of Digital Surface Model (DSM), *Khon Kaen Agr. J.*, 47(4), 679-694.
- CPP. (2019). *Thurakit malet phan khāophōt [Corn seed business]*. Retrieved from <https://www.cpp-worldwide.com/business-type/75>.
- David J.M. and Yuxin M. (2016). Precision Farming, Land Resources Monitoring, Modeling, and Mapping with Remote Sensing, 161-178.
- Etienne D., Gaëtan D., François J., Philippe B., Alexis C., Benoit de S. and Frédéric B. (2021). Plant detection and counting from high-resolution RGB images acquired from UAVs: comparison between deep-learning and handcrafted methods with application to maize, sugar beet, and sunflower crops, *bioRxiv preprint*, 1-18.
- Geographic Information Division (2018). Khwāmṛū thūapai kīeokap prōkrām [General knowledge of the program]. Quantum GIS 3.2 (Bonn) Program Manual, 1-89.
- Mitr Phol. (2018). Remote Sensing, Theknōlōyī samrūat khōmūn raya klai [Remote Sensing, Remote Sensing Technology]. Retrieved from <http://www.mitrpholmodernfarm.com>.
- Nantaka S., Tipwan N. and Chalisa B. (2019). Khāophōt liāng sat [Maize]. Saraburi Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 1-111.
- Naphat R., Raksak S. and Kriengkri K. (2020). Using Digital Image for Estimation Leaf Area of Rice, *Thai Science and Technology Journal*, 28(9), 1717-1724.
- Office of Agricultural Economics. (2020). Kānkhā Thai kap tāngprathēt [Thai and foreign trade]. Retrieved from <http://impexp.oae.go.th/service/tl.php>.
- Panath J., Sununtha K., Petchporn C. and Yasushi K. (2020). NDVI response to nitrogen fertilizer application in waxy corn using UAV imagery, *Khon Kaen Agr. J.*, 48(5), 1068-1081.
- Paolo D.F., Tania L., Alice C., Chiara G., Pasquale D., Marco M., Gherardo C., Luca C. and Michele M. (2021). Multispectral Sentinel-2 and SAR Sentinel-1 Integration for Automatic Land Cover Classification, *land*, 10 (6), 611.
- Preeyanan S., Piyatida B., Warachaya P. and Arunprapa P. (2019). Sugarcane Yield Estimate from Remotely Sensed Data in Nakhon Sawan Province, Kasetsart University, 1-35.
- Sanddy. (2017). Rūāng kao lao mai khāophōt liāng sat plūk dai mai phōchai tē thammai lon talāt? Old story new telling, maize not enough to grow, but why oversupply? Retrieved from <http://oknation.nationtv.tv/blog/ninlapunsandy/2017/07/19/entry-1>.
- Statistics How To. (2022). Linear Regression: Simple Steps, Video. Find Equation, Coefficient, Slope. Retrieved from <https://www.statisticshowto.com/probability-and-statistics/regression-analysis/find-a-linear-regression-equation/>.
- The Engineering ToolBox. (2008). UTM to Latitude and Longitude Converter. Retrieved from https://www.engineeringtoolbox.com/utm-latitude-longitude-d_1370.html.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายภูมิชัย ตริยตานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	21 มกราคม 2514
ที่อยู่	100 หมู่ 9 ต.บางจาก อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ 10130
ประวัติการศึกษา	<u>พ.ศ. 2536</u> ปริญญาตรีคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี <u>2566</u> หลักสูตร พัฒนาผู้บริหาร Global Mini MBA : (Entrepreneurial Manager Series) คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประวัติการทำงาน	<u>ปัจจุบัน</u> กรรมการผู้จัดการ บริษัท ซีพี โซเชียลอิมแพคท์ จำกัด รองกรรมการผู้จัดการอาวุโส - บริษัท เกษตรภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด - บริษัท เค.เอส.พี.อุปกรณ์ จำกัด - บริษัท เกษตรภัณฑ์-อกริเทค จำกัด - บริษัท เคพี กรีนเนอร์ยี จำกัด <u>21 เม.ย. 2536</u> เริ่มงานกับบริษัทในเครือเจริญโภคภัณฑ์
เบอร์โทรศัพท์	0839896633
อีเมล	phoomchai@ksp.co.th