

การตรวจจับไข้หนองไขว่ไขว่ด้วยวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพ

สมบัติ สุขแสง

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตศึกษา สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2568

DETECTION OF POMELO LEAF MINER'S EGGS USING IMAGE PROCESSING TECHNEQUE

Sombat Suksawaeng

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Information Technology
Graduate Studies

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2568

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจจับไข้หนองนอมนไขด้วยวิธีประมวลผลข้อมูลภาพ

โดย

สมบัติ สุขแสง

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตสาธร

บัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาโทบริหารเทคโนโลยี

.....รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชาวทรัพย์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทิมพันธุ์ เจริญพงษ์)

.....กรรมการ
(ดร.ประมุข บุญเสียง)

.....กรรมการ
(ดร.สรมย์พร เจริญพิทย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตสาธร)

สมบัติ สุขแสง : การตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอด้วยวิธีประมวลผลข้อมูลภาพ.
 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ดร.สพรั่งสิทธิ์ มฤตสาร, 154 หน้า.

การผลิตส้มโอในประเทศไทยเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญจากการระบาดของหนอนเจาะใบส้ม (Phyllocnistis citrella) วิธีการตรวจจับด้วยตนเองแบบดั้งเดิมใช้แรงงานมากและมีแนวโน้มที่จะเกิดข้อผิดพลาด วิทยานิพนธ์นี้เสนอแนวทางการตรวจจับไข่หนอนเจาะใบบนใบส้มโอโดยใช้การประมวลผลภาพ โดยเน้นที่ลักษณะรูปร่าง ขนาด และสี ความแปลกใหม่ของงานวิจัยนี้อยู่ที่การผสานการตรวจจับวงกลมด้วย Hough Circle Transform ร่วมกับการตรวจสอบช่วงสีในระบบ HSV เพื่อให้สามารถตรวจจับไข่หนอนได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นก่อนเกิดความเสียหายต่อใบพืช มีการเก็บรวบรวมชุดข้อมูลภาพจำนวน 100 ภาพ (50 ภาพสำหรับการฝึกสอน 50 ภาพสำหรับการทดสอบ) ภายใต้สภาวะแสงที่ควบคุมได้เพื่อการตรวจสอบเบื้องต้น มีการประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ เช่น การแปลง RGB เป็น HSV, Gaussian blur, การตรวจจับขอบด้วย Canny และการแปลงวงกลม Hough ภายในกรอบการทำงานแบบอิงกฎเกณฑ์ แม้ว่าวิธีการนี้จะบรรลุความแม่นยำ 96.00% ในสภาวะที่ควบคุมได้ แต่งานในอนาคตจะเน้นที่การนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมสวนผลไม้จริงและการเปรียบเทียบกับแนวทางการเรียนรู้เชิงลึก โดยการบูรณาการการวิเคราะห์รูปร่าง ขนาด และสี วิธีการที่เสนอบรรลุผลดังนี้: ความผิดพลาด 4.00%, ความแม่นยำ (Precision) 100.00%, ความไว (Recall) 92.31%, F1-score 96.00% และค่าความจำเพาะ (Specificity) 100.00% ซึ่งดีกว่าวิธีการที่ใช้เพียงรูปร่างและขนาด (ความแม่นยำ 92.00%) แนวทางนี้ช่วยให้สามารถตรวจจับศัตรูพืชได้ในระยะเริ่มต้น ลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจและการใช้สารกำจัดศัตรูพืชมากเกินไป

บัณฑิตศึกษา

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2568

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

SOMBAT SUKSAWAENG : DETECTION OF POMELO LEAF MINER'S EGGS USING IMAGEPROCESSING TECHNIQUES. ADVISOR: DR. SAPRANGSIT MRUETUSATORN, 154 PP.

Pomelo production in Thailand faces a significant challenge from the infestation of the citrus leaf miner (*Phyllocnistis citrella*). Traditional manual detection methods are labor-intensive and prone to errors. This research proposes an approach for detecting citrus leaf miner eggs on pomelo leaves using image processing, focusing on shape, size, and color characteristics. The novelty of this research lies in integrating Hough Circle Transform with color range verification in the HSV system to enable the detection of leaf miner eggs at an early stage before damage to the plant leaves occurs. A dataset of 100 images (50 for training, 50 for testing) was collected under controlled lighting conditions for preliminary validation. Various techniques, including RGB-to-HSV conversion, Gaussian blur, Canny edge detection, and Hough Circle Transform, were applied within a rule-based framework. Although this method achieved 96.00% accuracy under controlled conditions, future work will focus on implementation in actual orchard environments and comparison with deep learning approaches. By integrating shape, size, and color analysis, the proposed method achieved the following results: an error rate of 4.00%, precision of 100.00%, recall of 92.31%, F1-score of 96.00%, and specificity of 100.00%, outperforming methods using only shape and size (92.00% accuracy). This approach enables early pest detection, reducing economic losses and excessive pesticide use.

Graduate Studies

Field of Study Information Technology

Academic Year 2025

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความช่วยเหลือ และความกรุณาอย่างสูงจากท่านอาจารย์ ดร.สะพรั่งสิทธิ์ มฤตุสาธร์ ที่เป็นทีปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลา ให้ความรู้ ความเข้าใจ แนะนำแนวทาง แรงบันดาลใจให้พัฒนาตัวเอง และคำปรึกษา จนสามารถทำให้ข้าพเจ้าสามารถดำเนินงานวิทยานิพนธ์ ได้สำเร็จ

อีกทั้งผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริง และความทุ่มเทของคณะกรรมการ ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ทิมพันธุ์ เจริญพงษ์, ดร.ประมุข บุญเสียง, ดร.สรมย์พร เจริญพิทย ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และคำให้การที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งแนะนำแนวทางในการปรับปรุง และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

นอกจากทางผู้ได้รับแรงสนับสนุนจากครอบครัว ที่ได้สนับสนุนในเรื่องของกำลังใจ และเข้าใจที่ทางผู้วิจัยต้องใช้เวลา และเงินทุนในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้กับองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งสามารถก่อให้เกิดแนวคิดเพื่อนำไปใช้ในการศึกษา หรือแนวทางในการทำการวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต

สมบัติ สุขแสง

TNI

TAI - NICHU INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ง
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูปภาพ.....	ฅ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.1.1 ภาพรวมผลผลิตของส้มโอในประเทศไทย.....	1
1.1.2 ปัญหาที่ผู้วิจัยพบโดยตรง.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตและสมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ข้อมูลเกี่ยวข้องกับส้มโอและศัตรูพืชส้มโอ.....	4
2.1.1 ส้มโอ.....	4
2.1.2 แมลงศัตรูส้มโอ.....	13
2.1.3 หนอนขอนใบส้ม.....	20
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.2.1 Image Intensity Transform.....	23
2.2.2 Image Filtering.....	25
2.2.3 Image Segmentation.....	28
2.2.4 Morphological Image Processing.....	29
2.2.5 Color Image Processing.....	29

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
2	2.2.6 Feature Extraction 32
	2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33
3	วิธีดำเนินการวิจัย 43
	3.1 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล 44
	3.2 การนำเข้าภาพ 44
	3.3 การประมวลผลภาพ 46
	3.4 การประเมินผล 56
	3.5 การออกแบบการทดลอง 58
4	ผลลัพธ์การวิจัยและการอภิปราย 81
	4.1 การตรวจจับไข้หนองด้วยรูปทรงและขนาด 81
	4.2 การตรวจจับไข้หนองด้วยรูปทรง ขนาด และช่วงสี 82
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ 95
	5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย 95
	5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน 96
	5.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต 96
	บรรณานุกรม 99
	ภาคผนวก 104
	ภาคผนวก ก โค้ดโปรแกรม 105
	ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์ 113
	ภาคผนวก ค เอกสารประกอบการสอบ 120
	ประวัติย่อของผู้วิจัย 154

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ผลผลิตส้มโอ 5 ปีย้อนหลังตั้งแต่ 2558 – 2562.....	1
2.1 การเปรียบเทียบลักษณะของส้มโอแต่ละสายพันธุ์.....	11
2.2 สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
3.1 ตารางช่วงสีของกลุ่มไซ้หนอนขนใบส้มโอ	53
3.2 ตารางโครงสร้าง confusion matrix ของการตรวจจับไซ้หนอนขนใบ	56
3.3 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับไซ้หนอนขนใบบนใบอ่อน ส้มโอที่มีไซ้ และไม่มีไซ้ 50 ภาพ	58
3.4 ตารางรายการปรับแต่งพารามิเตอร์.....	60
3.5 ผลลัพธ์จากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 28	79
3.6 ผลลัพธ์จากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 29	80
3.7 ประสิทธิภาพจากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 28	80
3.8 ประสิทธิภาพจากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 29	80
4.1 ผลลัพธ์ confusion matrix การตรวจจับไซ้หนอนขนใบส้มโอด้วย รูปทรง และ ขนาด ด้วยชุดข้อมูลใบอ่อนส้มโอที่มีไซ้ และไม่มีไซ้ 50 ภาพ.....	81
4.2 การประเมินจาก confusion matrix การตรวจจับไซ้หนอนขนใบส้มโอด้วย รูปทรง และขนาด ด้วยชุดข้อมูลใบอ่อนส้มโอที่มีไซ้ และไม่มีไซ้ 50 ภาพ	82
4.3 ผลลัพธ์ confusion matrix การตรวจจับไซ้หนอนขนใบส้มโอด้วย รูปทรง ขนาด และช่วงสี ชุดข้อมูลใบอ่อนส้มโอที่มีไซ้ และไม่มีไซ้ 50 ภาพ.....	82
4.4 การประเมินจาก confusion matrix การตรวจจับไซ้หนอนขนใบส้มโอด้วย รูปทรง ขนาด และช่วงสี ด้วยชุดข้อมูลใบอ่อนส้มโอที่มีไซ้ และไม่มีไซ้ 50 ภาพ	83

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	ใบส้มโอที่ถูกหนอนชอนใบทำลาย.....2
2.1	เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา.....6
2.2	ใบส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา.....6
2.3	เนื้อส้มโอทับทิมสยาม.....7
2.4	ใบส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม.....7
2.5	เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี.....8
2.6	ใบส้มโอพันธุ์ทองดี.....8
2.7	เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....9
2.8	ใบส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง.....9
2.9	เนื้อส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย.....9
2.10	เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่.....10
2.11	เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวพวง.....10
2.12	เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวอุทัย.....11
2.13	เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวหอม.....11
2.14	หนอนชอนใบส้มโอ.....13
2.15	เพลี้ยไฟ.....14
2.16	เพลี้ยไก่แจ้ส้ม.....14
2.17	ไรขาวพริก.....15
2.18	หนอนเจาะผลส้มโอ.....15
2.19	หนอนผีเสื้อส้ม.....16
2.20	เพลี้ยหอยสีแดงแคลิฟอร์เนีย.....16
2.21	เพลี้ยแป้ง.....17
2.22	หนอนแก้วส้ม.....17
2.23	ผีเสื้อมวนหวาน.....18
2.24	แมลงค่อมทอง.....18
2.25	ไรสนิมส้ม.....19
2.26	ไรแดงแอฟริกัน.....19

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
2.27	วงจรหนอนซอนใบส้ม.....20
2.28	ระยะตัวเต็มวัยของผีเสื้อหนอนซอนใบส้ม.....21
2.29	ระยะที่เป็นไข่ ของไข่หนอนซอนใบส้ม.....21
2.30	ระยะที่เป็นหนอน ของหนอนซอนใบส้มโอ.....22
2.31	ระยะที่เป็นดักแด้ ของหนอนซอนใบส้มโอ.....22
2.32	ภาพผลมะเขือเทศจากการทำ binarization.....28
2.33	ภาพที่แปลงจาก RGB เป็น HSV.....30
2.34	การสกัดคุณลักษณะสีของกล้วยฉาบ.....32
3.1	Overall work flow43
3.2	การนำเข้าข้อมูลภาพ45
3.3	โทรศัพท์มือถือ Galaxy A1345
3.4	อุปกรณ์ช่วยควบคุมสภาพแสง.....45
3.5	Image pre-processing & detection workflow.....46
3.6	ตัวอย่างสีของช่วงสี.....47
3.7	ตัวอย่างช่วงสีเขียว.....54
3.8	ตัวอย่างช่วงสีเหลือง.....54
3.9	ตัวอย่างช่วงสีเหลืองคล้ำ.....54
3.10	ตัวอย่างช่วงสีคล้ำ.....55
3.11	ตัวอย่างช่วงสีอื่นๆ.....55
3.12	ตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจจับ.....56
3.13	โครงสร้างข้อมูลภาพ.....58
3.14	ภาพรวมผลการปรับพารามิเตอร์(ฝึกโมเดล).....61
3.15	ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 162
3.16	ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 262
3.17	ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 363
3.18	ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 463
3.19	ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 564

สารบัญรูป(ต่อ)

[illegible]

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
3.47 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 33	78
3.48 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 34	78
3.49 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 35	79
4.1 work flow เปรียบเทียบการตรวจจับด้วยรูปทรง และขนาด กับ รูปทรง ขนาด และช่วงสี	84
4.2 ผลการทดสอบภาพที่ 1	85
4.3 ผลการทดสอบภาพที่ 2	85
4.4 ผลการทดสอบภาพที่ 3	86
4.5 ผลการทดสอบภาพที่ 4	86
4.6 ผลการทดสอบภาพที่ 5	86
4.7 ผลการทดสอบภาพที่ 6	87
4.8 ผลการทดสอบภาพที่ 7	87
4.9 ผลการทดสอบภาพที่ 8	87
4.10 ผลการทดสอบภาพที่ 9	88
4.11 ผลการทดสอบภาพที่ 10	88
4.12 ผลการทดสอบภาพที่ 11	88
4.13 ผลการทดสอบภาพที่ 12	89
4.14 ผลการทดสอบภาพที่ 13	89
4.15 ผลการทดสอบภาพที่ 14	89
4.16 ผลการทดสอบภาพที่ 15	90
4.17 ผลการทดสอบภาพที่ 16	90
4.18 ผลการทดสอบภาพที่ 17	90
4.19 ผลการทดสอบภาพที่ 18	91
4.20 ผลการทดสอบภาพที่ 19	91
4.21 ผลการทดสอบภาพที่ 20	91
4.22 ผลการทดสอบภาพที่ 21	92
4.23 ผลการทดสอบภาพที่ 22	92

สารบัญรูป(ต่อ)

รูป		หน้า
4.24	ผลการทดสอบภาพที่ 23	92
4.25	ผลการทดสอบภาพที่ 24	93
4.26	ผลการทดสอบภาพที่ 25	93
4.27	ผลการทดสอบภาพที่ 26	93



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

1.1.1 ภาพรวมผลผลิตของส้มโอในประเทศไทย

1.1.2 ปัญหาที่ผู้วิจัยพบโดยตรง

1.1.1 ภาพรวมผลผลิตส้มโอในประเทศไทย

ส้มโอนับเป็นหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย จากข้อมูลสถิติผลผลิตของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร ในช่วงปี พ.ศ. 2558 ถึง 2562 พบว่ามีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 2,000 ไร่ แสดงให้เห็นถึงการขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกอย่างสม่ำเสมอ

อย่างไรก็ตาม ในทางกลับกัน พื้นที่การเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มโอก็ลดลงเฉลี่ยปีละ 450 ไร่ ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตส้มโอลดลงเฉลี่ย 14,000 ตันต่อปี ดังตารางที่ 1 หากคำนวณจากราคาส้มโอต่อกิโลกรัมที่ 32.56 บาท ในปี พ.ศ. 2562[1] พบว่าความเสียหายทางเศรษฐกิจคิดเป็นมูลค่าเฉลี่ยถึง 450 ล้านบาทต่อปี

ตารางที่ 1.1 ผลผลิตส้มโอ 5 ปีย้อนหลังตั้งแต่ 2558 – 2562[2]

พ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก(ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต(ไร่)	เนื้อที่เสียหาย(ไร่)	ผลผลิตเก็บเกี่ยวได้(ตัน)
2558	76,502.00	38,605.00	366.00	177,403.84
2559	80,774.00	39,414.00	138.00	111,327.04
2560	85,609.00	50,128.00	326.00	142,026.77
2561	81,257.00	39,575.00	76.00	147,673.48
2562	85,628.00	43,502.00	1,438.00	122,009.33

หนึ่งในสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ผลผลิตส้มโอลดลงคือการรุกรานของแมลงศัตรูพืช โดยหนอนชอนใบส้ม[2] เป็นหนึ่งในศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายอย่างมาก หนอนชอนใบส้มจะเข้าทำลายส้มโอในช่วงที่ต้นแตกใบอ่อน ส่งผลให้ส้มโอไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ รอยแผลที่เกิดจากการทำลายของหนอนยังเป็นช่องทางให้โรคพืชชนิดอื่นๆ เข้าทำลายต้นส้มโอได้ง่ายขึ้น

1.1.2 ปัญหาที่ผู้วิจัยพบเจอโดยตรง

ผู้วิจัยได้ทำการปลูกส้มโอสองสายพันธุ์ในสวนที่จังหวัดสระแก้ว ประกอบด้วยสายพันธุ์ทับทิมสยามจำนวน 10 ต้น และสายพันธุ์ขาวน้ำผึ้งจำนวน 10 ต้น ปัญหาที่พบคือในช่วงที่ส้มโอแตกใบอ่อน ซึ่งเป็นระยะการสะสมอาหารของส้มโอ จะมีหนอนชอนใบส้มเข้าไปทำลายใบอ่อน ส่งผลให้เกิดความเสียหาย ดังรูปที่ 1 และส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของส้มโอในสวน ปัจจุบันการตรวจจับทำโดยใช้แรงงานคนเดินสำรวจตามต้นที่มีการแตกใบอ่อน เพื่อตรวจหาไข่หรือตัวหนอนชอนใบส้ม ทั้งนี้เพื่อกำจัดและป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.1 ใบส้มโอที่ถูกหนอนชอนใบทำลาย

ผลกระทบจากการรุกรานของหนอนชอนใบส้มนี้ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นส้มโอชะงักงัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในต้นส้มที่อยู่ในช่วงอนุบาล ซึ่งเป็นระยะที่ต้นส้มโอมีความอ่อนแอและต้องการการดูแลเป็นพิเศษ การระบาดของหนอนชอนใบส้มโอจึงส่งผลกระทบรุนแรงต่อผลผลิตและคุณภาพของส้มโอในระยะยาว

อย่างไรก็ตาม จากประสบการณ์ของผู้วิจัยพบว่า การตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอด้วยตาเปล่าเป็นเรื่องยาก เนื่องจากไข่หนอนชอนใบมีขนาดเล็กมากและมักมีสีใกล้เคียงกับใบส้มโอ การตรวจพบจึงต้องอาศัยทักษะการสังเกตและความชำนาญเป็นอย่างสูง

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลรูปภาพและคุณลักษณะของไข่หนอนชอนใบ พร้อมทั้งศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจจับไข่หนอนชอนใบที่มีความแม่นยำสูง การพัฒนาเทคนิคดังกล่าวจะช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนควบคุมการระบาดของ

หนอนชอนใบส้มโอได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของส้มโอในระยะยาว

แม้ว่างานวิจัยก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการตรวจจับความเสียหายของใบที่เกิดจากแมลงศัตรูพืช แต่งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการตรวจจับในระยะไข่ (Egg Stage) ซึ่งเป็นช่วงก่อนเกิดความเสียหายจริง แนวทางดังกล่าวถือเป็นการตรวจจับศัตรูพืชในระยะเริ่มต้น (Early Pest Detection) ที่ช่วยให้สามารถวางแผนป้องกันได้อย่างทันท่วงที และลดความเสียหายทางเศรษฐกิจในระยะยาว

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อออกแบบ และพัฒนาวิธีการตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอ จากคุณลักษณะเฉพาะ ของไข่หนอนชอนใบ

1.3 ขอบเขต และสมมติฐานของการศึกษา

1. ไข่หนอนชอนใบส้มโอ ที่ใบส้มโอ
2. ไข่หนอนผีเสื้อกลางคืนที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ฟิโลคณิสติส ซิเทรลล่า (Phyllocnistis citrella) [3]
3. ชุดข้อมูลรูปภาพของใบส้มโอ ทั้งที่มีไข่หนอนชอนใบ และไม่มีไข่หนอนชอนใบ
4. การตรวจจับด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ จากคุณลักษณะเฉพาะ ของไข่หนอนชอนใบเช่น สี รูปทรง เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยให้เกษตรกรสามารถตรวจพบการระบาดของไข่หนอนชอนใบได้ตั้งแต่วะแรก ๆ ทำให้สามารถวางแผนและดำเนินการควบคุมศัตรูพืชได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
2. สามารถลดการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่ไม่จำเป็นลง ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภค
3. เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ ในพืชประเภทต่าง ๆ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลและจัดการพืชผลทางการเกษตร
4. ผลการศึกษาจะช่วยเสริมสร้างความรู้ทางด้านการประมวลผลภาพและเทคโนโลยีการตรวจจับในวงการเกษตร ทำให้เกิดการพัฒนต่อยอดในการวิจัยและนวัตกรรมอื่น ๆ ในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างองค์ความรู้พื้นฐานสำหรับการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจับหนอนซอนโบส้มโอด้วยวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพ โดยมีประเด็นสำคัญที่ต้องศึกษาดังต่อไปนี้

- 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับส้มโอ และศัตรูพืชส้มโอ
- 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับส้มโอ และศัตรูพืชส้มโอ

2.1.1 ส้มโอ

ส้มโอเป็นหนึ่งในพืชไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญที่มีการเพาะปลูกในประเทศไทย โดยมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus maxima* Osbeck และชื่อสามัญในภาษาอังกฤษว่า Pummelo ส้มโอมีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในแถบเกาะมลายูและหมู่เกาะโพลินีเซีย ก่อนจะแพร่กระจายมายังภาคใต้ของประเทศไทย สำหรับการปลูกส้มโอในภาคกลางของไทยนั้น สันนิษฐานว่าเริ่มต้นครั้งแรกในบริเวณริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาเขตบางกอก จากนั้นจึงได้แพร่หลายไปยังจังหวัดอื่นๆ ทั่วประเทศไทย[4]

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอของส้มโอมีดังนี้[5]

ลำต้น ส้มโอเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง โดยปกติมีความสูง 6-8 เมตร หรืออาจสูงได้ถึง 15 เมตร ทรงต้นโปร่ง ลำต้นขนาดใหญ่ ผิวลำต้นค่อนข้างเรียบ ส้มโอส่วนใหญ่ไม่มีหนามบนกิ่งหลัก กิ่งอ่อนที่มีสีเขียวจะปกคลุมด้วยขน และมีหนามสั้น ๆ บริเวณกิ่งอ่อน

ใบและก้านใบ ใบส้มโอมีขนาดใหญ่และหนาเป็นมัน รูปไข่หรือรูปไข่ยาว แบ่ง ออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเรียกว่าต้นใบ ส่วนที่สองเรียกว่า หูใบ (ซึ่งเป็นส่วนของก้านใบ) ขอบใบส่วน ใหญ่เป็นรอยหยัก ปลายใบมีทั้งเว้าและไม่เว้า หูใบรูปทรงหัวใจหรือไข่กลับ

ราก ระบบรากส้มโอประกอบด้วย รากปฐมภูมิ ที่เจริญไปเป็นรากแก้ว และรากทุติย ภูมิ ที่เจริญไปเป็นรากฝอย รากส้มโอส่วนใหญ่อยู่ต่ำกว่าผิวดินประมาณ 60 เซนติเมตร รากหาอาหาร เลี้ยง ลำต้นส้มโอส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความลึก 0-120 เซนติเมตร คิดเป็นประมาณ 80% ของระบบรากทั้งหมด

ลักษณะดอก ดอกส้มโอออกที่ปลายกิ่งบริเวณซอกใบ มีทั้งดอกเดี่ยวและดอกกลุ่ม มี 2-20 ดอกต่อข้อ เส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อดอกบาน 3-7 เซนติเมตร เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีต่อมน้ำมันขนาดใหญ่ที่กลีบดอก เกสรตัวผู้มี 16-26 อัน ล้อมเกสรตัวเมียที่มีเพียง 1 อัน ก้านเกสรตัวเมียาวใหญ่ ปลายกลม ดอกส้มโอมีกลิ่นหอมมากเมื่อดอกบาน

ลักษณะผล ผลส้มโอมีขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ เส้นรอบวงด้านกว้างผลเฉลี่ย 30-57 เซนติเมตร ทรงผลมีหลายแบบ เช่น กลมมน กลมแป้น กลมสูง หรือมีจุก ผิวด้านนอกมีต่อมน้ำมันกระจายทั่วผิวผล ผลชั้นกลางมีลักษณะเหมือนฟองน้ำฟู เนื้อผลมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนไปจนถึงสีแดง มี 12-14 กลีบต่อผล กลีบมีขนาดใหญ่ แต่ละกลีบมีเยื่อหุ้มบาง ๆ

ลักษณะเมล็ด เมล็ดส้มโอมีตั้งแต่ขนาดค่อนข้างใหญ่จนถึงเล็กมาก เมล็ดส้มโอมีความกว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร ความยาวเมล็ด 1.2-2.0 เซนติเมตร มีรูปร่างหลายแบบ ตั้งแต่กลม กลมแบน รูปร่างรีคล้ายหยดน้ำ ผิวเมล็ดย่น เมล็ดอยู่ตรงกลางรอบ ๆ แกนผล ส้มโอบางพันธุ์ไม่มีเมล็ดหรือเมล็ดลีบ จำนวนเมล็ดแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ (ตั้งแต่ 0-265 เมล็ดต่อผล) อาจมีความแตกต่างกันในแต่ละแหล่งปลูก

จากข้อมูลการรวบรวมต้นพันธุ์ส้มโอของศูนย์วิจัยและพัฒนาเกษตรพิจิตร ซึ่งประกอบด้วย ส้มโอพันธุ์การค้า พันธุ์ลูกผสมใหม่ และพันธุ์ต่างประเทศ รวมทั้งสิ้น 73 สายพันธุ์[6] ต่อไปนี้จะขอกล่าวถึง 9 สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมในการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังนี้

ส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา

ทรงพุ่มกว้าง แผ่กิ่งออก ไม่มีหนามที่กิ่งหลัก ผลกลมแป้น ไม่มีจุก ก้านผลป้านหรือเว้า เล็กน้อย ผิวผลเรียบมัน น้ำหนัก 900-1,600 กรัม ความยาวผล 12-16 ซม. ความกว้าง 14-16 ซม. เปลือกหนา 1.8-2.8 ซม. มี 12-15 กลีบ เนื้อสีขาวอมเหลือง ดังรูปที่ 2.1 รสหวานอมเปรี้ยว ไม่ฉ่ำน้ำ อายุเก็บเกี่ยว 6.5-7.5 เดือน ค่าความหวาน 10-12 องศาบริกซ์[5] ส่วนใบมีขนาดใหญ่ มัน หนา มีรูปร่างเป็นรูปไข่ หรือรูปไข่ยาว ใบแบ่งออกเป็น 2 ตอน ส่วนใบตอนแรกเรียกว่า ต้นใบ ส่วนตอนที่สองเรียกว่า หูใบ(ซึ่งเป็นส่วนของก้านใบ) บริเวณรอบริมใบเป็นหยัก หรือรอยจักเล็กน้อยๆ และมีรอยหยักใหญ่ 1 หยักตรงส่วนปลายใบ ใบแก่มีสีเขียวเข้ม ความกว้างของแผ่นใบประมาณ 7.5-9 ซม. และมีความยาวประมาณ 13.5 – 17 ซม. เส้นใบนูนเห็นเด่นชัด[7] ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา[8]



รูปที่ 2.2 ใบส้มโอพันธุ์ขาวแตงกวา

ส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม

ทรงพุ่มแผ่กว้าง กิ่งแตกออกใกล้ผิวดิน ปลายกิ่งมีหนามขนาดเล็ก ผลทรงกลมมีจุด ผิวเรียบมีขนอ่อนนุ่ม ต่อม้ำมันมีขนาดเล็กและเห็นได้ชัด เปลือกหนา 0.8-1.5 ซม. มี 10-13 กลีบ เนื้อสีชมพูเข้มถึงแดง รสหวาน ฉ่ำน้ำ เมล็ดน้อยหรือไม่มีเลย ดังรูปที่ 2.3 อายุเก็บเกี่ยว 160-220 วัน ค่าความหวาน 9-14 องศาบริกซ์[5] ส่วนใบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ แผ่นใบใหญ่ส่วนปลายและแผ่นใบเล็กส่วนโคนหรือ ที่เรียกว่าปีกใบ ปลายปีกใบเว้าเข้าจนติดกับเส้นกลางใบในตำแหน่งเดียวกันกับส่วนที่สอบเข้าหากันของ ส่วนโคนแผ่นใบใหญ่ ทำให้ดูเหมือนใบใหญ่และปีกใบแยกออกจากกัน แต่มีเส้นกลางใบเชื่อม 2 ส่วนให้ต่อกัน ใบ ใหญ่ มีรูปร่างเป็นรูปไข่กลับ ความยาวประมาณ 10.3-15.68 เซนติเมตร ความกว้างใบ 4.6-8.58 เซนติเมตร อัตราส่วน ความยาว ความกว้าง เท่ากับ 1.83-2.24 รูปร่างเมื่อตัดตามขวาง ตรงหรือโค้งเล็กน้อย การบิดงอของ แผ่นใบ ไม่บิดหรือบิดน้อย ใบไม่เป็นคลื่น แผ่นใบมีสีเขียวเข้มมีขนใต้ใบ ไม่มีรอยเว้าของขอบใบ ปลายใบมน มีรอย เว้าบริเวณปลายใบ ความยาวก้านใบ สั้นประมาณ 0.36-0.76 เซนติเมตร ส่วนปีกใบ มีรูปร่างคล้าย สามเหลี่ยม ความกว้างของปีก ขนาด 0.87-3.26 เซนติเมตร[9] ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 เนื้อส้มโอทับทิมสยาม[10]



รูปที่ 2.4 ใบส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม

พันธุ์ทองดี

ทรงพุ่มแผ่กว้าง ลำต้นเปลือกเรียบ ผลกลมถึงแป้น ไม่มีจุก ไหลผลลาตลง ก้านผลเรียบ หรือเว้าเล็กน้อย น้ำหนัก 940-1,200 จากรูปที่ ความยาวผล 12-14 ซม. ความกว้าง 14-16 ซม. เปลือกหนา 1.0-1.4 ซม. ผิวผลเรียบ สีเขียว เนื้อชมพูอ่อน ดังรูปที่ 2.5 รสหวาน กลิ่นหอม ฉ่ำน้ำ อายุ เก็บเกี่ยว 7-8 เดือน ค่าความหวาน 10-12 องศาบริกซ์[5] ใบรูปไข่หรือรูปรี ปลายใบเว้าตื้นหรือมน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 เนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี[11]



รูปที่ 2.6 ใบส้มโอพันธุ์ทองดี

พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง

ทรงพุ่มแผ่กว้าง ลำต้นมีเปลือกเรียบ ผลทรงกลมหรือทรงกลมสูง ใหญ่ผลไม่สมมาตร ก้านผลเรียบหรือเว้าเล็กน้อย น้ำหนัก 1,600-1,800 กรัม ความยาวผล 16-18 ซม. ความกว้าง 16-18 ซม. เปลือกหนา 1.7-1.9 ซม. มี 13-15 กลีบ เนื้อสีเหลืองอมน้ำตาล ดังรูปที่ 2.7 รสหวานอมเปรี้ยว มีน้ำมาก อายุเก็บเกี่ยว 6-6.5 เดือน ค่าความหวาน 10-12 องศาบริกซ์[5] ใบรูปไข่ ขอบใบหยักมน เล็กน้อย ปลายใบมน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง[12]



รูปที่ 2.8 ใบส้มโอพันธุ์ชาวน้ำผึ้ง

พันธุ์ท่าซ้อย

ทรงพุ่มแผ่ออก กิ่งหลักไม่มีหนาม ใบรูปกลม ขอบใบหยักมน ปลายใบเว้าทรงมน ผลทรงกลม เปลือกสีเขียวแกมเหลือง ผิวด้านและเรียบ น้ำหนัก 700-1,800 กรัม ความกว้าง 14-18 ซม. ความยาว 13-16 ซม. เปลือกหนา 1.5-2.0 ซม. มี 12-15 กลีบ เนื้อสีขาวอมชมพูอ่อน ดังรูปที่ 2.9 รสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม อายุเก็บเกี่ยว 7-8 เดือน ค่าความหวาน 9.5-12 องศาบริกซ์[5]



รูปที่ 2.9 เนื้อส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย[12]

พันธุ์ขาวใหญ่

ทรงพุ่มแผ่กว้าง ไม่มีหนามบนกิ่งหลัก ใบรูปกลม ปลายใบแหลม ปีกใบรูปไข่กลับ ผลทรงกลมขนาดใหญ่ ก้นผลเรียบ ผิวเรียบสีเขียวอมเหลือง น้ำหนัก 1,200-2,300 กรัม ความยาว 14-19 ซม. ความกว้าง 14-19 ซม. เปลือกหนา 1.2-2.0 ซม. มี 12-16 กลีบ เนื้อสีขาวอมเหลือง ดังรูปที่ 2.10 รสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม ค่าความหวาน 10-12 องศาบริกซ์[5]



รูปที่ 2.10 เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่[13]

พันธุ์ขาวพวง

ทรงพุ่มตั้งตรง กิ่งหลักมีหนามเล็กน้อย ใบรูปร่างยาวรี ผิวใบมันและหนา ผลทรงกลมสูงมีจุก ติดผลเป็นกลุ่ม 4-6 ผล ก้านผลเว้าเล็กน้อย น้ำหนัก 1,200-1,700 กรัม ความยาว 15-18 ซม. ความกว้าง 16-18 ซม. เปลือกหนา 0.7-1.0 ซม. มี 13-15 กลีบ เนื้อสีขาวอมเหลือง ดังรูปที่ 2.11 รสหวานอมเปรี้ยว ไม่ฉ่ำน้ำ ให้ผลผลิตสูง เก็บเกี่ยวได้เกือบตลอดปี[5]



รูปที่ 2.11 เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวพวง[6]

พันธุ์ขาวอุทัย

ทรงพุ่มแผ่กว้าง ไม่มีหนามบนกิ่งหลัก ใบรูปกลม ขอบใบหยักมน ปลายใบมน ผลทรงกลม เปลือกสีเหลืองแกมเขียว ผิวมันเล็กน้อยและเรียบ น้ำหนัก 500-1,000 กรัม ความกว้าง 11-14 ซม. ความยาว 10-13 ซม. เปลือกหนา 1.4-2.0 ซม. มี 12-14 กลีบ เนื้อสีขาวอมเหลือง ดังรูปที่ 2.12 รสหวาน ไม่ฉ่ำน้ำ อายุเก็บเกี่ยว 8 เดือน ค่าความหวาน 11-12 องศาบริกซ์[5]



รูปที่ 2.12 เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวอุทัย[14]

พันธุ์ขาวหอม

ทรงพุ่มแผ่กว้าง ไม่มีหนามบนกิ่งหลัก ใบรูปกลม ปลายใบเว้าทรงมน ปีกใบรูปไข่กลับ ผลทรงกลม ก้นผลเรียบ ผิวเรียบสีเขียวอมเหลือง น้ำหนัก 800-1,500 กรัม ความยาว 10-13 ซม. ความกว้าง 11-14 ซม. เปลือกหนา 0.7-1.0 ซม. มี 11-15 กลีบ เนื้อสีขาวอมเหลือง ดังรูปที่ 2.13 รสหวานอมเปรี้ยว กลิ่นหอม อายุเก็บเกี่ยว 9 เดือน ค่าความหวาน 9.5-11 องศาบริกซ์[5]



รูปที่ 2.13 เนื้อส้มโอพันธุ์ขาวหอม[6]

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบลักษณะของส้มโอแต่ละสายพันธุ์[5]

ลำดับ	พันธุ์	น้ำหนัก ผล (กรัม)	ความยาวผล (ซม.)	ความกว้าง ผล (ซม.)	ความหนา เปลือก (มม.)	จำนวน กลีบ/ผล	เนื้อสี	รสชาติ	อายุเก็บเกี่ยว (เดือน)	ค่าความหวาน (องศาบริกซ์)
1	ขาวแดงกว	900-1600	12-16	14-16	1.8-2.8	12-15	ขาวอมเหลือง	หวานอมเปรี้ยวไม่ฝาด	6.5-7.5	10-12
2	ทับทิมสยาม	1000-1500	15-20	15-18	0.8-1.5	10-13	ชมพูเข้มถึงแดง	หวาน ฉ่ำน้ำ	5-8	9-14
3	ท่าช้อย	940-1200	12-14	14-16	1.0-1.4	10-13	ชมพูอ่อน	หวาน ฉ่ำน้ำ	7-8	10-12
4	ขาวน้ำผึ้ง	1600-1800	16-18	16-18	1.7-1.9	13-15	เหลืองอมส้มอ่อน	หวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย	6-6.5	10-12
5	ทองดี	700-1800	13-16	14-18	1.5-2.0	12-15	ขาวอมชมพูอ่อน	หวานอมเปรี้ยวกลมกล่อม	7-8	9.5-12
6	ขาวใหญ่	1200-2300	14-19	14-19	1.2-2.0	12-16	ขาวอมเหลือง	หวานอมเปรี้ยว	6-7	10-12
7	ขาวพวง	1200-1700	15-18	16-18	0.7-1.0	13-15	ขาวอมเหลือง	หวานอมเปรี้ยวไม่ฝาด	6-7	10-12
8	ขาวบุลเกลล่า	500-1000	10-13	11-14	1.4-2.0	12-14	ขาวอมเหลือง	หวาน ไม่ฝาด	8	11-12
9	ขาวหอม	800-1500	10-13	11-14	0.7-1.0	11-15	ขาวอมเหลือง	หวานอมเปรี้ยว	9	9.5-11

2.1.2 แมลงศัตรูส้มโอ

แมลงศัตรูที่รุกรานส้มโอเป็นชนิดเดียวกับที่พบในพืชตระกูลส้มชนิดอื่นๆ โดยสร้างความเสียหายตลอดวงจรชีวิตของต้นส้มโอ ตั้งแต่ระยะแตกใบอ่อน ออกดอก ติดผล ไปจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว ชนิดและรายละเอียดของแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายแก่ส้มโอมีดังต่อไปนี้

หนอนชอนใบส้ม[5]

หนอนชอนใบส้ม ดังรูปที่ 2.14 หนอนชอนใบส้มทำลายส้มโอในระยะแตกใบอ่อน โดยกัดกินเนื้อเยื่อใต้ผิวของใบอ่อนและยอดอ่อน ทำให้เกิดรอยทางคดเคี้ยวบนใบ ส่งผลให้ใบหงิกงอ แห้ง และไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ รอยแผลยังเป็นช่องทางให้โรคสะเก็ดแห้งเข้าทำลาย ในกรณีระบาดรุนแรง อาจทำลายผลและกิ่งด้วย ส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นส้มชะงักงัน โดยเฉพาะในต้นส้มเล็ก การระบาดมักมีสูงในช่วงฤดูฝน อาจทำความเสียหายถึง 90-100% ส่วนช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ พบการทำลายยอดอ่อนประมาณ 20% การป้องกันกำจัดควรทำสม่ำเสมอ โดยเฉพาะช่วงแตกยอดอ่อนและใบอ่อน



รูปที่ 2.14 หนอนชอนใบส้มโอ[15]

เพลี้ยไฟ

เพลี้ยไฟ ดังรูปที่ 2.15 เป็นศัตรูสำคัญของส้มโอ ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากส่วนอ่อนของส้มโอ เช่น ตา ใบอ่อน ดอก และผลอ่อน ทำให้ใบแคบ เล็ก กร้าน และบิดงอ ส่วนผลเกิดรอยแผลสีเทาเงิน อาจแฉะแกร็นและบิดเบี้ยว ส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลผลิตและมูลค่าทางการตลาด โดยเฉพาะตลาดส่งออก พบระบาดได้ตลอดปี แต่รุนแรงในช่วงอากาศร้อนและฝนทิ้งช่วงนาน ควรป้องกันกำจัดต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงแตกยอดอ่อนและติดผลอ่อน[5]



รูปที่ 2.15 เพลี้ยไฟ[16]

เพลี้ยไก่แจ้ส้ม

เพลี้ยไก่แจ้ส้ม ดังรูปที่ 2.16 เพลี้ยไก่แจ้ส้มพบระบาดในส้มโอน้อยกว่าส้มเขียวหวาน ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากตาและยอดอ่อน ตัวอ่อนผลิตสารสีขาวเป็นเส้นด้าย นำไปสู่การเกิดราดำ ใบที่ถูกทำลายจะหงิกงอ เหี่ยวแห้ง และอาจร่วง ส่งผลให้ติดผลน้อยหรือไม่ติดผล ที่สำคัญคือเป็นพาหะของโรคใบเหลืองต้นโทรม(กรีนนิง) ซึ่งทำให้ต้นส้มทรุดโทรมและตาย[5]



รูปที่ 2.16 เพลี้ยไก่แจ้ส้ม [3]

ไรขาวพริก

ไรขาวพริก ดังรูปที่ 2.17 ไรขาวพริกมีลำตัวสีขาว ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบอ่อนหรือยอดอ่อนของส้มโอ มักอาศัยอยู่ใต้ใบ แต่หากระบาดรุนแรงอาจพบบนใบและผลด้วย ทำให้ขอบใบม้วนงอ ใบเรียวเล็ก สีเหลืองเข้ม และการเจริญเติบโตชะงัก การทำลายผลเริ่มตั้งแต่ติดผลจนอายุ 2 เดือน ทำให้ผิวส้มเป็นแผลสีเทา ดูคล้ายร่างแห ผลอาจเสียหายจนต้องปลิดทิ้ง หรือมีเปลือกหนา เนื้อน้อย น้ำหนักเบา ไม่เป็นที่ต้องการของตลาด ควรป้องกันกำจัดสม่ำเสมอ โดยเฉพาะช่วงแตกยอดอ่อนและติดผลอ่อน[5]



รูปที่ 2.17 ไรขาวพริก[17]

หนอนเจาะผลส้มโอ

หนอนเจาะผลส้มโอ ดังรูปที่ 2.18 หนอนเจาะผลส้มโอทำลายผลผลิตโดยตรง ผีเสื้อวางไข่บนผลส้มโอ เมื่อฟักเป็นหนอนจะเจาะกินภายในผล ทำให้เกิดรอยเจาะ มีมูลหนอนและยางไหล รอยแผลเป็นช่องทางให้แมลงอื่นและเชื้อโรคเข้าทำลาย ทำให้ผลเน่าและร่วงก่อนเก็บเกี่ยว ผีเสื้อมักวางไข่บนผลอายุ 2 สัปดาห์จนถึงระยะเก็บเกี่ยว พบระบาดได้ตลอดปี[3]



รูปที่ 2.18 หนอนเจาะผลส้มโอ [3]

หนอนผีเสื้อส้ม

หนอนผีเสื้อส้ม ดังรูปที่ 2.19 หนอนผีเสื้อส้มทำลายเฉพาะผิวเปลือกส้มโอ แต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและการส่งออก หนอนเจาะกินภายในเปลือก ทำให้เกิดปุ่มปมคล้ายโรคผีเสื้อ แม้ไม่ทำลายเนื้อผลแต่ลักษณะภายนอกไม่สวยงาม ลดมูลค่าทางการตลาด โดยเฉพาะตลาดส่งออก พบการทำลายตั้งแต่ 1-82 ปมต่อผล ความเสียหายอาจถึง 34.97% ปัญหาคือเกษตรกรบางส่วน

ละเลยการป้องกันกำจัดเพราะยังขายในตลาดท้องถิ่นได้ ทำให้แมลงสะสมมากขึ้น ควรให้ความสำคัญกับการป้องกันกำจัดเพื่อรักษาคุณภาพผลผลิตในระยะยาว[3]



รูปที่ 2.19 หนอนผีเสื้อ [3]

เพลี้ยหอยสีแดงแคลิฟอร์เนีย

เพลี้ยหอยสีแดงแคลิฟอร์เนีย ดังรูปที่ 2.20 ดูดกินน้ำเลี้ยงจากผลส้มโอ เมื่อมีการระบาดของแมลงจะทำให้ผลที่ยังไม่แก่แคระแกร็นและร่วงหล่น การทำลายในผลที่แก่จัดอาจไม่กระทบคุณภาพของเนื้อผล แต่จะมีผลกระทบโดยตรงต่อราคาผลผลิต เพราะผลจะมีลักษณะคล้ายสนิมเหล็ก การทำลายเพลี้ยหอยยังส่งผลต่อกิ่ง ก้าน ใบ และลำต้น อาจทำให้กิ่งแห้งตายได้ แมลงชนิดนี้ไม่ใช่อุปสรรคสำคัญของส้มโอและพบการระบาดในบางพื้นที่ การระบาดจะเพิ่มขึ้นในสภาพอากาศแห้งแล้ง[3]



รูปที่ 2.20 เพลี้ยหอยสีแดงแคลิฟอร์เนีย[18]

เพลี้ยแป้ง

เพลี้ยแป้ง ดังรูปที่ 2.21 ดูดกินน้ำเลี้ยงจากกิ่ง ใบ และข้าวผลของส้ม เมื่อเกิดการระบาดมากจะทำให้ผลที่ยังไม่แก่แคระแกร็นและร่วงหล่น หากทำลายในช่วงที่ผลแก่จัด จะไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเนื้อ แต่จะส่งผลกระทบต่อราคาผลผลิต เนื่องจากน้ำหวานที่เพลี้ยผลิตเป็นอาหารของรา

ดำ ทำให้ผลผลิตมีตำหนิ แมลงชนิดนี้ยังไม่เป็นศัตรูสำคัญและพบการระบาดเฉพาะบางพื้นที่ การระบาดจะเร่งขึ้นในสภาพอากาศแห้งแล้ง[3]



รูปที่ 2.21 เพลี้ยแป้ง [5]

หนอนแก้วส้ม

หนอนแก้วส้ม ดังรูปที่ 2.22 พบได้ทั่วไปในพื้นที่ปลูกส้มโอ หนอนจะวางไข่บนใบอ่อนและยอดอ่อน และเมื่อฟักออกมาเป็นหนอนจะกัดกินใบอ่อนและยอดอย่างรวดเร็ว การระบาดที่รุนแรงอาจทำให้ต้นส้มตายภายใน 2-3 วัน ปัญหา มักเกิดกับต้นส้มโอที่ปลูกใหม่หรือในเรือนเพาะชำ การระบาดของหนอนแก้วส้มอาจทำให้ต้นส้มสูญเสียใบและยอดอย่างรวดเร็ว[3]



รูปที่ 2.22 หนอนแก้วส้ม [3]

ผีเสื้อมวนหวาน

ผีเสื้อมวนหวาน ดังรูปที่ 2.23 ทำลายผลไม้โดยใช้ปากแข็งแทงเข้าไปในผลไม้ที่สุกแล้ว และดูดน้ำหวาน ทำให้ผลส้มโอมีรอยแผลเล็ก ๆ และมียางไหลออก ผลที่ถูกเจาะจะเน่าเป็นวงและเป็นช่องทางให้แมลงวันผลไม้เข้าทำลายเพิ่มเติม การระบาดของผีเสื้อมวนหวานพบทั่วไปในพื้นที่ปลูกส้มโอ โดยเฉพาะในช่วงที่ส้มโอกำลังใกล้เก็บเกี่ยว[3]



รูปที่ 2.23 ผีเสื้อมวนหวาน [3]

แมลงค่อมทอง

แมลงค่อมทอง ดังรูปที่ 2.24 จะกัดกินใบพืช ยอดอ่อน และดอก ทำให้ใบเหี่ยวและมอดที่ถ่ายออกมาปรากฏตามยอด ตัวเต็มวัยมีหลายสี เช่น สีเหลือง สีเทา สีดำ และสีเขียวปนเหลือง มักพบเป็นคู่หรือกลุ่มบนต้น เมื่อต้นพืชถูกกระทบ แมลงจะทิ้งตัวลงสู่พื้นดิน การระบาดรุนแรงอาจทำให้ใบเหลืองแต่ก้านและทำลายพืชอย่างรุนแรง[3]

ลักษณะใบอ่อนของส้มโอ
ที่ถูกแมลงค่อมทองทำลาย



แมลงค่อมทองมักจับคู่ผสมพันธุ์
ตามยอดส้มโอ

รูปที่ 2.24 แมลงค่อมทอง [3]

ไรสนิมส้ม

ไรสนิมส้ม ดังรูปที่ 2.25 ดูดทำลายใบ ผล และกิ่งของพืชตระกูลส้ม โดยเฉพาะผลที่ยังไม่โต ไรทำให้ผิวผลมีสีเหลืองแกมแดงและทำลายการเจริญเติบโต ผลที่ถูกทำลายอาจถูกคัดทิ้งในตลาดส่งออกเพราะรูปร่างและสีไม่ตรงมาตรฐาน การระบาดรุนแรงอาจทำให้ต้นหยุดการเจริญเติบโต และมีผลกระทบต่อการออกดอกและติดผลของส้มโอ[3]



รูปที่ 2.25 ไรสนิมส้ม[19]

ไรแดงแอฟริกัน

ไรแดงแอฟริกัน ดังรูปที่ 2.26 จะดูดกินน้ำเลี้ยงจากใบและผล ทำให้ใบและผลสีเขียวจางลงและสูญเสียคลอโรฟิลล์ การระบาดรุนแรงอาจทำให้ส้มโอชะงักการเจริญเติบโต ใบร่วงหล่น และผลเสียหาย การควบคุมและป้องกันการระบาดจึงสำคัญเพื่อรักษาสภาพของต้นส้มโอและผลผลิต[3]

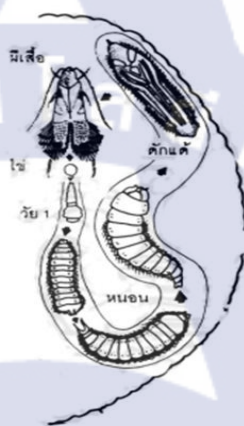


รูปที่ 2.26 ไรแดงแอฟริกัน[20]

สำหรับที่สวนของผู้วิจัยจะพบศัตรูพืชส้มโอที่เป็น หนอนซอนไบเป็นหลักดังนั้นก็จึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาที่จะนำ IT มาช่วยในการจัดการ และวางแผน เพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดจากการทำลายของหนอนซอนไบ[3]

2.1.3 หนอนซอนไบส้ม

หนอนซอนไบส้มมีวงจรชีวิต นับตั้งแต่ไข่จนเป็นผีเสื้อตัวเต็มวัยจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 15 – 25 วัน ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 วงจรหนอนซอนไบส้ม[3]

ระยะตัวเต็มวัย เป็นผีเสื้อกลางคืนขนาดเล็ก เมื่อกางปีกออกทั้งสองข้างมีความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ลำตัวมีสีน้ำตาลปนเทา ปีกมีสีเทาเงินแวววาว ขอบปีกมีขนเป็นครุยยาวและมีจุดดำข้างละจุด ดังรูปที่ 2.28 พบหลบอยู่บริเวณใต้ต้นส้มและพงหญ้ารอเวลาที่จะวางไข่บนยอดอ่อนต่อไป[3]



รูปที่ 2.28 ระยะตัวเต็มวัยของผีเสื้อหนอนชอนใบส้ม[21]

ระยะที่เป็นไข่ หลังจากการผสมพันธุ์แม่ผีเสื้อจะวางไข่เป็นฟองเดี่ยว ๆ ใกล้เคียงกลางใบ ส่วนใหญ่จะพบด้านใต้ใบมากกว่าบนใบ ไข่มีลักษณะคล้ายหยดน้ำ ระยะไข่ 3-5 วัน จากการเก็บข้อมูลไข่หนอนชอนใบจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรโดยประมาณ ไข่หนอนชอนใบจะมีลักษณะ ทรงกลม สีออกขาวขุ่นไปจนถึงออกเหลืองอ่อน ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ระยะที่เป็นไข่ ของไข่หนอนชอนใบส้ม

ระยะที่เป็นหนอน หนอนชอนใบส้มทำความเสียหายในระยะสามโหนดใบอ่อน โดยที่ตัวหนอนกัดกินเนื้อเยื่อ ภายใต้ผิวของใบอ่อนและยอดอ่อนของส้ม รอยทำลายจะปรากฏเป็นผ้าสีขาวคดเคี้ยวไปมาบนใบตาม ทางที่หนอนเดิน เป็นผลให้ใบหงิกงอ แห้ง ไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ใบอาจจะร่วงก่อนกำหนด รอยแผลจากการกัดกินยังเป็นช่องทางการเข้าทำลายของโรค แคงเกอร์ (Canker) ซึ่งเป็นโรคที่มีความสำคัญของส้มอีกด้วย หากลงทำลายมากในต้นส้มเล็กทำให้ชะงักการ

เจริญเติบโต แมลงชนิดนี้พบได้ตลอดปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะสัมผัสยอดอ่อนและใบอ่อน หนอนในระยะแรก ๆ มีสีเหลืองอ่อน หนอนที่โตเต็มที่มีสีเหลืองเข้ม ระยะหนอนประมาณ 7-10 วัน ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ระยะที่เป็นหนอน ของหนอนซอนใบส้มโอ[22]

ระยะที่เป็นดักแด้ เมื่อใกล้เข้าดักแด้ หนอนจะถักใยยึดริมขอบใบพับเข้ามาคลุมตัวแล้วเข้าดักแด้อยู่ในใบที่พบนั่น ดักแด้มีสีเหลืองเข้มและสีน้ำตาล มีหนามแหลมที่ปลายส่วนหัว ระยะดักแด้ 5-10 วัน ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ระยะที่เป็นดักแด้ ของหนอนซอนใบส้มโอ[23]

การตรวจจับหนอนซอนใบส้มโอ ด้วยวิธีประมวลผลข้อมูลภาพที่ผู้วิจัยกำลังดำเนินการอยู่นั้นจะเป็นการศึกษาการตรวจจับใน stage ที่เป็นไข่ ซึ่งเป็นระยะที่ใบส้มโอยังไม่ถูกทำลาย ถือว่าเป็นการทำ preventive action เพื่อให้สามารถวางแผนการกำจัด และป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายส้มโอ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วน เพื่อสร้างฐานความรู้ที่มั่นคง อันจะนำไปสู่การพัฒนาผลงานวิจัยที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับหนอนซอนใบส้มโอด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพนั้น จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในทฤษฎีที่หลากหลาย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 Image Intensity Transformation [24], [25]

การแปลงความเข้มของภาพเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของ Pixel ในภาพ เพื่อเพิ่มหรือลดคุณภาพของภาพหรือให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น การปรับความสว่าง (Brightness) การปรับคอนทราสต์ (Contrast)

Linear Transformation เป็นการปรับค่าความเข้มโดยใช้สมการเส้นตรง ถ้าเป็น Negative Transformation ทุก Pixel ในภาพที่มีค่า intensity (ความสว่าง) จะถูกทำให้เป็นค่าตรงกันข้าม กล่าวคือ Pixel ที่สว่างจะถูกเปลี่ยนให้มืด และ Pixel ที่มืดจะถูกเปลี่ยนให้สว่าง ตัวอย่างเช่น ภาพสีขาวจะเปลี่ยนเป็นดำ และภาพสีดำจะเปลี่ยนเป็นขาว หรือสำหรับภาพสี ค่า RGB (Red, Green, Blue) ของแต่ละ Pixel จะถูกแปลงไปยังค่าเชิงลบ โดยค่า RGB ใหม่จะเป็น $(255 - \text{ค่าดั้งเดิม})$ และถ้า Identity Transformation ภาพจะไม่เปลี่ยนแปลงใดๆ กล่าวคือ ภาพที่ถูกแปลงจะเหมือนกับภาพดั้งเดิมทุกประการ เนื่องจากการแปลงนี้ไม่มีผลต่อข้อมูลของภาพ

Alpha(α), beta(β) เป็นการปรับ contrast รูปแบบหนึ่ง เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการปรับคุณภาพของภาพหรือข้อมูล โดยค่า alpha(α) ทำหน้าที่เป็นตัวคูณ (multiplier) ที่ปรับ contrast ของภาพหรือข้อมูล ซึ่งหมายความว่าถ้า alpha(α) มีค่ามากกว่า 1 จะทำให้ contrast เพิ่มขึ้น ส่วนค่า beta(β) ทำหน้าที่เป็นตัวบวก (bias) ที่ปรับความสว่างของภาพหรือข้อมูล โดยการเพิ่มหรือลดค่าความสว่างของทุก pixel ในภาพหรือทุกจุดข้อมูลด้วยค่า beta(β) ที่กำหนด ถ้า beta(β) มีค่าบวกจะทำให้ภาพหรือข้อมูลสว่างขึ้น ในขณะที่ถ้า beta(β) มีค่าลบจะทำให้ภาพหรือข้อมูลมืดลง การปรับค่า alpha(α) และ beta(β) นี้สามารถช่วยให้ภาพหรือข้อมูลมีความชัดเจนขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดอิทธิพลของแสงสะท้อนได้อีกด้วย

$$I'(x, y) = \alpha \cdot I(x, y) + \beta \quad (2.1)$$

$I(x, y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ในตำแหน่ง (x, y) ในภาพต้นฉบับ

$I'(x, y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ในตำแหน่ง (x, y) หลังจากการปรับ

α คือ ตัวคูณที่ใช้ในการปรับความเปรียบต่าง (contrast)

β คือ เป็นตัวเพิ่มที่ใช้ในการปรับความสว่าง (brightness)

เมื่อ $\alpha > 1$ จะทำให้ความเปรียบต่างเพิ่มขึ้น และถ้า β มีค่าบวก จะทำให้ภาพสว่างขึ้น
แต่ถ้า β มีค่าลบจะทำให้ภาพมืดลง

Logarithmic Transformation เป็นการแปลงค่าของ Pixel โดยใช้ฟังก์ชัน Logarithmic เพื่อเพิ่มรายละเอียดในภาพที่มีช่วงค่าน้อยหรือภาพที่มีค่า Pixel ต่ำให้มีการกระจายตัวของค่ามากขึ้น การแปลงนี้ช่วยให้ภาพที่มีความมืดหรือส่วนที่มีความเข้มต่ำมีการกระจายค่ามากขึ้น รายละเอียดในส่วนมืดจึงถูกเน้นให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ภาพที่ผ่านการแปลงจะดูเหมือนมีความคมชัดในบริเวณที่มืด แต่บริเวณที่สว่างอาจถูกลดรายละเอียดลง

$$I'(x, y) = c \cdot \log(1 + I(x, y)) \quad (2.2)$$

$I(x, y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ในตำแหน่ง (x, y) ในภาพต้นฉบับ

$I'(x, y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ในตำแหน่ง (x, y) หลังจากการปรับ

c คือ ค่าคงที่ที่ใช้ควบคุมระดับการแปลง

Power-Law Transformation Power-Law Transformation หรือที่เรียกอีกอย่างว่า Gamma Correction เป็นการแปลงที่ใช้เพื่อปรับความเข้มของ Pixel ในภาพหรือข้อมูล โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pixel เดิมกับค่า Pixel ใหม่ มีความสำคัญในการควบคุมระดับความสว่างในภาพหรือข้อมูล โดยเฉพาะในกรณีที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pixel และการแสดงผลไม่เป็นเส้นตรง (non-linear relationship)

$$I'(x, y) = c \cdot I(x, y)^\gamma \quad (2.3)$$

$I(x,y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ในตำแหน่ง (x,y) ในภาพต้นฉบับ

$I'(x,y)$ คือค่าความเข้มของ Pixel หลังจากการปรับด้วย Gamma Correction

c คือค่าคงที่สำหรับปรับระดับความเข้ม

γ คือค่า gamma ซึ่งใช้ในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้ม

ค่า γ ที่น้อยกว่า 1 จะทำให้ภาพสว่างขึ้น ส่วนค่า γ ที่มากกว่า 1 จะทำให้ภาพมืดลง

Histogram Equalization เป็นเทคนิคหนึ่งในการปรับปรุงความคมชัดของภาพ (Image Enhancement) โดยการกระจายค่าความสว่างของ Pixel ในภาพออกไปทั่วช่วงของค่าความเข้ม (เช่น จาก 0 ถึง 255 สำหรับภาพขาวดำ) และทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้นในบางกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาพที่มีความแตกต่างของแสงไม่มาก หรือมี contrast ต่ำ

$$s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \quad (2.4)$$

r_k คือ ระดับความเข้มต้นฉบับ

s_k คือ ระดับความเข้มใหม่

$p_r(r_j)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของระดับความเข้ม r_j

L คือ จำนวนระดับความเข้มที่เป็นไปได้ (เช่น 256 สำหรับภาพ 8-bit)

$T(r_k)$ คือ ฟังก์ชันการสะสม CDF

2.2.2 Image filtering [26]

การกรองภาพหมายถึงการใช้ Filter ทางคณิตศาสตร์เพื่อปรับแต่งภาพตามจุดประสงค์ต่างๆ เช่น การลดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction) หรือการเพิ่มความคมชัดของภาพ วัตถุประสงค์เพื่อคือการลดสัญญาณรบกวน (noise) และความไม่สม่ำเสมอของภาพใบสัมผัส โดยทำให้ภาพดูเนียนขึ้นและลดความแปรปรวนระหว่าง Pixel ใกล้เคียงกัน

Smoothing Filter เป็น Filter ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ เพื่อให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น โดยการลดการเปลี่ยนแปลงที่คมชัดระหว่าง Pixel หรือรายละเอียดของภาพ Filter ประเภทนี้มักใช้เพื่อลด noise หรือรบกวนในภาพ หรือเพื่อลดความชัดของรายละเอียดเล็ก ๆ ในภาพ หลักการทำงานของ Smoothing Filter จะเป็นการเฉลี่ยค่าสีหรือความเข้มของ Pixel ใกล้เคียงกันในพื้นที่หนึ่ง เช่นการใช้ Gaussian filter ทำให้รายละเอียดที่ไม่สำคัญหรือ noise ลดลง มีสมการดังนี้

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.5)$$

$G(x, y)$ คือ ค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่ง (x, y)

$\exp$ คือ ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (e ยกกำลัง)

π (pi) คือ ค่าคงที่ไพ (ประมาณ 3.14159)

σ (sigma) คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งควบคุมความกว้างของการกระจาย

Sharpening Filter เป็น Filter ที่ใช้ในการประมวลผลภาพเพื่อเพิ่มความชัดเจนของรายละเอียดต่าง ๆ ในภาพ โดยเน้นเส้นขอบของวัตถุหรือรายละเอียดที่สำคัญให้เด่นชัดขึ้น Filter นี้ตรงข้ามกับ Smoothing Filter ที่ทำให้ภาพนุ่มนวลขึ้น Sharpening Filter จะเน้นการทำให้การเปลี่ยนแปลงของ Pixel ชัดเจนขึ้นและเพิ่มความคมชัดในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของสีหรือความเข้ม หลักการทำงานของ Sharpening Filter คือการเพิ่ม contrast ระหว่าง Pixel ที่ติดกัน โดยเฉพาะในบริเวณที่มีเส้นขอบ ตัวอย่างสมการ Laplacian filter ที่อยู่ในกลุ่ม Sharpening filter

$$L(x, y) = \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y)}{\partial y^2} \quad (2.6)$$

$L(x, y)$ คือผลลัพธ์ของการใช้ตัวดำเนินการลาปลาเซียนกับฟังก์ชัน $I(x, y)$

$I(x, y)$ คือฟังก์ชันหรือภาพต้นฉบับ

$\partial^2/\partial x^2$ และ $\partial^2/\partial y^2$ คืออนุพันธ์อันดับสองตามแนวแกน x และ y ตามลำดับ

Median Filter เป็นหนึ่งใน Filter ไม่เชิงเส้นที่นิยมใช้มากที่สุด โดยใช้สำหรับการลด impulse noise (หรือ salt-and-pepper noise) ซึ่งเกิดจากจุดขาว-ดำที่กระจัดกระจายอยู่ทั่วภาพ Filter นี้จะทำการจัดเรียงค่า Pixel ในพื้นที่ที่กำหนดตามลำดับขนาด และแทนค่า Pixel กลางด้วยค่ามัธยฐาน ของค่า Pixel ทั้งหมดในพื้นที่นั้น ซึ่งมีสูตรดังนี้

$$\hat{f}(x, y) = \text{median}\{g(s, t)\}, \quad (s, t) \in S_{xy} \quad (2.7)$$

$f(x, y)$ คือค่าผลลัพธ์หลังจากการใช้ตัวกรองมัธยฐาน ณ ตำแหน่ง (x, y)

$g(s, t)$ คือค่าความเข้มของ Pixel ในภาพต้นฉบับ ณ ตำแหน่ง (s, t)

S_{xy} คือบริเวณรอบๆ จุด (x, y) ที่ใช้ในการคำนวณ (มักเป็นหน้าต่างสี่เหลี่ยมขนาด 3×3 , 5×5 , หรือใหญ่กว่า)

Bilateral Filter งานโดยการปรับค่า Pixel ตามพื้นที่เชิงพื้นที่ (spatial proximity) และเชิงค่าความเข้ม (intensity similarity) พร้อมกัน ทำให้สามารถลด noise ได้โดยที่ยังคงรักษาขอบภาพไว้ได้ ใช้ในงานที่ต้องการคงรายละเอียดขอบภาพพร้อมกับการลด noise

(2.8)

$$I'(x, y) = \frac{1}{W_p} \sum_{(i, j) \in S} I(i, j) \cdot f_r(I(i, j) - I(x, y)) \cdot f_d((i - x), (j - y))$$

$I'(x, y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel หลังการกรอง ณ ตำแหน่ง (x, y)

W_p คือ ค่าปรับให้เป็นบรรทัดฐาน (normalization factor)

$\Sigma(i, j) \in S$ คือ การรวมค่าของ Pixel ทั้งหมดในบริเวณ S รอบๆ Pixel (x, y)

$I(i, j)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ในภาพต้นฉบับ ณ ตำแหน่ง (i, j)

$f_r()$ คือ ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักตามค่าความเข้ม (range kernel)

$f_d()$ คือ ฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักตามระยะทางในภาพ (spatial kernel)

$$\hat{f}(x, y) = \text{median}\{g(s, t)\}, \quad (s, t) \in S_{xy} \quad (2.9)$$

$f(x, y)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ใหม่ที่ตำแหน่ง (x, y) หลังจากการกรอง

$\text{median}\{g(s, t)\}$ คือ ค่ามัธยฐานของค่าความเข้มของ Pixel ในบริเวณใกล้เคียงของ Pixel (x, y)

$g(s, t)$ คือ ค่าความเข้มของ Pixel ที่ตำแหน่ง (s, t) ในภาพเดิม

S_{xy} คือ เซตของ Pixel ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงของ Pixel (x, y) ที่จะนำมาคำนวณค่ามัธยฐาน

2.2.3 Image Segmentation [27], [28]

เป็นกระบวนการที่สำคัญในด้านการประมวลผลภาพ (Image Processing) และการวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) โดยมีเป้าหมายหลักคือการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ หรือเซกเมนต์ (Segment) ที่มีความสัมพันธ์หรือความคล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะเป็นความคล้ายคลึงกันทางสี ความเข้ม หรือพื้นผิว วิธีนี้ทำให้สามารถแยกวัตถุหรือพื้นที่ที่เราสนใจออกจากพื้นหลังของภาพได้อย่างชัดเจน

Thresholding (Binarization) เป็นเทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพ โดยการใช้ค่าความเข้ม (Intensity) ของ Pixel แต่ละจุด เพื่อกำหนดว่า Pixel นั้นควรจะอยู่ในส่วนใดของภาพ วิธีการนี้จะทำงานโดยการกำหนดค่าวิพากษ์ (Threshold value) เพื่อแบ่งภาพออกเป็นสองส่วนหลัก คือส่วนที่มีค่าความเข้มสูงกว่าและต่ำกว่าค่า threshold ตัวอย่างดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 ภาพผลไม้เขียวเทศจากการทำ binarization[28]

Edge-based Segmentation เทคนิคนี้ใช้การตรวจจับขอบ (Edge Detection) เพื่อค้นหาขอบเขตของวัตถุในภาพ ขอบของวัตถุสามารถพบได้จากการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงของค่าสีหรือความเข้มภายในภาพ Algorithm ที่นิยมใช้ในวิธีนี้ได้แก่ Sobel, Prewitt และ Canny edge detectors การใช้ Edge-based segmentation จะทำให้ขอบของวัตถุถูกระบุอย่างชัดเจน แต่จะมีความท้าทายเมื่อภาพมี noise หรือรายละเอียดที่ซับซ้อน ซึ่งอาจทำให้การตรวจจับขอบมีความผิดพลาดได้

Region-based Segmentation เป็นวิธีที่ใช้การแบ่งภาพโดยพิจารณาพื้นที่ที่มีความคล้ายคลึงกันภายในภาพ วิธีนี้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Algorithm Region Growing ซึ่งเริ่มจากจุดแรกที่เราเลือก (Seed point) แล้วทำการขยายขอบเขตออกไปเรื่อยๆ ตามความคล้ายคลึงของ Pixel รอบๆ จุดนั้น วิธีนี้เหมาะสำหรับภาพที่วัตถุและพื้นหลังมีความแตกต่างชัดเจน แต่ก็อาจเกิดปัญหาถ้าหากจุดที่เลือกไม่เหมาะสม หรือวัตถุมีความซับซ้อน

2.2.4 Morphological Image Processing [29]

เป็นเทคนิคในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของวัตถุในภาพโดยใช้คณิตศาสตร์เชิง Morphological เทคนิคนี้มักถูกใช้กับภาพ Binary หรือภาพที่ผ่านการแบ่งส่วน (Segmentation) แล้ว เพื่อลด noise ปรับปรุงรูปร่างของวัตถุ หรือทำให้โครงสร้างของวัตถุมีความชัดเจนขึ้น กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในด้านการประมวลผลภาพ เพราะช่วยในการเตรียมข้อมูลให้พร้อมสำหรับ ขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้น

Dilation เป็นกระบวนการที่ใช้ในการขยายขนาดของวัตถุในภาพ โดยการเพิ่ม Pixel เข้าไปในบริเวณรอบๆ วัตถุ ทำให้วัตถุใหญ่ขึ้น ใช้ในกรณีที่ต้องการเน้นหรือขยายขนาดของวัตถุให้ชัดเจน เช่น การรวมกลุ่มของ Pixel ที่อาจแยกจากกันเล็กน้อย การขยายช่วยปิดช่องว่างระหว่าง Pixel หรือวัตถุที่ใกล้กัน

Erosion ทำหน้าที่ตรงข้ามกับ Dilation คือเป็นการลดขนาดของวัตถุ โดยการลบ Pixel ที่อยู่รอบๆ ขอบของวัตถุออกไป ทำให้วัตถุเล็กลง วิธีนี้มีประโยชน์ในการกำจัดจุด noise เล็กๆ ที่เกาะติดกับขอบของวัตถุ หรือทำให้ขอบวัตถุมีความคมชัดขึ้น

Opening เป็นการทำ Erosion ตามด้วย Dilation โดยกระบวนการนี้มีเป้าหมายในการกำจัด noise ขนาดเล็กที่อยู่รอบๆ วัตถุในภาพ ซึ่ง noise เหล่านี้อาจทำให้วัตถุในภาพดูไม่ชัดเจน การทำ Opening ช่วยทำให้ขอบของวัตถุมีความคมชัดมากขึ้น โดยกำจัดจุด noise ที่ไม่จำเป็นออกไป

Closing เป็นกระบวนการทำ Dilation ตามด้วย Erosion ซึ่งใช้ในการปิดช่องว่างหรือรูขนาดเล็กในวัตถุ วิธีนี้เหมาะสำหรับการเติมเต็มช่องว่างหรือส่วนที่ขาดหายไปในวัตถุ เพื่อให้รูปร่างของวัตถุดูเต็มและต่อเนื่องมากขึ้น

Hit-or-Miss Transformation เป็นการแปลงภาพที่ใช้ในการตรวจจับรูปทรงที่เฉพาะเจาะจงในภาพ เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการค้นหาลักษณะเฉพาะของวัตถุ เช่น การตรวจหาวัตถุที่มีรูปทรงเฉพาะหรือขนาดที่กำหนดไว้ในภาพ โดยใช้การจับคู่รูปร่างของโครงสร้างที่กำหนดกับวัตถุในภาพ

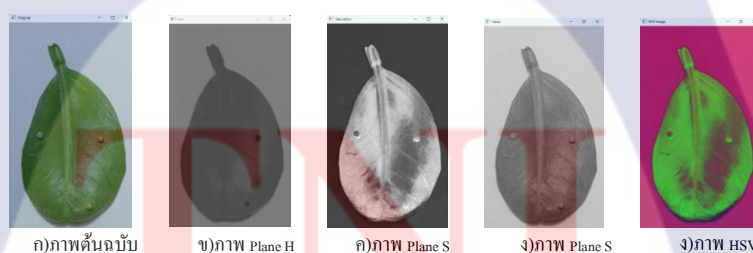
2.2.5 Color Image Processing [24], [26], [30]

เป็นกระบวนการที่ใช้ในการจัดการและปรับแต่งภาพที่มีหลายช่องสี (multi-channel) ซึ่งภาพสีเหล่านี้มักถูกแสดงในรูปแบบของโมเดลสีต่างๆ เช่น RGB, HSV การประมวลผลภาพสีมีความสำคัญอย่างมากในการแยกแยะสี ปรับแต่งสี หรือทำงานกับข้อมูลสีเฉพาะ โดยแต่ละ Color Space มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และประเภทของงานที่ทำ

Color Space HSV เป็นองค์ประกอบสำคัญในการศึกษานี้ เนื่องจากมันแสดงสีในรูปแบบที่สอดคล้องกับการรับรู้ของมนุษย์มากกว่าโมเดลสีอื่นๆ โดยแต่ละองค์ประกอบของ HSV มีความหมายเฉพาะ โดย Hue หมายถึงความเข้มของสีที่กำหนดเฉดสีต่างๆ เช่น สีแดง สีเขียว และสีฟ้า แสดงเป็นค่าเชิงมุมระหว่าง 0 ถึง 360 องศา Saturation บอกระดับความบริสุทธิ์ของสีหรือความอิ่มตัวของสี โดยค่าอิ่มตัวสูงบ่งบอกถึงสีที่สดชัดเจน ส่วนค่าน้อยแสดงถึงสีที่จางลง; และ Value เป็นการวัดระดับความสว่างของสี ตั้งแต่สีมืดจนถึงสีสว่าง การใช้ปริภูมิสี HSV เหมาะสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการแยกแยะสี เช่น การวิเคราะห์ภาพหรือการตรวจจับวัตถุตามสี เนื่องจากความแตกต่างของสีสามารถแยกออกได้ง่ายกว่าในปริภูมิสี RGB นอกจากนี้ HSV ยังช่วยในงานที่ต้องการแยกเฉดสีออกจากความสว่าง ทำให้สามารถประมวลผลสีได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

Color Space RGB ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์แสดงผล เช่น หน้าจอคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ และกล้องถ่ายรูป RGB ทำงานโดยการรวมค่าความเข้มของสีแดง (Red), สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งเป็นสีหลัก เพื่อสร้างสีต่างๆ มากมาย อย่างไรก็ตาม แม้ RGB จะเป็น Color Space ที่นิยม แต่มีข้อจำกัดในการแยกแยะความแตกต่างของสีที่ซับซ้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ต้องการการจำแนกเฉพาะสี การแปลงภาพจาก RGB เป็น HSV จึงช่วยให้การแยกสีมีความแม่นยำและง่ายขึ้น

ตัวอย่างภาพที่ได้จากกระบวนการ color image processing โดยทำการแปลงภาพจาก RGB เป็น HSV ดังรูปที่ 2. 33



รูปที่ 2.33 ภาพที่แปลงจาก RGB เป็น HSV

สมการการแปลง RGB เป็น HSV

การหาค่า H

$$R' = R / 255$$

$$G' = G / 255$$

$$B' = B / 255$$

$$C_{max} = \max(R', G', B')$$

$$C_{min} = \min(R', G', B')$$

$$\Delta = C_{max} - C_{min}$$

$$H = \begin{cases} 0^\circ & \Delta = 0 \\ 60^\circ \times \left(\frac{G' - B'}{\Delta} \bmod 6 \right) & , C_{max} = R' \\ 60^\circ \times \left(\frac{B' - R'}{\Delta} + 2 \right) & , C_{max} = G' \\ 60^\circ \times \left(\frac{R' - G'}{\Delta} + 4 \right) & , C_{max} = B' \end{cases} \quad (2.10)$$

R' คือ ค่าที่ได้จากการ normalize ของ color space RGB channel R

G' คือ ค่าที่ได้จากการ normalize ของ color space RGB channel G

B' คือ ค่าที่ได้จากการ normalize ของ color space RGB channel B

Cmax คือ ค่า Channel ที่มีค่าสูงสุด, Cmin คือ ค่า Channel ที่มีค่าต่ำสุด

Δ (Delta) คือค่าความต่างระหว่าง Cmax กับ Cmin

สมการหาค่า S

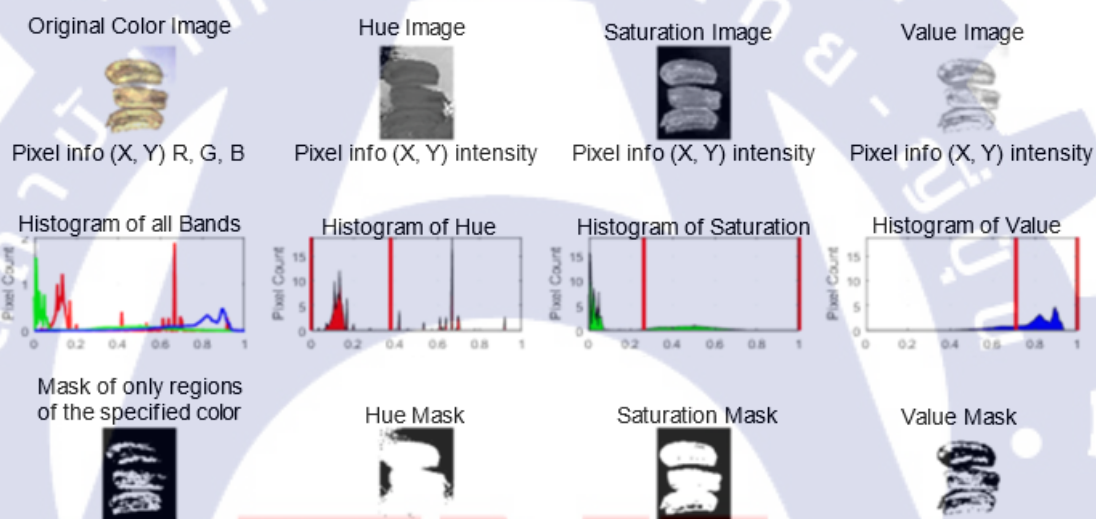
$$S = \begin{cases} 0 & , C_{max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{max}} & , C_{max} \neq 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

สมการหาค่า V

$$V = C_{max} \quad (2.12)$$

2.2.6 Feature Extraction [24], [31], [32]

เป็นขั้นตอนสำคัญในการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการสกัดคุณลักษณะที่มีความสำคัญหรือมีความหมายจากภาพ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานต่างๆ เช่น การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) หรือการรู้จำลักษณะรูปแบบ (Pattern Recognition) ในขั้นตอนนี้ คุณลักษณะที่ถูกสกัดออกมาอาจเป็นลักษณะเชิงโครงสร้าง เช่น ขอบ มุม หรือรูปร่างของวัตถุ และลักษณะเชิงสถิติ เช่น ค่าสถิติที่อธิบายถึงความเข้มและความแตกต่างของสี โดยการดึงคุณลักษณะช่วยลดขนาดของข้อมูลภาพในขณะที่ยังคงเก็บข้อมูลที่สำคัญ ซึ่งทำให้การวิเคราะห์และการตัดสินใจในขั้นตอนถัดไปมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้น และการประมวลผลภาพช่วยให้การจำแนกประเภทและการวิเคราะห์ข้อมูลทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการ Feature Extraction ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 การสกัดคุณลักษณะสีของกล้วยฉาบ[25]

Hough Circle Transform[33], [34], [35] จัดอยู่ในกลุ่ม Feature Extraction เป็นเทคนิคที่มุ่งเน้นการสกัดข้อมูลเฉพาะเจาะจงจากภาพ นั่นคือการตรวจจับและระบุตำแหน่งของวงกลมหรือส่วนโค้งวงกลมในภาพ โดยอาศัยการแปลงภาพจากโดเมนเชิงพื้นที่ (Spatial Domain) ไปเป็นโดเมนของพารามิเตอร์ (Parameter Domain) ซึ่งช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งศูนย์กลางและรัศมีของวงกลมได้อย่างแม่นยำ เทคนิคนี้ไม่เพียงแต่ตรวจจับวงกลมเท่านั้น แต่ยังสามารถกรองข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกไป และเน้นเฉพาะคุณลักษณะที่สนใจ (ในที่นี้คือวงกลม) เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์หรือการประมวลผลขั้นสูงต่อไป สมการของ Hough Circle Transform เป็นดังนี้

$$(x - x_{center})^2 + (y - y_{center})^2 = r^2 \quad (2.13)$$

(x,y) คือจุดใดๆ บนเส้นรอบวงของวงกลม

(x_{center},y_{center}) คือจุดศูนย์กลางของวงกลม

r คือรัศมีของวงกลม

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับวัตถุด้วยวิธีประมวลผลข้อมูลภาพ ปัจจุบันเทคโนโลยีการประมวลผลข้อมูลภาพได้มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในด้านการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบแมลงศัตรูพืช และการระบุโรคพืชที่เกิดจากเชื้อรา โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ การประมวลผลข้อมูลภาพ เพื่อเป็นองค์ความรู้สำหรับการทำงานวิจัย การตรวจจับไขหนอนซอนโบสัโม ด้วยวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพ จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีการจัดกลุ่มงานวิจัยเป็น 3 กลุ่มดังนี้ ดังนี้

2.3.1 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับผลผลิตทางการเกษตรด้วยวิธีประมวลผลภาพ

การพัฒนาระบบที่สามารถจำแนกความสุกของผลกาแฟจากภาพถ่ายโดยใช้การประมวลผลภาพแบบ Color Space HSV[24] เพื่อจำแนกความสุกออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ สีแดง-สุก สีเหลือง-กึ่งสุกกึ่งดิบ สีเขียว-ดิบ และสีน้ำตาล-สุกมาก โดยเริ่มจากการแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV จากนั้นจึงตรวจจับสีในช่วงที่กำหนด พร้อมกับการตรวจจับรูปทรงและตีกรอบวัตถุเพื่อทำการจำแนกสี ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมีความแม่นยำสูงมากโดยมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องรวมถึง 98.17% ซึ่งช่วยให้ระบบนี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในการคัดแยกสีของผลกาแฟหรือพืชผลอื่นๆ ในอนาคตได้

ระบบตรวจจับโรคใบเฝ้ายโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ[26] ประกอบด้วยขั้นตอนหลักคือการรับภาพ RGB การประมวลผลขั้นต้น การแบ่งส่วนภาพ การสกัดคุณลักษณะ และการจำแนกประเภท โดยใช้การแบ่งส่วนภาพแบบ K-means clustering เพื่อแยกส่วนที่เป็นโรค สกัดคุณลักษณะด้านสี รูปร่าง และพื้นผิว แล้วใช้ SVM ในการจำแนกประเภทโรค นำเสนอในรูปแบบแอปพลิเคชันเว็บที่เกษตรกรสามารถอัปโหลดภาพใบเฝ้ายเพื่อตรวจหาโรคได้ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับโรคใบเฝ้ายที่สำคัญได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ โดยมีความแม่นยำในการจำแนกโรคสูงถึง 95% และใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 2-3 วินาทีต่อภาพ ช่วยให้เกษตรกรตรวจพบโรคในระยะเริ่มต้นได้เร็วขึ้นถึง 70% เมื่อเทียบกับการตรวจสอบด้วยตาเปล่า ลดการพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้ถึง 80%

วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือการพัฒนาระบบคัดแยกขนาดไข่ไก่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ[11] โดยใช้กล้อง Web Cam ร่วมกับ OpenCV เพื่อถ่ายภาพไข่ไก่ที่วางคู่กับเหรียญสิบบาทบนพื้นผิวสีดำที่มีการสะท้อนแสงต่ำ จากนั้นคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราส่วนระหว่าง Pixel ของไข่แต่ละขนาดและเหรียญสิบบาท ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถคัดแยกไข่ไก่ได้ 5 ขนาด คือ เบอร์ 0 ถึงเบอร์ 4 ในระยะเวลาการถ่ายภาพ 60 ชม. ด้วยความแม่นยำ 100% โดยระบบนี้สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและนำไปใช้ในการคัดแยกไข่ไก่ในอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือการจัดจำแนกความสุกของกล้วยฉาบโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ[25] โดยใช้โมเดลสี RGB และ HSV ในการวิเคราะห์และจำแนกสีของกล้วยที่สุก โดยกระบวนการเริ่มต้นจากการรับภาพถ่ายกล้วยฉาบเข้าสู่ระบบ จากนั้นทำการสกัดคุณลักษณะของสีและแปลงภาพจาก RGB เป็น HSV เพื่อระบุสีที่สัมพันธ์กับระดับความสุกของกล้วย สุดท้ายโปรแกรมจะวิเคราะห์และจำแนกภาพกล้วยฉาบเป็นกลุ่มสีที่กำหนดไว้ ผลการทดลองแสดงความแม่นยำในการตรวจจำสีของกล้วยฉาบที่ 86.27%

การประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) เพื่อ ตรวจสอบและจำแนกยางแผ่นที่มีราขาว[29] บนผิวออกจากยางแผ่นที่ดี โดยกระบวนการนี้ใช้กล้องดิจิทัลแทนสายตามนุษย์ในการตรวจสอบ ซึ่งจะส่งข้อมูลภาพไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดยใช้ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ทางด้านการประมวลผลภาพ จากนั้นจะแสดงผลการจำแนกให้ทราบ ผลลัพธ์จากการพัฒนาเครื่องมือตรวจสอบราขาวบนผิวเนื้อยางแผ่นโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพพบว่าเครื่องมือนี้สามารถจำแนกยางแผ่นที่มีราขาวออกจากยางแผ่นดีได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงถึง 97.50% โดยความเร็วในการตรวจสอบใกล้เคียงกับการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งประสิทธิภาพนี้ยังช่วยลดความผิดพลาดจากการตรวจสอบแบบสุ่มที่ทำด้วยมนุษย์ การใช้งานเครื่องมือนี้ช่วยให้การตรวจสอบและจำแนกยางแผ่นเป็นไปอย่างแม่นยำ

การใช้ เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวสาร[30] โดยทำการคัดแยกเมล็ดข้าวสารออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้าวเต็มเมล็ด ข้าวหัก และปลายข้าวสีวัน การประมวลผลนี้เริ่มจากการถ่ายภาพเมล็ดข้าวผ่านกล้อง จากนั้นทำการวิเคราะห์และคัดแยกตามขนาดและลักษณะต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อตรวจจับขอบของวัตถุ คำนวณพื้นที่ และวัดขนาดแกนของเมล็ดข้าว เพื่อให้ได้ผลการตรวจสอบคุณภาพที่แม่นยำ ผลลัพธ์จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบและคัดแยกเมล็ดข้าวสารออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้าวเต็มเมล็ด ข้าวหัก และปลายข้าวสีวัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความแม่นยำในการตรวจสอบเฉลี่ยอยู่ที่ 91.63% ถึง 99.57% ขึ้นอยู่กับปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งตัวอย่างที่มีน้ำหนัก 5-20 กรัมต่อครั้งให้ผลที่ดีที่สุดในด้านความแม่นยำและความเร็วในการทำงาน โดยเครื่องสามารถประมวลผลภาพได้ภายในเวลา 8-13 วินาทีต่อภาพ อย่างไรก็ตาม ปริมาณตัวอย่าง

ที่มากเกินไปจะทำให้ความแม่นยำลดลง เนื่องจากการซ้อนทับของเมล็ดข้าวในภาพถ่าย ทั้งนี้เครื่องต้นแบบสามารถลดระยะเวลาในการตรวจสอบได้มากเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น การคัดแยกด้วยแรงงานคนหรือเครื่องมือมาตรฐาน

วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือการตรวจหารอยร้าวของไข่โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพภายใต้ระบบสุญญากาศ[32] โดยเริ่มจากการวางไข่ในกล่องสุญญากาศเพื่อให้เปลือกไข่ขยายตัวและเห็นรอยร้าวได้ชัดเจนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจสอบด้วยแสงเพียงอย่างเดียว ขั้นตอนการตรวจจับรอยร้าวประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การรับภาพ การแยกองค์ประกอบสี การลบพื้นหลัง การลบผิวเปลือกไข่ และการตรวจจับรอยร้าวด้วยเทคนิค Hough transform ซึ่งสามารถตรวจหารอยร้าวได้อย่างถูกต้องถึง 86.25% จากการทดสอบ

การพัฒนาเครื่องต้นแบบคัดแยกดอกดาวเรืองโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ[36] มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบระบบสายพานอัตโนมัติสำหรับคัดแยกดอกดาวเรืองออกเป็น 4 ขนาด โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลแบบดั้งเดิม ขั้นตอนการประมวลผลประกอบด้วย การแปลงภาพเป็นสีเทา (Grayscale) การแปลงเป็นภาพขาวดำด้วยวิธี Otsu's thresholding การปรับปรุงภาพด้วยเทคนิคมอร์โฟโลยี (Morphological operations) เช่น การเติมรู (Filling holes) การคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบดอกเพื่อประมาณขนาด และการจำแนกขนาดโดยใช้ การวัดระยะห่างแบบยูคลิด (Euclidean Distance) เพื่อเปรียบเทียบกับแม่แบบที่กำหนดไว้ ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถวิเคราะห์ขนาดดอกได้ถูกต้องเฉลี่ย 97.2% เมื่อทดสอบแบบแยกส่วน แต่เมื่อทำงานร่วมกับสายพานทั้งระบบ ความถูกต้องลดลงเหลือ 73.33% เนื่องจากข้อจำกัดด้านแสงและการจัดวางดอกที่มีขนาดใหญ่ไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม ระบบสามารถคัดแยกดอกได้โดยใช้เวลาเฉลี่ย 2.6 วินาทีต่อดอก ซึ่งเร็วกว่าการใช้แรงงานคน

2.3.2 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับศัตรูพืชด้วยวิธีประมวลผลภาพ

การตรวจจับแมลงศัตรูพืชบนใบพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ[37] ซึ่งเริ่มต้นจากการถ่ายภาพใบพืชแล้วแปลงเป็นภาพสีเทาเพื่อลดสัญญาณรบกวน จากนั้นใช้การเบลอภาพด้วย Gaussian blur เพื่อลดความถี่สูงที่เกิดจากขอบของวัตถุ การแบ่งส่วนภาพด้วยเทคนิค watershed segmentation และการประมวลผลเชิงสัญญาณ (morphological operations) ช่วยในการแยกศัตรูพืชออกจากพื้นหลัง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับแมลงศัตรูพืชบนใบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถนับจำนวนแมลงศัตรูพืชบนใบตัวอย่างได้ 14 ตัวและ 9 ตัวตามลำดับ ซึ่งรวมถึงแมลงที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ช่วยให้เกษตรกรสามารถตรวจพบปัญหาแมลงศัตรูพืชในระยะเริ่มต้นและดำเนินการป้องกันได้ทันทั่วทั้ง

การตรวจจับและแยกแยะแมลงศัตรูพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ[31] ซึ่งเริ่มจากการใช้กล้องไร้สายจับภาพแมลงที่ติดอยู่ในกับดักเหนียวภายในแปลงนาข้าว จากนั้นภาพที่ได้จะถูกแปลงเป็นภาพสีเทาและใช้การกรองภาพแบบ median filter เพื่อลดสัญญาณรบกวน เมื่อภาพถูกทำความสะอาดแล้ว ระบบจะเปรียบเทียบค่า Pixel ระหว่างภาพอ้างอิงและภาพปัจจุบันเพื่อตรวจจับความแตกต่างและแยกแยะออกมา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับแมลงศัตรูพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว โดยจำนวนแมลงที่ถูกตรวจจับในแต่ละวันอยู่ระหว่าง 38 ถึง 52 ตัวต่อวัน

การตรวจจับศัตรูพืชในสวนมะเขือเทศด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล[28] เริ่มจากการถ่ายภาพมะเขือเทศแล้วแปลงภาพเป็นภาพสีเทา จากนั้นใช้การแบ่งส่วนภาพและเทคนิคทางสัญญาณวิทยาเพื่อลดสัญญาณรบกวนและแยกวัตถุที่สนใจ (มะเขือเทศและหนอนเจาะผล) ออกมา ระบบนี้สามารถนับจำนวนหนอนเจาะผลในมะเขือเทศและกำหนดปริมาณยาฆ่าแมลงที่ต้องใช้ได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับหนอนเจาะผลในระยะเริ่มต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับการตรวจจับศัตรูพืชและโรคในพืชผล[38] เป็นบทความปริทัศน์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับการตรวจจับศัตรูพืชและโรคในพืชผลทางการเกษตร โดยเน้นการประยุกต์ใช้ในแนวทางเกษตรอัจฉริยะ (Agriculture 4.0) งานวิจัยนี้สรุปกระบวนการหลักในระบบวินิจัย ได้แก่ การได้มาซึ่งภาพ การประมวลผลล่วงหน้า การแบ่งส่วนภาพ (Segmentation) การสกัดลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) และการจำแนกประเภท (Classification) โดยเทคนิคดั้งเดิมที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ K-Means clustering สำหรับการแบ่งกลุ่มภาพ Edge detection (เช่น Sobel) เพื่อกำหนดขอบเขตของใบพืชหรือแมลง Morphological operations สำหรับปรับปรุงรูปร่าง และ Color space conversion พร้อม Histogram equalization เพื่อปรับปรุงคุณภาพภาพและความสมดุลของสี ส่วนการจำแนกประเภทมักใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบดั้งเดิม เช่น Support Vector Machine (SVM) และ Neural Networks รวมถึง Convolutional Neural Networks (CNN) ที่แสดงประสิทธิภาพสูงในการจดจำรูปแบบ ผลการทบทวนแสดงให้เห็นว่าเทคนิคเหล่านี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการตรวจจับโรคและศัตรูพืช ลดการพึ่งพาการตรวจสอบด้วยสายตามนุษย์ ซึ่งมีข้อผิดพลาดจากความอหิวาธิ และสามารถบรรเทาความสูญเสียทางเศรษฐกิจในภาคการเกษตรได้

2.3.3 กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุทรงกลม และลดแสงสะท้อน

การวิเคราะห์หาค่า Threshold ที่เหมาะสม และปลอดภัยสำหรับการยืนยันตัวตนผ่านม่านตา[39] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่า Threshold Value ที่เหมาะสมและปลอดภัย

สำหรับระบบการยืนยันตัวตนด้วยม่านตา (Iris Authentication) โดยใช้เทคนิค Circle Hough Transform (CHT) เพื่อระบุตำแหน่งม่านตาและรูม่านตาในภาพดวงตา จากนั้นทำการสกัดข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลม่านตาที่เก็บไว้ (Iris Template) กับข้อมูลม่านตาที่นำมายืนยันตัวตน (Iris Test) เพื่อหาค่า Threshold Value ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่า Genuine Acceptance Rate (GAR), False Non-Match Rate (FMRMR), และ False Match Rate (FMR) ผลการวิจัยพบว่า ค่า Threshold Value ที่เหมาะสมคือ 72.9246% ค่า Threshold Value นี้มีความเหมาะสมและปลอดภัยสำหรับระบบการยืนยันตัวตนที่ต้องการความแม่นยำสูงและความผิดพลาดต่ำ

การตรวจจับผู้ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากภาพถ่าย โดยเทคนิคการรู้จำสีแก้มและความกว้างขนาดดวงตา[33] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการตรวจจับผู้ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากภาพถ่ายใบหน้า โดยใช้เทคนิคการรู้จำสีแก้มและความกว้างของดวงตา ร่วมกับตัวจำแนกประเภทต่าง ๆ โดยใช้ Haar-like feature ในการตรวจจับใบหน้า Region of Interest (ROI) ในการระบุพื้นที่แก้มเพื่อวิเคราะห์สี และ Circle Hough Transform (CHT) ในการตรวจจับความกว้างของดวงตา ซึ่ง CHT ถูกใช้เพื่อระบุตำแหน่งดวงตาในภาพถ่าย โดยวิเคราะห์ลักษณะวงกลมของดวงตา ผลการวิจัยพบว่าเทคนิค CHT สามารถตรวจจับดวงตาได้ถูกต้องร้อยละ 97 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับผู้ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากภาพถ่ายใบหน้า

การตรวจจับวงกลมด้วยเทคนิค Circular Hough Transform[34] งานวิจัยนี้เสนอวิธีการตรวจจับวงกลมในภาพโดยใช้เทคนิค Circular Hough Transform (CHT) ร่วมกับขั้นตอนการตรวจจับขอบ (Edge Detection) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุวงกลมในภาพ โดยเฉพาะในภาพที่มีสัญญาณรบกวนหรือวัตถุที่ซ้อนทับกัน วิธีการนี้ใช้สมการวงกลมเพื่อสร้างพารามิเตอร์ของวงกลมในภาพ และใช้เมทริกซ์สะสม (Accumulator Matrix) เพื่อระบุตำแหน่งและรัศมีของวงกลมที่อาจมีอยู่ในภาพ ผลการทดลองพบว่าวิธีการนี้สามารถตรวจจับวงกลมได้ด้วยความแม่นยำสูงถึง 95% โดยใช้ภาพตัวอย่างที่เป็นเหรียญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิค CHT มีประสิทธิภาพในการตรวจจับวงกลมแม้ในภาพที่มีความซับซ้อนและมีสัญญาณรบกวน

วิธีการปรับปรุงภาพดิจิทัลภายใต้สภาวะแสงน้อยโดยใช้เทคนิคการปรับค่าความสว่าง[35] และแสงสะท้อนผ่านการปรับค่า gamma วิธีการนี้ประกอบด้วยการปรับปรุงคอนทราสต์แบบปรับตัว (Adaptive Contrast Enhancement) และการแก้ไขค่าแกมมาแบบปรับตัว (Adaptive Gamma Correction) โดยแปลงภาพจากโหมด RGB เป็น HSV เพื่อปรับค่าความสว่าง (V) แยกจากข้อมูลสี ซึ่งช่วยลดการบิดเบือนสี นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคการรวมภาพ (Image Fusion) เพื่อดึงรายละเอียดจากภาพที่ผ่านการปรับปรุงแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอสามารถปรับปรุงภาพให้มีความสว่างและความชัดเจนที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น Histogram Equalization (HE) และ Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) โดยวัดผลผ่านค่า

Information Entropy (IE) และ Average Gradient (AG) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของข้อมูลและความคมชัดของภาพ

วิธีการปรับปรุงภาพที่ถ่ายในสภาพแสงน้อยโดยใช้เทคนิคการแปลงแกมมาแบบปรับตัว[40] (Adaptive Local Gamma Transform) และการชดเชยสี (Color Compensation) เพื่อลดผลกระทบจากแสงสะท้อนที่ไม่สม่ำเสมอ วิธีการนี้เริ่มจากการแปลงภาพจาก RGB เป็น YUV เพื่อแยกข้อมูลความสว่าง (Y) และใช้ Fast Guided Filter เพื่อประมาณค่าส่วนประกอบของแสงสะท้อน จากนั้นใช้การแปลงแกมมาแบบปรับตัวเพื่อปรับความสว่างของภาพโดยอิงจากค่าความสว่างในแต่ละพื้นที่ของภาพ และใช้กลไกการชดเชยสีเพื่อปรับปรุงความอิ่มตัวของสี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถปรับปรุงภาพในสภาพแสงน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเพิ่มความสว่างในพื้นที่มืดและลดความสว่างในพื้นที่สว่างเกินไป ทำให้ภาพมีสีที่สมจริงและรายละเอียดที่ชัดเจน นอกจากนี้วิธีการนี้ยังมีประสิทธิภาพในการลดการรบกวนจากแสงสะท้อนที่ไม่สม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพในการคำนวณที่ดีเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ ที่มีอยู่

วิธีการประมวลผลภาพและการผลิตด้วยการพิมพ์สามมิติแบบ FDM[41] มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสิ่งรบกวนในภาพ CBCT มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสิ่งรบกวนและปรับปรุงคุณภาพภาพ CBCT สำหรับการวางแผนฝังรากฟันเทียม โดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพแบบดั้งเดิม ได้แก่ Median filter, MMG filter และ Bilateral filter (ด้วย kernel 3×3 , 5×5 , 7×7) เพื่อลดสัญญาณรบกวน, Image thresholding เพื่อทำการแยกฟันและกระดูก, Histogram normalization เพื่อปรับสมดุลสี, Morphological operations (erosion และ dilation) เพื่อกำหนดขอบเขต และ Gamma correction เพื่อปรับความคมชัด ผลการศึกษาพบว่า Median filter ขนาด 3×3 kernel ให้ผลลัพธ์ที่ดีในการลดสิ่งรบกวนและคงรายละเอียดของโครงสร้างฟันและกระดูก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 18 งานวิจัยสามารถสรุปเป็นตารางเปรียบเทียบเพื่อให้เข้าใจง่ายได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
1	การจำแนกความสุกของผลกาแฟด้วยการประมวลผลภาพปริภูมิสี [24]	พัฒนารูปแบบการจำแนกระดับความสุกของผลกาแฟ 4 ระดับ (สุกมาก สุกปานกลาง ดิบ สุกเกินไป) โดยอิงจากลักษณะสีในภาพถ่าย เพื่อช่วยในการพัฒนาเครื่องคัดแยกสีผลกาแฟแบบอัตโนมัติ	การแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV, การตรวจจับสีในช่วง HSV, การตรวจจับรูปทรงและการตีกรอบวัตถุ	ความแม่นยำเฉลี่ย 98.17% ในการจำแนกผลกาแฟ
2	การตรวจจับโรคใบไหม้ด้วยการประมวลผลภาพ [26]	พัฒนาระบบตรวจสอบโรคใบไหม้สำหรับการตรวจจับโรคใบไหม้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวินิจฉัยโรคใบไหม้ตั้งแต่ระยะแรก	การแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV, การตรวจจับสีในช่วง HSV, Feature extraction, Edge detection	ระบบสามารถตรวจจับโรคใบไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3	การพัฒนากระบวนการคัดแยกขนาดไซโกต์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ [27]	สร้างระบบอัตโนมัติสำหรับการคัดแยกขนาดไซโกต์โดยอิงจากภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อแทนการคัดแยกแบบใช้แรงงานคน ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำและความเร็ว	การแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV, การตรวจจับสีในช่วง HSV, Feature extraction, Edge detection, Gaussian filter	ความแม่นยำ 100% ในการคัดแยกขนาดไซโกต์ที่ระยะห่าง 60 ซม.
4	การจำแนกความสุกของกล้วยดิบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ [25]	พัฒนาระบบจำแนกความสุกของกล้วยดิบจากภาพถ่ายโดยการวิเคราะห์ลักษณะสีจากภาพ เพื่อใช้ในการผลิตกล้วยดิบแบบอัตโนมัติ	แปลงภาพจาก RGB เป็น HSV, Color classification, Edge detection, Feature extraction	ความแม่นยำในการจำแนกกล้วยดิบอยู่ที่ 86.27%
5	การตรวจสอบความหนาแน่นของเนื้อไม้ด้วยการประมวลผลภาพ [29]	ตรวจสอบและจำแนกความหนาแน่นของเนื้อไม้โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อช่วยในการใช้แรงงานคนและเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพยางพารา	แปลงภาพจาก RGB เป็น HSV, Image Segmentation, Object detection, Feature extraction	ความแม่นยำ 97.5% ในการตรวจสอบความหนาแน่น
6	การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวสารโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ [30]	ตรวจสอบคุณภาพข้าวสารโดยการประมวลผลภาพ เพื่อจำแนกปริมาณข้าวหัก ข้าวเต็มเมล็ด และข้าวที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อกำหนดราคาซื้อขาย	การแปลงภาพเป็น Gray Scale, Edge detection, Morphological transformation, Feature extraction	ความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพข้าวสารอยู่ที่ 91.63%-99.57%

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(ต่อ)

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
7	การตรวจจับหรือรอยขาวของใบภายใต้ระบบสัญญาณ [32]	พัฒนาเทคนิคการตรวจจับรอยขาวของใบภายใต้ระบบสัญญาณด้วยการประมวลผลภาพ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนใบเนื่องจากยาฆ่า	แปลงภาพจาก RGB เป็น HSV, Hough Transform, Median filter, Morphological transformation, Edge detection	ความแม่นยำในการตรวจจับรอยขาวอยู่ที่ 86.25%
8	การตรวจจับศัตรูพืชด้วยการประมวลผลภาพ [37]	พัฒนาระบบอัตโนมัติในการตรวจจับศัตรูพืชในพืชผล เพื่อช่วยลดการใช้สารเคมีในการป้องกันและควบคุมศัตรูพืชโดยระบุศัตรูพืชตั้งแต่ระยะเริ่มต้น	แปลงภาพ RGB เป็น Gray scale, Gaussian filter, Watershed Segmentation, Morphological transformation, Image segmentation	การตรวจจับศัตรูพืชได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการระบุแมลง
9	การตรวจจับและสกัดศัตรูพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ [31]	พัฒนาเทคนิคการตรวจจับและสกัดศัตรูพืชออกจากภาพถ่าย เพื่อเพิ่มความรวดเร็วและแม่นยำในการระบุปริมาณศัตรูพืชในแปลงพืช	แปลงภาพ RGB เป็น Gray scale, Median filter, Feature extraction, Image segmentation	ระบบสามารถตรวจจับศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ
10	การตรวจจับศัตรูพืชในไร่มะเขือเทศโดยใช้การประมวลผลภาพ [28]	พัฒนาระบบสำหรับการตรวจจับศัตรูพืชในไร่มะเขือเทศ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อระบุศัตรูพืชตั้งแต่ระยะเริ่มต้น	แปลงภาพ RGB เป็น Gray scale, Color segmentation, Morphological transformation, Feature extraction, Object	ระบบสามารถตรวจจับศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว
11	การวิเคราะห์ราคาเพชรโอลด์ที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการยืนยันตัวตนผ่านม่านตา [39]	หาค่า Threshold ที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับระบบยืนยันตัวตนด้วยม่านตา เพื่อระบุได้แม่นยำมากขึ้นและวัดประสิทธิภาพของระบบ	Circle Hough Transform (CHT), Image Segmentation, Feature Extraction, Object detection	พบค่า Threshold ที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับระบบยืนยันตัวตนด้วยม่านตาคือ 72.9246% ซึ่งเป็นค่าที่มีความเหมาะสมและปลอดภัย
12	การตรวจจับผู้ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากภาพถ่าย โดยเทคนิคการรู้จำสีแก้มและความกว้างของดวงตา [33]	ตรวจจับผู้ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากภาพถ่ายใบหน้า โดยใช้เทคนิคการรู้จำสีแก้มและความกว้างของดวงตาเพื่อจำแนกภาพ	Circle Hough Transform (CHT), Image Segmentation, Feature Extraction, Object detection, Region of Interest (ROI)	ผลลัพธ์ความถูกต้องสูงสุดที่ 98% ในการจำแนกภาพถ่ายผู้ดื่มแอลกอฮอล์และไม่ดื่มแอลกอฮอล์

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง(ต่อ)

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
13	การตรวจจับวงกลมด้วยเทคนิค Circular Hough Transform [34]	พัฒนาวิธีการตรวจจับวงกลมในภาพโดยใช้เทคนิคที่เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุที่มีรูปร่างเป็นวงกลมในภาพที่มีสัญญาณรบกวนหรือความไม่สมบูรณ์.	แปลงภาพ RGB เป็น Gray Scale, Circular Hough Transform (CHT), Canny edge detection	ตรวจจับวงกลมในภาพด้วยความแม่นยำ 95% โดยใช้ Edge Detection Algorithm เพื่อหาขอบของวัตถุที่เป็นวงกลม.
14	วิธีการปรับปรุงภาพดิจิทัลภายใต้สภาวะแสงน้อยโดยใช้เทคนิคการปรับค่าความสว่าง [35]	เพื่อแก้ไขปัญหาการสูญเสียรายละเอียดและความคมชัดของภาพภายใต้สภาวะแสงน้อย	แปลงภาพ RGB เป็น HSV, adaptive gamma correction, Adaptive contrast enhancement	สามารถปรับปรุงภาพให้มีความสว่างและความชัดเจนที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม
15	วิธีการปรับปรุงภาพที่ถ่ายในสภาพแสงน้อยโดยใช้เทคนิคการแปลงเกมมาแบบปรับตัว [40]	เพื่อปรับปรุงภาพที่ถ่ายในสภาพแสงน้อย โดยลดปัญหาการปรับแต่งเกินในบางพื้นที่และเพิ่มรายละเอียดในพื้นที่มืด	แปลงภาพ RGB เป็น HSV, Adaptive local gamma transform	สามารถปรับปรุงภาพในสภาพแสงน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเพิ่มความสว่างในพื้นที่มืดและลดความสว่างในพื้นที่สว่างเกินไป วิธีการนี้ยังมีประสิทธิภาพในการลดการรบกวนจากแสงสะท้อนที่ไม่สม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพในการคำนวณพื้นที่เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ
16	การปรับปรุงข้อมูล CBCT ด้วยวิธีการประมวลผลภาพและการผลิตด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติแบบ fused deposition modeling [41]	เพื่อศึกษาผลของการกำจัดสิ่งรบกวน (artifacts) ในภาพ CBCT ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อใช้ในการวางแผนการฝังรากฟันเทียม และนำไปสู่การผลิตแบบจำลอง 3 มิติด้วยเครื่องพิมพ์ 3D แบบ FDM	Image filtering segmentation Morphological Gamma correction	ช่วยให้การวางแผนการฝังรากฟันเทียมมีประสิทธิภาพมากขึ้น
17	เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลสำหรับ การตรวจจับศัตรูพืชและโรคในพืชผล [38]	เพื่อรวบรวมและทบทวนเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลที่ใช้ในการตรวจจับโรคและศัตรูพืชในภาคเกษตรกรรม โดยเน้นการนำเทคโนโลยี Agriculture 4.0 มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนทางการเกษตร	Image filtering Color space conversion Histogram equalization Edge detection Feature extraction	ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ใช้ เทคนิค CNN ในการตรวจจับศัตรูพืช ดีขึ้นในหลายพืช เช่น ข้าวโพด (88.49%), ถั่วลิสง (98.6%), และพืชรวมหลายชนิด (99.5%)
18	การพัฒนาเครื่องต้นแบบคัดแยกดอกดาวเรืองโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ [36]	เพื่อพัฒนากระบวนการแยกแยะดอกดาวเรืองอัตโนมัติ โดยใช้การประมวลผลภาพในการวิเคราะห์และจำแนกขนาดดอกดาวเรือง 4 ขนาด	แปลงภาพเป็น gray scale Morphological operation	มีความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์ขนาด (97.2%) และทำงานได้รวดเร็ว (2.6 วินาที/ดอก) แม้ความแม่นยำทั้งระบบจะอยู่ที่ 73.33%

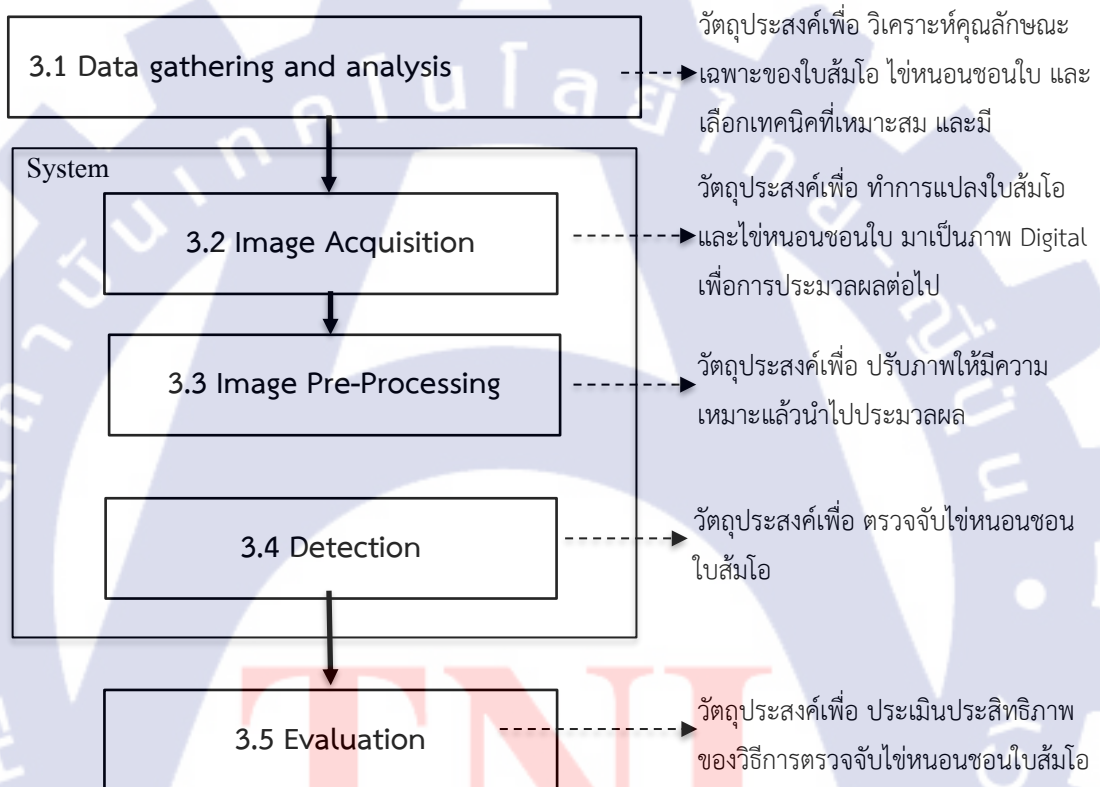
สำหรับหัวข้องานวิจัยที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของผู้วิจัยก็คือ งานวิจัยในหัวข้อที่ 13 เรื่องการตรวจจับวงกลมด้วยเทคนิค Circle Hough Transform ซึ่งภาพวัตถุมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมเหมือนกับภาพของ ไข่हनอนซอนไบ แต่แตกต่างที่ความสมบูรณ์ของวงกลม และความซับซ้อนของสีเนื่องจากว่างานวิจัยเรื่องการตรวจจับวงกลมด้วยเทคนิค Circle Hough Transform ภาพวัตถุที่นำมาทดลองมีความเป็นรูปทรงกลมสมบูรณ์ กว่าไข่हनอนซอนไบส้มโอ และสีมีความซับซ้อนน้อยกว่า



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการวิจัยนี้ประกอบด้วยหลายขั้นตอนที่ได้รับการออกแบบอย่างรอบคอบเพื่อตรวจจับไข้
หนองซอนใบส้มโอโดยใช้เทคนิคการประมวลผลข้อมูลภาพ โดยมุ่งเน้นการพัฒนากฎเกณฑ์สำหรับ 9
การตรวจจับลักษณะเฉพาะของไข้หนองซอนใบ กระบวนการทำงานโดยรวม (Overall workflow)
ของการวิจัยนี้แสดง ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 Overall work flow

จากรูปที่ 3.1 เพื่อให้เกิดความเข้าใจรายละเอียดของกระบวนการทำงานของงานวิจัยการ
ตรวจจับไข้หนองซอนใบ ขออธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

3.1 การเก็บรวบรวม และ วิเคราะห์ข้อมูล (Data Gathering and Analysis)

3.1.1 ผู้วิจัยมีการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลใบส้มโอโดยเน้นไปที่ใบอ่อนจนถึงใบกลางเพราะเป็น stage ที่ถูกหนอนชอนใบทำลายง่ายที่สุด

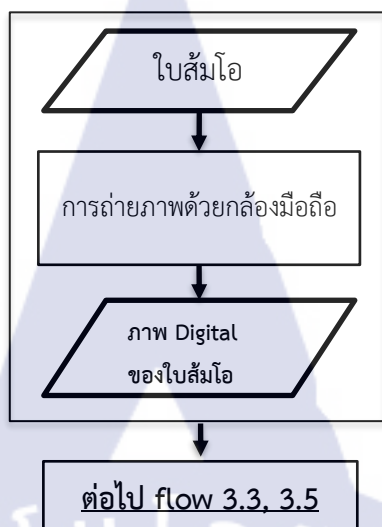
3.1.2 ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะสีเขียวของใบส้มโอ และสีของไข่หนอนชอนใบ เพื่อหาช่วงของสีที่จะนำไปใช้เป็นค่าในการกำหนดคุณลักษณะของใบส้มโอ และไข่หนอนชอนใบ สำหรับการแยกใบส้มโอ ออกจากไข่หนอนชอนใบ โดยสีของใบส้มโอจะเป็นสีเขียว ส่วนสีของไข่จะเป็นสีขาวนวลไปจนถึงสีเหลืองนวล

3.1.3 ศึกษาวงจรชีวิตของหนอนชอนใบเพื่อกำหนด stage การตรวจจับที่เป็นลักษณะ preventive ซึ่ง stage ที่เป็นไข่จึงมีความเหมาะสม เนื่องจากว่าไข่หนอนชอนใบมีลักษณะรูปทรง และขนาดที่ตายตัว อยู่กับที่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

3.1.4 จากข้างต้นเทคนิคที่จะนำไปใช้ในการตรวจจับเบื้องต้นพิจารณาไว้ 2 เทคนิคด้วยกันคือ Rule-Based และ Machine learning แต่เนื่องด้วย Machine learning จะต้องมีการใช้ Dataset จำนวนมาก และเหมาะสมสำหรับโจทย์ที่มีความกำกวม และมีความไม่ชัดเจน คลุมเครือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกเทคนิค Rule-Based มาใช้สำหรับงานวิจัยการตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอ เนื่องจากว่าเทคนิค Rule-Based เหมาะกับโจทย์ที่มีคุณลักษณะชัดเจน ไม่ซับซ้อน ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะของไข่หนอนชอนใบส้มโอ

3.2 การนำเข้าภาพ (Image Acquisition)

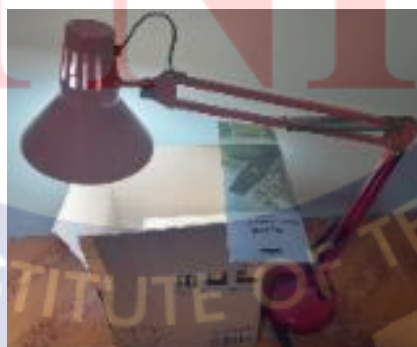
มี flow ภาพรวมการทำงานดังรูปที่ 3.2 เป็นกระบวนการถ่ายภาพใบส้มโอเพื่อใช้ในการงานวิจัยการตรวจจับไข่หนอนชอนใบด้วยวิธีประมวลผลภาพ โดยการถ่ายใบอ่อน ที่มีไข่หนอนชอนใบ และใบที่ไม่มีไข่หนอน ซึ่งถ่ายจากกล้องโทรศัพท์มือถือ Samsung Galaxy A13 ดังรูปที่ 3.3 กล้องมีความละเอียด 50 ล้าน pixel แบบ Auto Focus ที่ระยะห่างจากใบส้มโอ 10 เซนติเมตร โดยมีการใช้อุปกรณ์ช่วยควบคุมสภาพแสงซึ่งมีค่าความเข้มแสงประมาณ 125 lux ที่ทำขึ้นเองจากกล่องกระดาษ ดังรูปที่ 3.4 เพื่อให้ได้ภาพที่มีความสม่ำเสมอ และมีคุณภาพ มากที่สุด ภาพที่ได้มาทั้งหมดมีจำนวน 100 ภาพ (มีไข่ 52 ภาพ ไม่มีไข่ 48 ภาพ) จะมีการนำไปประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.2 การนำเข้าข้อมูลภาพ



รูปที่ 3.3 โทรศัพท์มือถือ Galaxy A13[42]



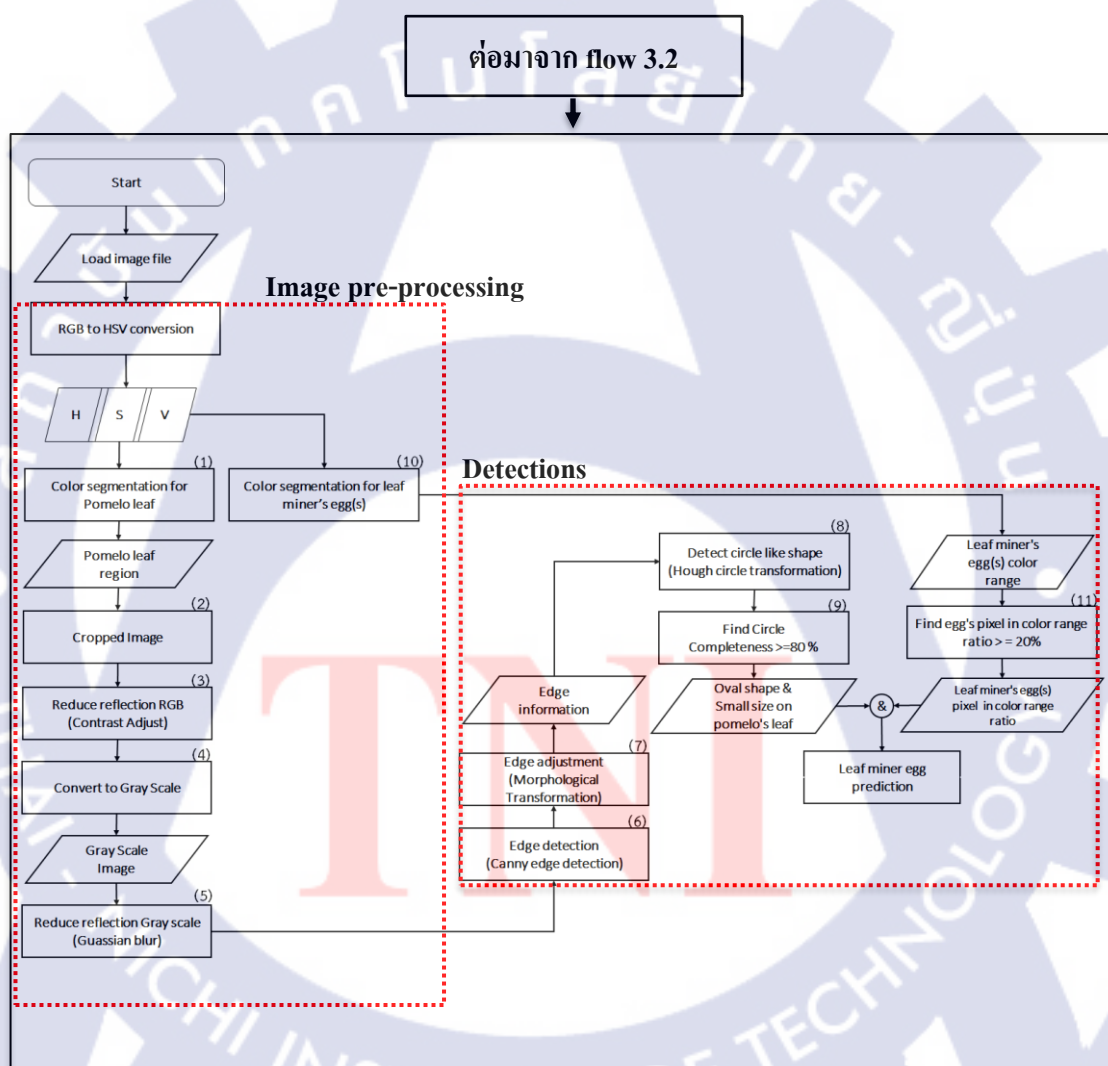
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ช่วยควบคุมสภาพแสง

3.3 การประมวลผลภาพขั้นต้น (Image pre-processing)

เป็นกระบวนการในการนำภาพถ่ายต้นฉบับของใบส้มโอมาทำการปรับเพื่อให้ภาพมีความพร้อมที่จะนำเข้าสู่กระบวนการการตรวจจับ ตาม Workflow ดังรูปที่ 3.5

3.4 การตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอ (Detection)

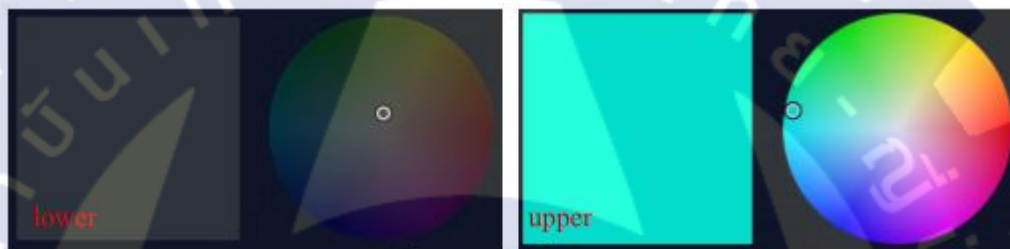
เป็นกระบวนการในการตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอ ต่อเนื่องจากการประมวลผลภาพขั้นต้น (Image pre-processing) ตาม workflow ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 Image pre-processing & detection workflow

จาก Image pre-processing and detection workflow ดังรูปที่ 3.5 แสดงถึงขั้นตอนในการประมวลผลเพื่อหาจำนวนของไช้หนอนซอนใบ (leaf miner) บนใบส้มโอ (pomelo leaf) โดยใช้การแปลงสีและการแบ่งกลุ่มสีร่วมกับการค้นหาวัดที่มีลักษณะเฉพาะตามกระบวนการดังนี้

(1) Color Segmentation[24], [26], [30] for Pomelo Leaf เพื่อ แยกใบส้มโอ กับพื้นหลังออกจากกัน และหาขอบเขตของสีที่เป็นใบส้มโอ โดยจะทำการโหลดภาพต้นฉบับที่เป็นตัวแทนแล้วแปลงจากภาพ RGB เป็น HSV ซึ่งได้จำนวนพิกเซลที่เป็นอาณาบริเวณของใบส้มโอ มา 1,031,506 พิกเซล แล้วทำการหาค่า min(H), min(S), min(V) เพื่อนำไปกำหนดเป็นค่าช่วงสีของ lower และ ทำการหาค่า max(H) ส่วนค่า S และ V กำหนดเป็น 255 เพื่อนำไปกำหนดค่าช่วงสีของ upper ซึ่งค่า lower ที่ได้จะเป็น $H = 77.87^\circ$, $S = 15.63\%$, $V = 21.20\%$ ค่า upper จะได้ $H = 169.53^\circ$, $S = 100\%$, $V = 100\%$ ดังตัวอย่างของสี รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างสีของช่วงสี

(2) Crop image เพื่อเลือกเฉพาะอาณาบริเวณของใบส้มโอที่ได้จากการทำ color segmentation มาแสดงบนหน้าจอ โดยใช้ช่วงสีที่ได้จากการทำ color segmentation มาทำการ Mask ด้วย cv2.inRange ซึ่งจะให้ค่าพิกเซลเป็น 255 หากสีอยู่ในช่วงที่กำหนด และ 0 หากไม่ใช่ ใช้ cv2.findContours เพื่อหาขอบเขตของวัตถุใน Mask และเลือก Contour ที่มีพื้นที่ใบส้มโอ หลังจากได้ Contour ของใบส้มโอแล้ว ใช้ cv2.boundingRect เพื่อหาขอบเขตสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ล้อมรอบ Contour จากนั้น ภาพต้นฉบับจะถูกตัดตามขอบเขตที่คำนวณได้ทำให้การวิเคราะห์และการตรวจจับไช้หนอนซอนใบ มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

สมการหาอัตราส่วนของความกว้าง และความสูงของภาพต้นฉบับกับ ความกว้าง และความสูงที่ต้องการให้แสดงผลในหน้าจอ

$$\text{scale} = \min \left(\frac{\text{max_width}}{w}, \frac{\text{max_height}}{h} \right) \quad (3.1)$$

max_width คือ ขนาดความกว้างมากที่สุดที่ต้องการการจะแสดงบนหน้าจอ

max_height คือ ขนาดความสูงมากที่สุดที่ต้องการการจะแสดงบนหน้าจอ

w,h คือขนาดความกว้าง สูงของภาพต้นฉบับ

สมการการปรับขนาดของภาพใหม่

$$\text{new_width} = w \times \text{scale}, \quad \text{new_height} = h \times \text{scale} \quad (3.2)$$

สมการคำนวณหาขอบเขตในภาพต้นฉบับ

$$\begin{aligned} x_{\text{original}} &= x \times \text{scale_w}, & y_{\text{original}} &= y \times \text{scale_h} \\ w_{\text{original}} &= w \times \text{scale_w}, & h_{\text{original}} &= h \times \text{scale_h} \end{aligned} \quad (3.3)$$

X,Y คือ พิกัดจุดเริ่มต้น (มุมซ้ายบน) ของขอบเขตสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ล้อมรอบ Contour ของไบสมโอ ในภาพที่ปรับขนาดแล้ว

w,h คือ ความกว้างและความสูงของขอบเขตสี่เหลี่ยมที่ล้อมรอบ Contour ของไบสมโอ ในภาพที่ปรับขนาดแล้ว

scale_w, scale_h คือ อัตราส่วนการปรับขนาดระหว่างภาพต้นฉบับ และภาพที่ปรับขนาดแล้ว

(3) Contrast adjustment [24], [25] เพื่อลดอิทธิพลของแสงสะท้อน โดยการปรับที่ alpha ซึ่งเป็นการปรับ contrast แบบคูณ และปรับที่ gamma ซึ่งเป็นการปรับแบบยกกำลัง เพื่อลดความสว่างส่งผลให้แสงสะท้อนที่อยู่บนไบสมโอลดลง เน้นวัตถุที่เป็นรูปวงกลมให้ดูชัดเจนขึ้นจะทำให้การตรวจจับไบสมโอและไขไขหนอนซอนไบ ทำได้ดีขึ้น แสงสะท้อนทำให้บางส่วนของภาพสว่างเกินไป การลดค่า $\alpha < 1$ จะช่วยลดความสว่างของภาพทั้งภาพ รวมถึงส่วนที่สว่างเกินไปจากแสงสะท้อน การลดค่า $\gamma < 1$ จะทำให้ภาพส่วนที่มีมืดจะสว่างขึ้นกว่าส่วนที่สว่าง, ในการปรับปรุงคุณภาพของภาพ ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับ contrast และ brightness โดยใช้ค่า $\alpha = 1.5$ และ $\beta = 10$ และสำหรับ gamma correction ใช้ค่า $\gamma = 1.2$ ซึ่งค่าดังกล่าวได้จากการทดลองปรับค่าหลายรูปแบบเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของภาพไบสมโอและไขไขหนอนซอนไบ

สมการของการปรับ contrast

$$g(i,j) = \alpha \cdot f(i,j) + \beta \quad (3.4)$$

$g(i,j)$ คือค่าความสว่างของPixelในภาพผลลัพธ์ ที่ตำแหน่งเดียวกัน

$f(i,j)$ คือค่าความสว่างของPixelในภาพต้นทางที่ตำแหน่งแถวที่ i และคอลัมน์ที่ j

α เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมความต่าง (Contrast)

β เป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมความสว่าง (Brightness)

สมการของการปรับ contrast แบบยกกำลัง(gamma)

$$O = \left(\frac{I}{255} \right)^\gamma \times 255 \quad (3.5)$$

I คือค่าPixelต้นทาง

γ คือพารามิเตอร์ที่ควบคุมการปรับความสว่าง(ถ้า $\gamma < 1$ ส่วนมืดของภาพจะสว่างขึ้นมากกว่าส่วนสว่าง, ถ้า $\gamma > 1$ ส่วนมืดของภาพจะมีดลงมากกว่าส่วนสว่าง

255 คือค่าความสว่างสูงสุดของPixelในภาพ 8-bit

(4) Convert RGB to gray scale [27], [30], [32], [37] เพื่อลดความซับซ้อนของสีที่ก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการ ในการลดอิทธิพลแสงสะท้อนที่ยังหลงเหลืออยู่จากการปรับ contrast เพิ่มเติม ด้วย Gaussian Blur ต่อไป

สมการแปลงภาพ RGB เป็น Gray Scale

$$\text{Gray} = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (3.6)$$

(5) Smoothing Filter Gaussian Blur(cv2.Gaussian Blur) [26], [37] kernel เริ่มต้น ที่ 3x3 เพื่อลดแสงสะท้อนบนภาพ gray scale ที่หลงเหลืออยู่จากการปรับ contrast ทำให้ภาพเบลอ มีผลต่อการลดแสงสะท้อนทางอ้อม เนื่องจากแสงสะท้อนมักปรากฏเป็นบริเวณที่สว่างมากและมี

ขอบเขตชัดเจน การเบลลอภาพจะช่วยลดความคมชัดของขอบเขตเหล่านี้ ทำให้แสงสะท้อนดูจางลง และกระจายความสว่างของแสงสะท้อนไปยังพิกเซลรอบ ๆ ช่วยให้การตรวจจับขอบ (edge detection) ในขั้นตอนต่อไป

สมการของ Gaussian blur

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3.7)$$

$G(x, y)$ คือ ค่าของฟังก์ชัน ณ ตำแหน่ง (x, y)

$\exp$ คือ ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (e ยกกำลัง)

π (pi) คือ ค่าคงที่ไพ (ประมาณ 3.14159)

σ (sigma) คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งควบคุมความกว้างของการกระจาย

(6) Canny edge detection (cv2.Canny)[27], [28] เพื่อทำการหาขอบของใบส้มโอ และใช้หนอนซอนใบส้มโอ โดยมีขั้นตอนการทำงานหลักได้แก่ การลดสัญญาณรบกวน การคำนวณ Gradient และทิศทางของขอบ การกดขอบที่ไม่เกี่ยวข้อง (Non-Maximum Suppression) และการกำหนดขอบด้วย Hysteresis Thresholding ช่วยให้การตรวจจับขอบมีความแม่นยำมากขึ้น อัลกอริธึมจะคำนวณ Gradient ในแนวแกน X และ Y เพื่อหาขนาดและทิศทางของขอบ Non-Maximum Suppression จะกดขอบที่ไม่เกี่ยวข้องออกเพื่อให้เหลือเพียงขอบที่ชัดเจนที่สุด และขั้นตอน Hysteresis Thresholding จะใช้ค่าขีดเริ่มต้น (Lower Threshold) และค่าขีดสูงสุด (Upper Threshold) เพื่อกำหนดขอบที่ชัดเจนและขอบที่อาจเป็นไปได้ โดยขอบที่อาจเป็นไปได้จะถูกรวมเข้ากับขอบที่ชัดเจนหากมีเส้นทางเชื่อมต่อ ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพไบนารี (Binary Image) ที่มีค่าพิกเซลเป็น 0 (ไม่ใช่ขอบ) หรือ 255 (เป็นขอบ) ซึ่งช่วยในการระบุรูปร่างและโครงสร้างของใบส้มโอ และใช้หนอนซอนใบได้ชัดเจนขึ้น

สมการการหาความชัน(Gradient) ใน canny edge detection

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}, \quad \theta = \arctan\left(\frac{I_y}{I_x}\right) \quad (3.8)$$

I_x คือ Gradient ในแกน x (ความชันในแนวแกน x)

I_y คือ Gradient ในแกน y (ความชันในแนวแกน y)

$|G|$ คือ ขนาดของ Gradient (Gradient Magnitude)

θ คือ ทิศทางของ Gradient (Gradient Direction)

$\arctan$ คือ เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หามุมจากอัตราส่วนของด้านตรงข้าม และด้านประชิดในรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก

(7) Morphological Operations[29], [37], [43] เพื่อปรับแต่งขอบที่ตรวจจับได้จาก canny edge detection ให้ขอบของเส้นขอบเรียบมีความชัดเจน ต่อเนื่องและมนขึ้น โดยจะใช้ Dilation structure element แบบสี่เหลี่ยมด้านเท่า 5×6 และ Erosion แบบสี่เหลี่ยมด้านเท่าขนาด 1×1 เพื่อปรับแต่งภาพขอบที่ได้จาก Canny Edge Detection ซึ่งเป็นภาพ binary โดย Dilation kernel ขนาด 5×6 ให้ผลลัพธ์ที่มีความต่อเนื่องของการเชื่อมต่อขอบสูงสุด พร้อมทั้งมีการบิดเบือนรูปร่างน้อยที่สุด และ Erosion kernel ขนาด 1×1 เพื่อกำจัดส่วนเกินของขอบที่เกิดจากกระบวนการ Dilation ก่อนหน้า

สมการของ dilation

$$A \oplus B = \{z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (3.9)$$

A คือภาพต้นฉบับ

B คือโครงสร้างองค์ประกอบ

$\oplus$ คือสัญลักษณ์ของการขยายภาพ

z คือ Pixel ในภาพผลลัพธ์

สมการของ erosion

$$A \ominus B = \{z \mid B_z \subseteq A\} \quad (3.10)$$

A คือภาพต้นฉบับ

B คือโครงสร้างองค์ประกอบ

$\ominus$ คือสัญลักษณ์ของการขยายภาพ

z คือPixelในภาพผลลัพธ์

(8) ใช้ Hough Circle Transformation[33], [35], [39] ทำเพื่อตรวจจับวงกลมในภาพของขอบที่ผ่านการปรับแต่ง เพื่อการค้นหาวงกลมที่มีขนาดและลักษณะที่กำหนด, สำหรับการตรวจจับรูปทรงวงกลมด้วย Hough Circle Transform ได้กำหนดค่า param2 = 12 ซึ่งเป็นค่า threshold สำหรับการยืนยันการตรวจจับวงกลม โดยค่าดังกล่าวได้จากการทดลองพบว่าค่า 12 ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

สมการของ Hough Circle Transformation

$$(x - x_{center})^2 + (y - y_{center})^2 = r^2 \quad (3.11)$$

(x,y) คือจุดใดๆ บนเส้นรอบวงของรูปทรงที่มีแนวโน้มเป็นวงกลม

(xcenter,ycenter) คือจุดศูนย์กลางของรูปทรงที่มีแนวโน้มเป็นวงกลม

r คือรัศมีของวงกลม

(9) ทำการประเมินความสมบูรณ์ของเส้นรอบวง (completeness) เพื่อหา แนวโน้มของความเป็นไขหนอนซอนไบ โดยเปรียบเทียบระหว่างความยาวเส้นรอบวงที่คำนวณได้จากจำนวนPixel ที่อยู่บนเส้นรอบวง เส้นรอบวงที่คำนวณได้จากสมการ $2\pi r$ หากความสมบูรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 80% จะถือว่าวงกลมนั้นมีความเป็นไขหนอนซอนไบ

สมการการหาจำนวน Pixel ที่อยู่บนเส้นรอบวงของกลม[44]

$$\text{contour_perimeter} = \sum (\text{detected_contour} == 255) \quad (3.12)$$

Detected_countour คือ Pixel แต่ละ Pixel บนเส้นรอบวงของกลม

สมการหาความสมบูรณ์ของวงกลม[45]

$$\text{completeness} = \left(\frac{\text{contour_perimeter}}{\text{circumference}} \right) \times 100 \quad (3.13)$$

contour_perimeter คือจำนวน Pixel ที่ตรวจพบในเส้นวงกลมที่วาดลงบนภาพ

circumference คือเส้นรอบวงของวงกลมที่คำนวณได้จากสูตร $2\pi r$ (โดยที่ r คือรัศมีของวงกลม)

(10) Color Segmentation[24], [26], [30] for Leaf Miner's Egg(s) เพื่อแบ่งกลุ่มช่วงสีสำหรับไข่หนอนชอนใบให้ครอบคลุมทุกกลุ่มเงื่อนไขของสีไข่หนอนชอนใบสำหรับนำไปกำหนดกฎเกณฑ์ในการตรวจจับไข่หนอนชอนใบที่ครอบคลุมทุกกลุ่มเงื่อนไข โดยทำการตั้งค่า พิกเซล ของไข่ที่เป็นตัวแทนจำนวน 74 ฟอง ได้เป็น 73,871 พิกเซล แล้วนำมาทำการหาค่า mean(μ) ของ H กับ Standard deviation(σ) และ หาค่า max, min ของ S,V เพื่อนำไปกำหนดค่าช่วงสีของ lower, upper ของทุกกลุ่มเงื่อนไขของไข่หนอนชอนใบดังตารางที่ 3.1 และตัวอย่างรูปช่วงสีในรูปที่ 3.7–3.11

ตารางที่ 3.1 ตารางช่วงสีของกลุ่มไข่หนอนชอนใบส้มโอ

Egg Group	Mean of Hue	Std Dev of Hue (σ)	Lower color range			Upper		
			$\mu - \sigma(H)$	min(S)	min(V)	$\mu + \sigma(H)$	max(S)	max(V)
Whitish	88.26°	8.98°	79.28°	0.39%	23.53%	97.24°	100.00%	98.04%
Light Yellow	73.90°	13.92°	59.98°	0.39%	23.53%	87.82°	100.00%	98.04%
Dark Yellow	70.08°	11.64°	58.44°	0.39%	23.53%	81.72°	100.00%	98.04%
Dark	76.74°	21.26°	55.48°	0.39%	23.53%	98.00°	100.00%	98.04%
Others	73.90°	14.22°	59.68°	0.39%	23.53%	88.12°	100.00%	98.04%

μ หมายถึงค่า mean

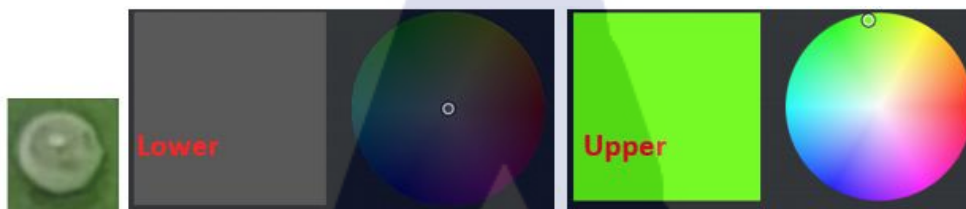
σ หมายถึงค่า Standard deviation

H หมายถึงค่า Hue

S หมายถึงค่า Saturation

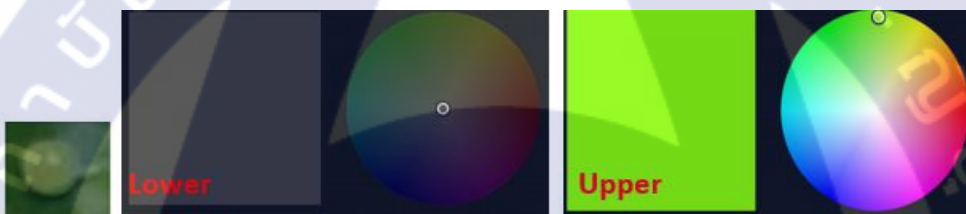
V หมายถึงค่า Value

ช่วงสี ขาวนวล Lower 79.28°, 0.39%, 23.53% upper 97.24°, 100.00%, 98.04%



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างช่วงสีขาวนวล

ช่วงสี เหลืองนวล Lower 59.98°, 0.39%, 23.53% upper 87.82°, 100.00%, 98.04%



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างช่วงสีเหลืองนวล

ช่วงสี เหลืองคล้ำ Lower 58.44°, 0.39%, 23.53% upper 81.72°, 100.00%, 98.04%



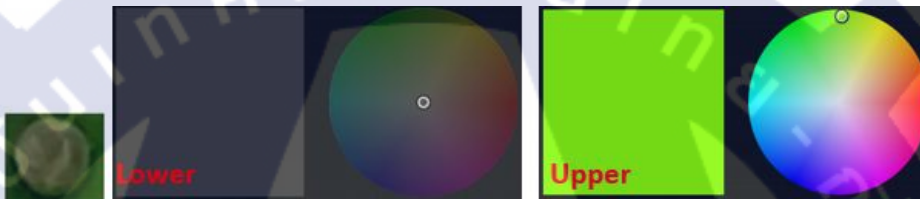
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างช่วงสีเหลืองคล้ำ

ช่วงสี คล้ำ Lower 55.48°, 0.39%, 23.53% upper 98.00°, 100.00%, 98.04%



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างช่วงสีคล้ำ

ช่วงสี อื่นๆ Lower 59.68°, 0.39%, 23.53% upper 88.12°, 100.00%, 98.04%



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างช่วงสีอื่นๆ

(11) Pixel ranges percentage เพื่อหาอัตราความเป็นสีที่อยู่ในกลุ่มช่วงสี ของไข่หนอน
 ขอนใบที่อยู่ในวงกลมที่ตรวจจับได้ด้วยรูปทรง+ขนาด หากมี เปอร์เซนต์สีมากกว่าหรือเท่ากับ 20%
 จะวาดวงกลมอีก 1 วง และนับจำนวนวงกลมที่ผ่าน เกณฑ์เป็นจำนวนไข่หนอน ดังตัวอย่างผลลัพธ์ใน
 รูปที่ 3.12

สมการหาอัตราส่วนของสีที่ตรวจพบในวงกลม[46]

$$\text{pixel_percentage} = \left(\frac{\text{total_color_pixels}}{\text{pixel_count}} \right) \times 100 \quad (3.14)$$

total_color_pixel จำนวน pixel ทั้งหมดที่ตรวจจับช่วงสีในรูปวงกลมได้

pixel_count จำนวน pixel ทั้งหมดภายในรูปวงกลมที่วาด



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจจับ

3.4 การประเมินผล (Evaluation)

การประเมินผลลัพธ์การตรวจจับ (Evaluation) การประเมินการตรวจจับไขหนอนซอนใบส้มโอ จะใช้วิธีการประเมินด้วย 2 วิธี

3.4.1 การประเมินด้วย confusion matrix ที่เน้นการทดสอบความแม่นยำของการตรวจจับ และวัดประสิทธิภาพการทำงานตามลักษณะเฉพาะที่ได้จากการประมวลผลภาพ และความสอดคล้องกันระหว่าง การตรวจจับไขหนอนซอนใบส้มโอ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางโครงสร้าง confusion matrix ของการตรวจจับไขหนอนซอนใบ

Actual \ Prediction	Prediction	
	มีไขหนอน	ไม่มีไขหนอน
มีไขหนอน	True Positive (TP) (ทำนายว่ามีไข ของจริงก็มีไข)	False Negative (FN) (ทำนายว่าไม่มีไข แต่ของจริงมีไข)
ไม่มีไขหนอน	False Positive (FP) (ทำนายว่ามีไข แต่ของจริงไม่มีไข)	True Negative (TN) (ทำนายว่าไม่มีไข ของจริงก็ไม่มีไข)

และการประเมินผลด้วยการใช้ confusion matrix มีดังนี้

Accuracy (ความถูกต้องในการตรวจจับ) คือการวัดสัดส่วนของการตรวจจับที่ถูกต้องเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ทั้งหมด วิธีนี้จะวัดว่ากฎที่ตั้งขึ้นสามารถตรวจจับไข้หวัดได้ถูกต้องหรือไม่ โดยนับทั้งการตรวจจับที่ถูกต้อง (True Positive) และการไม่ตรวจจับเมื่อไม่มีไข้หวัด (True Negative)

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (3.15)$$

Precision (ความแม่นยำในการตรวจจับ) ใช้ในการประเมินความสามารถที่ระบุไข้หวัดซ่อนใบได้ถูกต้องแค่ไหนในกลุ่มที่ถูกระบุว่าเป็นไข้หวัด ค่าที่สูงหมายถึงการระบุไข้หวัดที่แท้จริงได้โดยไม่มีการตรวจจับผิดพลาดมากนัก

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3.16)$$

Recall (ความไวในการตรวจจับ) วัดว่าวิธีการตรวจจับไข้หวัดสามารถตรวจพบไข้หวัดได้มากแค่ไหนจากไข้หวัดทั้งหมดที่มีอยู่ในภาพ ค่านี้ยิ่งสูงแปลว่าระบบสามารถตรวจจับไข้ได้ครอบคลุม

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3.17)$$

F1-Score เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณค่าเฉลี่ยระหว่าง Precision และ Recall เพื่อนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพโดยรวมของวิธี rule-based ถ้าค่าของ Precision และ Recall แตกต่างกันมาก F1-Score จะช่วยชี้ให้เห็นถึงความสมดุลในการตรวจจับ

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3.18)$$

Error (ความผิดพลาดในการตรวจจับ) สัดส่วนของจำนวนครั้งที่โมเดลทำนายผิด เมื่อเทียบกับจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ประเมิน

$$\text{Error} = \frac{FP + FN}{TP + FP + FN + TN} \quad (3.19)$$

จากวิธีการประเมินข้างต้นเราจำเป็นมีการกำหนดตารางเปรียบของเพื่อรองรับผลการทดลองที่มีทั้งหมด 33 รูปภาพ ดังตารางที่ 3.3 เพื่อให้เกิดความเข้าใจในผลของการประเมิน หรือสิ่งที่ควรนำไปพิจารณาเพื่อการปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 3.3 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจจับไข่นอนซอนไบบนไบอ่อนส้มโอที่มีไข่และไม่มีไข่ 50 ภาพ

Prediction \ Actual	โมเดลทำนายว่ามีไข่	โมเดลทำนายว่าไม่มีไข่
ในภาพไบส้มโอที่มีไข่ 26	True Positive (TP)	False Negative (FN)
ในภาพไบส้มโอที่ไม่มีไข่ 24	False Positive (FP)	True Negative (TN)

3.5 การออกแบบการทดลอง (Experimental design) จะประกอบไปด้วย

3.5.1 อุปกรณ์สำหรับการถ่ายรูป ใช้โทรศัพท์มือถือ Samsung Galaxy A13 ดังรูปที่ 3.3 ที่มีความละเอียด 50 ล้าน Pixel แบบ Auto Focus ที่ระยะห่างจากไบส้มโอ 10 เซนติเมตร โดยมีการใช้ อุปกรณ์ช่วยควบคุมแสงที่ทำขึ้นเองจากกล่องกระดาษ คุณสมบัติของกล่องเป็นดังนี้

- กล้องหลักมีความละเอียด 50 ล้าน Pixel รูรับแสง f/1.8 มีระบบ PDAF (Phase Detection Autofocus) สำหรับการโฟกัสที่รวดเร็วและแม่นยำ

- กล้องอัลตราไวด์ ความละเอียด 5 ล้าน Pixel รูรับแสง f/2.2 มุมมองกว้าง 123 องศา สำหรับการถ่ายภาพมุมกว้าง

- กล้องมาโคร ความละเอียด 2 ล้าน Pixel รูรับแสง f/2.4 ใช้สำหรับการถ่ายภาพระยะใกล้

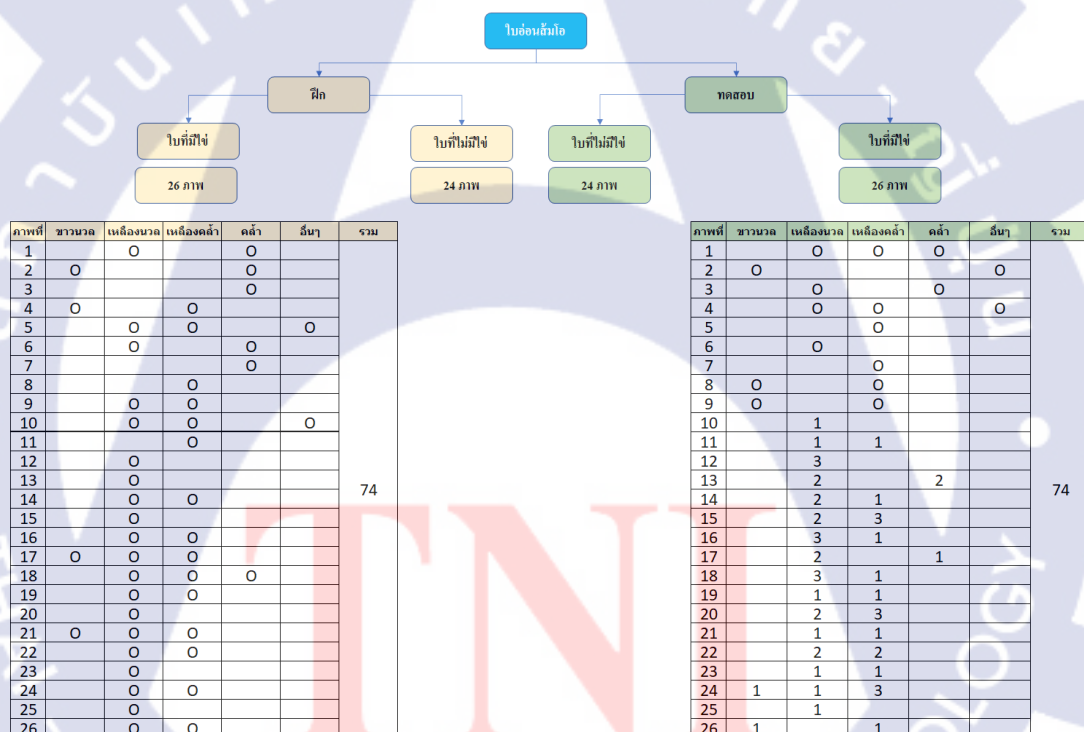
- กล้องความลึก ความละเอียด 2 ล้าน Pixel รูรับแสง f/2.4 ใช้สำหรับการปรับความลึกของภาพ เช่น การสร้างเอฟเฟกต์ bokeh

- กล้องหน้าความละเอียด 8 ล้าน Pixel มีเอฟเฟกต์ bokeh สำหรับการถ่ายภาพเซลฟี่

3.5.2 อุปกรณ์สำหรับการทำ pre-preprocessing และ main processing เป็น computer laptop ยี่ห้อ LENEVO รุ่น LOQ 15APH8-82XT004GTA หน่วยประมวลผล AMD Ryzen 7 7840HS (3.80 GHz up to 5.10 GHz, 16 MB L3 Cache) หน่วยประมวลผลภาพ NVIDIA GeForce RTX 4050 (6GB GDDR6) หน่วยความจำ 16 GB DDR5 5600Mhz หน่วยเก็บข้อมูล 512 GB SSD PCIe M.2 Gen 4

3.5.3 Softwareสำหรับการทำ pre-processing และ main processing ประกอบด้วย Windows 11 Home Single Language, Python, Vs Code, OpenCV library, Photoshop

3.5.4 จำนวนภาพที่นำมาใช้ในการทดลองทั้งหมด 100 ภาพ แบ่งเป็นข้อมูลภาพสำหรับการฝึก 50 ภาพ และข้อมูลภาพสำหรับการทดสอบ 50 ภาพ โดยตามโครงสร้างดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 โครงสร้างข้อมูลภาพ

3.5.5 เพื่อที่จะนำรูปแบบที่ดีที่สุดไปทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ (ฝึก โมเดล) ในการตรวจจับไข่หนอนชอนใบ จากภาพต้นฉบับของใบที่มีไข่ 26 ภาพ และใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ ไปทั้งหมด 35 รูปแบบ รายละเอียดดังข้อมูลในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตารางรายการปรับแต่งพารามิเตอร์

รูปแบบ	Contrast	Gamma	Guassian Blur	Canny threshold	Dilation	Erosion	Hough Circle Transformation's parameter					
							dP	minDist	Param1	Param2	minRadius	maxRadius
1	Alpha = 1	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
2	Alpha = 0.9	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
3	Alpha = 0.8	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
4	Alpha = 0.7	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
5	Alpha = 0.6	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
6	Alpha = 0.6	1	3x3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
7	Alpha = 0.6	1	3x3	20, 235	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
8	Alpha = 0.6	1	3x3	30, 225	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
9	Alpha = 0.6	1	3x3	40, 215	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
10	Alpha = 0.6	1	3x3	50, 205	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
11	Alpha = 0.6	1	3x3	50, 205	5 x 5	1 x 1	1	10	1	1	3	13
12	Alpha = 0.6	1	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	1	3	13
13	Alpha = 0.5	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
14	Alpha = 0.6	0.9		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
15	Alpha = 0.6	0.8		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
16	Alpha = 0.7	0.8		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
17	Alpha = 0.7	0.8	3x3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
18	Alpha = 0.7	0.8	3x3	20, 235	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
19	Alpha = 0.7	0.8	3x3	30, 225	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
20	Alpha = 0.7	0.8	3x3	40, 215	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
21	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
22	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 5	1 x 1	1	10	1	1	3	13
23	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	1	3	13
24	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	2	3	13
25	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	4	3	13
26	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	6	3	13
27	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	8	3	13
28	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	10	3	13
29	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 6	1 x 1	1	10	1	12	3	13
30	Alpha = 0.7	0.7		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
31	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
32	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	20, 235	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
33	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	30, 225	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
34	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	40, 215	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
35	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	50, 205	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13

วัตถุประสงค์ของการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้

Alpha, gamma, gaussian เพื่อลดอิทธิพลของแสงสะท้อน

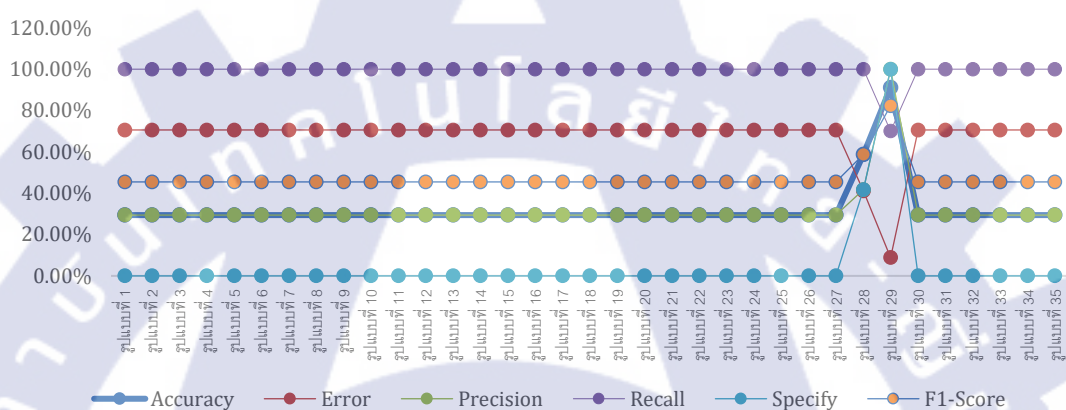
Canny Threshold เพื่อควบคุมความละเอียดและความแม่นยำในการตรวจจับขอบ

Dilation เพื่อปรับความคมชัดของเส้นขอบ, Erosion เพื่อให้ขอบมีความมนขึ้น

Hough circle transform

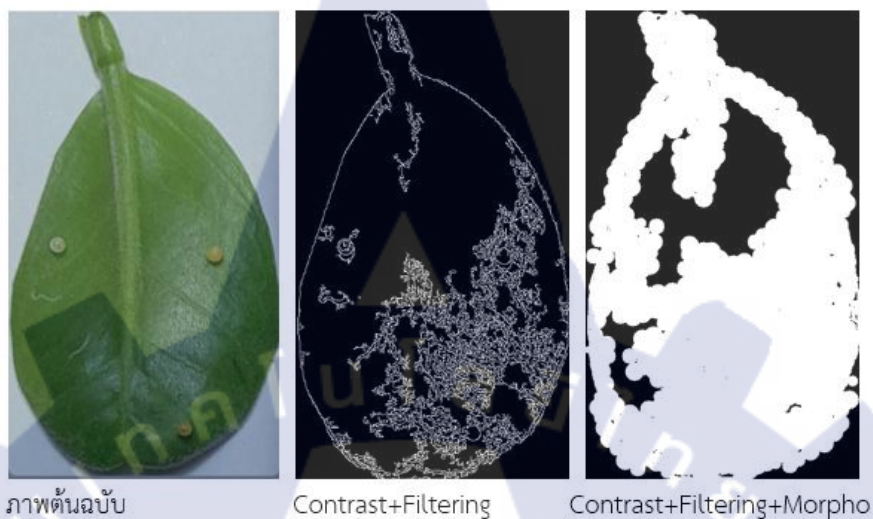
Dp เพื่อกำหนดอัตราส่วนค่าความละเอียดของภาพต้นฉบับ, minDist เพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างไขหนอน, Param1 เพื่อความละเอียดในการตรวจจับขอบก่อนหาวงกลม, Param2 เพื่อความเข้มงวดในการตรวจจับวงกลม, minRadius และ maxRadius เพื่อกำหนดช่วงรัศมีของวงกลมสำหรับตรวจจับ

ภาพรวมของผลการปรับพารามิเตอร์(ฝึกโมเดล)ทั้ง 35 รูปแบบ สำหรับการตรวจจับไขหนอนซอนไบ โดยใช้การตรวจจับรูปทรง+ขนาดเป็นพื้นฐาน ดังรูปที่ 3.14



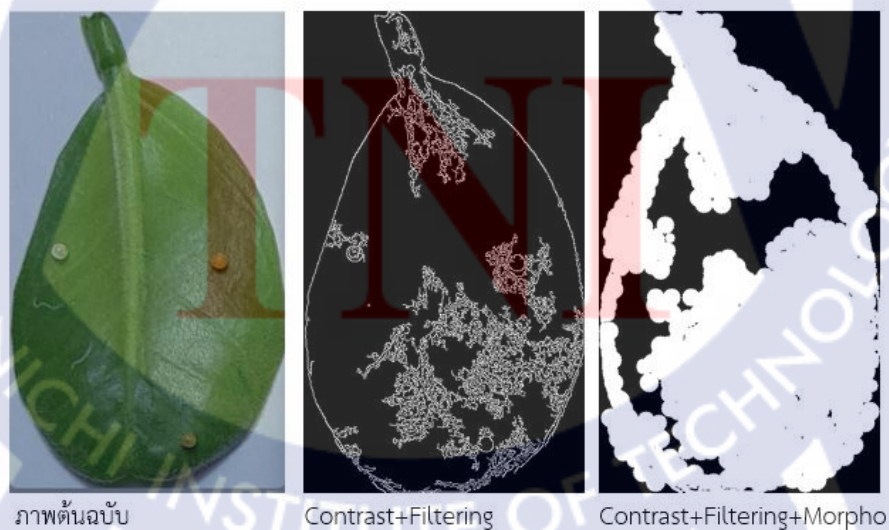
รูปที่ 3.14 ภาพรวมผลการปรับพารามิเตอร์(ฝึกโมเดล)

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับแต่ง พารามิเตอร์รูปแบบที่ 1 ดัง
รูปที่ 3.15



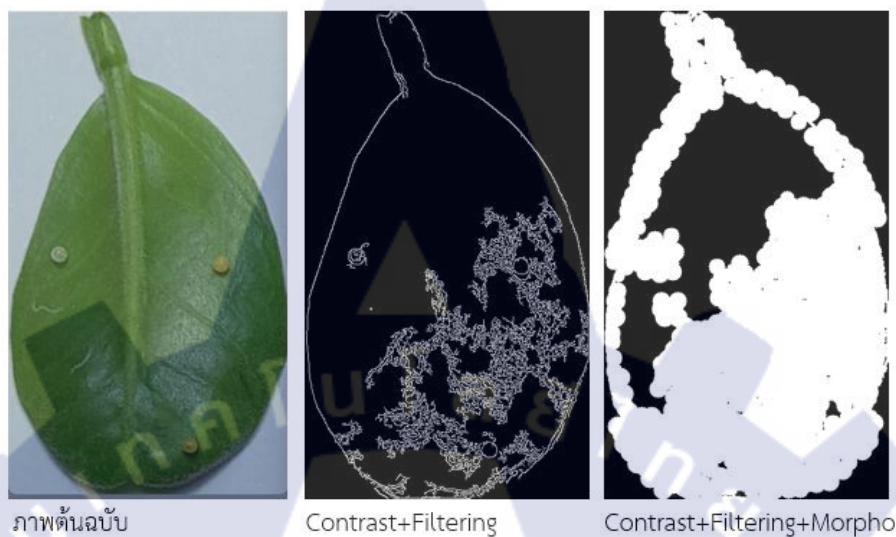
รูปที่ 3.15 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 1

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับแต่ง พารามิเตอร์รูปแบบที่ 2 ดัง
รูปที่ 3.16



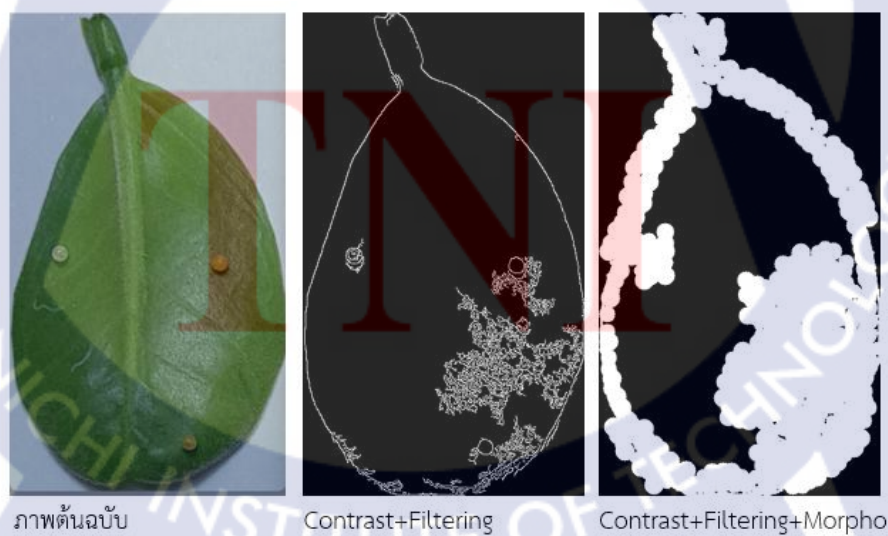
รูปที่ 3.16 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 2

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับแต่ง พารามิเตอร์รูปแบบที่ 3 ดัง
รูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 3

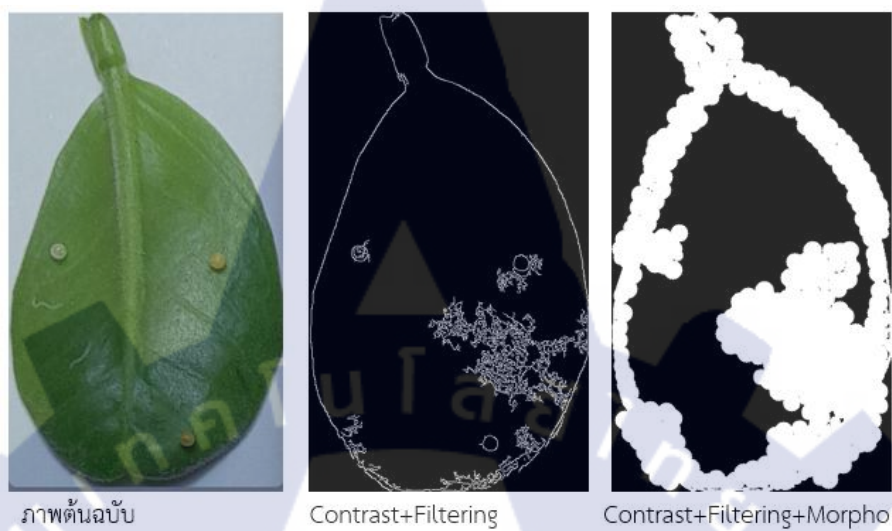
ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับแต่ง พารามิเตอร์รูปแบบที่ 4 ดัง
รูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 4

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 5 ดังรูปที่

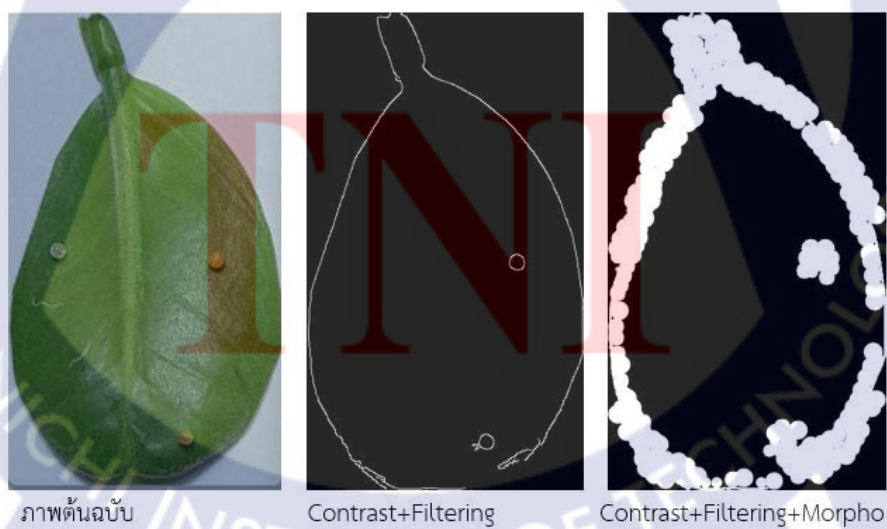
3.19



รูปที่ 3.19 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 5

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 6 ดังรูปที่

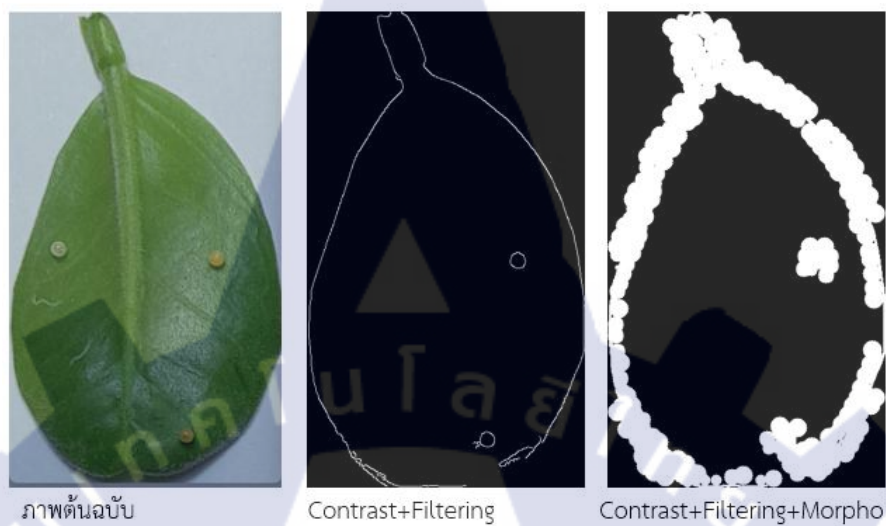
3.20



รูปที่ 3.20 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 6

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 7 ดังรูปที่

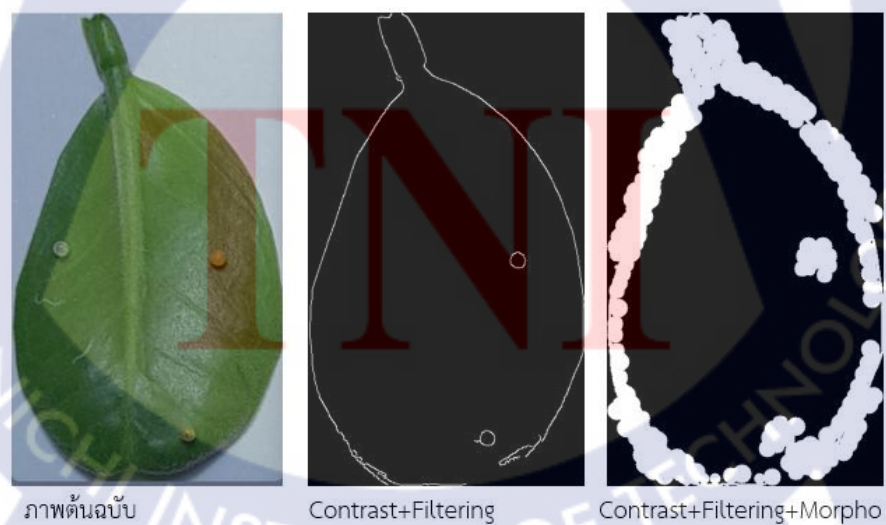
3.21



รูปที่ 3.21 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 7

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 8 ดังรูปที่

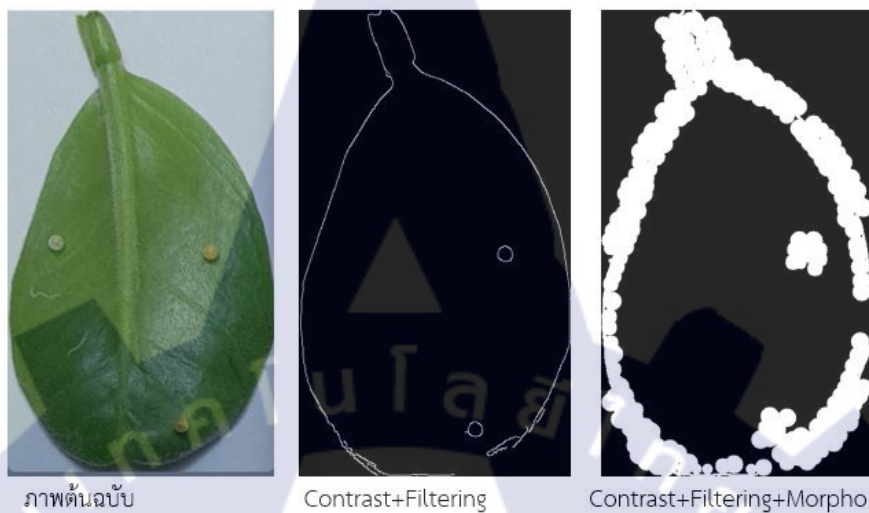
3.22



รูปที่ 3.22 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 8

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 9 ดังรูปที่

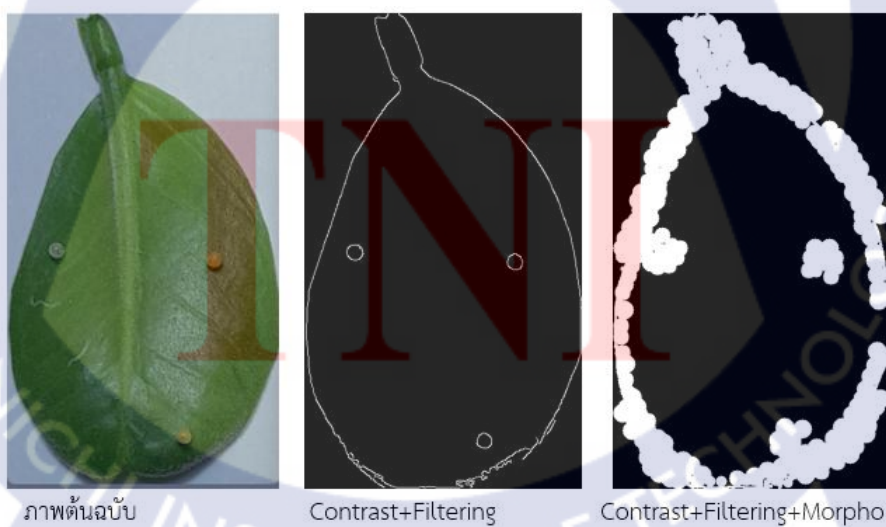
3.23



รูปที่ 3.23 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 9

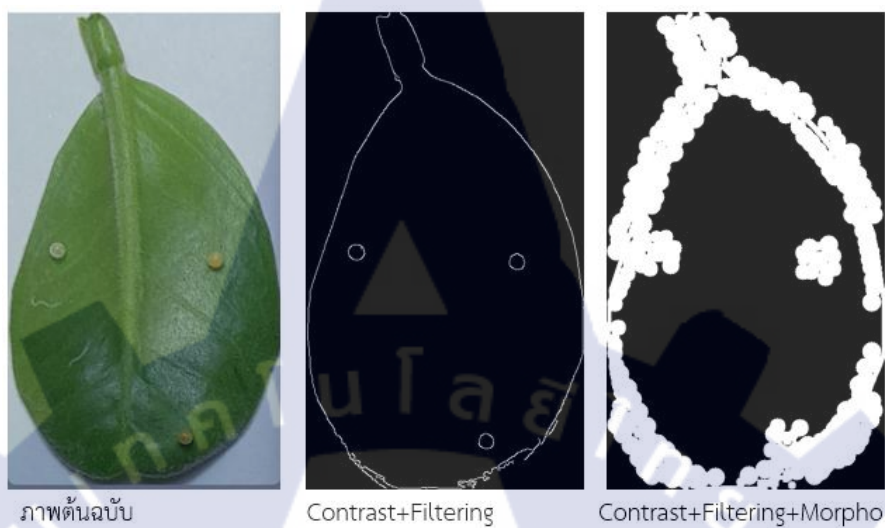
ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 10 ดังรูป

ที่ 3.24



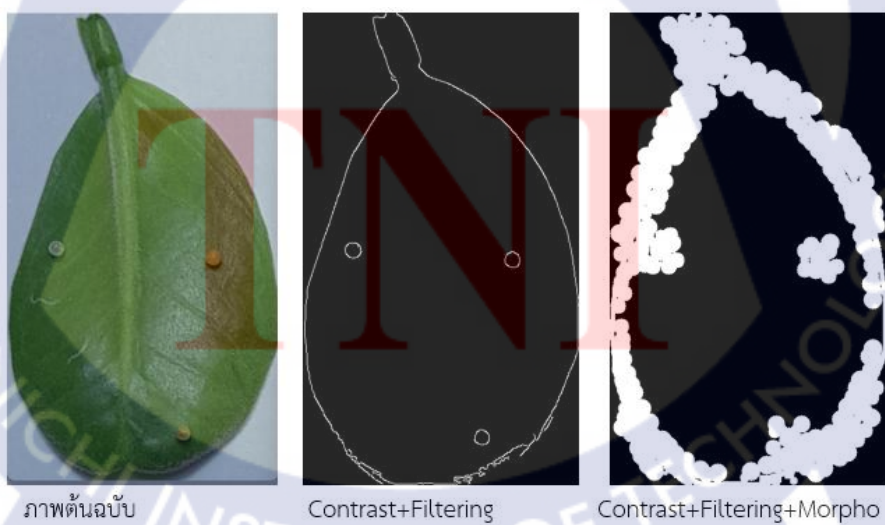
รูปที่ 3.24 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 10

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 11 ดังรูป
ที่ 3.25



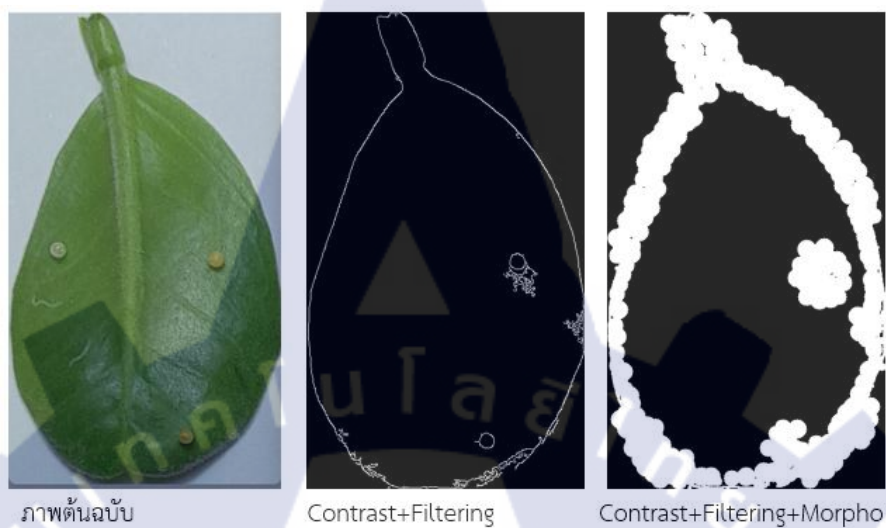
รูปที่ 3.25 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 11

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 12 ดังรูป
ที่ 3.26



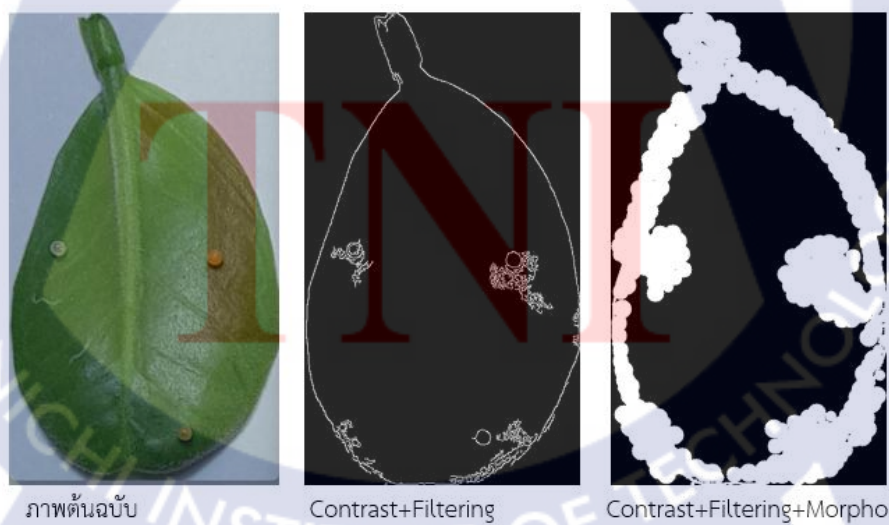
รูปที่ 3.26 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 12

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 13 ดังรูป
ที่ 3.27



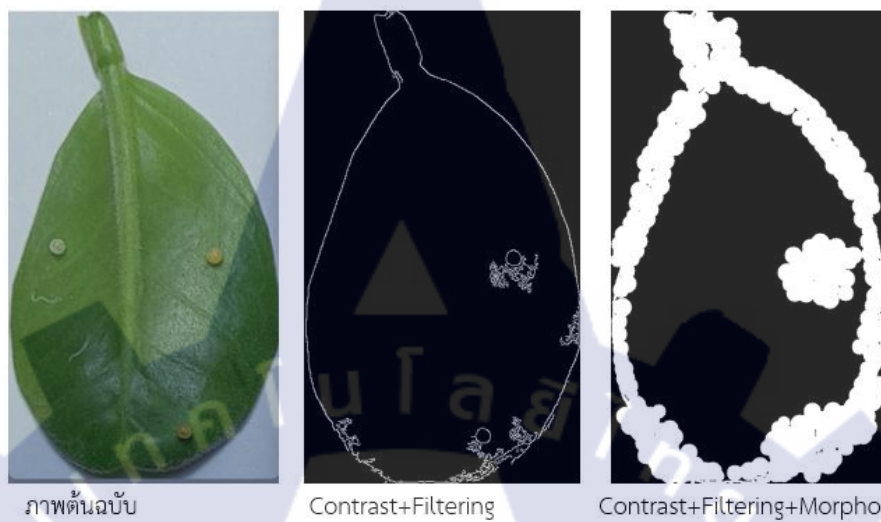
รูปที่ 3.27 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 13

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 14 ดังรูป
ที่ 3.28



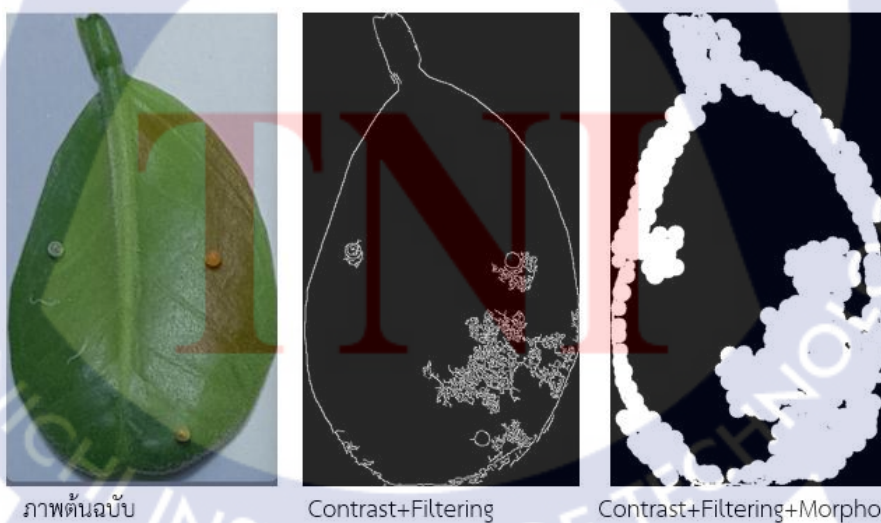
รูปที่ 3.28 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 14

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 15 ดังรูป
ที่ 3.29



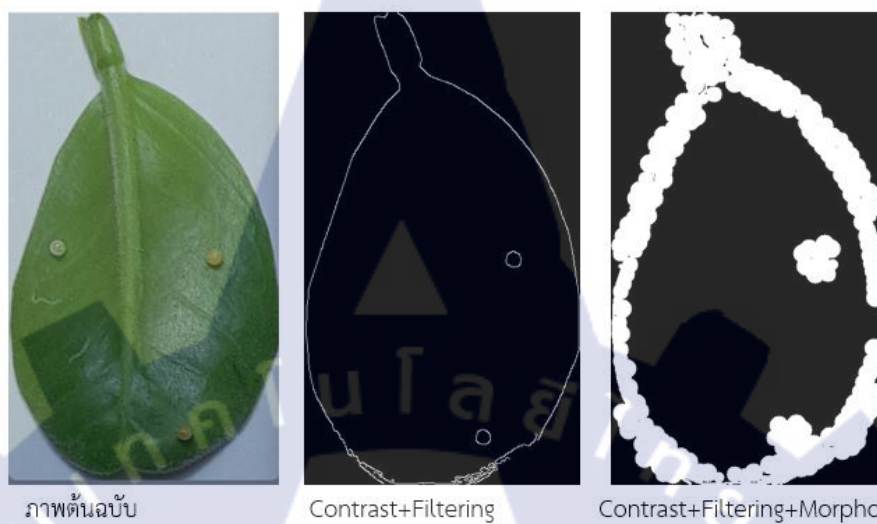
รูปที่ 3.29 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 15

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 16 ดังรูป
ที่ 3.30



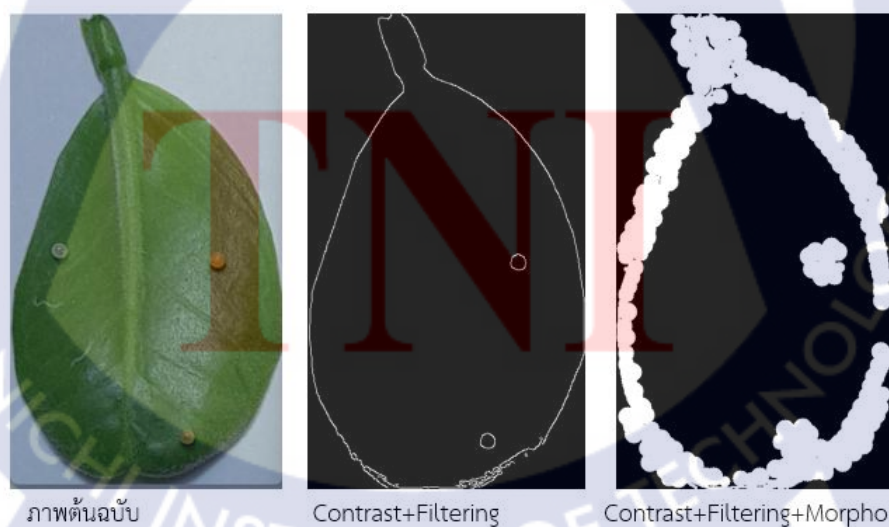
รูปที่ 3.30 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 16

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 17 ดังรูป
ที่ 3.31



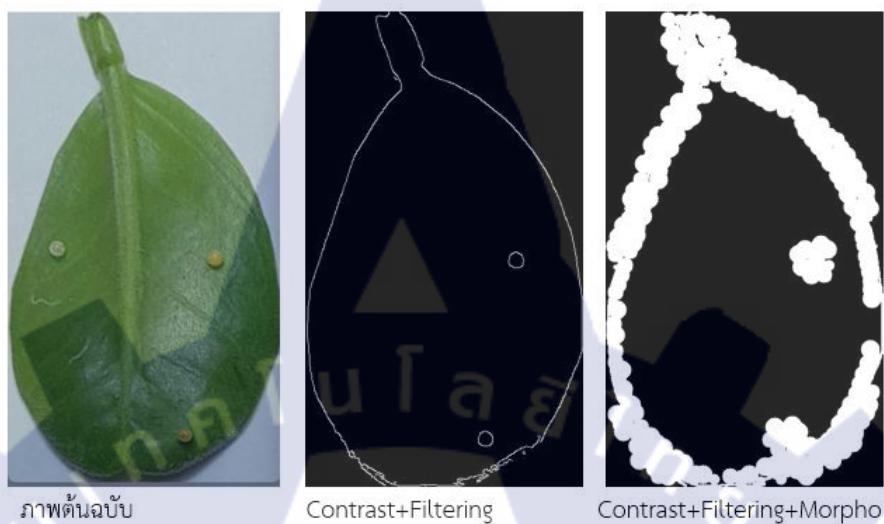
รูปที่ 3.31 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 17

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 18 ดังรูป
ที่ 3.32



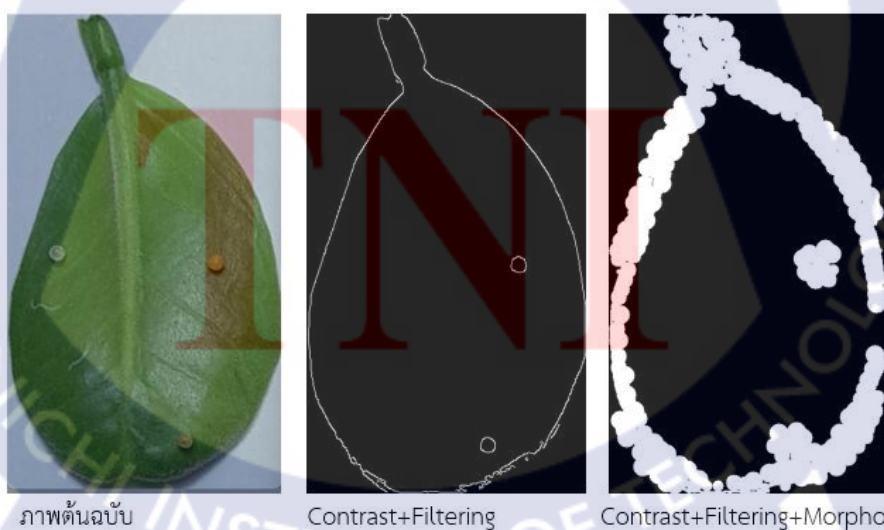
รูปที่ 3.32 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 18

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 19 ดังรูป
ที่ 3.33



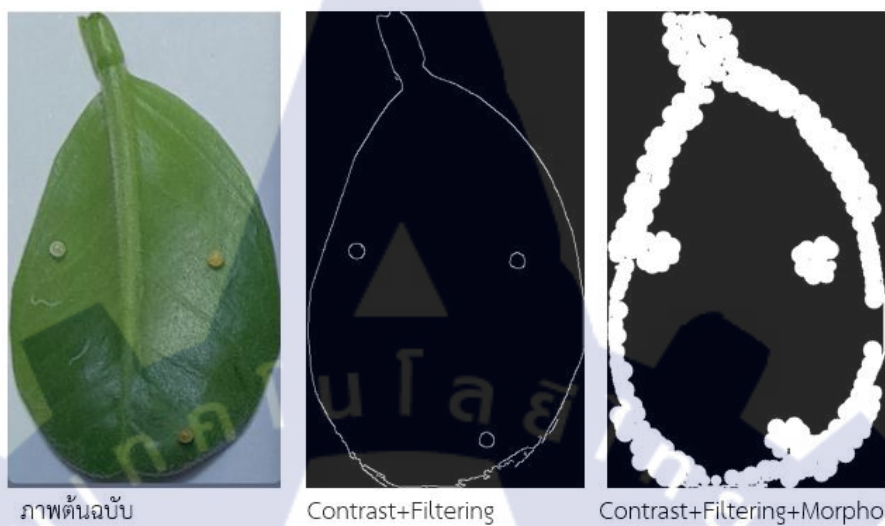
รูปที่ 3.33 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 19

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 20 ดังรูป
ที่ 3.34



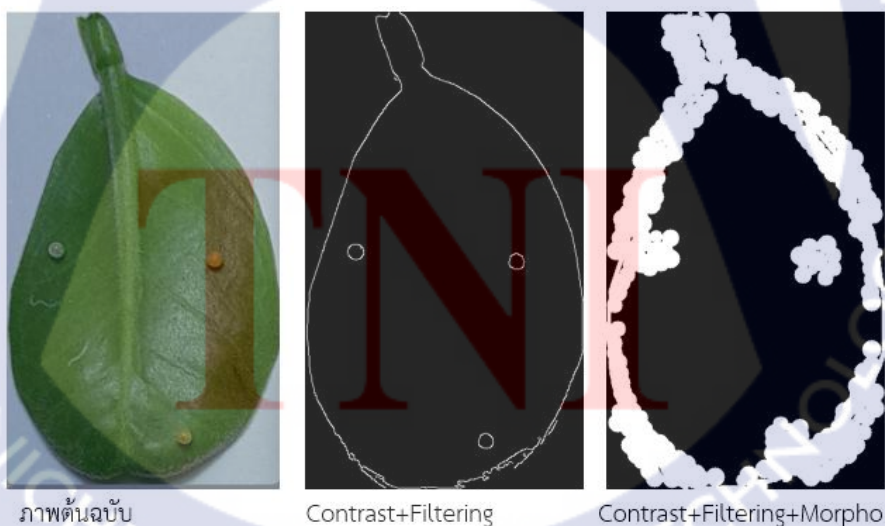
รูปที่ 3.34 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 20

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 21 ดังรูป
ที่ 3.35



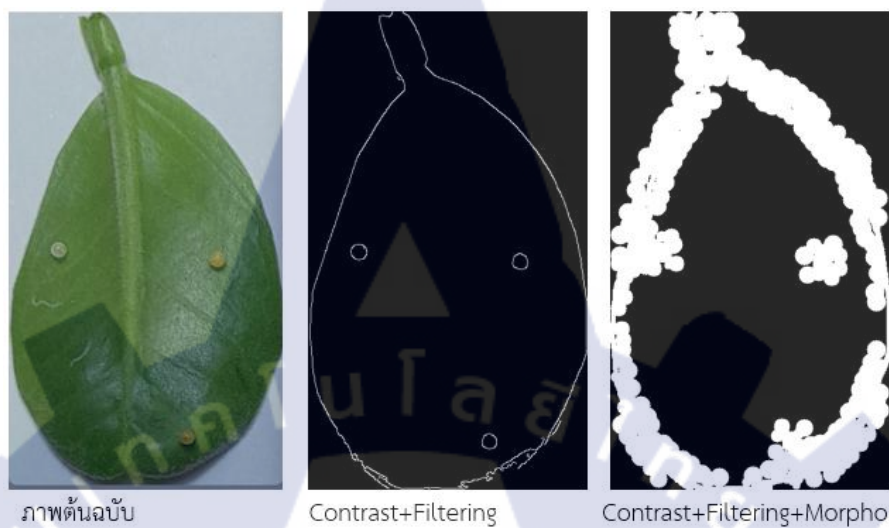
รูปที่ 3.35 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 21

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 22 ดังรูป
ที่ 3.36



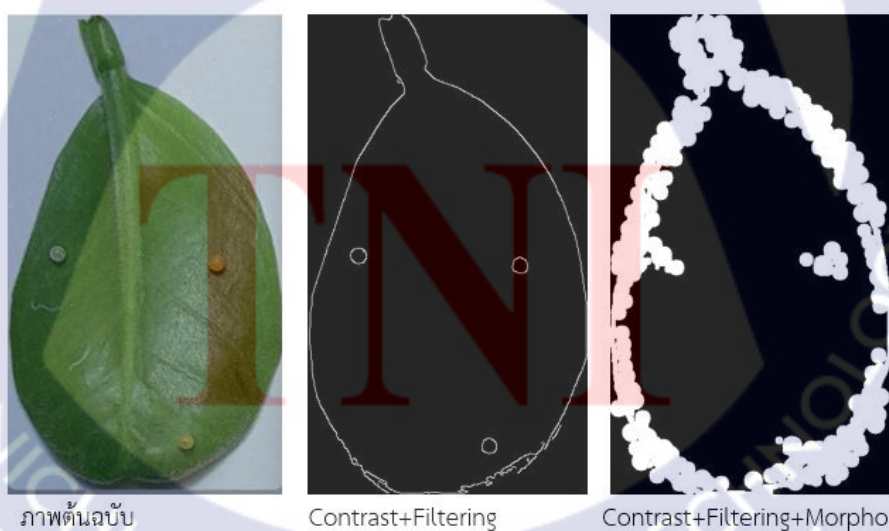
รูปที่ 3.36 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 22

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 23 ดังรูป
ที่ 3.37



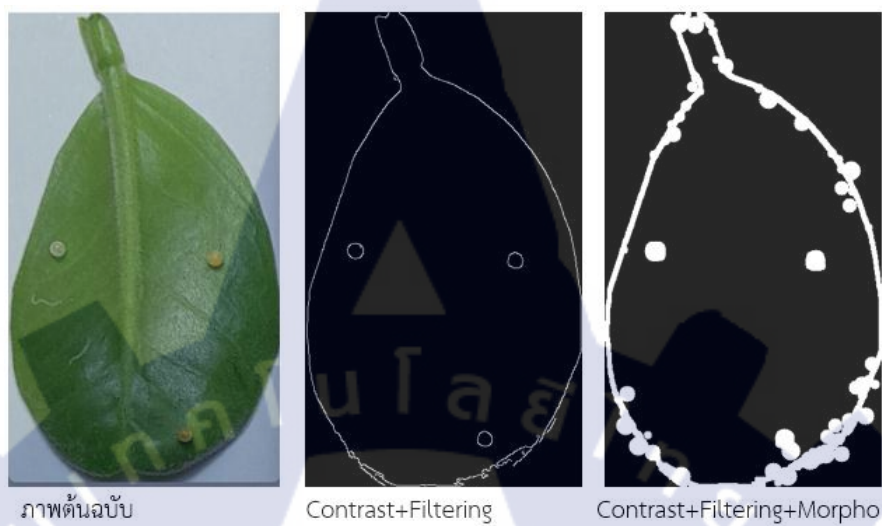
รูปที่ 3.37 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 23

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 24 ดังรูป
ที่ 3.38



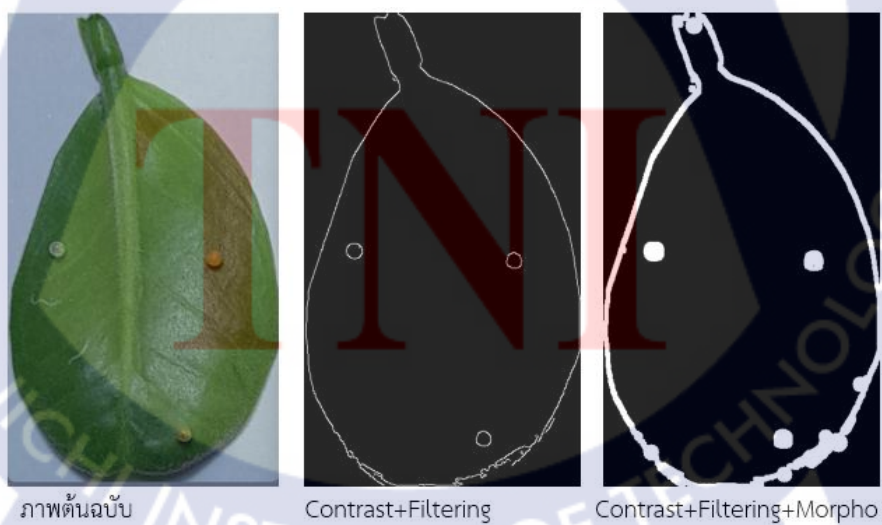
รูปที่ 3.38 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 24

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 25 ดังรูป
ที่ 3.39



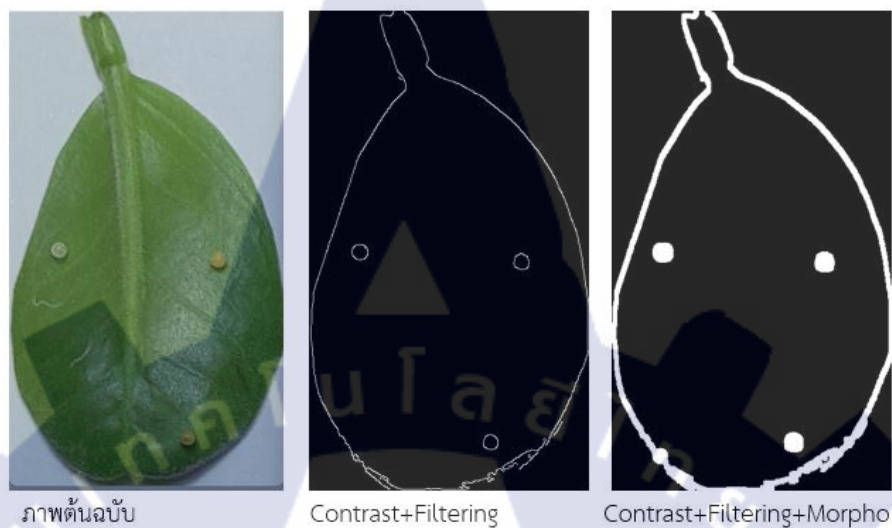
รูปที่ 3.39 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 25

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 26 ดังรูป
ที่ 3.40



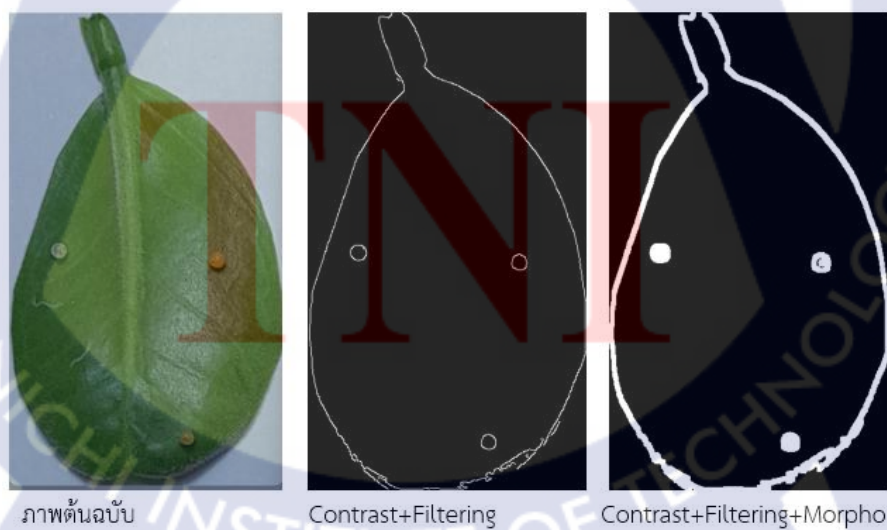
รูปที่ 3.40 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 26

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 27 ดังรูป
ที่ 3.41



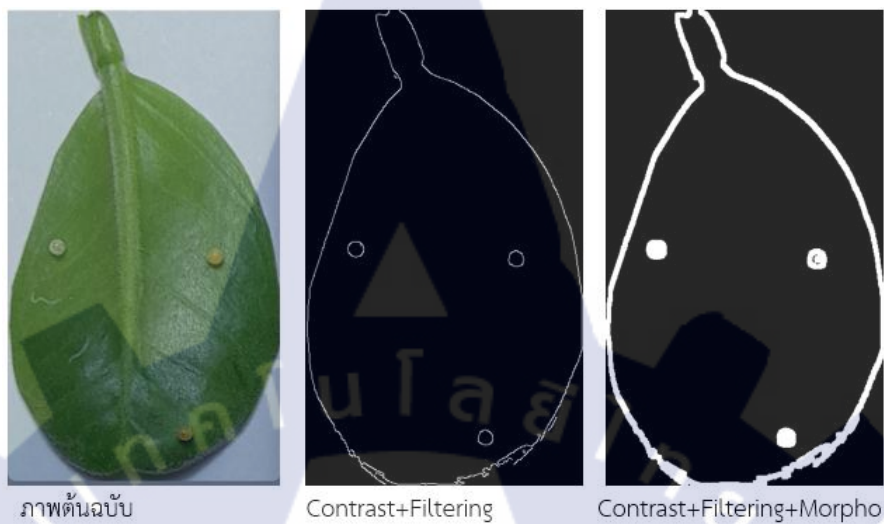
รูปที่ 3.41 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 27

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 28 ดังรูป
ที่ 3.42



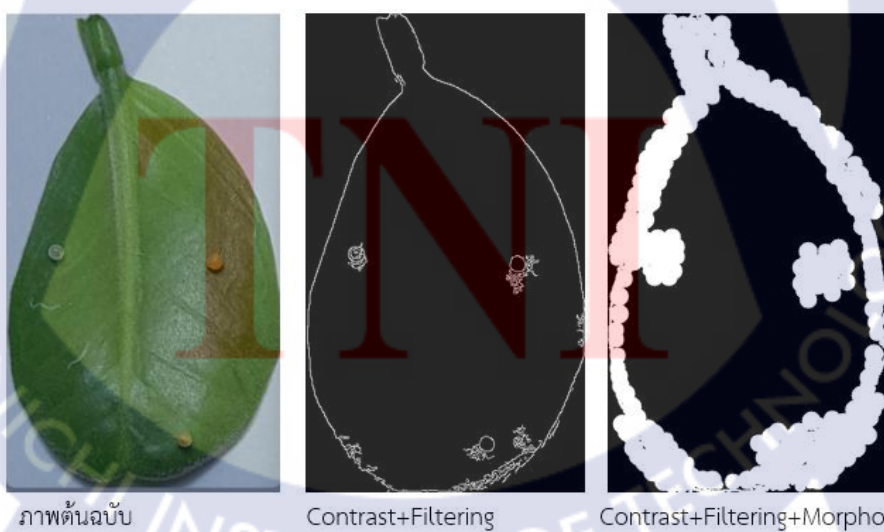
รูปที่ 3.42 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 28

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 29 ดังรูป
ที่ 3.43



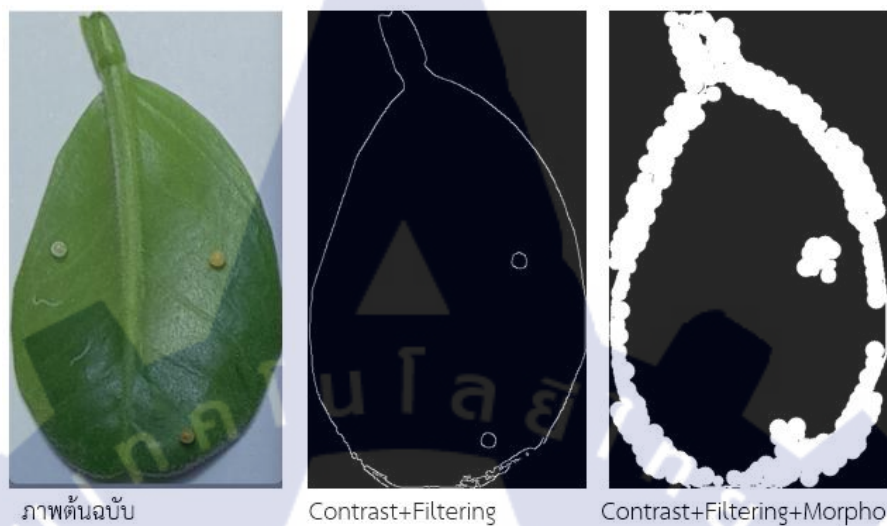
รูปที่ 3.43 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 29

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 30 ดังรูป
ที่ 3.44



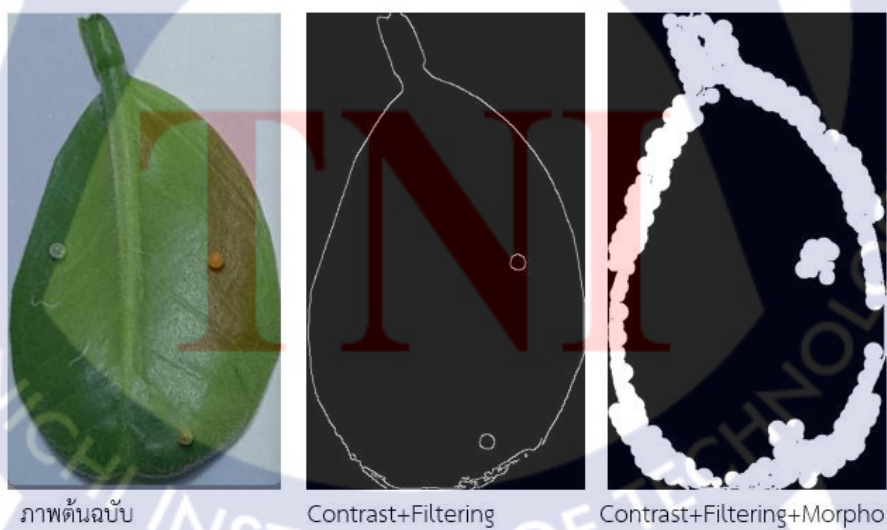
รูปที่ 3.44 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 30

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 31 ดังรูป
ที่ 3.45



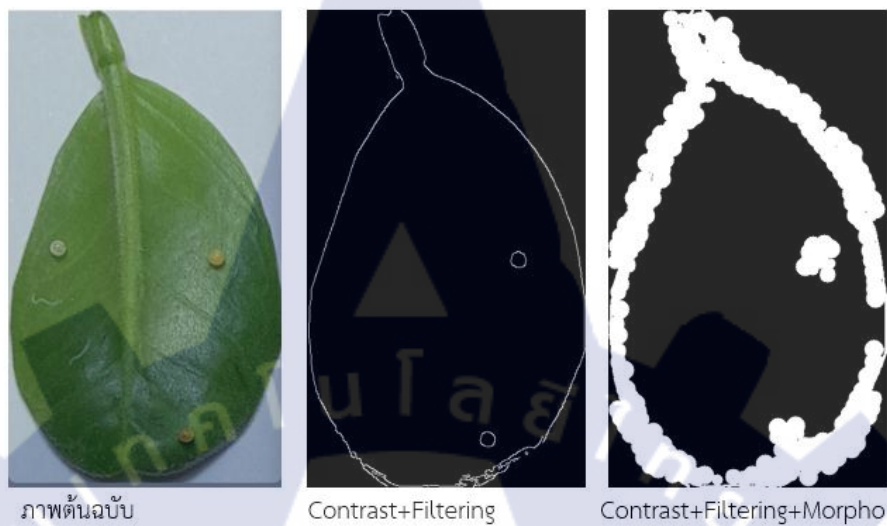
รูปที่ 3.45 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 31

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 32 ดังรูป
ที่ 3.46



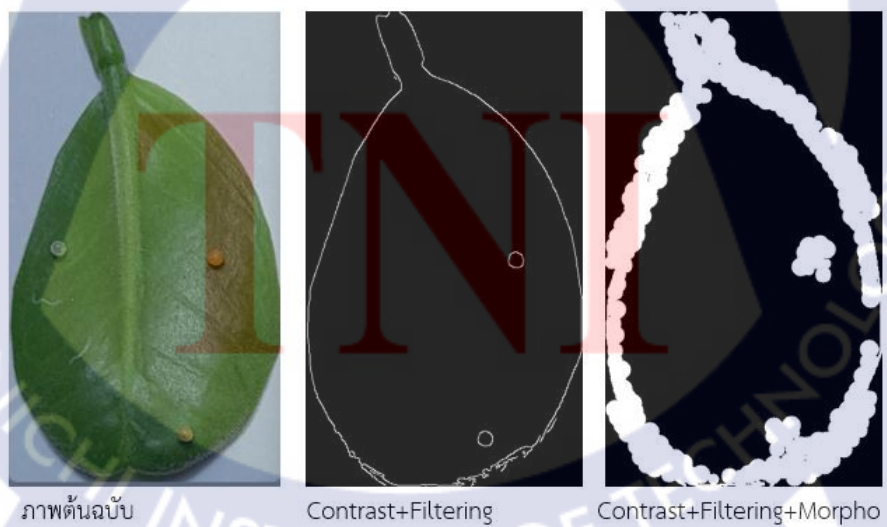
รูปที่ 3.46 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 32

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 33 ดังรูป
ที่ 3.47



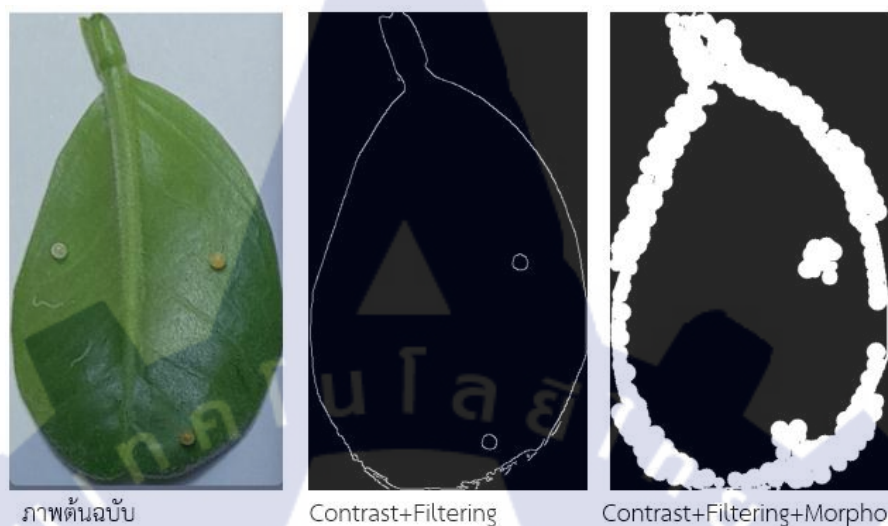
รูปที่ 3.47 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 33

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 34 ดังรูป
ที่ 3.48



รูปที่ 3.48 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 34

ตัวอย่างภาพ edge เมื่อเทียบกับต้นฉบับที่ได้จากการปรับ พารามิเตอร์รูปแบบที่ 35 ดังรูป
ที่ 3.49



รูปที่ 3.49 ภาพ edge จากการปรับพารามิเตอร์รูปแบบที่ 35

จากการปรับพารามิเตอร์(ฝึกโมเดล) ที่ทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพดีที่สุดใน จากการวัด
ประสิทธิภาพด้วย confusion matrix คือรูปแบบที่ 28 และ 29 มีประสิทธิภาพดีที่สุดใน 2 ลำดับแรก

ตารางที่ 3.5 ผลลัพธ์จากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 28

ผลการทำนายของ model	model ทำนายว่ามีไข่ หนอน	model ทำนายว่าไม่มีไข่ หนอน
ในภาพใบส้มโอมีไข่หนอน	True Positive (TP)	False Negative (FN)
26 ภาพ	25	1
ในภาพใบส้มโอไม่มีไข่หนอน	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24 ภาพ	12	12

ตารางที่ 3.6 ผลลัพธ์จากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 29

ผลการทำนายของ model	model ทำนายว่ามีไข้ นอน	model ทำนายว่าไม่มีไข้ นอน
ในภาพใบสั่มโอมีไข้นอน	True Positive (TP)	False Negative (FN)
26 ภาพ	22	4
ในภาพใบสั่มโอไม่มีไข้นอน	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24 ภาพ	2	22

ตารางที่ 3.7 ประสิทธิภาพจากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 28

Accuracy ความถูกต้อง	Error ความผิดพลาด	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specify ความจำเพาะ	F1-Score
74.00%	26.00%	67.57%	96.15%	50.00%	79.37%

ตารางที่ 3.8 ประสิทธิภาพจากการฝึกโมเดล รูปแบบที่ 29

Accuracy ความถูกต้อง	Error ความผิดพลาด	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specify ความจำเพาะ	F1-Score
88.00%	12.00%	91.67%	84.62%	91.67%	88.00%

สรุปคือ รูปแบบที่ 29 มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบที่ 28 เล็กน้อย จากการฝึกโมเดลโดยใช้การตรวจจับรูปทรง+ขนาดเป็นพื้นฐาน แต่ไม่สามารถตรวจจับใบสั่มโอที่มีไข้ได้ทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณารูปแบบที่ 28 ทำการทดลองต่อไปเนื่องจาก มีประสิทธิภาพตรวจจับใบสั่มโอที่มีไข้ได้ทั้งหมดซึ่งเป็นเป้าหมายหลัก

บทที่ 4

ผลลัพธ์การวิจัย และอภิปรายผลการทดลอง

สำหรับการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการตรวจจับไข้หวัดนกในไก่ด้วยวิธีการประมวลผลข้อมูลภาพจะมีด้วยกันอยู่ 2 แบบดังนี้

4.1 การทดลองการตรวจจับไข้หวัดนกในไก่ด้วย รูปทรง และขนาด

4.2 การทดลองการตรวจจับไข้หวัดนกในไก่ด้วย รูปทรง ขนาด และช่วงสี

4.1 การทดลองการตรวจจับไข้หวัดนกในไก่ด้วย รูปทรง และขนาด

ผลการทดลองการตรวจจับไข้หวัดนกในไก่ด้วยรูปทรง ขนาด และช่วงสี จากชุดข้อมูล ไก่อ่อนสัปดาห์ 50 ภาพ พบว่า Model มีความแม่นยำ (Accuracy) 92.00% และภาพรวมมีความผิดพลาด(error) ค่อนข้างสูงที่ 8.00% โดยยังไม่สามารถตรวจจับ ไก่ นอนได้ทั้งหมด (Recall = 92.31%) และยังมีข้อผิดพลาดในการตรวจจับไข้หวัดนกในภาพที่ไม่มีไข้ (False Positive = 2 ภาพ) ส่งผลให้ค่า Precision ต่ำลงมาอยู่ที่ 92.31% ค่าความจำเพาะ (Specificity) อยู่ที่ 91.67% แสดงว่าโมเดลมีแนวโน้มทำนายผิดพลาดอยู่ และ F1 Score อยู่ที่ 92.31% ดังข้อมูลในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Model มีประสิทธิภาพในการตรวจจับ ไก่ นอนค่อนข้างต่ำ ยังต้องการการปรับปรุงเพื่อลดการตรวจจับผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำใน การจำแนกภาพที่มีและไม่มีไข้หวัดนกให้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ confusion matrix การตรวจจับไข้หวัดนกในไก่ด้วย รูปทรง และขนาด ด้วยชุดข้อมูลไก่อ่อนสัปดาห์ที่มีไข้ และไม่มีไข้ 50 ภาพ

ผลการทำนายของ model	model ทำนายว่ามีไข้หวัดนก	model ทำนายว่าไม่มีไข้หวัดนก
ในภาพไก่อ่อนมีไข้หวัดนก	True Positive (TP)	False Negative (FN)
26	24	2
ในภาพไก่อ่อนไม่มีไข้หวัดนก	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24	2	22

ตารางที่ 4.2 การประเมินจาก confusion matrix การตรวจจับไข้หนองนอนใบส้มโอด้วย รูปทรง และขนาด ด้วยชุดข้อมูลใบอ่อนส้มโอที่มีไข้ และไม่มีไข้ 50 ภาพ

Accuracy ความถูกต้อง	Error ความผิดพลาด	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specify ความจำเพาะ	F1-Score
92.00%	8.00%	92.31%	92.31%	91.67%	92.31%

4.2 การทดลองการตรวจจับไข้หนองนอนใบส้มโอด้วย รูปทรง ขนาด และช่วงสี

ผลการทดลองการตรวจจับไข้หนองนอนใบส้มโอด้วยรูปทรง ขนาด และช่วงสี จากชุดข้อมูล ใบอ่อนส้มโอ 50 ภาพ พบว่า Model มีความแม่นยำ (Accuracy) สูงถึง 96.00% และภาพรวมความผิดพลาด(error)อยู่ 4.00% โดยสามารถ ตรวจจับไข้หนองได้ทั้งหมด (Recall = 92.31%) และมีข้อผิดพลาดในการตรวจจับไข้หนองในภาพที่ไม่มี มีไข้ ส่งผลให้ค่า Precision อยู่ที่ 100% ค่าความจำเพาะ(Specificity) อยู่ที่ 100% แสดงว่า โมเดลสามารถจับใบส้มโอที่ไม่มีไข้ได้ดี F1 Score อยู่ที่ 96.00% ดังข้อมูลในตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่ง แสดงให้เห็นว่า Model มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับไข้หนองและมีความแม่นยำในการจำแนก ภาพที่มีและไม่มีไข้หนองได้ดี

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ confusion matrix การตรวจจับไข้หนองนอนใบส้มโอด้วย รูปทรง ขนาด และช่วงสี ชุดข้อมูลใบอ่อนส้มโอที่มีไข้ และไม่มีไข้ 50 ภาพ

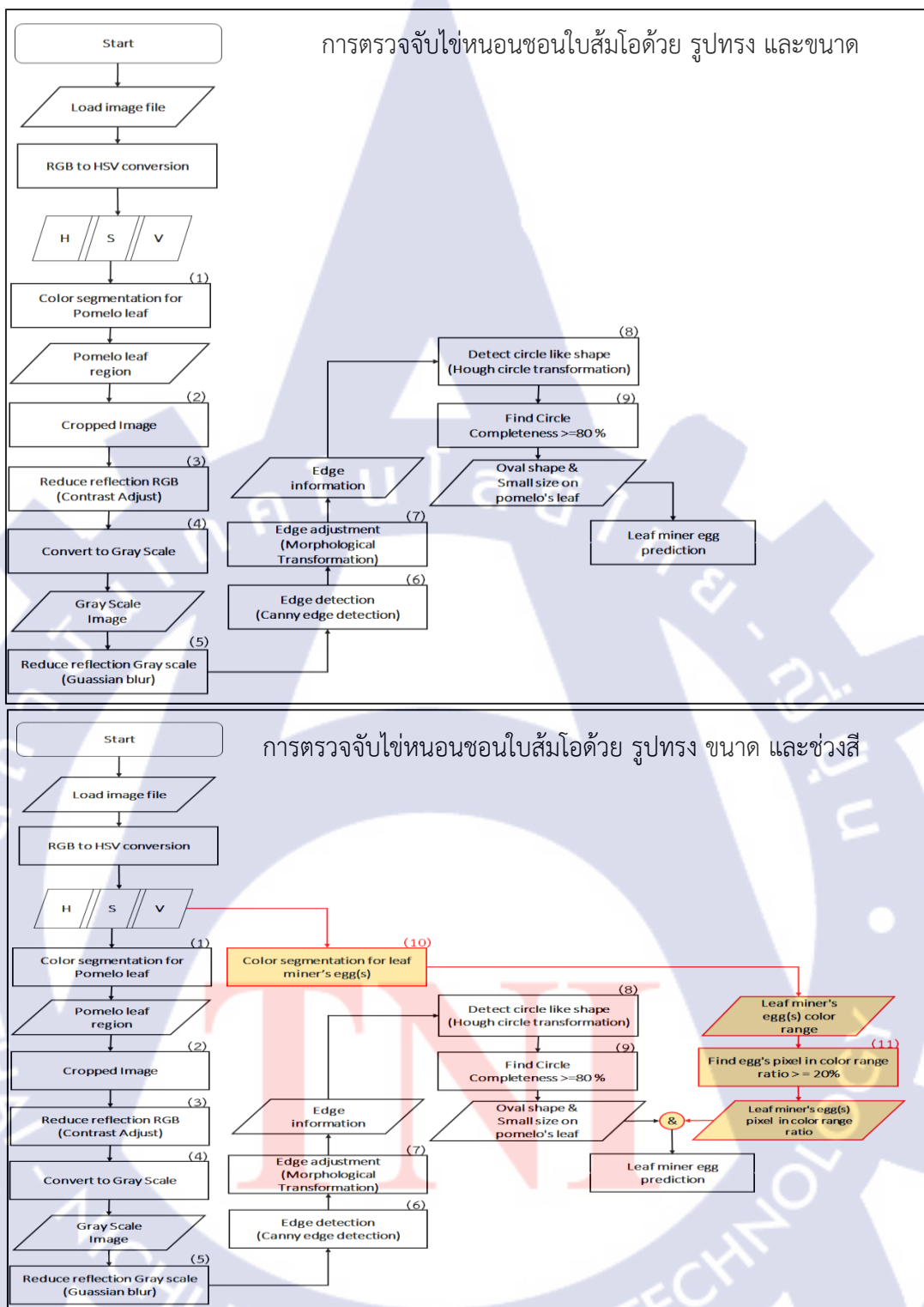
ผลการทำนายของ model	model ทำนายว่ามีไข้หนอง	model ทำนายว่าไม่มีไข้หนอง
ในภาพใบส้มโอมีไข้หนอง	True Positive (TP)	False Negative (FN)
26	24	2
ในภาพใบส้มโอไม่มีไข้หนอง	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24	0	24

ตารางที่ 4.4 การประเมินจาก confusion matrix การตรวจจับไข้หวัดนกออนไบสัสมไอด้วย รูปทรง ขนาด และช่วงสี ด้วยชุดข้อมูลไบออสัสมไอที่มีไข้ และไม่มีไข้ 50 ภาพ

Accuracy ความถูกต้อง	Error ความผิดพลาด	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specify ความจำเพาะ	F1-Score
96.00%	4.00%	100.00%	92.31%	100.00%	96.00%

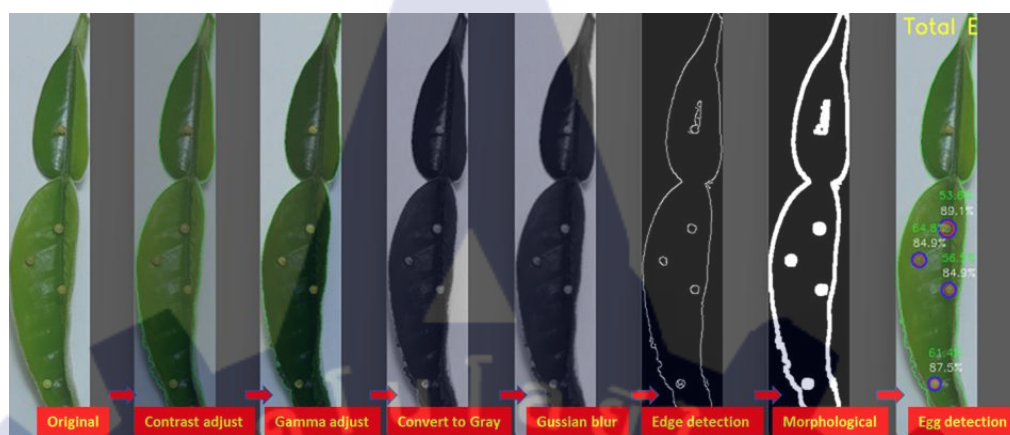
จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มคุณลักษณะด้านสี (Color Range) เข้ามาช่วยในการตรวจจับ ส่งผลให้ค่า Precision เพิ่มขึ้นจาก 92.31% เป็น 100% แสดงให้เห็นว่าสามารถลด False Positive ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ระบบสามารถลดการตรวจจับวัตถุที่ไม่ใช่ไข้หวัดนกออนไบได้ดีขึ้น, อย่างไรก็ตาม ค่า Recall ยังคงเท่าเดิมที่ 92.31% ในทั้งสองกรณี ซึ่งหมายความว่ายังมีการตรวจจับไข้หวัดนกออนไบผิดพลาดอยู่ (False Negative) โดยสาเหตุหลักเกิดจากเงาที่มีความเข้มสูง (Heavy Shadows) ซึ่งส่งผลให้ลักษณะของไข้ไม่ชัดเจนและไม่สามารถตรวจจับได้, ในงานวิจัยในอนาคต อาจนำเทคนิค illumination normalization เช่น adaptive histogram equalization เข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและปรับปรุงค่า Recall ให้สูงขึ้น

ความแตกต่างของกระบวนการตรวจจับไข้หวัดนกออนไบสัสมไอระหว่างวิธีที่ใช้เพียงรูปทรง และขนาด กับวิธีที่ใช้รูปทรง ขนาด และช่วงสี สามารถแสดงเปรียบเทียบเป็นลำดับขั้นของกระบวนการทำงานได้ตาม แผนภาพ Workflow ดังรูปที่ 4.1

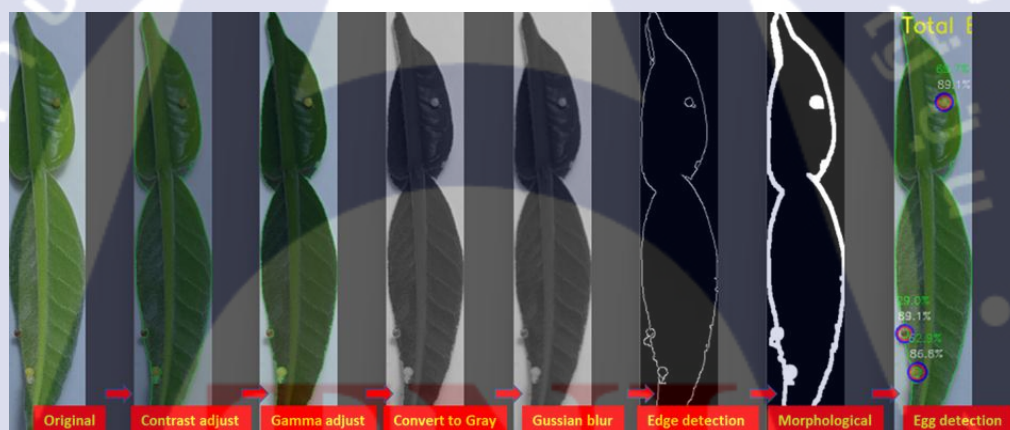


รูปที่ 4.1 work flow เปรียบเทียบการตรวจจับด้วยรูปทรง และขนาด กับ รูปทรง ขนาด และช่วงสี

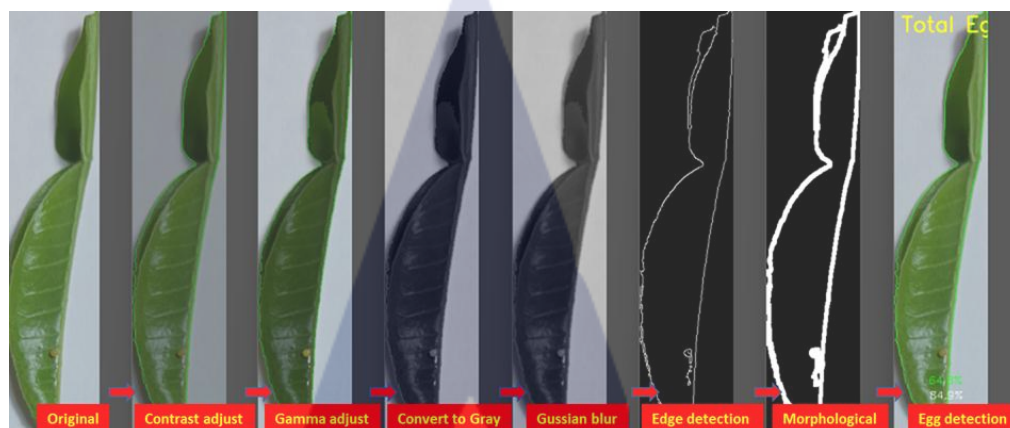
ภาพผลการตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอบนใบที่มีไข่หนอนที่นำมาทดสอบทั้ง 26 ภาพ
เทียบจากภาพต้นฉบับที่ผ่านกระบวนการ image processing ดังรูปที่ 4.2 – 4.27



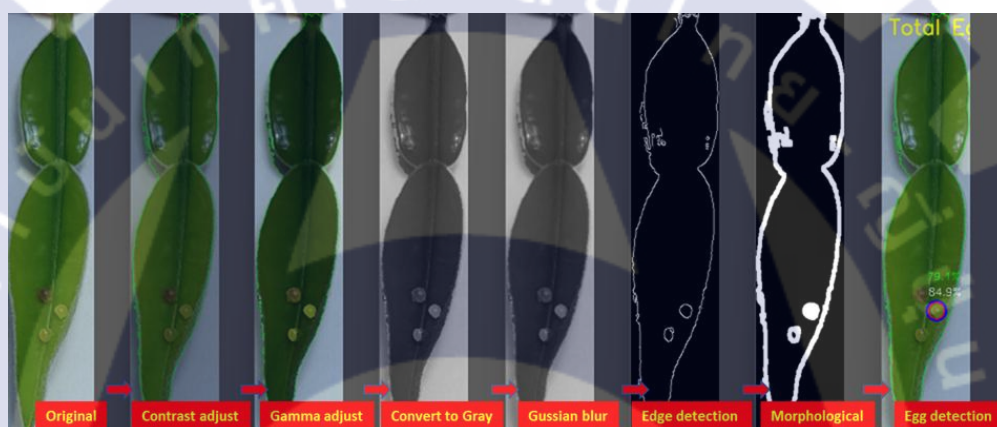
รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบภาพที่ 1



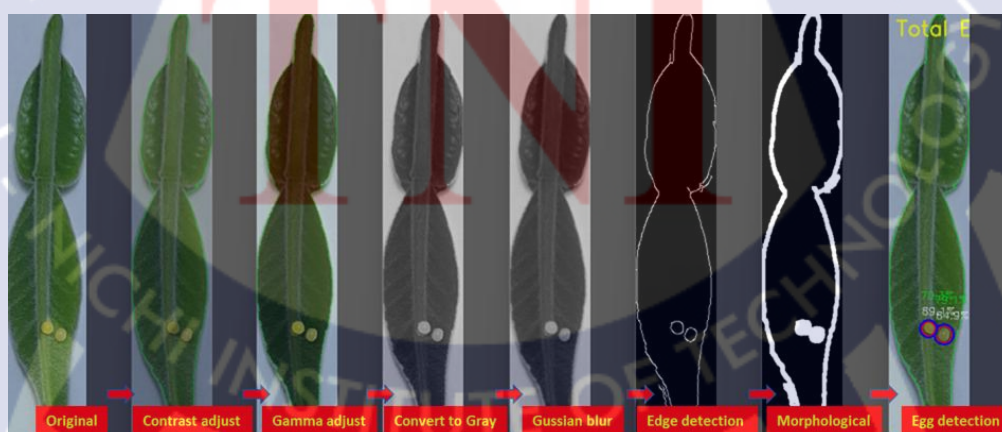
รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบภาพที่ 2



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบภาพที่ 3



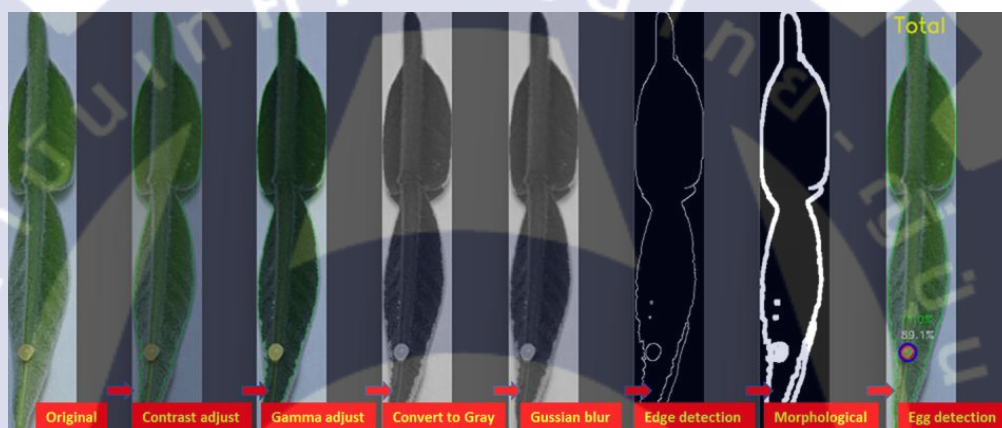
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบภาพที่ 4



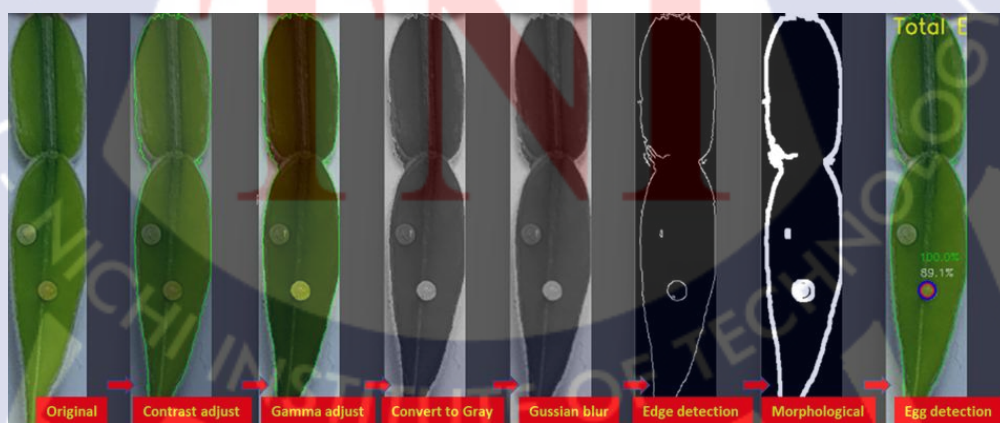
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบภาพที่ 5



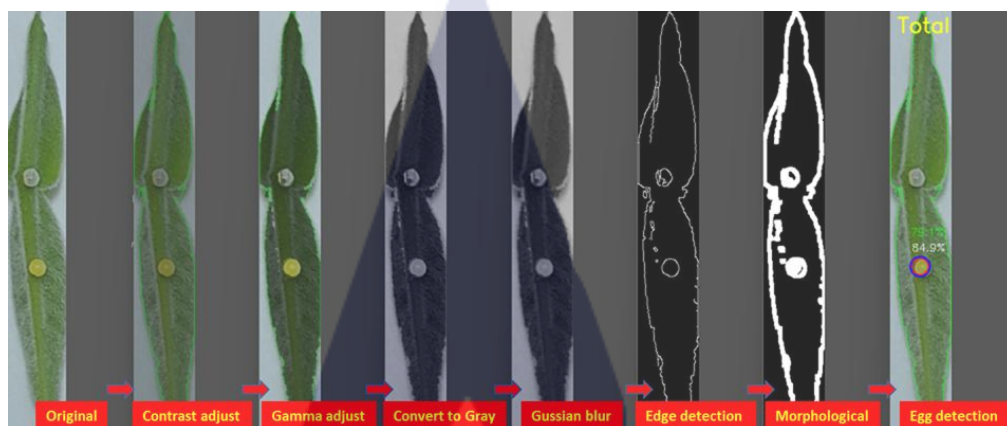
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบภาพที่ 6



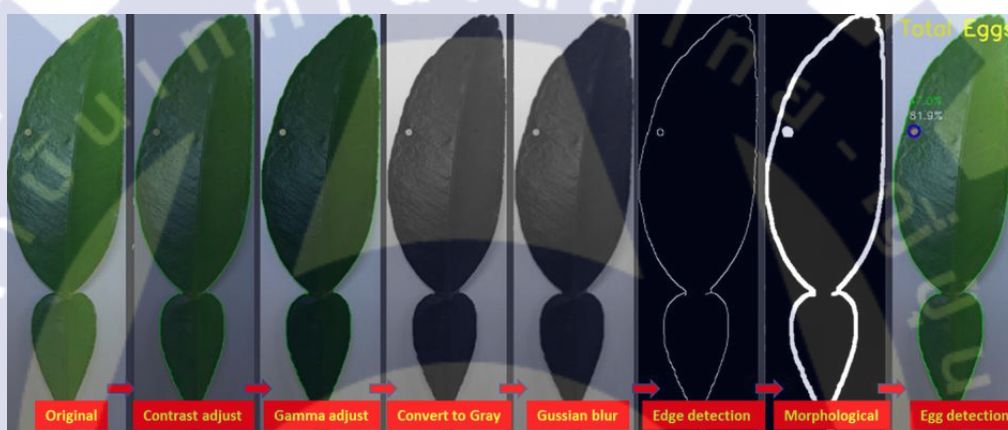
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบภาพที่ 7



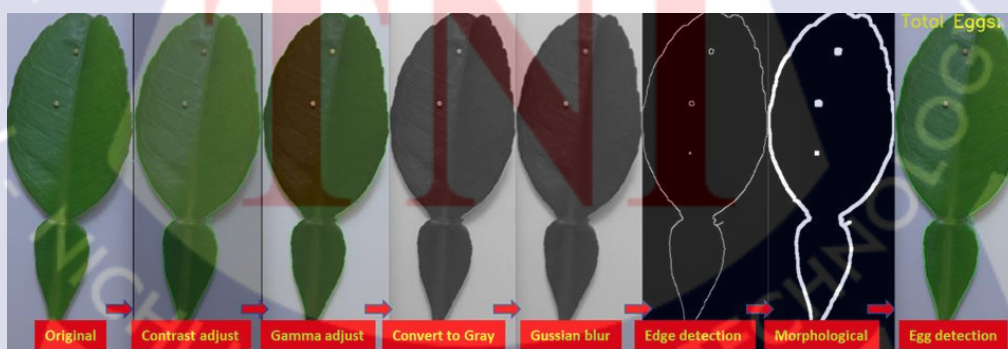
รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบภาพที่ 8



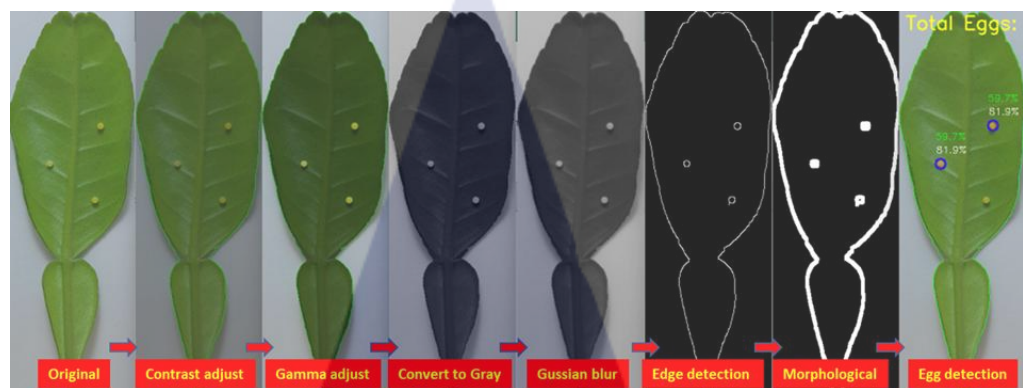
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบภาพที่ 9



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบภาพที่ 10



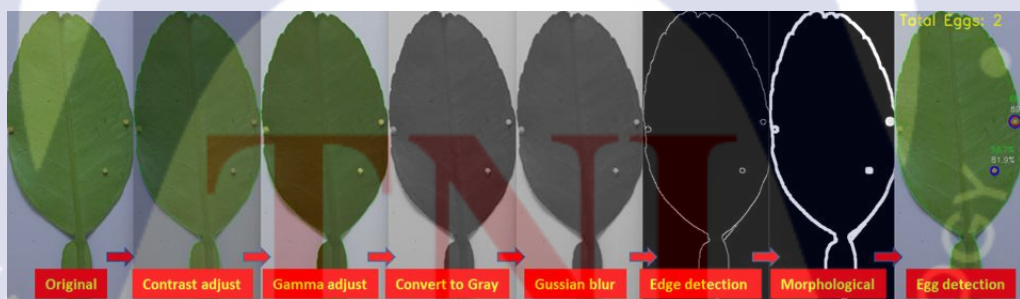
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบภาพที่ 11



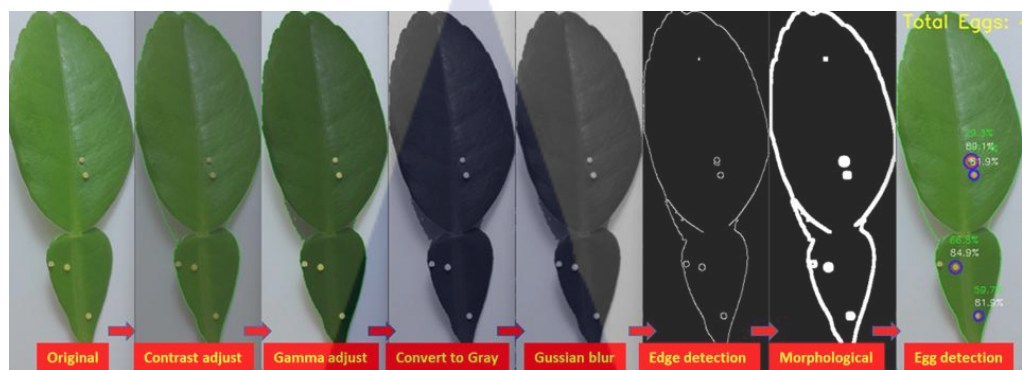
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบภาพที่ 12



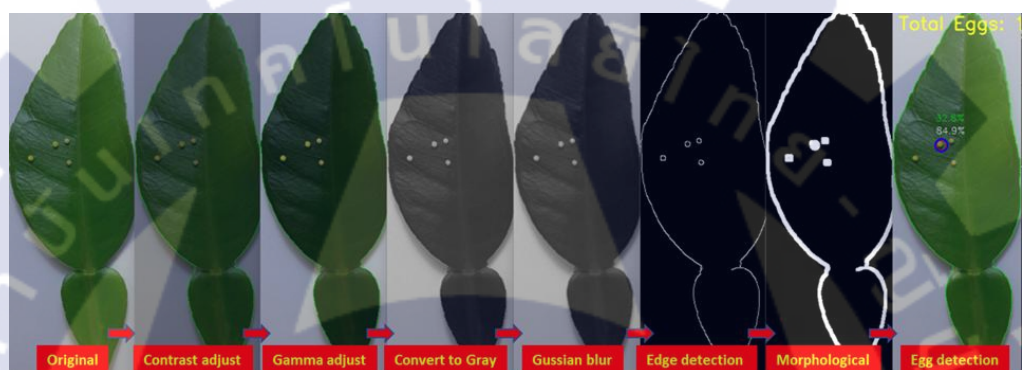
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบภาพที่ 13



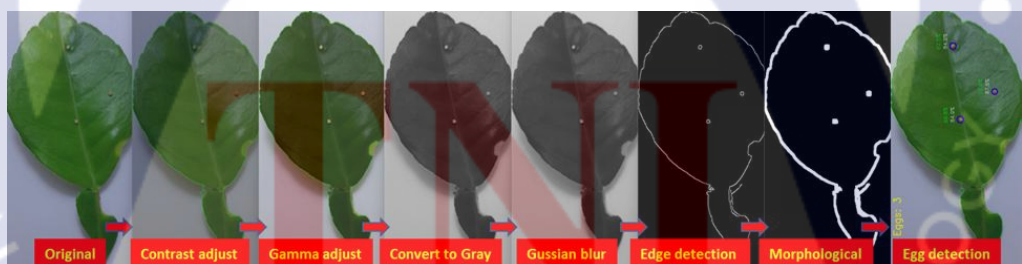
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบภาพที่ 14



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบภาพที่ 15



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบภาพที่ 16



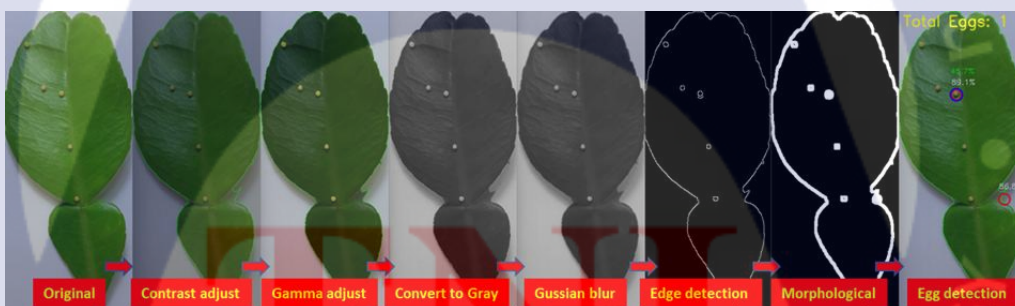
รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบภาพที่ 17



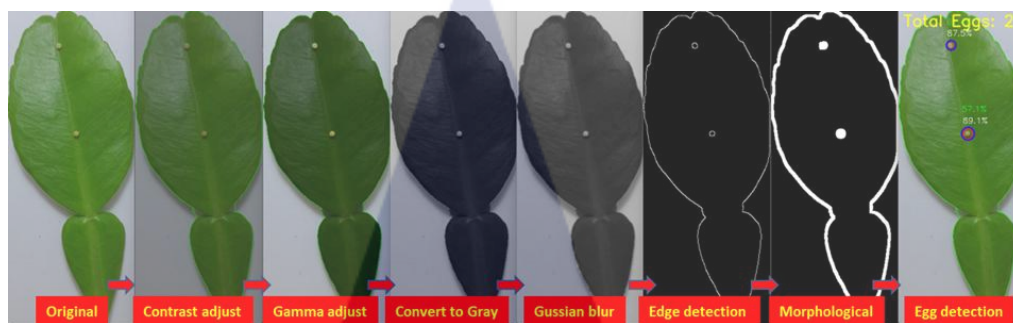
รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบภาพที่ 18



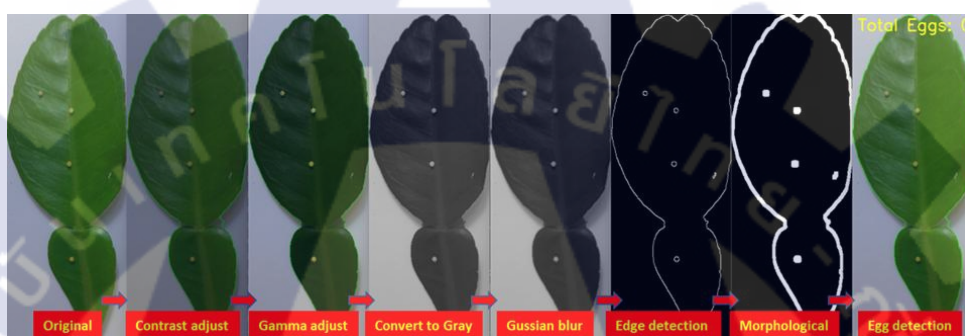
รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบภาพที่ 19



รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบภาพที่ 20



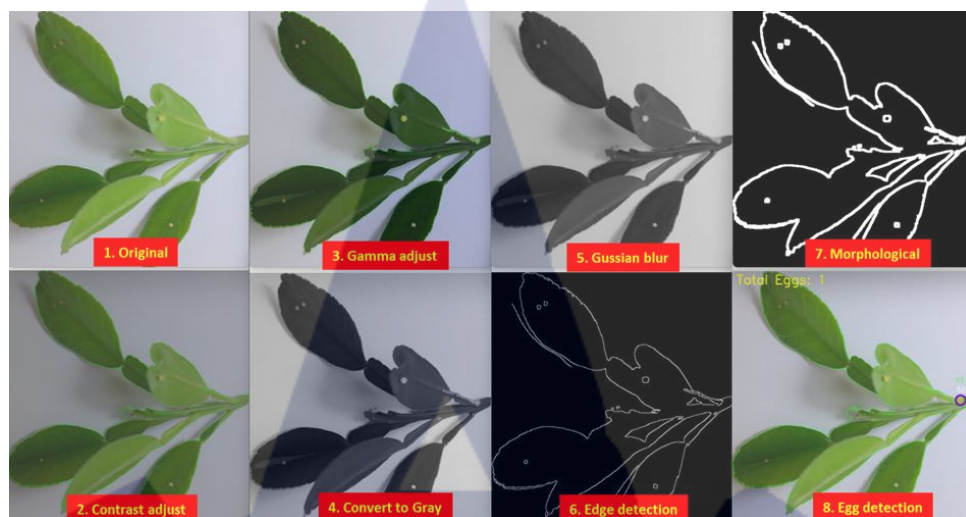
รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบภาพที่ 21



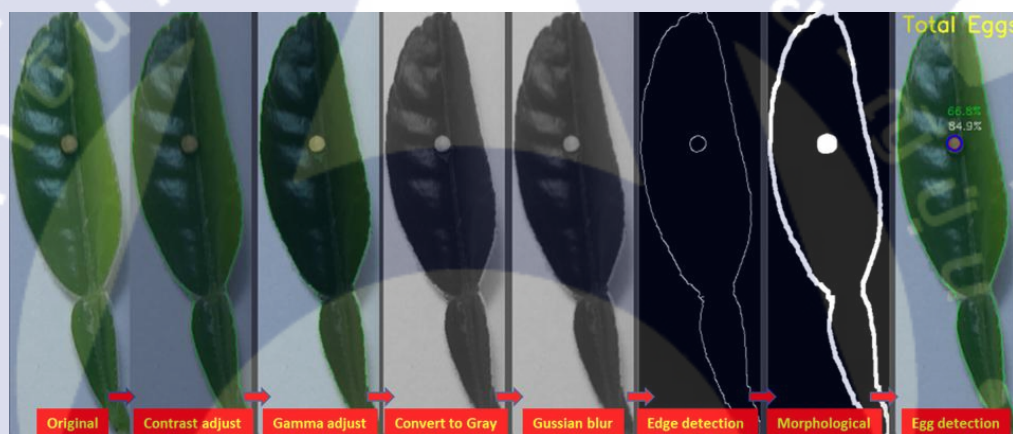
รูปที่ 4.23 ผลการทดสอบภาพที่ 22



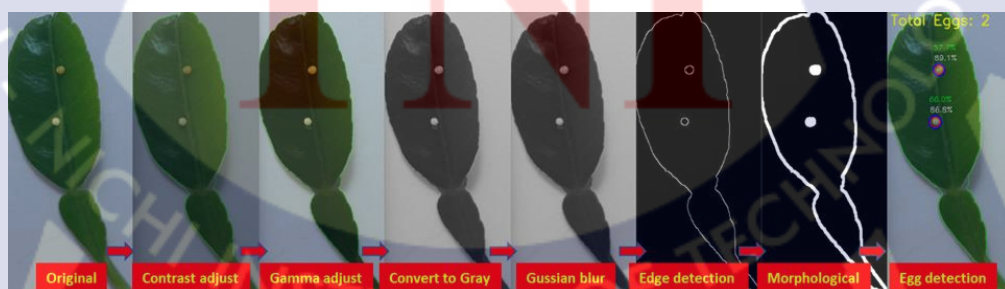
รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบภาพที่ 23



รูปที่ 4.25 ผลการทดสอบภาพที่ 24



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบภาพที่ 25



รูปที่ 4.27 ผลการทดสอบภาพที่ 26

จากการทดลองนี้

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัย “การตรวจจับไข้หวัดใหญ่ในโซเชียลมีเดียด้วยวิธีประมวลผลข้อมูลภาพ” ในบทนี้ได้สรุปเป็น 3 หัวข้อดังนี้

- 5.1 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย
- 5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำงานวิจัย
- 5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

5.1 สรุป และอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองบนชุดข้อมูลไบโอแฮนดี้จำนวน 50 ภาพ โดยเปรียบเทียบวิธีการตรวจจับสองแบบ พบว่าวิธีที่ใช้คุณลักษณะ รูปทรง + ขนาด + ช่วงสี ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีที่ใช้เพียง รูปทรง + ขนาด ในทุกตัวชี้วัด

วิธีแรกที่ใช้รูปทรงและขนาดเพียงอย่างเดียวสามารถตรวจจับได้ด้วยความถูกต้อง 92.00% มีอัตราความผิดพลาด 8.00% โดยค่าความเที่ยง ความไว และ F1-Score อยู่ที่ 92.31% เท่ากันทั้งสามค่า ขณะที่ความจำเพาะอยู่ที่ 91.67%

เมื่อนำข้อมูลช่วงสีมาเพิ่มเติมในวิธีที่สอง ความถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็น 96.00% และอัตราความผิดพลาดลดลงครึ่งหนึ่งเหลือเพียง 4.00% นอกจากนี้ค่าความเที่ยงและความจำเพาะยังเพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 100.00% สะท้อนให้เห็นว่าวิธีนี้ไม่มีการระบุวัตถุที่ไม่ใช่เป้าหมายว่าเป็นไบโอแฮนดี้เลย (False Positive = 0) ส่วนค่าความไวยังคงที่ 92.31% เท่าเดิม และค่า F1-Score ดีขึ้นเป็น 96.00%

โดยสรุป การเพิ่มข้อมูลช่วงสีเข้าสู่กระบวนการตรวจจับสามารถยกระดับประสิทธิภาพโดยรวมได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในการลดความคลาดเคลื่อนจากการตรวจจับเกิน จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าสำหรับการนำไปใช้งานจริง

อภิปรายผล

1. การเพิ่มคุณลักษณะด้านสี (Color Range) ช่วยลดการตรวจจับผิดพลาด (False Positive) ได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ค่า Precision และ Specificity สูงถึง 100% หมายความว่าระบบสามารถระบุวัตถุที่“เป็นไข้หวัดใหญ่” ได้แม่นยำและไม่คาดเคลื่อนไปสู่ใบที่ไม่มีไข้ อย่างไรก็ตาม ค่า Recall ที่ 92.31% ในทั้งสองวิธี บ่งชี้ว่าระบบยังคงพลาดการตรวจจับไข้หวัดใหญ่บางส่วน ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวน รูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ หรือการซ้อนทับของวัตถุ

2. ความสำเร็จของแนวทาง Rule-Based การเลือกใช้กฎจากคุณลักษณะที่ชัดเจนและวัดค่าได้ (ทรงกลม, ขนาด ~1 มม., ช่วงสีขาวนวล-เหลืองนวล) พิสูจน์แล้วว่าเพียงพอและมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหานี้ภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุม โดยให้ความได้เปรียบ

3. ด้านความเรียบง่าย การตีความได้ และต้นทุนการคำนวณต่ำ เมื่อเทียบกับแนวทาง Machine Learning ที่ต้องการชุดข้อมูลขนาดใหญ่

4. จุดเด่นของกระบวนการประมวลผลภาพ ขั้นตอนการลดอิทธิพลแสงสะท้อนด้วยการปรับคอนทราสต์ (Contrast Adjustment) และการเบลอภาพ (Gaussian Blur) ร่วมกับการแปลงพื้นที่สี (RGB to HSV) ช่วยเตรียมภาพสำหรับการตรวจจับขอบ (Canny Edge Detection) และรูปร่างวงกลม (Hough Circle Transform) ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5. ผลการทำงานนี้เทียบได้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้าน machine learning เช่น Chakraborty และคณะ [47] (ความแม่นยำ 96%), Ahsan และคณะ [48] (ความแม่นยำ 96.5%) และ Sunil และคณะ [49] (ความแม่นยำ 99.53%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวทางแบบ rule-based ที่นำเสนอสามารถบรรลุผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันโดยไม่ต้องใช้ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนขนาดใหญ่

5.2 ปัญหา และอุปสรรคในการทำงานวิจัย

ในการดำเนินวิจัยนี้ ผู้วิจัยประสบปัญหาหลักหลายประการที่ส่งผลต่อกระบวนการและผลลัพธ์:

1. ปัญหาด้านข้อมูล การเก็บรวบรวมภาพไข่หนอนซึ่งมีขนาดเล็ก (~1 มม.) และสีกลมกลืนกับพื้นใบ เป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความละเอียดอ่อนและเวลา
2. ปัญหาด้านสภาพแสง แม้จะใช้อุปกรณ์ควบคุมแสง แต่การเปลี่ยนแปลงของแสงธรรมชาติยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อคุณภาพภาพและความคงที่ของค่าสีที่ใช้ในกฎ
3. ปัญหาด้านการประมวลผลภาพ เทคนิคบางขั้นตอน เช่น การตรวจจับขอบ (Edge Detection) บางครั้งให้ผลไม่สมบูรณ์เนื่องจากสัญญาณรบกวนหรือความไม่ชัดเจนของขอบไข่ในภาพ
4. ข้อจำกัดของโมเดล Rule-Based โมเดลอาจให้ผลบวกลวงเมื่อพบวัตถุทรงกลมอื่นที่มีสีใกล้เคียงบนใบ (เช่น หยดน้ำ น้ำค้าง) ซึ่งเป็นข้อจำกัดโดยธรรมชาติของระบบที่อาศัยกฎเกณฑ์ตายตัว

5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบให้มีความแม่นยำสำหรับการประยุกต์ใช้จริงในสวนส้มโอ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้:

1. ขยายขนาดและความหลากหลายของชุดข้อมูล ควรเก็บรวบรวมภาพในสภาพแวดล้อมจริงที่หลากหลาย (แสงแดด ร่มเงา มุมกล้องต่างกัน) เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง (Robustness) ของโมเดล
2. พัฒนาปรับปรุงเทคนิคการประมวลผลภาพ ควรศึกษาการใช้เทคนิคขั้นสูงมากขึ้น เช่น การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือ การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เบื้องต้น เช่น ตัวแยกประเภท (Classifier) แบบ Support Vector Machine (SVM) หรือการจัดกลุ่มภาพ (Image Clustering) เพื่อจัดการกับความซับซ้อนของกลุ่มสีและลดผลบวกวง โดยเฉพาะโมเดลที่เหมาะสมกับอุปกรณ์พกพา และใช้พลังงานต่ำอย่าง YOLOv8s
3. ทดสอบและปรับใช้ในสภาพแวดล้อมจริง ควรนำระบบไปทดสอบในสวนส้มโอจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพภายใต้สภาพแสงและภูมิหลังที่ซับซ้อน พร้อมทั้งพัฒนาขีดความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์
4. พัฒนาเป็นระบบหรือแอปพลิเคชันปฏิบัติการ: เพื่อการใช้งานจริง ควรพัฒนาโมเดลให้เป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา (Mobile Application) ที่เกษตรกรสามารถใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วในพื้นที่สวน
5. บูรณาการกับเทคโนโลยีอื่น ควรศึกษาการผสมผสานกับเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อสร้างระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติที่สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนการระบาดของได้ทันที
6. กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการจัดการ ควรศึกษาการกำหนดเกณฑ์เชิงปริมาณ เช่น หากพบใบอ่อนที่มีไข่เกิน 50% ของทั้งกิ่ง ถือว่าเข้าสู่ระดับวิกฤตที่ต้องดำเนินการควบคุมทันที เพื่อให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจของเกษตรกรได้อย่างเป็นรูปธรรม

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, *ส്മโอ*, (รายงาน), กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร, 2563.
- [2] สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, *สารสนเทศเศรษฐกิจ การเกษตรรายสินค้า*, (รายงาน), กรุงเทพฯ: สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2564.
- [3] สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช, *การจัดการศัตรูส്മโอเพื่อการส่งออก*, (รายงาน), กรมวิชาการเกษตร: กรุงเทพฯ, 2555.
- [4] สุตาวรรณ มีเจริญ, *ส്മโอ*, พิจิตร: ศูนย์วิจัยพืชสวนพิจิตรสำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2, 2552.
- [5] สำนักงานและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2, *การจัดการความรู้เทคโนโลยีการผลิตส്മโอเพื่อเพิ่มคุณภาพ และมาตรฐานในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง*, กรุงเทพฯ: สำนักงานและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2, 2565.
- [6] ณรงค์ แดงเปี่ยม, *การปรับปรุงพันธุ์ส്മโอ*, กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร, 2558.
- [7] สุชาติ เจริญรัตน์, *ทางเลือกและเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการปลูกส്മโอพันธุ์ขาวแตงกวาในเขตจังหวัดชัยนาท*, ชัยนาท: สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 5 กรมวิชาการเกษตร, 2551.
- [8] ฐิติมา ทับทอง, “ส്മโอพันธุ์ขาวแตงกวา,” ตลาดเกษตรกรออนไลน์.com. [Online]. Available: <https://www.xn--12ca9cdcza1fboh6b4ca0evmxguh.com/p/301/ส്മโอขาวแตงกวา.html>. [Accessed: 1 ตุลาคม, 2567].
- [9] สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 7, *เทคโนโลยีการผลิตส്മโอพันธุ์ทับทิมสยามในพื้นที่ลุ่มน้ำปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช*, กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร, 2566.
- [10] ธนาพร นุ่นมัน, “ส്മโอทับทิมสยาม,” Opsmoac.go.th [Online]. Available: https://www.opsmoac.go.th/pattani-local_wisdom-preview-431091791848. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [11] ชาติชาย ศิริพัฒน์, “ส്മโอพันธุ์ทองดี,” Thairath.co.th [Online]. Available: <https://www.thairath.co.th/news/local/north/2735218>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].

- [12] กรมวิชาการเกษตร, “ส้มโอพันธุ์ท่าซ้อย,” Doaplant.doa.go.th [Online]. Available: <https://doaplant.doa.go.th/RecFront/PlantDetail/167>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [13] ปาริฉัตร นิลแนบแก้ว, “ส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่,” ตลาดเกษตรกรออนไลน์.com. [Online]. Available: <https://www.xn--12ca9cdcza1fboh6b4ca0evmxguh.com/p/1738/ส้มโอพันธุ์ขาวใหญ่-อัมพวา.html>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [14] ชุศรี น้ำจันทร์, “ส้มโอพันธุ์ขาวอุทัย,” Trueid.net [Online]. Available: <https://news.trueid.net/detail/YOzzANK28zXO>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2024].
- [15] กรมวิชาการเกษตร, “หนอนซอนใบส้มโอ,” Opsmoac.go.th [Online]. Available: <https://www.opsmoac.go.th/chiangrai-warning-preview-451091791430>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [16] พลังเกษตร, “เพลี้ยไฟ,” Palangkaset.com [Online]. Available: <https://www.palangkaset.com/ผักเศรษฐกิจ/แมลงศัตรูพืช-1/attachment/เพลี้ยไฟสร้างความอันตราย/>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [17] กรมวิชาการเกษตร, “ไรขาวพริก,” Unilife.co.th [Online]. Available: https://unilife.co.th/?agricultural_knowled=ระวางการระบาดของไรศัตรู-2. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [18] เทพ วัฒนา, “เพลี้ยหอยสีแดงแคลิฟอร์เนีย,” Thepwatana.com [Online]. Available: <https://thepwatana.com/blog/แมลงศัตรูสำคัญของ-ส้ม-เพลี้ยหอยสีแดงแคลิฟอร์เนีย/>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [19] สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, “ไรสนิมส้ม,” Opsmoac.go.th [Online]. Available: <https://www.opsmoac.go.th/kamphaengphet-warning-preview-452791791712>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [20] เอส พี ฟาร์ม, “ไรแดงแอฟริกัน,” Spfarm.co.th. [Online] Available: <http://www.spfarm.co.th/โรคภัยในทุเรียน/>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [21] ออลเกษตร, “ผีเสื้อหนอนซอนใบส้ม,” Allkaset.com [Online]. Available: <https://www.allkaset.com/diseases/หนอนซอนใบ.php>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].
- [22] กรมวิชาการเกษตร, “หนอนซอนใบส้มโอ,” Opsmoac.go.th [Online]. Available: <https://www.opsmoac.go.th/chiangrai-warning-preview-451091791430>. [Accessed: 1 ตุลาคม 2567].

- [23] NSW Governer, “*Citrus Leaf Miner Pupae*,” Dpi.nsw.gov.au [Online]. Available:<https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/citrus/content/insects-diseases-disorders-and-biosecurity/insect-pest-factsheets/leafminer>. [Accessed: October 1, 2024].
- [24] ศิริเรือง พัฒน์ช่วย และคณะ, “การจำแนกความสุกของผลกาแฟด้วยการประมวลผลภาพ Color Space,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 3, หน้า 369 - 381, กันยายน – ธันวาคม 2565.
- [25] วีระยุทธ สุริคำ และคณะ, “การจำแนกความสุกของกล้วยฉาบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, หน้า 55 - 67, มกราคม – เมษายน 2564.
- [26] A. Kale et al., “Cotton leaf disease detection using Image processing,” *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, vol. 8, no. 6, pp. a718 - a723, June 2021.
- [27] ศิริประภา หวังขึ้น และคณะ, “การพัฒนาระบบการคัดแยกขนาดไข่ไก่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ,” *วารสารแก่นเกษตร*, ปีที่ 51, ฉบับที่ suppl. 1, หน้า 14 - 21, มีนาคม – เมษายน 2566.
- [28] G. P. Prathibha et al., “Early pest detection in tomato plantation using image processing,” *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, vol. 96, no.12, pp. 22 - 24, June 2014.
- [29] สิทธิโชค อุ่นแก้ว, “การศึกษาวิธีการตรวจสอบราขาวบนผิวเนื้อยางแผ่น โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ,” *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2, หน้า 50 - 61, กรกฎาคม - ธันวาคม 2550.
- [30] กันตพงษ์ แซ่โล และคณะ, “การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวสารโดยใช้เทคนิคประมวลผลภาพ,” *วารสารแก่นเกษตร*, ปีที่ 51, ฉบับที่ 4, หน้า 756-768, กรกฎาคม – สิงหาคม 2566.
- [31] L. Johnny et al., “Pest detection and extraction using image processing techniques,” *International Journal of Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 189 - 192, May 2014.
- [32] อมรฤทธิ์ พุทธิพิพัฒน์ขจร และพัชราภรณ์ พรหมสุรินทร์, “การตรวจหารอยร้าวของไข่ภายใต้ระบบสุญญากาศ ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, หน้า 509 - 519, พฤษภาคม - มิถุนายน 2560.

- [33] พิศาล บุญมาวาสนาส่ง และสุนันทา สดสี, “การตรวจจับผู้ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากภาพถ่าย โดยเทคนิคการรู้จำสีแถมและความกว้างขนาดดวงตา,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 3, หน้า 539 – 549, พฤษภาคม - มิถุนายน 2562.
- [34] U. Birange et al., “Circle detection using circular hough transform,” *International Journal of Scientific Research and Engineering*, vol. 2, no. 5, pp 1070 - 1072, September – October 2019.
- [35] L. Chen and L. Chen, “Adaptive image enhancement method based on gamma correction,” *Academic Journal of Computing & Information Science*, vol. 5, no. 4, pp. 65 - 70, May 2022.
- [36] Y. Min Oo and N. Htun, “Plant leaf Disease detection and classification using image processing,” *International Journal of Research and Engineering*, vol. 5, no. 9, pp. 517 -523, September - October 2018.
- [37] S. Itnal et al., “Pest detection using Image processing,” *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 1496 – 1498, December 2019.
- [38] J. A. G. Camperos et al., “Digital image processing techniques for detection of pests and diseases in crops,” *Ingenieríay Competitividad*, vol. 24, no. 1, pp. 1 - 7, January 2022.
- [39] V. Sawasdee and N. Wangkeeree, “Finding of suitable and secure threshold value for an iris authentication,” *J Sci Technol MSU*, vol 40, no. 1, pp. 40 - 49, January - February 2021.
- [40] W. Wang et al., “Weak-Light image enhancement method based on adaptive local gamma transform and color compensation,” *Hindawi Journal of Sensors*, vol. 2021, Article ID 5563698, pp. 1 - 18, June 2021.
- [41] H. Sayin et al., “Optimization of CBCT data with image processing methods and production with fused deposition modeling 3D printing,” *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 63, no 8, pp. 2235 – 2246, July 2025.
- [42] Sumsung, “Galaxy A13,” Samsung.com [Online]. Available: <https://www.samsung.com/th/smartphones/galaxy-a/galaxy-a13-light-blue-128gb-sm-a135flbth/>. [Accessed: October 1, 2024].

- [43] ภูมิรินทร์ ตันอุตม์ และ ณัฐกร ขำสุวรรณ, “การพัฒนาเครื่องต้นแบบคัดแยกดอกดาวเรืองโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ,” *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 13, หน้า 79 - 92, มกราคม – มิถุนายน 2562.
- [44] OpenCV, “*Contour Perimeter*,” OpenCV.org [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html#autotoc_md1314. [Accessed: February 22, 2025].
- [45] E. Furey, “*Circle Calculator*,” Calculatorsoup.com [Online]. Available: <https://www.calculatorsoup.com/calculators/geometry-plane/circle.php>. [Accessed: February 22, 2025].
- [46] Cuemath, “*Percentage Formula*,” Cuemath.com [Online]. Available: <https://www.cuemath.com/commercial-math/percentages/>. [Accessed: February 22, 2025].
- [47] Chakraborty et al., “Prediction of apple leaf diseases using multiclass support vector machine,” *2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques, (ICREST'21)*, Dhaka, Bangladesh, January 5-7, 2021, pp. 147 - 151.
- [48] F. F. Ahsan et al., “Deep learning-based analysis of insect life stages using a repurposed dataset,” *Journal Ecological Informatics*, vol. 90, no. 103202, pp. 1 – 12, May 2025.
- [49] C. Sunil et al., “*Binary Class and Multi-Class Plant Disease Detection using Ensemble Deep Learning-Based Approach*,” researchgate.net [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/365251408_Binary_class_and_multi-class_plant_disease_detection_using_ensemble_deep_learning-based_approach. [Accessed: February 20, 2026].

ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก.

โค้ดโปรแกรม(System Code)

TNI


```

import cv2
import numpy as np
import os
from tkinter import Tk, filedialog, simpledialog

def select_image():
    root = Tk()
    root.withdraw()
    file_path = filedialog.askopenfilename(
        title="Select an Image",
        filetypes=[("Image Files", "*.jpg *.jpeg *.png *.bmp *.tiff")]
    )
    return file_path

def resize_image_to_fit(image, max_width, max_height):
    h, w = image.shape[:2]
    if w > max_width or h > max_height:
        scale = min(max_width / w, max_height / h)
        new_width = int(w * scale)
        new_height = int(h * scale)
        return cv2.resize(image, (new_width, new_height),
            interpolation=cv2.INTER_AREA)
    return image

def crop_image(image_path):
    image = cv2.imread(image_path)
    max_width = 800
    max_height = 600
    resized_image = resize_image_to_fit(image, max_width, max_height)
    hsv = cv2.cvtColor(resized_image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    lower_leaf = np.array([39, 40, 54])

```

```

upper_leaf = np.array([85, 255, 255])
leaf_mask = cv2.inRange(hsv, lower_leaf, upper_leaf)
contours, _ = cv2.findContours(leaf_mask, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
if contours:
    leaf_contour = max(contours, key=cv2.contourArea)
    x, y, w, h = cv2.boundingRect(leaf_contour)
    scale_w = image.shape[1] / resized_image.shape[1]
    scale_h = image.shape[0] / resized_image.shape[0]
    x = int(x * scale_w)
    y = int(y * scale_h)
    w = int(w * scale_w)
    h = int(h * scale_h)
    cropped_image = image[y:y+h, x:x+w]
    total_pixels = cropped_image.shape[0] * cropped_image.shape[1]
    print(f"Total pixels in cropped image: {total_pixels}")
    save_path = os.path.join(os.path.dirname(image_path), "cropped_image.jpg")
    cv2.imwrite(save_path, cropped_image)
    print(f"Cropped image saved at {save_path}")
    return image, cropped_image
else:
    print("No leaf detected.")
    return image, None

gamma_value = 0.8

def adjust_contrast(image, alpha=0.7, beta=0):
    adjusted_image = cv2.convertScaleAbs(image, alpha=alpha, beta=beta)
    return adjusted_image

def adjust_gamma(image, gamma=gamma_value):
    inv_gamma = 1.0 / gamma

```

```

    table = np.array([(i / 255.0) ** inv_gamma * 255 for i in np.arange(0,
256)]).astype("uint8")

    return cv2.LUT(image, table)

def detect_leaf_and_eggs(cropped_image, gamma_value):
    hsv = cv2.cvtColor(cropped_image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    lower_leaf = np.array([39, 40, 54])
    upper_leaf = np.array([85, 255, 255])
    leaf_mask = cv2.inRange(hsv, lower_leaf, upper_leaf)
    contours, _ = cv2.findContours(leaf_mask, cv2.RETR_EXTERNAL,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    if contours:
        leaf_contour = max(contours, key=cv2.contourArea)
        cv2.drawContours(cropped_image, [leaf_contour], -1, (0, 255, 0), 1)

    adjusted_image = adjust_contrast(cropped_image)
    gamma_adjusted_image = adjust_gamma(adjusted_image, gamma=gamma_value)
    masked_gamma_adjusted = np.where(leaf_mask[:, :, None] == 255,
gamma_adjusted_image, cropped_image).astype(np.uint8)
    gray_image = cv2.cvtColor(masked_gamma_adjusted, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    blurred_gray = cv2.GaussianBlur(gray_image, (3, 3), 0)
    edges = cv2.Canny(blurred_gray, 50, 205)
    kernel = np.ones((5, 6), np.uint8)
    dilate_edges = cv2.dilate(edges, kernel, iterations=1)
    kernel1 = np.ones((1, 1), np.uint8)
    erode_edges = cv2.erode(dilate_edges, kernel1, iterations=1)
    canny_edges_with_filled_circles = erode_edges.copy()

    circles = cv2.HoughCircles(erode_edges, cv2.HOUGH_GRADIENT,
1, 10, param2=12, minRadius=3, maxRadius=13)

```

```

detected_by_shape = []
egg_count = 0

if circles is not None:
    circles = np.uint16(np.around(circles))
    for circle in circles[0, :]:
        center = (circle[0], circle[1])
        radius = circle[2]
        circumference = 2 * np.pi * radius

        detected_contour = cv2.circle(np.zeros_like(leaf_mask), center, radius, 255,
thickness=1)
        contour_perimeter = np.sum(detected_contour == 255)
        completeness = (contour_perimeter / circumference) * 100 if circumference >
0 else 0

        if completeness >= 80:
            detected_by_shape.append((circle[0], circle[1], radius))
            cv2.circle(cropped_image, center, radius, (0, 0, 255), 2)

            cv2.putText(cropped_image, f"{completeness:.1f}%",
                (center[0] - radius, center[1] - radius - 10),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (255, 255, 255), 1)

            print(f"Circle at ({center[0]}, {center[1]}) with radius {radius} and
completeness {completeness:.1f}%")

            cv2.circle(canny_edges_with_filled_circles, center, radius, 255, -1)
            circle_mask = np.zeros_like(leaf_mask)
            cv2.circle(circle_mask, center, radius, 255, thickness=-1)
            pixel_count = np.sum(circle_mask == 255)
            print(f"Number of pixels inside the circle: {pixel_count}")

```



```

hsv_circle = cv2.cvtColor(cropped_image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
mask_circle = cv2.inRange(hsv_circle, lower_leaf, upper_leaf)
mask_circle = cv2.bitwise_and(mask_circle, circle_mask)

color_ranges = [
    (np.array([40, 1, 60]), np.array([49, 255, 250])),
    (np.array([30, 1, 60]), np.array([44, 255, 250])),
    (np.array([29, 1, 60]), np.array([41, 255, 250])),
    (np.array([28, 1, 60]), np.array([49, 255, 250])),
    (np.array([30, 1, 60]), np.array([45, 255, 250])),
]

combined_color_mask = np.zeros_like(circle_mask)
for lower, upper in color_ranges:
    color_mask = cv2.inRange(hsv_circle, lower, upper)
    color_mask = cv2.bitwise_and(color_mask, circle_mask)
    combined_color_mask = cv2.bitwise_or(combined_color_mask,
color_mask)

total_color_pixels = np.sum(combined_color_mask == 255)

color_percentage = (total_color_pixels / pixel_count) * 100 if pixel_count >
0 else 0

if color_percentage > 20:
    outer_radius = int(radius * 1.2)
    cv2.circle(cropped_image, center, outer_radius, (255, 0, 0), 2)

    cv2.putText(cropped_image, f"{color_percentage:.1f}%",
                (center[0] - outer_radius, center[1] - outer_radius - 30),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 255, 0), 1)

```

```

        print(f"Found color range {lower} - {upper} in circle at ({center[0]},
{center[1]}) : {color_percentage:.1f}%")

        print(f"Contour_Perimeter: {contour_perimeter}")

        egg_count += 1

    cv2.putText(cropped_image, f"Total Eggs: {egg_count}",
                (10, 30),
                cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 1, (0, 255, 255), 2)

    print(f"Total number of eggs detected: {egg_count}")

    return gray_image, blurred_gray, edges, cropped_image, masked_gamma_adjusted,
    adjusted_image, canny_edges_with_filled_circles

def main():
    image_path = select_image()
    if not image_path:
        print("No image selection.")
        return

    original_image, cropped_image = crop_image(image_path)
    if original_image is not None:
        cv2.imshow("[1] Original Image", resize_image_to_fit(original_image, 800, 600))
        print("OK")

    if cropped_image is not None:
        resized_cropped_image = resize_image_to_fit(cropped_image, 800, 600)
        gray_image, blurred_gray, edges, result_image, masked_gamma_adjusted,
        adjusted_image, canny_edges_with_filled_circles =
        detect_leaf_and_eggs(resized_cropped_image, gamma_value)

        cv2.imshow("[2] Cropped Image (Cropped Image)",
                    resize_image_to_fit(cropped_image, 600, 400))

```

```
cv2.imshow("[3] Cropped Image (After Contrast Adjustment)",
resize_image_to_fit(adjusted_image, 600, 400))

cv2.imshow("[4] Cropped Image (After Contrast Adjustment -> Gamma
Adjustment)", resize_image_to_fit(masked_gamma_adjusted, 600, 400))

cv2.imshow("[5] Cropped Image (Grayscale - Before Blur)",
resize_image_to_fit(gray_image, 600, 400))

cv2.imshow("[6] Cropped Image (Grayscale - After Blur)",
resize_image_to_fit(blurred_gray, 600, 400))

cv2.imshow("[7] Cropped Image (Edges)", resize_image_to_fit(edges, 600, 400))

cv2.imshow("[8] Canny Edges with Filled Circles",
resize_image_to_fit(canny_edges_with_filled_circles, 600, 400))

cv2.imshow("[9] Cropped Image with Leaf and Eggs Detection",
resize_image_to_fit(result_image, 600, 400))

canny_edges_with_filled_circles_save_path =
os.path.join(os.path.dirname(image_path), "canny_edges_with_filled_circles.jpg")
cv2.imwrite(canny_edges_with_filled_circles_save_path,
canny_edges_with_filled_circles)

print(f"Result image saved at {canny_edges_with_filled_circles_save_path}")

result_image_save_path = os.path.join(os.path.dirname(image_path),
"result_image.jpg")

cv2.imwrite(result_image_save_path, result_image)
print(f"Result image saved at {result_image_save_path}")

cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()

if __name__ == "__main__":
    main()
```

ภาคผนวก ข.
การตีพิมพ์ผลงานวิจัย



Detection of Pomelo Leaf Miner's Eggs Using Image Processing Technique

Sombat Suksawaeng
Faculty of Information Technology
Thai-Nichi Institute of Technology
Bangkok, Thailand
su.sombat_st@tni.ac.th

Sapransit Mruetusatorn
Faculty of Information Technology
Thai-Nichi Institute of Technology
Bangkok, Thailand
*Corresponding Author:
sapransit@tni.ac.th

Abstract—Pomelo production in Thailand faces significant yield losses due to infestation by the Citrus Leaf Miner (*Phyllocnistis citrella*). Manual inspection of leaf miner eggs is labor-intensive and prone to human error due to their small size (≈ 1 mm) and color similarity to leaf surfaces. This study proposes a rule-based image processing pipeline for automated detection of pomelo leaf miner eggs using geometric and color features. The novelty lies in integrating Hough Circle Transform with HSV color matching to detect pomelo leaf miner eggs early, before leaf damage occurs. A dataset of 100 images captured under controlled lighting (using a lighting control box) conditions was used for validation. The proposed method integrates HSV color segmentation, contrast adjustment, Gaussian blur, Canny edge detection, morphological operations, Hough Circle Transform, Circularities, and color matching verification. Experimental results demonstrate that combining shape, size, and color features significantly improves performance compared to using geometric features alone. The proposed approach achieved 96.00% accuracy, 100.00% precision, 92.31% recall, 96.00% F1-score, and 100.00% specificity, with only 4.00% error rate. The results indicate that the method is effective for early pest detection under controlled conditions. However, performance in real-world orchard environments with natural sunlight, shadows, and complex backgrounds remains to be validated. Future work will therefore focus on dataset expansion, real-world orchard validation, and comparison with deep learning approaches to enhance robustness and field applicability.

Keywords— *image processing, pest detection, pomelo leaf miner, agricultural, rule-based, edge detection, pomelo, citrus leaf miner, Hough Circle Transform, Color segmentation*

I. INTRODUCTION

Pomelo (*Citrus maxima*) cultivation represents a significant agricultural sector in Thailand, contributing substantially to the national economy. However, Citrus Leaf Miner (CLM) infestations cause annual economic losses exceeding 450 million baht due to reduced yields [1]. Traditional manual inspection methods prove inefficient as CLM eggs measure approximately 1 mm in diameter and exhibit color characteristics similar to leaf veins [2].

This paper presents a novel image processing pipeline for automated Pomelo Leaf Miner egg detection, addressing three key challenges: (1) small target size relative to leaf surface, (2) color similarity between eggs and leaf background, and (3) variable lighting conditions in field environments. Unlike prior studies focusing on leaf damage symptoms, this work detects pest eggs at the pre-damage stage, enabling earlier

intervention. Our approach combines multiple image processing techniques to achieve robust detection performance.

Given the well-defined visual characteristics of Pomelo Leaf Miner eggs and the limited dataset available, this study adopts a rule-based image processing pipeline grounded in domain knowledge rather than deep learning. This choice offers advantages with low computational cost, high transparency, and minimal data requirements, making it particularly suitable for initial deployment on **low-power devices**, where the computational overhead of deep learning models would be too heavy. Future work will compare this approach with machine learning methods to further validate robustness in real-world conditions.

II. RELATED WORKS

Recent advances in agricultural image processing have demonstrated promising results for various pest detection applications. Leaf diseases detection, SVM for classification, achieving a 96% accuracy rate in identifying apple leaf diseases [3], plant disease detection and proposed an integrated deep learning based on a combination of AlexNet, ResNet50 and VGG16, the maximum detection accuracy of the proposed method for binary dataset is 100% and for multi-class dataset is 99.53%. [4]. Ahsan et al. [5] repurposed the large-scale IP102 dataset by adding detailed annotations for four insect life stages egg, larva, pupa, and adult. Using deep learning models based on ResNet50 and EfficientNetV2M, they achieved high performance in life-stage classification, with EfficientNetV2M reaching 96.5% precision and 96.1% F1-score for stage identification. While deep learning methods such as CNN have shown strong performance in pest detection, this study establishes a rule-based baseline method, which will be compared against learning-based approaches in future work.

III. METHODOLOGY

The methodology adopts a rule-based pipeline for three primary reasons: (1) Pomelo Leaf Miner egg visual characteristics are well-defined and distinguishable through geometric and color features, eliminating the need for data-driven learning; (2) the rule-based system operates with lower computational cost suitable for resource-constrained devices; and (3) it requires significantly less training data than deep learning, which is practical given the limited dataset available.

The overall workflow of the proposed system, based on this rationale, is shown in Fig. 1 and consists of four main stages: Data gathering and analysis, Image acquisition, Image pre-processing, and Detection combining geometric and color features to enable accurate identification of pomelo leaf miner eggs.

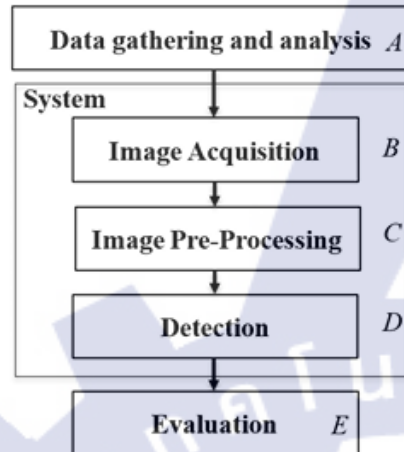


Fig.1 Overall workflow

A. Data Gathering and Analysis

The life cycle of the citrus leaf miner was examined to identify the most suitable detection stage for preventive control. The egg stage was found to be ideal due to its stationary position, consistent shape, and visibility to the naked eye, with a diameter of approximately 1 mm.

This study collected and analyzed pomelo leaf images, focusing particularly on young to middle-aged leaves, as these stages are the most susceptible to citrus leaf miner egg infestation. An analysis was conducted on the color characteristics of both the leaves and the eggs to determine color ranges that could be used for feature extraction. Pomelo leaves were predominantly green, while the eggs ranged from off-white to pale yellow, making color a viable attribute for distinguishing between leaf and egg regions in images.

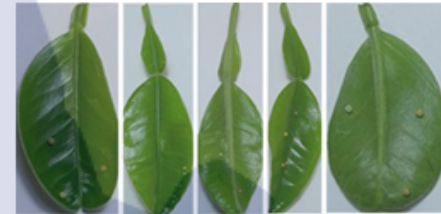
B. Image Acquisition

Images were captured using a Samsung Galaxy A13 smartphone with camera resolution 50M pixel at a distance of 10 cm under controlled lighting conditions box. The dataset comprises 100 images, randomly split into a training set of 50 images (26 with eggs, 24 without eggs) and a testing set of 50 images (26 with eggs, 24 without eggs). All 100 images were captured under controlled conditions using a lighting box with an illuminance of approximately 125 lux, measured at the leaf surface using a digital lux meter. The setup for image acquisition a sample leaf with eggs and without eggs as shown in Fig.2



A: Lighting control box

B: Leaf without eggs



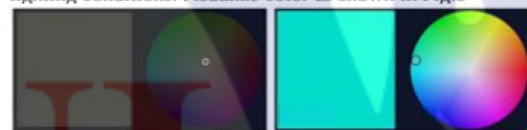
C: Leaves with eggs

Fig.2 Image acquisition

C. Image preprocessing

The image pre-processing stage aims to prepare the input images for accurate detection of leaf miner eggs. This stage is organized according to specific objectives.

1) **Pomelo leaf region finding** to separate the pomelo leaf from the background and identify the **segmentation of the leaf from the background** by applying **color segmentation** [6], [7],[11], [13],[22]. A representative input image is loaded and converted from the RGB color space to the HSV color space. This process results in approximately 1,031,506 pixels corresponding to the leaf region. The HSV thresholds were statistically derived from 50 training images. The lower bound ($H=77.87^\circ$, $S=15.63\%$, $V=21.20\%$) represents minimum observed values, while the upper bound ($H=169.53^\circ$, $S=100\%$, $V=100\%$) was intentionally set to maximize coverage of leaf color variations under different lighting conditions. Visualize color as shown in Fig.3



A: Lower bound

B: Upper bound

Fig.3 Color segmentation

2) **Reduction of light Reflection to reduce the influence of light reflections on original RGB image.** **Contrast Adjustment**[20],[21] is applied using parameters: α , β which controls multiplicative contrast, and γ which adjusts brightness through a power-law transformation. This process helps to diminish the brightness caused by reflections on the pomelo leaf surface and enhances the visibility of circular-shaped objects. As a result, the detection of pomelo leaves and leaf miner eggs is improved. Reflected light can

cause certain regions of the image to become excessively bright. Reducing $\alpha < 1$ and $\beta = 0$ helps decrease the overall image brightness, including overly bright areas. Additionally $\gamma < 1$ increases the brightness in darker regions more than in brighter ones, thereby improving image balance as shown in equation (1) and (2) and before and after image contrast adjustment as shown in Fig. 4. In this study, the exact parameter values used were $\alpha = 0.7$, $\beta = 0$, and $\gamma = 0.8$, determined empirically to optimally suppress specular reflections while preserving egg visibility.

Contrast Adjustment(alpha)

$$g(i, j) = \alpha \times f(i, j) + \beta \quad (1)$$

$g(i, j)$ represents the brightness value of the pixel in the output image at the corresponding position.

$f(i, j)$ represents the brightness value of the pixel in the input image at row i and column j .

α is a parameter that controls the contrast.

β is a parameter that controls the brightness.

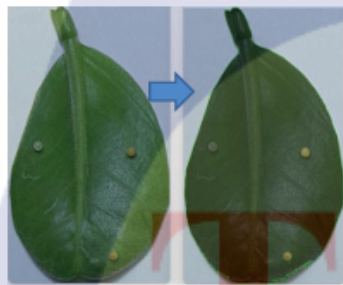
Contrast Adjustment(gamma)

$$O = \left(\frac{I}{255} \right)^\gamma \times 255 \quad (2)$$

I represents the **intensity value of a pixel in each channel (R, G, or B) of the RGB image.**

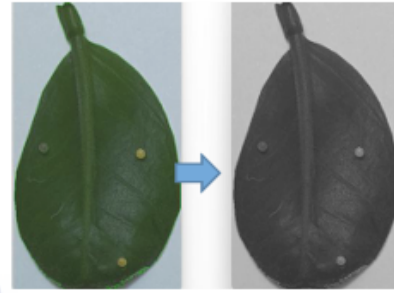
γ is a parameter that controls brightness adjustment. If $\gamma < 1$, the dark regions of the image will be brightened more than the bright regions; if $\gamma > 1$ the dark regions will be darkened more than the bright regions.

255 is the maximum brightness value of a pixel in an 8-bit image



A: Original B: Contrast adjusted
Fig.4 Contrast adjustment

3) Reduction of Color Complexity to reduce color complexity before further processing by converting RGB to Grayscale. [8], [9], [10],[13], [14], [15]. This simplifies the data and prepares the image for further reduction of residual light reflections that may remain after the contrast adjustment. Before and after contrast adjusted and convert from RGB to Grayscale as shown in Fig.5



A: Contrast Adjusted B: Grayscale
Fig.5 Convert RGB to Grayscale

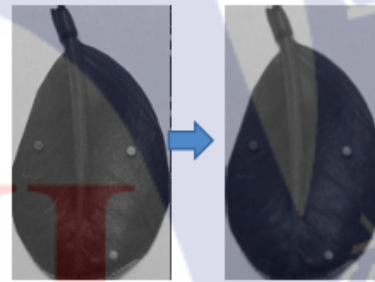
4) Reduction of Residual Reflection to further reduce residual reflection remaining after contrast adjustment by using Gaussian Blur [8],[9] with an initial kernel size of 3×3 is applied to the grayscale image. The blurring process indirectly mitigates reflections, which often appear as overly bright regions with sharp boundaries. By blurring the image, these sharp edges become less defined, causing the reflected light to appear more diffused and spread across neighboring pixels. This enhances the performance of subsequent edge detection by reducing noise and smoothing out overly bright regions. As shown in equation (3) and image of Before and after Gaussian Blur as shown in Fig.6

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

$G(x, y)$ is the value of the Gaussian function at position (x, y) .

σ is the standard deviation, controlling the spread (or "width") of the Gaussian kernel.

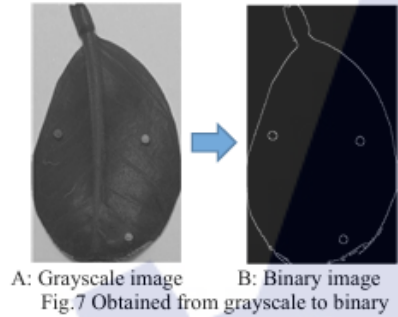
x and y are the distances from the center of the kernel in the horizontal and vertical directions, respectively.



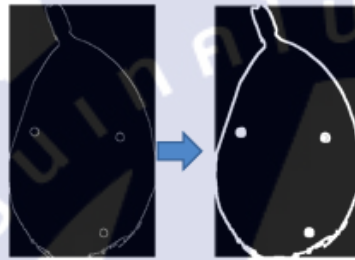
A: Before B: After
Fig.6 Gaussian Blur

5) Detected Edge Refinement to refine the edges detected by the Canny edge detection method, enhancing the clarity, continuity, and roundness of the leaf miner egg boundaries by applied **Morphological Operations** [9],[12],[15]. After converting the contrast-adjusted image to grayscale and applying Canny edge detection to obtain a binary image as shown in Fig. 7, morphological operations refine the detected edges. Experimentally evaluated multiple

dilation kernel sizes and found that a 5×6 kernel yielded the most continuous edge connectivity with minimal shape distortion compared to other kernel configurations. Subsequently, 1×1 erosion kernel was selected to eliminate residual edge artifacts introduced by the dilation process, as larger erosion kernels were found to cause unacceptable shape deformation in circular structures.



A: Grayscale image B: Binary image
Fig.7 Obtained from grayscale to binary



A: Before B: After
Fig.8 Morphological operation

6) **Preliminary Finding for Leaf Miner's Eggs** to segment the color range of leaf miner eggs and ensure coverage of all possible color conditions by applying **Color Segmentation** [6], [7], [13] for Leaf Miner's Egg(s), representative pixels from 74 eggs samples (totaling 73,871 pixels) were extracted. The mean (μ) and standard deviation (σ) of the **Hue (H)** component were calculated, along with the minimum and maximum values of **Saturation (S)** and **Value (V)** as shown in Table 1. These values were then used to define the lower and upper bounds of the HSV color range for each group of egg conditions, serving as the foundation for color-based detection rules.

TABLE 1: LEAF MINER EGG COLOR RANGE

Egg Group	Mean of Hue (μ)	Std Dev of Hue (σ)	Lower color range				Upper	
			μ - σ (H)	min(S)	min(V)	μ + σ (H)	max(S)	max(V)
Whitish	88.26°	8.98°	79.28°	0.39%	23.53%	97.24°	100.00%	98.04%
Light Yellow	73.90°	13.92°	59.98°	0.39%	23.53%	87.82°	100.00%	98.04%
Dark Yellow	70.08°	11.64°	58.44°	0.39%	23.53%	81.72°	100.00%	98.04%
Dark	76.74°	21.26°	55.48°	0.39%	23.53%	98.00°	100.00%	98.04%
Others	73.90°	14.22°	59.68°	0.39%	23.53%	88.12°	100.00%	98.04%

D. Detection

1) The Hough Circle Transformation [16], [17],[18], [19] is applied to detect circular shapes in the edge-enhanced image, as shown in equation (4) The parameters were configured as param2 = 12, MinRadius = 3, and

MaxRadius = 13. The radius bounds were derived from diameter measurements collected from 74 leafminer egg specimens, while param2 was determined empirically through parameter tuning, yielding a value of 12 from experimental study that minimized detection errors. This method identifies circles that match specific size and shape criteria, allowing for the detection of objects such as leaf miner eggs that exhibit circular characteristics.

$$(x - x_{center})^2 + (y - y_{center})^2 = r^2 \quad (4)$$

(x, y) represents any point on the circumference of a shape that approximates a circle.

(x_{center}, y_{center}) represents the center point of the shape that approximates a circle.

r denotes the radius of the circle.

2) **Evaluation of Circular Completeness** to assess the likelihood that a detected circle corresponds to a leaf miner egg, the completeness of the circumference is evaluated, as shown in equation(5). This is done by comparing the actual number of pixels detected along the circular edge with the theoretical circumference calculated using the equation $2\pi r$. If the completeness is greater than or equal to 80%, the circle is considered to have a high probability of representing a leaf miner egg.

$$completeness = \left(\frac{contour_perimeter}{circumference} \right) \times 100 \quad (5)$$

contour_perimeter represents the no. of pixels detected along the circle contour drawn on the image.

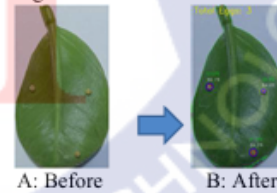
circumference represents the perimeter of the circle, calculated using the formula $2\pi r$ where r is the radius of the circle.

Matched Color of Eggs to further validate whether a detected circle corresponds to a leaf miner egg, the **percentage of pixels within the defined color range** specific to leaf miner eggs is calculated for each detected circular region (based on shape and size), as shown in equation (6). If the percentage of matching color pixels is **greater than or equal to 20%**, an additional circle is drawn to mark it, and the circle is counted as a valid leaf miner egg. As shown in Fig.10

$$color_percentage = \left(\frac{total_color_pixels}{pixel_count} \right) \times 100 \quad (6)$$

total_color_pixel represents the total no. of pixels within the circular region that match the specified color range.

pixel_count represents the total number of pixels inside the drawn circular region.



A: Before B: After
Fig.10 Detection

E. Evaluation

To quantitatively evaluate and compare the detection performance between the two proposed methods are using only **shape**, **size** features and using **shape**, **size**, **color range** features. Confusion matrix was employed for each method. The matrix categorizes predictions into four outcomes: True Positive (TP), False Positive (FP), True Negative (TN), and False Negative (FN), as shown in Table 2. Key performance metrics, including Accuracy, Error Rate, Precision, Recall, Specificity, and F1-score, were calculated using equations (7) – (12) for both experimental setups.

TABLE II: CONFUSION MATRIX OUTCOMES

Actual	Predicted	
	With Egg	Without Egg
No. of pomelo leaf with egg	True Positive (TP)	False Negative (FN)
No. of pomelo leaf without egg	False Positive (FP)	True Negative (TN)

Accuracy: Overall correctness of predictions.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (7)$$

Error: Proportion of incorrect predictions.

$$Error = \frac{FP+FN}{TP+TN+FP+FN} \quad (8)$$

Precision: Reliability of positive detections.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (9)$$

Recall: Ability to detect all actual positives.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (10)$$

Specificity: Ability to reject false negatives.

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (11)$$

F1-score: Harmonic mean of precision and recall.

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (12)$$

IV. EXPERIMENTAL RESULT

A. Leaf Miner Egg Detection Using Shape and Size

Egg detection using shape and size was evaluated on 50 young pomelo leaf images. The model achieved 92.00% accuracy and 92.31% recall but produced false positives in two non-egg images, resulting in 92.31% precision, 91.67% specificity, and an F1 score of 92.31% (Table 3). These results suggest that further improvement is needed to reduce false detections.

TABLE III: CONFUSION MATRIX DETECTING RESULT BY USING SHAPE AND SIZE

Actual \ Predicted	Predicted: With Egg	Predicted: Without Egg
No of pomelo leaf with egg	True Positive(TP)	False Negative(FN)
26	24	2
No of pomelo leaf without egg	False Positive(FP)	True Negative(TN)
24	2	22

B. Leaf Miner Egg Detection Using Shape, Size, and Color Range

Egg detection using shape, size, and color range was evaluated on 50 images of young pomelo leaves. The model achieved 96.00% accuracy with a 4.00% error rate and a recall of 92.31%. It obtained 100.00% precision and 100.00% specificity, with an F1 score of 96.00%, as shown in Table 4. These results demonstrate the model's strong effectiveness in detecting leaf miner eggs and distinguishing between images with and without eggs.

TABLE IV: CONFUSION MATRIX DETECTING RESULT BY USING SHAPE, SIZE, COLOR RANGE

Actual \ Predicted	Predicted: With Egg	Predicted: Without Egg
No of pomelo leaf with egg	True Positive(TP)	False Negative(FN)
26	24	2
No of pomelo leaf without egg	False Positive(FP)	True Negative(TN)
24	0	24

A False Negative example is shown in Fig.11. The model failed to detect the egg because the test image's heavy shadows were not well-represented in the training dataset.

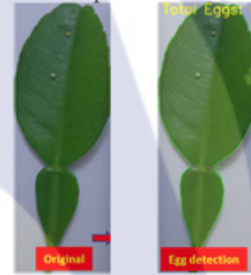


Fig. 11 False Negative

C. Comparison of experimental result

To further assess the effectiveness of the proposed approach, the performance of two detection methods between shape, size and shape, size, color range was compared using confusion matrices, including accuracy, error rate, precision, recall, specificity, and F1-score based on confusion matrix, evaluation result as shown in Table 5

TABLE V: COMPARISON EGG DETECTION RESULT

Detection Criteria	Accuracy	Error Rate	Precision	Recall	Specificity	F1 Score
Shape & Size	92.00%	8.00%	92.31%	92.31%	91.67%	92.31%
Shape, Size & Color range	96.00%	4.00%	100.00%	92.31%	100.00%	96.00%

V. DISCUSSION

Combining shape, size, and color range significantly enhanced detection performance over using shape and size alone. Color verification improved precision, specificity, and F1-score by reducing false positives, but recall remained unchanged (92.31%) because eggs under heavy shadows failed shape detection before color verification could be applied. Occasional misclassification of similarly shaped and colored objects highlights the need for better feature discrimination. Overall, the model shows strong potential for early-stage pest monitoring in agriculture.

Future work will investigate shadow removal and illumination normalization techniques such as adaptive histogram equalization to improve recall.

All parameters were manually tuned on the training set (50 images) via trial-and-error to maximize F1-score. Selected values: $\alpha=0.7$, $\gamma=0.8$, Gaussian kernel 3×3 , Canny (50,205), dilation 5×6 , erosion 1×1 , Hough param2=12, minRadius=3, maxRadius=13

The study was conducted under controlled lighting with a limited dataset, which may not fully represent real orchard conditions. Rule-based thresholds may be sensitive to natural light variation, shadows, and leaf backgrounds, and circular objects such as water droplets or debris may be misclassified. Future work will address these limitations by: (1) expanding the dataset with diverse real-orchard images, including variations in lighting conditions, temperature, **particles** and water **droplets**, (2) benchmarking against lightweight deep learning models such as YOLOv8s selected for their suitability for deployment on mobile and low-power devices, (3) integrating adaptive thresholding, and (4) developing a mobile/IoT-enabled application for real-time farmer use.

VI. CONCLUSION

This study proposed an image processing approach for detecting pomelo leaf miner eggs based on shape, size, and color range. Experimental results showed that the integration of color features significantly improved detection performance compared to using only shape and size. The proposed model achieved high accuracy (96.00%), with strong precision, specificity, and F1 score, indicating its potential for agricultural pest monitoring. This performance is comparable to related works, such as Chakraborty et al. [3] (96% accuracy) and Ahsan et al. [5] (96.5% precision), demonstrating that the proposed rule-based approach achieves competitive results without requiring large training datasets.

The current study demonstrates the feasibility of a rule-based image processing approach for detecting leaf miner eggs under controlled conditions. However, the method's performance in real orchard environments with natural light, shadows, and complex backgrounds remains to be

REFERENCES

- [1] S. Meecharoen, *Pomelo*, Phichit: Phichit Horticultural Research Center, Agricultural Research and Development Office Region 2, 2009.
- [2] Information and Communication Technology Center, *Pomelo*, (Report), Bangkok: Department of Agricultural Extension, 2020.
- [3] Chakraborty et al., "Prediction of apple leaf diseases using multiclass support vector machine," 2nd International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques, (ICREST'21), Dhaka, Bangladesh, January 5-7, 2021, pp. 147 - 151.
- [4] C. Sunil et al., "Binary Class and Multi-Class Plant Disease Detection using Ensemble Deep Learning-Based Approach," *researchgate.net* [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/365251408_Binary_class_and_multi-class_plant_disease_detection_using_ensemble_deep_learning_based_approach. [Accessed: February 20, 2026].
- [24] F. F. Ahsan et al., "Deep Learning-Based Analysis of Insect Life Stages Using a Repurposed Dataset," *Ecological Informatics*, vol. 90, 2025.
- [6] S. Phatchuay et al., "Coffee Ripeness Classification Using Color Space Image Processing," *Journal of Industrial Technology and Engineering, Pibulsongkram Rajabhat University*, vol. 4, no. 3, pp. 369-381, Sep.-Dec. 2022.
- [7] A. Kale et al., "Cotton leaf disease detection using Image processing," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, vol. 8, no. 6, pp. a718 - a723, June 2021.
- [8] S. Wangchuen et al., "Development of Egg Size Sorting System Using Image Processing Techniques," *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 51, suppl. 1, pp. 14-21, Mar.-Apr. 2023.
- [9] S. Inal et al., "Pest detection using Image processing," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 1496 - 1498, December 2019.
- [10] L. Johnny et al., "Pest detection and extraction using image processing techniques," *International Journal of Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 189 - 192, May 2014.
- [11] S. Phatchuay et al., "Coffee Ripeness Classification Using Color Space Image Processing," *Journal of Industrial Technology and Engineering, Pibulsongkram Rajabhat University*, vol. 4, no. 3, pp. 369-381, Sep.-Dec. 2022.
- [12] S. Unkaew, "Detection of White Mold on Rubber Sheet Surface Using Image Processing," *Thaksin University Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 50-61, Jul.-Dec. 2007.
- [13] K. Khaeso et al., "Rice Grain Quality Inspection Using Image Processing Techniques," *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 51, no. 4, pp. 756-768, Jul.-Aug. 2023.
- [14] A. Putthiphiphatkajorn and P. Phromsurin, "Detection of Egg Cracks under Vacuum System Using Image Processing Techniques," *Journal of Science and Technology*, vol. 25, no. 3, pp. 509-519, May-Jun. 2017.
- [15] G. P. Prathibha et al., "Early pest detection in tomato plantation using image processing," *International Journal of Computer Applications* (0975 - 8887), vol. 96, no.12, pp. 22 - 24, June 2014.
- [16] V. Sawasdee and N. Wangkeeree, "Finding Suitable and Secure Threshold Values for Iris Authentication," *J Sci Technol MSU*, vol. 40, no. 1, pp. 40-49, Jan.-Feb. 2021.
- [17] P. Boonmawasanasong and S. Sodri, "Detection of Alcohol Drinkers from Images Using Cheek Color and Eye Width Recognition," *Journal of Science and Technology*, vol. 27, no. 3, pp. 539-549, May-Jun. 2019.
- [18] U. Birange et al., "Circle detection using circular hough transform," *International Journal of Scientific Research and Engineering*, vol. 2, no. 5, pp 1070 - 1072, September - October 2019.
- [19] L. Chen and L. Chen, "Adaptive image enhancement method based on gamma correction," *Academic Journal of Computing & Information Science*, vol. 5, no. 4, pp. 65 - 70, May 2022.
- [20] W. Wang et al., "Weak-Light image enhancement method based on adaptive local gamma transform and color compensation," *Hindawi Journal of Sensors*, vol. 2021, Article ID 5563698, pp. 1 - 18, June 2021.
- [21] H. Sayin et al., "Optimization of CBCT data with image processing methods and production with fused deposition modeling 3D printing," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 63, no 8, pp. 2235 - 2246, July 2025.
- [22] Y. Min Oo and N. Htun, "Plant leaf Disease detection and classification using image processing," *International Journal of Research and Engineering*, vol. 5, no. 9, pp. 517 - 523, September - October 2018.

ภาคผนวก ค.

รายละเอียดการประกอบการนำเสนอสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

TNI



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

การตรวจจับไข่หนอนหนอนใบส้มโอด้วยวิธีประมวลผลข้อมูลภาพ

Detection of Pomelo leaf miner's eggs using image processing technique



ผู้วิจัย นายธนบดี นุญแสวง
รหัสประจำตัวนักศึกษา 2363110095
หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น



อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. สะทิส สาทิส

1



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

หัวข้อหลักที่จะนำเสนอ

1. บทนำ
2. หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. วิธีดำเนินการวิจัย
4. ผลลัพธ์การวิจัย และการอภิปรายผลการทดลอง
5. บทสรุป และข้อเสนอแนะ

2



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

บทนำ

3



ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ภาพรวมของการผลิตส้มโอในประเทศไทย

- ส้มโอนับเป็นหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย
- พ.ศ. 2558 – 2562 พื้นที่การผลิตส้มโอเฉลี่ยเพิ่มขึ้นปีละ 2000 ไร่
- ปริมาณผลผลิตลดลง 1500 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 48 ล้านบาทต่อปี



4



ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ความสำคัญของการแก้ปัญหาหนอนชอนใบส้มโอ

- ป้องกันความเสียหายที่เกิดจากหนอนชอนใบส้มโอได้อย่างมีประสิทธิภาพ(Preventive Action)
- ลดการใช้สารเคมีในการป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชที่ไม่จำเป็น
- ช่วยเพิ่มผลผลิตของส้มโอ



5



ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัญหาที่ผู้วิจัยพบโดยตรง

- ส่วนผสมปลอดสารของผู้วิจัยที่ปลูกส้มโอพันธุ์ทับทิมสยาม กับชาวแดงกวาดูกหนอนชอนใบทำลายอยู่บ่อยครั้ง
- การตรวจจับทำโดยใช้แรงงานคนเดินสำรวจตามต้นที่มีการแตกใบอ่อนเพื่อตรวจหาไข่หรือตัวหนอนชอนใบส้ม



6



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบ และพัฒนาวิธีการตรวจจับไข่หนอนชอนใบส้มโอ จากคุณลักษณะเฉพาะ ของไข่หนอนชอนใบ



7



ขอบเขตของงานวิจัย

ไข่ของผีเสื้อกลางคืน
(*Phyllocnistis citrella*)
ที่อยู่บนใบส้มโอ



ใบส้มโอที่มีไข่
และไม่มีไข่



ใช้เทคนิคการ
ประมวลผลข้อมูลภาพ



8



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

หลักการ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

9



แมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายแก่ส้มโอ

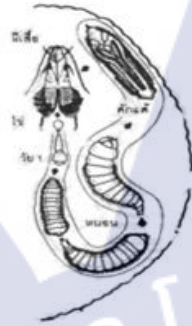
- | | |
|---|--|
| • หนอนขนอนใบ  | • เพลี้ยหอยแดงแคลิฟอร์เนีย  |
| • เพลี้ยไฟ  | • เพลี้ยแป้ง  |
| • เพลี้ยไก่แจ้  | • หนอนแก้วส้ม  |
| • ไรขาวพริก  | • หนอนผีเสื้อมวนหวาน  |
| • หนอนเจาะผลส้มโอ  | • แมลงค่อมทอง  |
| • หนอนผีเสื้อส้ม  | • ไรสนิม  |
| | • ไรแดงแอฟริกัน  |

10



วัฏจักรของหนอนชอนใบส้มโอ

วงจรชีวิตตั้งแต่ไข่จนเป็นผีเสื้อตัวเต็มวัยมีช่วงเวลา 15-25 วัน



- ไข่(3-5วัน) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. สีขาวขุ่น จนคล้ำ 
- หนอน(7-10วัน) เป็นระยะที่สร้างความเสียหาย สีสอกเหลือง 
- คักแค(5-10วัน) มีสีเหลืองเข้มและสีน้ำตาล 
- ตัวเต็มวัย มีขนาดกว้างประมาณ 8 มม. สีน้ำตาลปนเทา 

11



ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

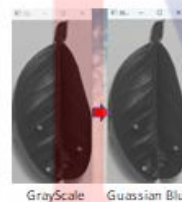
Image intensity transform

การแปลงความเข้มของภาพเพื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของภาพ (linear transformation, logarithmic transformation, power-law transformation)



Image filtering

การกรองภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ลด noise (smoothing filter)



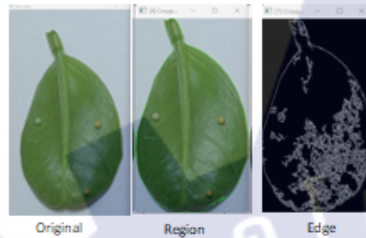
12



ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

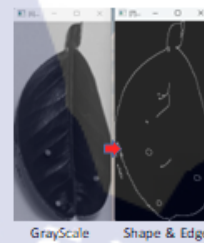
Image segmentation

การแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ เช่น Region based segmentation, Edge based segmentation



Feature Extraction

การสกัดคุณลักษณะต่างๆ จากภาพ เช่น ขอบ รูปร่าง



13



ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

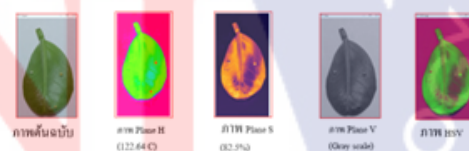
Morphological Image Processing

การใช้ Dilation, Erosion เพื่อลด noise และปรับปรุงโครงสร้างภาพให้ชัดเจนขึ้น



Color Image Processing

การประมวลผลภาพสีและการใช้ Color Space ต่างๆ เช่น RGB และ HSV

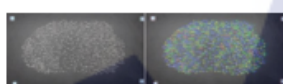


14



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่
เกี่ยวกับการตรวจจับ
ผลิตผลทางการเกษตร
ด้วยวิธีประมวลผลภาพ



กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับ
การตรวจจับศัตรูพืชด้วย
วิธีประมวลผลภาพ

กลุ่มงานวิจัยที่
เกี่ยวกับการตรวจจับ
วัตถุรูปทรงกลม และลด
อิทธิพลแสงสะท้อน



15



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับผลิตผลทางการเกษตรด้วยวิธีประมวลผลภาพ

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
1	การจำแนกความสุกของผลจากแอปเปิ้ล การประมวลผลภาพปริภูมิสี (2022)[9]	พัฒนาวิธีการจำแนกระดับความสุกของผลจากแอปเปิ้ล 4 ระดับ (สุกมาก, สุกปานกลาง, สุกเล็กน้อย, ไม่สุก) โดยอิงจากลักษณะสีในภาพถ่าย เพื่อช่วยในการพัฒนาเครื่องคัดแยกผลจากแอปเปิ้ลอัตโนมัติ	การแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV, การตรวจจับสีในช่วง HSV, การตรวจจับรูปทรงและการกรองวัตถุ	ความแม่นยำเฉลี่ย 90.17% ในการจำแนกผลจากแอปเปิ้ล
2	การตรวจจับโรคในใบพืชด้วยการประมวลผลภาพ (2021)[10]	พัฒนาและทดสอบระบบอัตโนมัติสำหรับการตรวจจับโรคในใบพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อเพิ่มความเร็วในการวินิจฉัยโรคใบพืชตั้งแต่ระยะแรก	การแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV, การตรวจจับสีในช่วง HSV, Feature extraction, Edge detection	ระบบสามารถตรวจจับโรคในใบพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3	การพัฒนากระบวนการคัดแยกขนาดไข่ไก่ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ (2023)[11]	สร้างระบบอัตโนมัติในการคัดแยกขนาดไข่ไก่โดยอิงจากภาพถ่ายโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อแทนการคัดแยกแบบใช้แรงงานคน ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องความแม่นยำและความเร็ว	การแปลงค่าสีจาก RGB เป็น HSV, การตรวจจับสีในช่วง HSV, Feature extraction, Edge detection, Gaussian filter	ความแม่นยำ 100% ในการคัดแยกขนาดไข่ไก่ที่ระยะห่าง 60 ซม.

16



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยวิธีประมวลผลภาพ

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	ผู้แต่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
4	การจำแนกความสุกของกล้วยฉาบด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ (2021)[14]	พัฒนาระบบจำแนกความสุกของกล้วยฉาบจากภาพถ่าย โดยการวิเคราะห์ลักษณะสีจากภาพ เพื่อใช้ในการตัดสินใจสุกของกล้วยฉาบแบบอัตโนมัติ	แปลงภาพจาก RGB เป็น HSV, Color classification, Edge detection, Feature extraction	ความแม่นยำในการจำแนกสุกของกล้วยฉาบอยู่ที่ 86.27%
5	การตรวจสอบราขาวบนยาสูบโดยใช้การประมวลผลภาพ (2017)[15]	ตรวจสอบและจำแนกรูปภาพที่เกิดขึ้นบนยาสูบโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อช่วยในการใช้แรงงานคนและเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพยาสูบ	แปลงภาพจาก RGB เป็น HSV, Image Segmentation, Object detection, Feature extraction	ความแม่นยำ 97.5% ในการตรวจสอบราขาวบนยาสูบ
6	การตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดข้าวสารโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (2023)[16]	ตรวจสอบคุณภาพข้าวสารโดยการประมวลผลภาพ เพื่อจำแนกปริมาณข้าวหัก ข้าวเต็มเมล็ด และข้าวที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อกำหนดราคาซื้อขาย	การแปลงภาพเป็น Gray Scale, Edge detection, Morphological transformation, Feature extraction	ความแม่นยำในการตรวจสอบคุณภาพข้าวสารอยู่ที่ 91.63%-99.57%

17



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยวิธีประมวลผลภาพ

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	ผู้แต่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
7	การตรวจหาเชื้อราของฝ้ายโดยใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ (2017)[17]	พัฒนาระบบการตรวจหาเชื้อราของฝ้ายโดยใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อตรวจสอบภาพ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนในฝ้ายเนื่องจากเชื้อรา	แปลงภาพจาก RGB เป็น HSV, Morphological transform, Median filter, Morphological transformation, Edge detection	ความแม่นยำในการตรวจหาเชื้อราอยู่ที่ 86.25%

18



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับศัตรูพืชด้วยวิธีประมวลผลภาพ

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
8	การตรวจจับศัตรูพืชด้วยการประมวลผลภาพ (2019)[12]	พัฒนาระบบอัตโนมัติในการตรวจจับศัตรูพืชในพืชผลเพื่อช่วยเกษตรกรใช้สารเคมีในการป้องกันและควบคุมศัตรูพืชโดยระบุศัตรูพืชได้แม่นยำยิ่งขึ้น	แปลงภาพ RGB เป็น Gray scale, Gaussian filter, Watershed Segmentation, Morphological transformation, Image segmentation	การตรวจจับศัตรูพืชได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในการระบุแมลง
9	การตรวจจับและสกัดศัตรูพืชโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (2014)[13]	พัฒนาเทคนิคการตรวจจับและสกัดศัตรูพืชออกจากภาพถ่าย เพื่อเพิ่มความเร็วและแม่นยำในการระบุปริมาณศัตรูพืชในแปลงพืช	แปลงภาพ RGB เป็น Gray scale, Median filter, Feature extraction, Image segmentation	ระบบสามารถตรวจจับศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ
10	การตรวจจับศัตรูพืชในไร่เพื่อเกษตรโดยใช้การประมวลผลภาพ (2014)[18]	พัฒนาระบบสำหรับการตรวจจับศัตรูพืชในไร่เพื่อเกษตร โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อระบุศัตรูพืชได้แม่นยำยิ่งขึ้น	แปลงภาพ RGB เป็น Gray scale, Color segmentation, Morphological transformation, Feature extraction, Object detection	ระบบสามารถตรวจจับศัตรูพืชได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

19



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุรูปทรงกลม และแสดงสะท้อน

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
11	การวิเคราะห์หาตำแหน่งไอศกรีมที่วางบนโต๊ะอาหารในร้านอาหาร (2021)[9]	หาค่า Threshold ที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับระบบอัตโนมัติในการตรวจจับไอศกรีมที่วางบนโต๊ะอาหาร	Circle Hough Transform (CHT), Image Segmentation, Feature Extraction, Object detection	พบค่า Threshold ที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับระบบอัตโนมัติในการตรวจจับไอศกรีมที่วางบนโต๊ะอาหาร
12	การตรวจจับวัตถุสีแดงและสีเขียวจากภาพถ่าย โดยเทคนิคการรู้จำสี (2019)[10]	ตรวจจับวัตถุสีแดงและสีเขียวจากภาพถ่าย โดยเทคนิคการรู้จำสี	Circle Hough Transform (CHT), Image Segmentation, Feature Extraction, Object detection, Region of Interest (ROI)	ผลลัพธ์ความถูกต้องสูงถึง 90% ในการจำแนกภาพถ่ายที่ตรวจจับวัตถุสีแดงและสีเขียว
13	การตรวจจับวงกลมด้วยเทคนิค Circular Hough Transform (2019)[20]	พัฒนาระบบการตรวจจับวงกลมในภาพโดยใช้เทคนิคการรู้จำสี	แปลงภาพ RGB เป็น Gray Scale, Circular Hough Transform (CHT), Canny edge detection	ตรวจจับวงกลมในภาพได้ด้วยความแม่นยำ 95% โดยใช้ Edge Detection Algorithm ที่ออกแบบมาเพื่อตรวจจับวงกลม

20



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจจับวัตถุรูปทรงกลม และแสดงสะท้อน

ลำดับ	ชื่อหัวข้อ (ปีตีพิมพ์)	จุดมุ่งหมาย	เทคนิคที่ใช้	ผลลัพธ์
14	วิธีการปรับปรุงภาพดิจิทัลภายใต้แสงเงาโดยใช้เทคนิคการปรับค่าความสว่าง (2022)[22]	เพื่อแก้ไขปัญหากล้องถ่ายภาพแสงเงาและความคมชัดของภาพภายใต้แสงเงา	แปลงภาพ RGB เป็น HSV, adaptive gamma correction, Adaptive contrast enhancement	สามารถปรับปรุงภาพให้มีความสว่างและคมชัดจนที่ติดขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม
15	วิธีการปรับปรุงภาพที่ถ่ายในสภาพแสงน้อยโดยใช้เทคนิคการแปลงเกมมามาแบบปรับสี (2021)[23]	เพื่อปรับปรุงภาพที่ถ่ายในสภาพแสงน้อย โดยลดปัญหาการปรับแต่งเกินในบางพื้นที่และเพิ่มรายละเอียดในพื้นที่มืด	แปลงภาพ RGB เป็น HSV, Adaptive local gamma transform	สามารถปรับปรุงภาพในสภาพแสงน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเพิ่มความสว่างในพื้นที่มืดและลดความสว่างในพื้นที่ที่สว่างเกินไป วิธีการนี้จึงมีประสิทธิภาพในการลดการรบกวนจากแสงสะท้อนที่ไม่จำเป็น และมีความมีประสิทธิภาพในการคำนวณที่ต่ำ

21



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

วิธีดำเนินการวิจัย

TNI

22



วิธีดำเนินการวิจัย

กระบวนการทำงานโดยรวมของการวิจัย



23



วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 : การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล (Data gathering and analysis)

- ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลใบส้มโอ เน้นที่ใบอ่อนจนถึงกลาง 
- ศึกษาสีเขียวของใบส้มโอ สีไข่หนอน(สีขาวนวล ถึงสีคล้ำ) 
- ศึกษารูปร่างไข่หนอนชอนใบ เป็น Oval shape มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มม.
- ศึกษาวงจรชีวิตหนอนชอนใบเพื่อกำหนด stage ในการตรวจจับ
- พิจารณาเลือกใช้เทคนิค Rule-Based



24



วิธีดำเนินการวิจัย

ช่วงสี HSV ของไข่หนอนชอนใบส้มโอวิเคราะห์จากไข่ 30 ฟอง รวม 12,542 pixel

Range	lower(H)	lower(S)	lower(V)	upper(H)	upper(S)	upper(V)
ขาวนวล	37.40	50.00	39.00	46.60	255.00	166.00
เหลืองนวล	31.05	50.00	39.00	36.95	255.00	166.00
เหลืองคล้ำ	30.97	50.00	39.00	37.03	255.00	166.00
คล้ำ	28.97	50.00	39.00	35.03	255.00	166.00
อื่นๆ	28.37	50.00	39.00	33.63	255.00	166.00

ช่วงสีเขียวของใบส้มโอ(1,031,506 pixel)

Range	H	S	V
Lower	39	40	54
Upper	85	255	255

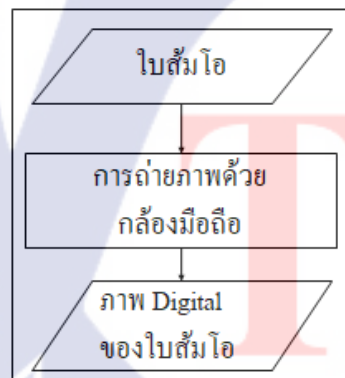


25

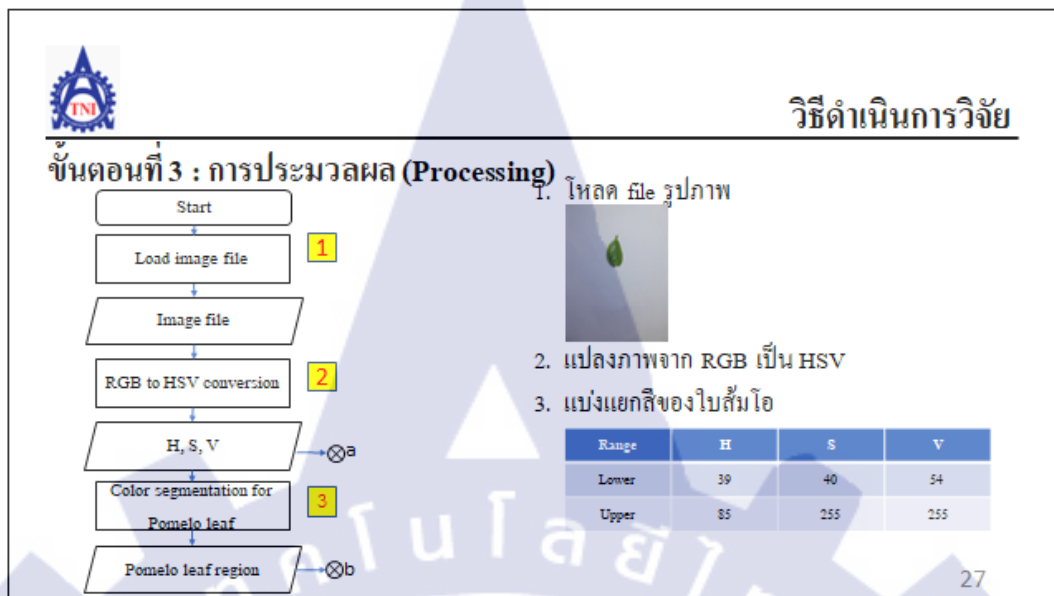


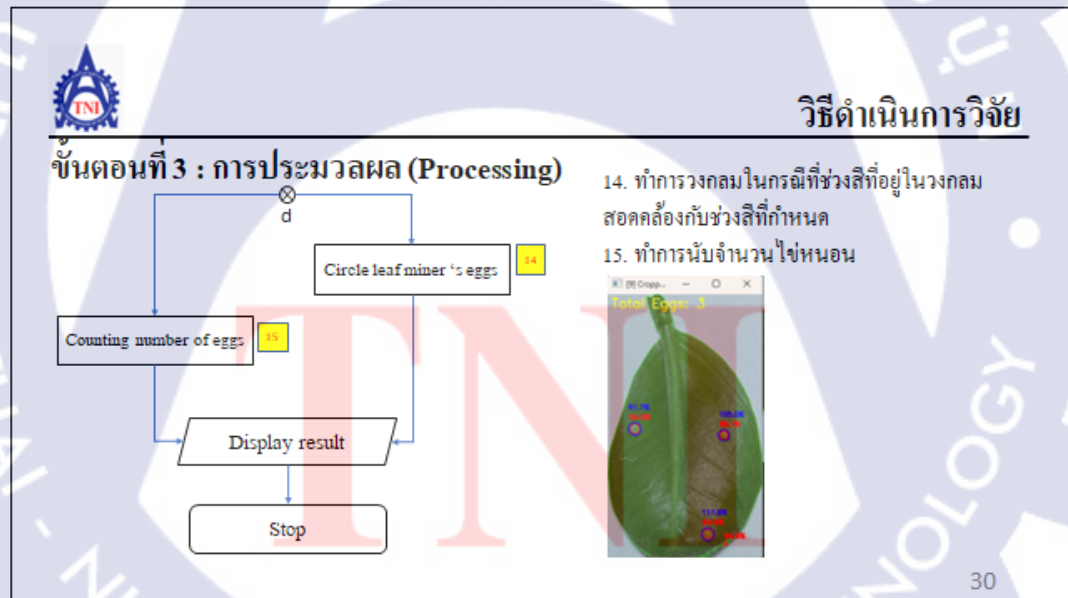
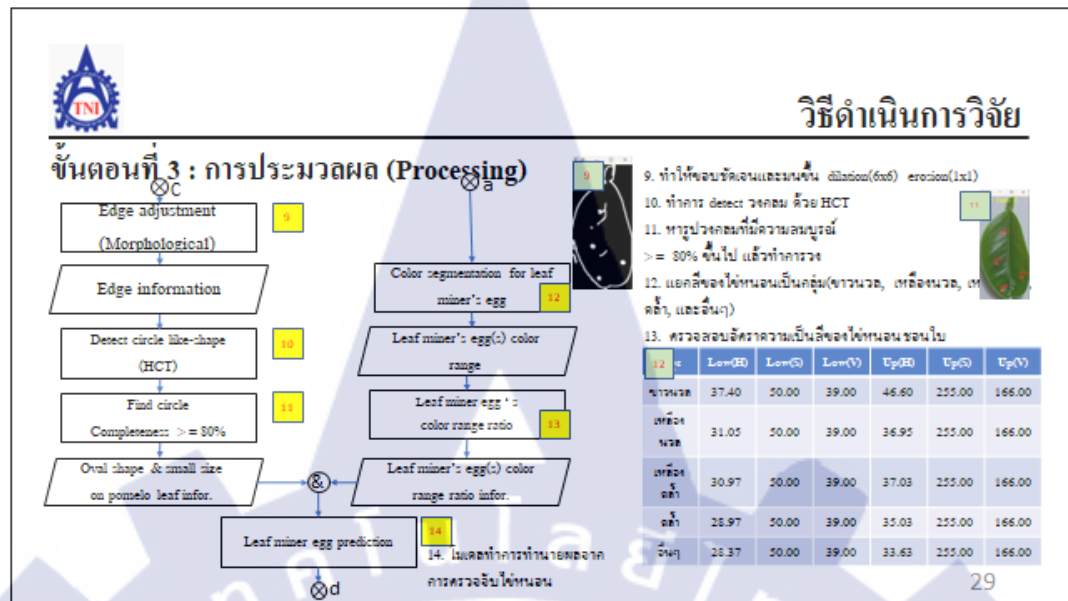
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 : การนำเข้าภาพ(Image acquisition)



26







วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 4 : การประเมินผล(Evaluation) มีอยู่ 2 ขั้นตอนคือ

1. การประเมินการตรวจจับไข้หนองนอนใบส้มโอใช้วิธีการประเมินด้วย confusion matrix

Prediction \ Actual	มีไข้หนอง	ไม่มีไข้หนอง
มีไข้หนอง	True Positive (TP) (ทำนายว่าไม่มีไข้ แต่จริงมีไข้)	False Negative (FN) (ทำนายว่ามีไข้ได้ แต่จริงไม่มีไข้)
ไม่มีไข้หนอง	False Positive (FP) (ทำนายว่ามีไข้ได้ แต่จริงไม่มีไข้)	True Negative (TN) (ทำนายว่าไม่มีไข้ ได้จริงไม่มีไข้)



2. การประเมินการตรวจนับจำนวนจากการตรวจจับไข้หนองนอนใบเพื่อประเมินหาความผิดพลาดของโมเดล(ABS ตรวจขาด ตรวจเกิน)

31



วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการทดลอง(Experimental design)

ใบอ่อนส้มโอ	ผล/ทดสอบ	จำนวนภาพ	ภาพที่	จำนวน	ผลเบื้องต้น	ผลซ้ำ	อื่นๆ
ใบที่มีใบ	มี	10	1		0		0
			2	0			0
			3				0
			4	0		0	
			5		0	0	0
			6		0		0
			7			0	
			8			0	
			9		0	0	0
			10		0	0	0
ใบที่ไม่มีใบ	ไม่มี	9	1	0	0	0	0
			2	0	0	0	0
			3	0	0	0	0
			4	0	0	0	0
			5		0		0
			6		0		0
			7		0		0
			8	0		0	
			9	0		0	
			10		0		0



32

reverse ratio of accumulator resolution



วิธีดำเนินการวิจัย

การฝึกโมเดลทั้งการตรวจจับแบบรูปทรง+ขนาด และรูปทรง+ขนาด+ช่วงสี ด้วยใบที่มีไข่ 10 ภาพที่ไม่
ไม่มีไข่ 24 ภาพ ได้ทำการฝึกด้วยการปรับแต่งพารามิเตอร์ 35 รูปแบบ(1-9)

รูปแบบ	Alpha	Gamma	Gaussian Blur	Canny Threshold	Dilation	Erosion	Hough Circle Transformation's parameter					
							*Dp	MinDist	Param1	Param2	minRadius	maxRadius
1	Alpha = 1	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
2	Alpha = 0.9	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
3	Alpha = 0.8	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
4	Alpha = 0.7	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
5	Alpha = 0.6	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
6	Alpha = 0.6	1	3x3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
7	Alpha = 0.6	1	3x3	20, 235	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
8	Alpha = 0.6	1	3x3	30, 225	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
9	Alpha = 0.6	1	3x3	40, 215	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13

33



วิธีดำเนินการวิจัย

การฝึกโมเดลทั้งการตรวจจับแบบรูปทรง+ขนาด และรูปทรง+ขนาด+ช่วงสี ด้วยใบที่มีไข่ 10 ภาพที่ไม่
ไม่มีไข่ 24 ภาพ ได้ทำการฝึกด้วยการปรับแต่งพารามิเตอร์ 35 รูปแบบ(10-17)

รูปแบบ	Alpha	Gamma	Gaussian Blur	Canny Threshold	Dilation	Erosion	Hough Circle Transformation's parameter					
							Dp	MinDist	Param1	Param2	minRadius	maxRadius
10	Alpha = 0.6	1	3x3	50, 205	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
11	Alpha = 0.6	1	3x3	50, 205	5 x 5	1 x 1	1	10	1	1	3	13
12	Alpha = 0.6	1	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	1	3	13
13	Alpha = 0.5	1		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
14	Alpha = 0.6	0.9		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
15	Alpha = 0.6	0.8		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
16	Alpha = 0.7	0.8		10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
17	Alpha = 0.7	0.8	3x3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13

34



วิธีดำเนินการวิจัย

การฝึกโมเดลทั้งการตรวจจับแบบรูปทรง+ขนาด และรูปทรง+ขนาด+ช่วงสี ด้วยใบที่มีไข่ 10 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ ได้ทำการฝึกด้วยการปรับแต่งพารามิเตอร์ 35 รูปแบบ(18-26)

รูปแบบ	Alpha	Gamma	Gaussian Blur	Canny Threshold	Dilation	Erosion	Hough Circle Transformation's parameter					
							Dp	MinDist	Param1	Param2	minRadius	maxRadius
18	Alpha = 0.7	0.8	3x3	20, 235	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
19	Alpha = 0.7	0.8	3x3	30, 225	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
20	Alpha = 0.7	0.8	3x3	40, 215	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
21	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
22	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	5 x 5	1 x 1	1	10	1	1	3	13
23	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	1	3	13
24	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	2	3	13
25	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	4	3	13
26	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	6	3	13

35



วิธีดำเนินการวิจัย

การฝึกโมเดลทั้งการตรวจจับแบบรูปทรง+ขนาด และรูปทรง+ขนาด+ช่วงสี ด้วยใบที่มีไข่ 10 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ ได้ทำการฝึกด้วยการปรับแต่งพารามิเตอร์ 35 รูปแบบ(27-35)

รูปแบบ	Alpha	Gamma	Gaussian Blur	Canny Threshold	Dilation	Erosion	Hough Circle Transformation's parameter					
							Dp	MinDist	Param1	Param2	minRadius	maxRadius
27	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	8	3	13
28	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	10	3	13
29	Alpha = 0.7	0.8	3x3	50, 205	6 x 6	1 x 1	1	10	1	12	3	13
30	Alpha = 0.7	0.7	3x3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
31	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	10, 245	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
32	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	20, 235	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
33	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	30, 225	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
34	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	40, 215	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13
35	Alpha = 0.7	0.7	3 x 3	50, 205	3 x 3	1 x 1	1	10	1	1	3	13

36



วิธีดำเนินการวิจัย

การฝึกโมเดลทั้งการตรวจจับแบบรูปทรง+ขนาด และรูปทรง+ขนาด+ช่วงสี ด้วยใบที่มีไข่ 10 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ ได้ทำการฝึกด้วยการปรับแต่งพารามิเตอร์ 35 รูปแบบ(ตัวอย่าง)

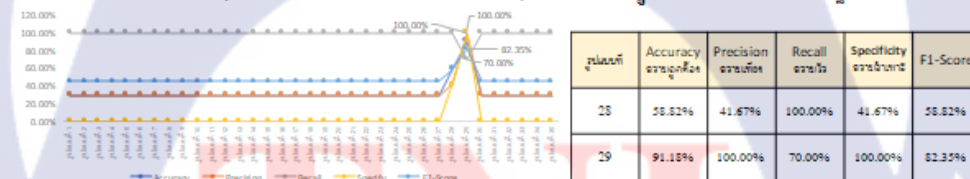


37



วิธีดำเนินการวิจัย

ผลลัพธ์ของการฝึกโมเดล(ใบที่มีไข่ 10 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ) การตรวจจับรูปทรง+ขนาด เป็นพื้นฐาน



รูปแบบที่ 28

Actual \ Prediction	model ค้นหาไข่โพรง	model ค้นหาไข่โพรง
ใบภาพใบมีไข่โพรง	True Positive (TP)	False Negative (FN)
10	10	0
ใบภาพใบไม่มีไข่โพรง	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24	14	10

รูปแบบที่ 29

Actual \ Prediction	model ค้นหาไข่โพรง	model ค้นหาไข่โพรง
ใบภาพใบมีไข่โพรง	True Positive (TP)	False Negative (FN)
10	7	3
ใบภาพใบไม่มีไข่โพรง	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24	0	24

38



วิธีดำเนินการวิจัย

สรุปผลลัพธ์ของการฝึกโมเดลใบที่มีใจ 10 ภาพที่ไม่มีใจ 24 ภาพ)

1. รูปแบบที่ 29 จะมีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบที่ 28 แต่ไม่สามารถตรวจจับใบส้มโอที่มีใจได้ทั้งหมด
2. รูปแบบที่ 28 สามารถตรวจจับใบส้มโอที่มีใจได้ทั้งหมดซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลัก

ดังนั้นผู้วิจัยได้พิจารณารูปแบบที่ 28 ทำการทดลองต่อ

39



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

ผลลัพธ์การวิจัย และการอภิปราย
ผลการทดลอง

TNI

40



ผลลัพธ์การวิจัย และอภิปรายผลการทดลอง

ผลลัพธ์ของการทดสอบโมเดล(ใบที่มีไข่ 9 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ)
การตรวจจับไข่หนอนชอนใบด้วยรูปทรง + ขนาด

Actual \ Prediction	model ทำความจำมีไข่หนอน	model ทำความจำไม่มีไข่หนอน
ใบสภาพใบส้มโอมีไข่หนอน	True Positive (TP)	False Negative (FN)
9	9	0
ใบสภาพใบส้มโอมิไม่มีไข่หนอน	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24	11	13

Accuracy ความถูกต้อง	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specificity ความจำเพาะ	F1-Score
66.67%	45.00%	100.00%	54.17%	62.07%

Model สามารถ
ตรวจจับใบส้มโอมีไข่
ได้อย่างถูกต้อง แต่ยังมี
ข้อผิดพลาดในการ
ตรวจจับใบส้มโอมิไม่มี
ไข่



41



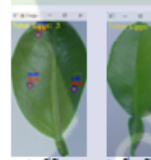
ผลลัพธ์การวิจัย และอภิปรายผลการทดลอง

ผลลัพธ์ของการทดสอบโมเดล(ใบที่มีไข่ 9 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ)
การตรวจจับไข่หนอนชอนใบด้วยรูปทรง + ขนาด + ช่วงสี

ผลการทำนายของ model	model ทำความจำมีไข่หนอน	model ทำความจำไม่มีไข่หนอน
ใบสภาพใบส้มโอมีไข่หนอน	True Positive (TP)	False Negative (FN)
9	9	0
ใบสภาพใบส้มโอมิไม่มีไข่หนอน	False Positive (FP)	True Negative (TN)
24	1	23

Accuracy ความถูกต้อง	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specificity ความจำเพาะ	F1-Score
96.97%	90.00%	100.00%	95.83%	94.74%

Model สามารถ
ตรวจจับใบส้มโอมีไข่
ได้อย่างถูกต้อง แต่ยังมี
ความผิดพลาดในการ
ตรวจจับใบส้มโอมิไม่มี
ไข่อยู่บ้าง



42



ผลลัพธ์การวิจัย และอภิปรายผลการทดลอง

ผลลัพธ์การทดลองนับจำนวนจากการตรวจจับไข่นกฮูกเพื่อประเมินหาความผิดพลาดของโมเดลมีอัตราความผิดพลาดที่เท่ากัน

วิธีการตรวจจับ	จำนวนรูปภาพที่ทดลอง	จำนวนไข่จริงที่อยู่ในใบส้มโอ (ฟอง)	บริเวณที่มีไข่โมเดลทำนายว่ามีไข่ (ฟอง)	บริเวณที่ไม่มีไข่ทำนายว่ามีไข่ (ฟอง)	รวมความผิดพลาด (ฟอง)	อัตราความผิดพลาด (%)
รูปทรง+ขนาด	9	22	4	3	7	31.82%
รูปทรง+ขนาด+ช่วงสี	9	22	6	0	6	27.27%

43



ผลลัพธ์การวิจัย และอภิปรายผลการทดลอง

สรุปผลการทดสอบโมเดล(ใบที่มีไข่ 9 ภาพใบที่ไม่มีไข่ 24 ภาพ)

ประสิทธิภาพการตรวจจับไข่นกฮูกในส้มโอ:

การใช้รูปทรง + ขนาด + ช่วงสี

- Accuracy 96.97% (สูงกว่าการใช้รูปทรงและขนาดที่ได้ผลลัพธ์ที่ 66.67%)
- Precision 90.00% (สูงกว่าการใช้รูปทรงและขนาดที่ได้ผลลัพธ์ที่ 45.00%)
- Recall 100.00% (เท่ากัน)
- Specificity 95.83% (สูงกว่าการใช้รูปทรงและขนาดที่ได้ผลลัพธ์ที่ 54.17%)
- F1 Score 84.74% (สูงกว่าการใช้รูปทรงและขนาดที่ได้ผลลัพธ์ที่ 62.07%)

สรุป: การใช้รูปทรง + ขนาด + ช่วงสีมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้รูปทรงและขนาดเพียงอย่างเดียว

การตรวจจับจำนวนไข่นกฮูก

อัตราความผิดพลาด 27.27% (ต่ำกว่าการใช้รูปทรงและขนาดที่ได้ผลลัพธ์ที่ 31.82%)

สรุปการตรวจนับจำนวนไข่นกฮูกด้วยรูปทรง+ขนาด+ช่วงสี มีความผิดพลาดน้อยกว่า

44



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

45



บทสรุป และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

การตรวจจับใจ่หนองหนองใบส้มโอด้วย รูปทรง+ขนาด+ช่วงสี

1. มีประสิทธิภาพดีกว่าการตรวจจับด้วย รูปทรง+ขนาด

Accuracy ความถูกต้อง	Precision ความเที่ยง	Recall ความไว	Specificity ความจำเพาะ	F1-Score
96.97%	90.00%	100.00%	95.83%	94.74%

2. อัตราความผิดพลาดการตรวจจับด้วย รูปทรง+ขนาด+ช่วงสี
ผิดพลาดน้อยกว่า

วิธีการ การจับ	จำนวน รูปภาพที่ ทดลอง	จำนวนใบส้ม โอ ที่จับได้ (ใช่)	จำนวนใบส้ม โอ ที่จับไม่ได้ (ไม่ใช่)	จำนวนใบส้ม โอ ที่จับได้ โดยผิดพลาด (ใช่)	รวมความ ผิดพลาด (ใช่)	อัตราความ ผิดพลาด (%)
รูปทรง+ขนาด	9	22	4	3	7	31.82%
รูปทรง+ขนาด+ ช่วงสี	9	22	6	0	6	27.27%

ปัญหา และอุปสรรค หลักๆ

1. ปัญหาด้านข้อมูล ข้อมูลรูปภาพมีจำนวนจำกัด และ
ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลจะต้องเป็นช่วงหน้าฝน
2. ปัญหาด้านสภาพแสง สภาพแสงในธรรมชาติส่งผล
ต่อคุณภาพของภาพที่ถ่ายได้ ซึ่งอาจทำให้การ
ประมวลผลภาพมีข้อผิดพลาดได้
3. ปัญหาด้านประสิทธิภาพของโมเดล แม้ว่าโมเดลที่ใช้
รูปทรง ขนาด และช่วงสีจะมีประสิทธิภาพดี แต่ยังมี
กรณีที่โมเดลทำนายผิดพลาด

46



บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มขนาดชุดข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล ส่งผลต่อความแม่นยำของโมเดล
2. การปรับปรุงเทคนิคการประมวลผลภาพ เช่น การใช้ Machine Learning ในกระบวนการแยกกลุ่มสีของไข่ม้วนขนอนใบ เช่น image clustering
3. การทดสอบโมเดลในสภาพแวดล้อมจริงในสวนส้มโอ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลในสถานการณ์จริง
4. การศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอื่นๆ เช่น IoT (Internet of Things) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการจัดการศัตรูพืชได้ดียิ่งขึ้น

47



ปฏิทินการดำเนินงานนับจากนี้

ลำดับที่	รายละเอียด	วันที่
1	สอบป้องกันวิทยานิพนธ์(GS-05)	29-มี.ค.-25(13.30 น.)
2	ส่งเล่มวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์ ให้ปณิบัติวิทยาอัครจรรยาบรรณ(เล่มแบบฟอร์ม GS-08 หรือเล่มวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์ ฉบับสมบูรณ์)	3-ท.ค.-25
3	แจ้งจบการศึกษา (ออนไลน์)	1-มิ.ย.-25
4	ค้นหาเพื่อนหาบ่อน้ำจืดออนไลน์	18-ส.ค.-25

48



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

ขอบคุณครับ

49



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Appendix

TNI

50



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Confusion matrix

Accuracy ความถูกต้อง	Precision ความแม่นยำ	Recall ความไว	Specificity ความจำเพาะ	F1-Score
$\frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$	$\frac{TP}{TP + FP}$	$\frac{TP}{TP + FN}$	$\frac{TN}{TN + FP}$	$2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$
$\frac{9+23}{9+23+1+0}$	$\frac{9}{9+1}$	$\frac{9}{9+0}$	$\frac{23}{23+1}$	$2 \times \frac{(90.00\% \times 100\%)}{(90.00\% + 100\%)}$
96.97%	90.00%	100.00%	95.83%	94.74%

Precision

model ทำนายว่ามีใบ ไหม	model ทำนายว่าไม่มีใบ ไหม
True Positive (TP)	False Negative (FN)
9	0
False Positive (FP)	True Negative (TN)
1	23

Accuracy (ความถูกต้อง) ทำนายได้ถูกต้อง ทั้งใบที่มีใบ และ ใบที่ไม่มีใบ เมื่อเทียบกับผลการทำนายทั้งหมด

Precision (ความแม่นยำ) ทำนายว่ามีใบได้ถูกต้องจริงๆ เทียบกับผลการทำนายใบที่มีใบได้ถูกต้องจริงๆ (มีใบทำนายว่ามีใบ) และไม่ถูกต้อง(ไม่มีใบทำนายว่ามีใบ)

Recall (ความไว) ทำนายใบที่มีใบได้ถูกต้องจริงๆ เทียบกับผลการทำนายใบที่มีใบได้ถูกต้องจริงๆ (มีใบทำนายว่ามีใบ) และไม่ถูกต้อง(ไม่มีใบทำนายว่ามีใบ)

Specificity (ความจำเพาะ) ทำนายว่าไม่มีใบได้ถูกต้องจริงๆ เทียบกับผลการทำนายใบที่ไม่มีใบได้ถูกต้องจริงๆ และไม่ถูกต้อง(ใบที่มีใบทำนายว่ามีใบ)

F1-score (ความสมดุลของ model)

51



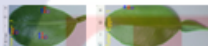
การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Confusion matrix

Accuracy ใช้วัดประสิทธิภาพความถูกต้อง ภาพรวมของโมเดล



Precision ใช้วัดประสิทธิภาพความแม่นยำในการบอกว่า "มีเชื้อหนอน" ได้ถูกต้องจริงๆ



Recall ใช้วัดประสิทธิภาพในการตรวจจับใบที่มีเชื้อหนอนที่มีจริงๆ



Specificity ใช้วัดประสิทธิภาพในการบอกว่า "ไม่มีเชื้อหนอน" ได้ถูกต้องจริงๆ



F1-score (ความสมดุลของ model)

52



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Color segmentation on pomelo leaf



Lower

Min(Hue) = 39
Min(Saturation) = 40
Min(Value) = 54

Upper

Min(Hue) = 85
Min(Saturation) = fix 255
Min(Value) = fix 255



53



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Crop image

$$\text{scale} = \min\left(\frac{\text{max_width}}{w}, \frac{\text{max_height}}{h}\right)$$

max_width คือ ขนาดความกว้างมากที่สุดที่ต้องการจะแสดงบนหน้าจอ

max_height คือ ขนาดความสูงมากที่สุดที่ต้องการจะแสดงบนหน้าจอ

w,h คือขนาดความกว้าง สูงของภาพต้นฉบับ

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060

4080

0

Y

X

3060



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการของการปรับ contrast แบบคูณ(alpha)

$$g(i, j) = \alpha \cdot f(i, j) + \beta$$

$f(i, j)$ คือค่าความเข้มของพิกเซลต้นฉบับที่ตำแหน่ง (i, j)

$g(i, j)$ คือค่าความเข้มของพิกเซลใหม่หลังการปรับ

α เป็นค่าการขยาย (Contrast)

β เป็นค่าการเพิ่มลดความสว่าง (Brightness)

ถ้า $\alpha > 1 \rightarrow$ ภาพมี contrast สูงขึ้น

ถ้า $\alpha < 1 \rightarrow$ ภาพมี contrast ลดลง

ถ้า $\beta > 0 \rightarrow$ ภาพสว่างกว่าเดิม

ถ้า $\beta < 0 \rightarrow$ ภาพมืดกว่าเดิม

ตัวอย่าง

พิกเซลเดิม $f(i, j) = 100$ (ค่าจาก 0-255)

กำหนด $\alpha = 1.5$ (เพิ่ม contrast 1.5 เท่า)

กำหนด $\beta = 20$ (เพิ่มความสว่างขึ้น 20 หน่วย)

$$g(i, j) = (1.5 \times 100) + 20$$

$$g(i, j) = 150 + 20$$

$$g(i, j) = 170$$

55



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการของการปรับ contrast แบบยกกำลัง(Gamma)

$$O = \left(\frac{I}{255} \right)^\gamma \times 255$$

I = ค่าพิกเซลเดิม (0-255)

O = ค่าพิกเซลใหม่หลังจากแก้ไข Gamma

γ (Gamma) = ค่าที่ใช้ปรับความสว่างของภาพ

ถ้า $\gamma < 1 \rightarrow$ จะทำให้ภาพสว่างขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย

ถ้า $\gamma > 1 \rightarrow$ จะทำให้ภาพมืดลง

$I = 100$ (ค่าพิกเซลเดิม 0-255)

$\gamma = 0.5$

$$\begin{aligned} O &= ((100/255)^{0.5}) \times 255 \\ &= (0.392^{0.5}) \times 255 \\ &= (0.626) \times 255 \\ &= 159.63 \end{aligned}$$

56



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการแปลงภาพ RGB เป็น Gray scale

$$\text{Gray} = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.114 \times B)$$

(0.299, 0.587, 0.114) เป็นค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน

57



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการการทำ Gaussian blur

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

$G(x, y)$ คือ ค่าของ Gaussian kernel ที่ตำแหน่ง (x, y)

e คือ ฐานเอกซ์โพเนนเชียล (e อกค่าจริง)

π (pi) คือ ค่าคงที่ไพ (ประมาณ 3.14159)

σ (sigma) คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งควบคุมความกว้างของการกระจาย

ตัวอย่าง

σ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1

x, y ที่ต้องการคำนวณ = 1, 1

หมายเหตุ : ใน OpenCV เมื่อใช้ฟังก์ชัน Gaussian Blur (เช่น `cv2.GaussianBlur()`) หากไม่ระบุค่า σ โดยตรง ระบบจะคำนวณค่า σ ขึ้นมาจากรายการของ kernel (kernel size)

$$G(1, 1) = \frac{1}{2\pi \cdot 1^2} e^{-\frac{1^2+1^2}{2 \cdot 1^2}} = \frac{1}{2\pi} e^{-1} = \frac{1}{2\pi} e^{-1}$$

$$\frac{1}{2\pi} \approx 0.1592$$

$$e^{-1} = \frac{1}{e} \approx \frac{1}{2.71828} \approx 0.3679$$

$$G(1, 1) = 0.1592 \cdot 0.3679 = 0.0585$$

$$\sigma = 0.3 \times \left(\frac{\text{ksize} - 1}{2} \right) + 0.8$$

- * -1 เพื่อแปลงจากขนาดเคอร์เนลเป็นเลขความกว้างจากขอบอีกขอบ
- *หารด้วย 2 เพื่อคำนวณ รัศมี (radius) ของเคอร์เนลจากจุดศูนย์กลางอีกด้านอีกขอบ
- * 0.3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดจากประสบการณ์ (empirical) เพื่อให้ค่า σ สอดคล้องกับพื้นที่ส่วนใหญ่ของ gaussian เพื่อใช้ σ ในโปรแกรม
- * 0.8 เป็นค่า offset เพื่อป้องกันไม่ให้ σ เป็นศูนย์หรือเล็กเกินไปเมื่อ ksize เล็ก

58



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการการหาความชัน(Gradient) ใน canny edge detection

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}, \quad \theta = \arctan\left(\frac{I_y}{I_x}\right)$$

I_x คือ Gradient ในแกน x (ความชันในแนวแกน x)

I_y คือ Gradient ในแกน y (ความชันในแนวแกน y)

$|G|$ คือ ขนาดของ Gradient (Gradient Magnitude)

θ คือ ทิศทางของ Gradient (Gradient Direction)

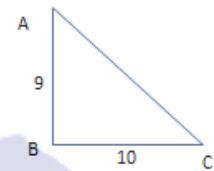
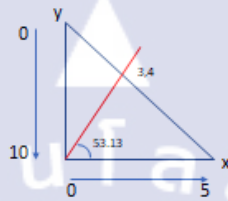
$\arctan$ คือ เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หมุมจากอัตราส่วนของด้านตรงข้ามและด้านประชิดในรูปของเรขาคณิตสามเหลี่ยม

ตัวอย่าง

$I_x = 3, I_y = 4$

$$|G| = \sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{9 + 16} = \sqrt{25} = 5$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{4}{3}\right) \approx 53.13^\circ$$



$$AC^2 = (AB^2) + (BC^2)$$

59



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการของ dilation

$$A \oplus B = \{z \mid (B)_z \cap A \neq \emptyset\}$$

A คือภาพต้นฉบับ

B คือโครงสร้างองค์ประกอบ

$\oplus$ คือสัญลักษณ์ของการขยายภาพ

Z คือพิกเซลในภาพผลลัพธ์

สมการของ erosion

$$A \ominus B = \{z \mid B_z \subseteq A\}$$

A คือภาพต้นฉบับ

B คือโครงสร้างองค์ประกอบ

$\ominus$ คือสัญลักษณ์ของการกร่อนภาพ

Z คือพิกเซลในภาพผลลัพธ์

60



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Color segmentation for leaf miner egg

กลุ่มของไข่	MEAN(μ of H)	STANDARD DEVIATION(σ of H)	Lower			Upper		
			$\mu-\sigma(H)$	min(S)	min(V)	$\mu+\sigma(H)$	max(S)	max(V)
ขาวนวล	41.87	4.60	37.40	50.00	39.00	46.60	255.00	166.00
เหลืองนวล	34.08	2.95	31.05	50.00	39.00	36.95	255.00	166.00
เหลืองคล้ำ	33.54	3.03	30.97	50.00	39.00	37.03	255.00	166.00
คล้ำ	31.85	3.03	28.97	50.00	39.00	35.03	255.00	166.00
อื่นๆ	30.73	2.63	28.37	50.00	39.00	33.63	255.00	166.00

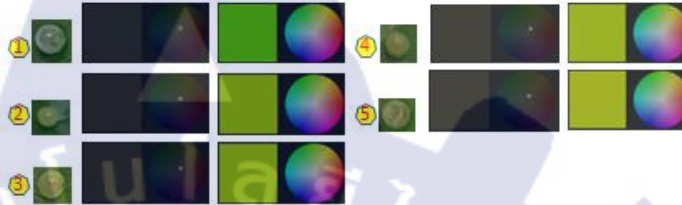
μ หมายถึงค่า mean

σ หมายถึงค่า Standard deviation

H หมายถึงค่า Hue

S หมายถึงค่า Saturation

V หมายถึงค่า Value



61



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

Color segmentation for leaf miner egg

H	S	V	SDH	SDS	SDV
28	128	132	36.00	1681	81
38	122	140	16.00	2209	289
40	130	133	36.00	1521	100
40	125	138	36.00	1936	225
40	128	137	36.00	1681	196
40	131	134	36.00	1444	121
40	131	131	36.00	1444	64
40	135	127	36.00	1156	16
40	131	125	36.00	1444	4
40	126	129	36.00	1849	36
32	131	131	4.00	1444	64
37	126	135	9.00	1849	144
38	127	136	16.00	1764	169
39	126	133	25.00	1849	100
39	126	133	25.00	1849	100
39	133	129	25.00	1296	36
39	131	131	25.00	1444	64
39	126	135	25.00	1849	144
39	127	134	25.00	1764	121
39	131	131	25.00	1444	64
39	133	129	25.00	1296	36
39	132	130	25.00	1369	49
37	133	142	9.00	1296	361

กลุ่มของไข่	MEAN H	STANDARD DEVIATION H
ขาวนวล	41.87	4.60
เหลืองนวล	34.08	2.95
เหลืองคล้ำ	33.54	3.03
คล้ำ	31.85	3.03
อื่นๆ	30.73	2.63

Lower			Upper		
$\mu-\sigma(H)$	min(S)	min(V)	$\mu+\sigma(H)$	max(S)	max(V)
37.27	50.00	39.00	46.47	255.00	166.00
31.13	50.00	39.00	37.03	255.00	166.00
30.51	50.00	39.00	36.57	255.00	166.00
28.82	50.00	39.00	34.88	255.00	166.00
28.10	50.00	39.00	33.36	255.00	166.00

$$\frac{\sum (H - \text{mean}(H))^2}{\text{Count}(H)}$$

$$\frac{\sum (S - \text{mean}(S))^2}{\text{Count}(S)}$$

$$\frac{\sum (V - \text{mean}(V))^2}{\text{Count}(V)}$$

$$\frac{\sum (SDH)}{\text{Count}(SDH)}$$

$$\frac{\sum (H)}{\text{Count}(H)}$$

62



การสอบป้องกันวิทยานิพนธ์

สมการของ Hough Circle Transformation

$$(x - x_{center})^2 + (y - y_{center})^2 = r^2$$

(X,Y) คือจุดใดๆ บนเส้นรอบวงของรูปทรงที่มีแนวโน้มนเป็นวงกลม

(Xcenter,Ycenter) คือจุดศูนย์กลางของรูปทรงที่มีแนวโน้มนเป็นวงกลม R คือรัศมีของวงกลม

ตัวอย่าง

วงกลมที่มีจุดศูนย์กลางที่ (2,3) และรัศมี 4 สมมติ จุดใดๆ ของ X,Y = 5,6
Xcenter = 2, Ycenter = 3, R = 4, X = 5, Y = 6

$$= ((5 - 2)^2) + ((6 - 3)^2) = 4^2$$

$$= 9 + 9 = 18$$

$$= 18 > 16$$

จุดที่ 5,6 อยู่นอกวงกลม

63



วิธีดำเนินการวิจัย

Technique			วัตถุประสงค์
Alpha	การปรับ contrast ด้วย threshold	ตัวเลข < 1 ถ้าไม่พบเส้น	เพื่อลดผลกระทบ
Gamma	การปรับ contrast ด้วย threshold	ตัวเลข < 1 ถ้าไม่พบเส้นหรือค่าอื่น ส่วนที่ควรดูจะเพิ่มขึ้นในสีที่มันจะค่าอื่นคือ <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Gaussian blur	ลด noise	ใช้ Gaussian kernel opencv หรือ kernel <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Canny Threshold	การกำหนดค่าความสว่างหรือค่าอื่น (min, max)	0 - 255 หรือค่าอื่นคือค่าอื่น <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Dilation	การเพิ่มขนาด pixel	ใช้ค่าอื่นคือค่าอื่น	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Erosion	การลดขนาด pixel	ใช้ค่าอื่นคือค่าอื่น	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Dp	ใช้ค่าอื่นคือค่าอื่น	> 1 หรือค่าอื่นคือค่าอื่น	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Mindist	การกำหนดค่าความสว่างหรือค่าอื่น	ตัวเลขค่าอื่นคือค่าอื่น <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Param1	การกำหนดค่าความสว่างหรือค่าอื่น	ตัวเลขค่าอื่นคือค่าอื่น <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
Param2	การกำหนดค่าความสว่างหรือค่าอื่น	ตัวเลขค่าอื่นคือค่าอื่น <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
minRadius	ใช้ค่าอื่นคือค่าอื่น	ตัวเลขค่าอื่นคือค่าอื่น <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น
maxRadius	ใช้ค่าอื่นคือค่าอื่น	ตัวเลขค่าอื่นคือค่าอื่น <= 0 error	เพื่อลดผลกระทบหรือค่าอื่น

64



วิธีดำเนินการวิจัย

สนับสนุนเป็นหนึ่งเดียวในโครงการวิจัยที่สำคัญของประเทศไทย จากข้อมูลสถิติผลผลิตของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมส่งเสริมการเกษตร ในช่วงปี พ.ศ. 2558 ถึง 2562 พบว่ามีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณปีละ 2,000 ไร่ และให้พื้นที่การขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกอย่างสม่ำเสมอ

อย่างไรก็ตาม ในทางกลับกัน พื้นที่การเก็บเกี่ยวผลผลิตส้มโอกลับลดลงเฉลี่ยปีละ 450 ไร่ ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตส้มโอลดลงเฉลี่ย 1,500 ตันต่อปี ดังตารางที่ 1 หากคำนวณจากราคาส้มโอต่อ กิโลกรัมที่ 32.56 บาท ในปี พ.ศ. 2562[2] พบว่าความเสียหายทางเศรษฐกิจคิดเป็นมูลค่าเฉลี่ยถึง 48 ล้านบาทต่อปี

ตารางที่ 1 ผลผลิตส้มโอ 5 ปีย้อนหลังตั้งแต่ 2558 - 2562[2]

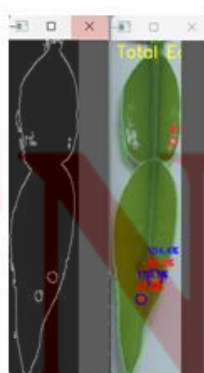
พ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก(ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิต(ไร่)	เนื้อที่เสียหาย(ไร่)	ผลผลิตเก็บเกี่ยวได้(ตัน)
2558	76,502.00	38,605.00	366.00	177,403.84
2559	80,774.00	39,414.00	138.00	111,327.04
2560	85,609.00	50,128.00	326.00	142,026.77
2561	81,257.00	39,575.00	76.00	147,473.48
2562	85,628.00	43,502.00	1,438.00	122,009.33



55



วิธีดำเนินการวิจัย



56