แบบจำลองค้นหาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้เพื่อลดต้นทุนผลิต

Optimization Model Using Genetic Algorithm with A Nitrogen Fertilizer and Water Knowledge-Based for Cost Reduction of Rice Crops

ปัณณวิชญ์ อริยธนะกตวงศ์

PANNAVICH ARIYATANAKATAWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-IT-M-001-001

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองค้นหาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้เพื่อลดต้นทุนผลิต

Optimization Model Using Genetic Algorithm with A Nitrogen Fertilizer and Water Knowledge-Based for Cost Reduction of Rice Crops

ปัณณวิชญ์ อริยธนะกตวงศ์

PANNAVICH ARIYATANAKATAWONG

สาขาหมู่.....
เลขทะเบียน 143967
วัน,เดือน,ปี 10 ต.ค. 2559

b 00267014
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-IT-M-001-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimization Model Using Genetic Algorithm with A Nitrogen Fertilizer and Water Knowledge-Based for Cost Reduction of Rice Crops

PANNAVICH ARIYATANAKATAWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

KMITL-2016-IT-M-001-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบจำลองค้นหาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้เพื่อลดต้นทุนการผลิต

Optimization model using genetic algorithm with a nitrogen fertilizer and water knowledge-based for cost management of rice crops

นักศึกษา นายปัณณวิชญ์ อริยธนะกตวงศ์

รหัสประจำตัว 55660401

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน	
รองศาสตราจารย์ ดร.พยุง มีสัจ	
รองศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติ์สุชาต พสุภา	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันพุธที่ 2 มีนาคม 2559 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง M21 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.นพพร โชติกกำธร)

คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

วันที่ 23 **เดือน** มี.ค. **พ.ศ.** 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองค้นหาการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้เพื่อลดต้นทุนการผลิต
นักศึกษา	นายปัณณวิชญ์ อริยธนะกตวงศ์
รหัสนักศึกษา	55660401
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา	วิทยาการสารสนเทศ
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ มีบทบาทในการควบคุมประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ สำหรับอุตสาหกรรมการเกษตร ยังขาดการประยุกต์ใช้ความสามารถด้านอัลกอริทึม เพื่อควบคุมอุปกรณ์ และเครื่องมือผลิตการเกษตร ให้มีประสิทธิภาพสูง

วิทยานิพนธ์นี้ จึงเน้นศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการเจเนติกอัลกอริทึม สำรับพัฒนาแบบจำลอง เพื่อค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ให้สามารถพบรูปแบบการจัดการที่เหมาะสมมากกว่าวิธีการค้นหาแบบดั้งเดิม โดยประยุกต์ใช้ความรู้พื้นฐานการจัดการปุ๋ยและน้ำ (Nitrogen Fertilizer and Water Knowledge-Based) จากผู้เชี่ยวชาญด้านการเกษตร เพื่อกำหนดเงื่อนไขสำหรับการค้นหา โดยใช้พารามิเตอร์พันธุ์ข้าว IR72 สำหรับการทดสอบค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม และวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง ด้วยค่าเฉลี่ยจาก กำไร ต้นทุน รุ่นการลู่เข้าหาคำตอบ และเวลาในการค้นหาทั้งหมด ซึ่งมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 พร้อมทั้ง แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองก่อนและหลังการปรับปรุงอัลกอริทึมด้วยฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำ เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือแบบจำลองที่พัฒนาใหม่

ผลการศึกษา พบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ เหมาะสมมากกว่า การค้นหารูปแบบการจัดการด้วยวิธีแบบดั้งเดิม (แบบไม่ได้ใช้ฐานความรู้) ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถเป็นต้นแบบ และทางเลือกการค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสม และลดต้นทุนการผลิตข้าว ด้วยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ ให้กับเกษตกรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Optimization Model Using Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer and Water Knowledge-Based for Cost Management of Rice Crops
Student	Mr. Pannavich Ariyatanakatawong
Student ID.	55660401
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Major	Information Science
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Worapoj Kreesuradej

ABSTRACT

This thesis proposes nitrogen and water usage efficiency simulation, are developed by genetic algorithm technique. A nitrogen fertilizer and water are the important elements for the productivity of rice crops. Optimizing an application rate of nitrogen fertilizer and water are a key factors for both increasing high yields and reducing growing costs. This research proposes optimization model using a genetic algorithm with a nitrogen fertilizer nutritional and water knowledge-based for rice crops to search for an optimum application rate of nitrogen fertilizer and water volume metrics. The proposed technique can search for an optimum application rate of a nitrogen fertilizer and water volume faster than typical genetic algorithms. In order to be profitable and have a new algorithm optimization within crossover and mutation process for chromosome persevering, the farmers need to consider not only the rice crop yield but also cost of Nitrogen fertilizer and the labor cost of applying Nitrogen fertilizer. Therefore, the optimization strategy in this paper also considers the cost of nitrogen fertilizer and the labor cost of applying nitrogen fertilizer. The discovered optimum pattern from this research may useful for practice. The simulation results suggest that the purposed technique is a promising technique for optimizing an application rate of a nitrogen fertilizer and water management.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำจาก รศ.ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช ผู้เป็นอาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ดูแลเอาใจใส่ต่อลูกศิษย์เป็นอย่างดี และโดยสม่ำเสมอ ข้าพเจ้ารู้สึกขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความเมตตาของท่านอาจารย์ ซึ่งขอกราบขอบพระคุณท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ณ ช่วงเวลา ที่ได้รับการศึกษาอยู่ในสถาบัน ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขเล่มวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในแขนงวิชาวิทยาศาสตรสารสนเทศ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่างๆ เป็นตัวอย่างที่ดี และคอยให้กำลังใจในการทำงานวิทยานิพนธ์นี้ จนประสบความสำเร็จ

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ และครอบครัว ที่เป็นทั้งกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายทั้งปวง ในสากลโลกจงปกปักษ์รักษาคุ้มครองผู้มีพระคุณทั้งหลาย ขอให้ประสบแต่ความสุข สำเร็จ และเจริญก้าวหน้าในชีวิตหน้าที่การงานทุกๆ ท่าน ตลอดจนเข้าถึงซึ่ง พระนิพพาน เทอญ

ปัณณวิชญ์ อริยธนะกตวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VIII

สารบัญรูป..... XIV

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 3

1.3 ข้อจำกัดและขอบเขตงาน..... 3

1.4 วิธีดำเนินการ..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

1.6 ขั้นตอนการศึกษาหัวข้อวิทยานิพนธ์..... 5

1.7 การจัดเรียงหัวข้อในการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ความรู้พื้นฐานการเจริญเติบโตของข้าว..... 7

2.2 ความรู้พื้นฐานการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าวของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร..... 8

2.2.1 ความหมายและความสำคัญของปุ๋ย (Fertilizer)..... 8

2.2.2 ผลการตอบสนองของปุ๋ยในนาข้าว..... 9

2.2.3 การวัดประสิทธิภาพการตอบสนองของปุ๋ยในนาข้าว..... 12

2.3 ความรู้พื้นฐานการจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร..... 12

2.3.1 ความหมายและความสำคัญของน้ำ (Water) 12

2.3.2 ความรู้พื้นฐานการใช้น้ำของข้าวจากข้อมูลทางอากาศ..... 12

2.3.3 ความรู้พื้นฐานการใช้น้ำของข้าวจากชลประทาน..... 13

2.4 ความรู้พื้นฐานการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร. 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* (IRRI)..... 16

2.5.1 ประวัติและความเป็นมาแบบจำลอง..... 16

2.5.2 โครงสร้างแบบจำลอง (Model Structure)..... 18

2.5.3 แบบจำลองสภาพแวดล้อมและการเจริญเติบโตของข้าว..... 21

2.5.4 แบบจำลองการพัฒนาการทางสรีระของข้าว..... 24

2.5.5 แบบจำลองการการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับปุ๋ยไนโตรเจน..... 24

2.5.6 แบบจำลองการการเจริญเติบโตของข้าวร่วมกับใช้น้ำ..... 27

2.6 หลักการของเจเนติกอัลกอริทึม..... 30

2.6.1 ประวัติเจเนติกอัลกอริทึม (GA)..... 30

2.6.2 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Process)..... 31

2.7 ปัญหางานวิจัยที่เกี่ยวกับการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม..... 35

2.7.1 งานวิจัยการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมแบบดั้งเดิม..... 36

2.7.2 งานวิจัยการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึม... 37

2.7.3 งานวิจัยการปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมและการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม.... 56

บทที่ 3 อัลกอริทึมใหม่เพื่อการปรับปรุงและรักษาโครโซมด้วยเงื่อนไขฐานความรู้การใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว..... 78

3.1 ปัญหาและแนวคิดการปรับปรุง..... 78

3.2 วิเคราะห์สร้างและปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมด้วยกฎฐานความรู้..... 79

3.2.1 การวิเคราะห์และสร้างรูปแบบโครโมโซมปุ๋ย ด้วยฐานความรู้..... 79

3.2.1.1 แสดงรูปแบบโครโมโซมปุ๋ยจากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม..... 79

3.2.1.2 วิเคราะห์ความเสียหายโครโมโซมการจัดการปุ๋ยไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ 81

3.2.1.3 วิธีปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ 85

3.2.2 การวิเคราะห์และสร้างรูปแบบโครโมโซมน้ำ ด้วยฐานความรู้..... 90

3.2.2.1 สรุปเงื่อนไขการสร้างรูปแบบโครโมโซมการใส่น้ำที่เหมาะสม..... 92

3.2.2.2 แสดงรูปแบบโครโมโซมน้ำจากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม..... 94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2.3 วิเคราะห์ความเสียหายโครโมโซมการจัดการน้ำไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ 95

3.2.2.4 วิธีปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการจัดการน้ำที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ 95

3.3 การหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยไนโตเจนและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้..... 98

3.3.1 ผังและอัลกอริทึมการค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมด้วยกฎฐานความรู้. 99

3.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การประเมินการค้นหารูปแบบปุ๋ยและน้ำ..... 103

3.3.3 ผังและอัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมลูกหลังการกลายพันธุ์เพื่อรักษาให้อยู่ในกฎฐานความรู้..... 105

3.3.3.1 ผังและอัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมการจัดการปุ๋ยให้อยู่ในกฎ 106

3.3.3.2 ผังและอัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมการจัดการน้ำให้อยู่ในกฎ 108

บทที่ 4 การทดลอง และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้.... 111

4.1 สภาพการทดลอง..... 111

4.2 วิธีการทดลองและการวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง..... 112

4.3 แสดงค่าเฉลี่ยกำไร ต้นทุน รุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ และระยะเวลาการทำงานทั้งหมดจากการค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้..... 113

4.3.1 แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดลองค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม โดยรันอิสระ 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ1000..... 113

4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยจากการทดลองค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ก่อนและหลังการปรับปรุงโครโมโซม โดยหยุดที่รุ่น 100 500 และ1000..... 117

4.3.3 เปรียบเทียบกำไรจากการค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบใช้ฐานความรู้และไม่ใช้ฐานความรู้ปรับปรุงโครโมโซม โดยแสดงผลที่รุ่น 10 50 100 500 และ1000..... 122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... 125

5.1 สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง..... 125

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 125

บรรณานุกรม..... 127

ภาคผนวก..... 132

ภาคผนวก ก. ผลการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำเพียงอย่างเดียว ก่อนและหลังการปรับปรุง โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 500 และ1000..... 133

ภาคผนวก ข. ไฟล์พารามิเตอร์พันธุ์ข้าว IR72..... 172

ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่..... 181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของการใช้ไนโตรเจนตลอดช่วงอายุการเก็บเกี่ยวเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม [5]..... 9

2.2 สรุประดับน้ำที่เหมาะสมในแปลงนาข้าวร่วมกับการใส่ปุ๋ย..... 16

2.3 พารามิเตอร์นำเข้าเพื่อคำนวณการระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration)..... 30

2.4 แสดงการแปลงค่าโครโมโซมด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 38

2.5 ค่าพารามิเตอร์ในการรันเจเนติกอัลกอริทึม (GA) แบบง่าย..... 53

2.6 แสดงผลผลิตข้าวจากการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) รุ่นสุดท้าย.... 51

2.7 แสดงผลปริมาณปุ๋ยจากการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย (กิโลกรัมต่อเฮกตาร์) รุ่นสุดท้าย. 51

2.8 กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการรันเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ด้วยฐานความรู้การจัดการปุ๋ย... 60

3.1 รูปแบบโครโมโซมที่ 1 (*FP1*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 0 ครั้ง 79

3.2 รูปแบบโครโมโซมที่ 2 (*FP2*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 1 ครั้ง 79

3.3 รูปแบบโครโมโซมที่ 3 (*FP3*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 2 ครั้ง..... 79

3.4 รูปแบบโครโมโซมที่ 4 (*FP4*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 3 ครั้ง..... 79

3.5 รูปแบบโครโมโซมที่ 5 (*FP5*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 4 ครั้ง..... 79

3.6 รูปแบบโครโมโซมที่ 6 (*FP6*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 5 ครั้ง..... 80

3.7 รูปแบบโครโมโซมที่ 7 (*FP7*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 6 ครั้ง..... 81

3.8 แสดงการวิเคราะห์โอกาสที่โครโมโซมลูกไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยหลังจาก ขั้นตอน เจเนติกอัลกอริทึม..... 90

3.9 แสดงการจัดกลุ่มโครโมโซมลูกที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยหลังจากขั้นตอนเจเนติก อัลกอริทึม..... 90

3.10 รูปแบบโครโมโซมที่ 1 (*WP1*) ใส่น้ำจำนวน 0 ครั้ง 91

3.11 รูปแบบโครโมโซมที่ 2 (*WP2*) ใส่น้ำจำนวน 1 ครั้ง 91

3.12 รูปแบบโครโมโซมที่ 3 (*WP3*) ใส่น้ำจำนวน 2 ครั้ง..... 91

3.13 รูปแบบโครโมโซมที่ 4 (*WP4*) ใส่น้ำจำนวน 3 ครั้ง..... 92

3.14 รูปแบบโครโมโซมที่ 5 (*WP5*) ใส่น้ำจำนวน 4 ครั้ง..... 92

3.15 รูปแบบโครโมโซมที่ 6 (*WP6*) ใส่น้ำจำนวน 5 ครั้ง..... 92

3.16 รูปแบบโครโมโซมที่ 7 (*WP7*) ใส่น้ำจำนวน 6 ครั้ง..... 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

3.17 พารามิเตอร์การค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำ.... 93

4.1 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100..... 125

4.2 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500..... 125

4.3 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000..... 125

4.4 แสดงกำไรเฉลี่ย (Average Profit) จากการค้นหารูปแบบการ จัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบใช้ฐานความรู้ปรับปรุง และไม่ปรับปรุงโครโมโซม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 125

4.5 แสดงต้นทุนเฉลี่ย (Average Cost) จากการค้นหารูปแบบการ จัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบใช้ฐานความรู้ปรับปรุง และไม่ปรับปรุงโครโมโซม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 125

4.6 แสดงต้นรุ่นการลู่เข้าเฉลี่ย (Average Convergence) จากการค้นหารูปแบบการ จัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบใช้ฐานความรู้ปรับปรุง และไม่ปรับปรุงโครโมโซม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 125

4.7 แสดงเวลาค้นหาทั้งหมดเฉลี่ย (Average Run Time) จากการค้นหารูปแบบการ จัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบใช้ฐานความรู้ปรับปรุง และไม่ปรับปรุงโครโมโซม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 125

4.8 แสดงกำไรที่เหมาะสมสูงสุด (Maximum Profit) จากการค้นหารูปแบบการ จัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบไม่ใช้ฐานความรู้ และใช้ฐานความรู้ปรับปรุงโครโมโซม โดยแสดงข้อมูล ที่รุ่น 10 50 100 500 และ 1000 125

ก1.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมปุ๋ย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (ก่อนปรับปรุง)..... 133

ก1.2 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (ก่อนปรับปรุง) 133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก1.3 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้ การจัดการปุ๋ย โดยหยุดที่รุ่น 100 (ก่อนปรับปรุง)..... 135

ก1.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมปุ๋ย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (ก่อนปรับปรุง)..... 135

ก1.5 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบ การจัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (ก่อนปรับปรุง) 136

ก1.6 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้ การจัดการปุ๋ย โดยหยุดที่รุ่น 500 (ก่อนปรับปรุง)..... 136

ก1.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมปุ๋ย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000 (ก่อนปรับปรุง)..... 138

ก1.8 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการ จัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น1000 (ก่อนปรับปรุง)..... 139

ก1.9 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้ การจัดการปุ๋ย โดยหยุดที่รุ่น 1000 (ก่อนปรับปรุง)..... 141

ก2.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมปุ๋ย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (หลังปรับปรุง)..... 143

ก2.2 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบ การจัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (หลังปรับปรุง) 143

ก2.3 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้ การจัดการปุ๋ย โดยหยุดที่รุ่น 100 (หลังปรับปรุง)..... 145

ก2.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมปุ๋ย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (หลังปรับปรุง)..... 146

ก2.5 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบ การจัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (หลังปรับปรุง) 146

ก2.6 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมด้วยฐานความรู้ การจัดการปุ๋ย โดยหยุดที่รุ่น 500 (หลังปรับปรุง)..... 148

ก2.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซม ปุ๋ย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000 (หลังปรับปรุง)..... 149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก2.8 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น1000 (หลังปรับปรุง)... 151

ก2.9 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการปุ๋ย โดยหยุดที่รุ่น 1000 (หลังปรับปรุง)..... 153

ก3.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมน้ำ จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (ก่อนปรับปรุง)..... 153

ก3.2 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (ก่อนปรับปรุง) 155

ก3.3 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำ โดยหยุดที่รุ่น 100 (ก่อนปรับปรุง)..... 155

ก3.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมน้ำ จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (ก่อนปรับปรุง)..... 157

ก3.5 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (ก่อนปรับปรุง) 157

ก3.6 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำ โดยหยุดที่รุ่น 500 (ก่อนปรับปรุง)..... 159

ก3.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมน้ำ จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000 (ก่อนปรับปรุง)..... 160

ก3.8 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น1000 (ก่อนปรับปรุง). 160

ก3.9 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำ โดยหยุดที่รุ่น 1000 (ก่อนปรับปรุง)..... 162

ก4.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมน้ำ จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (หลังปรับปรุง)..... 163

ก2.2 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 (หลังปรับปรุง) 163

ก4.3 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำ โดยหยุดที่รุ่น 100 (หลังปรับปรุง)..... 165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ก4.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซมน้ำ จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (หลังปรับปรุง)..... 166

ก4.5 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 (หลังปรับปรุง) 166

ก4.6 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำ โดยหยุดที่รุ่น 500 (หลังปรับปรุง)..... 168

ก4.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้าย ของกลุ่มโครโมโซม น้ำ จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000 (หลังปรับปรุง)..... 169

ก4.8 แสดงต้นทุน (Cost) กำไร (Profit) และค่าเฉลี่ย (μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รัน 3 ซ้ำ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น1000 (หลังปรับปรุง)... 169

ก4.9 แสดงรูปแบบโครโมโซมรุ่นสุดท้าย จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำ โดยหยุดที่รุ่น 1000 (หลังปรับปรุง)..... 171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระยะการเจริญเติบโตข้าว [5]	7
2.2 ระยะการเจริญเติบโตของข้าวจากแนวความคิดของ [5]	8
2.3 แสดงระยะการพัฒนาการเจริญเติบโตของข้าว ตลอดช่วงอายุ 120 วัน [5]	10
2.4 แสดงปริมาตรน้ำ และท่อส่งน้ำ	13
2.5 ผังความรู้การจัดการปุ๋ย และน้ำในแปลงนาข้าวชลประทาน	15
2.6 แบบจำลองการเจริญเติบโตข้าว *Oryza2000* [3]	17
2.7 แบบจำลองสภาพแวดล้อมและการเจริญเติบโต [3]	20
2.8 โครงสร้างส่วนประกอบของฟังก์ชันย่อยที่ทำการคำนวณปุ๋ยไนโตรเจน (N)	24
2.9 ระบบการใช้น้ำของข้าวด้วยแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000*	27
2.10 การผสมยีนแบบจุดเดียวจาก Goldberg (1991)	34
2.11 ผังการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบดั้งเดิม	42
2.12 กราฟแสดงการลู่เข้าหาผลผลิตสูงสุด ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบดั้งเดิม	46
2.13 ผังการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้	48
2.14 อัลกอริทึมการสร้างกลุ่มโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมด้วยฐานความรู้	52
2.15 กราฟแสดงการลู่เข้าหากำไรสูงสุด ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้	55
2.16 กราฟแสดงการลู่เข้าหาต้นทุนต่ำสุด ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้	55
2.18 แสดงภาพ Implication graph for conflict-based leaning example	72
3.1 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง	85
3.2 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยหลังการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง	85
3.3 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง	86
3.4 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยหลังการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง	86
3.5 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง	87
3.6 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยหลังการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง	87
3.7 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง	88
3.8 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยหลังการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง	88
3.9 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ยมาก 4 ครั้ง	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยหลังการปรับปรุง มีความถี่การใส่ปุ๋ยมากกว่า 4 ครั้ง.....	89
3.11 รูปแบบโครโมโซมน้ำก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่น้ำ 0 ครั้ง	89
3.12 รูปแบบโครโมโซมน้ำก่อนการปรับปรุง มีความถี่การใส่น้ำมาก 4 ครั้ง	96
3.13 รูปแบบโครโมโซมน้ำหลังการปรับปรุง มีความถี่การใส่น้ำมากกว่า 4 ครั้ง.....	97
3.14 ผังการการต้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้.....	98
3.15 ผังการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยให้อยู่ในกฎฐานความรู้.....	105
3.16 ผังการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการจัดการน้ำให้อยู่ในกฎฐานความรู้.....	108
4.1 การลู่เข้าหากำไรการผลิตเหมาะสมสูงสุด รัน 3 ครั้ง โดยแสดงการหยุดรุ่นที่ 100	114
4.2 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตเหมาะสมต่ำสุดรัน 3 ครั้ง โดยแสดงการหยุดรุ่นที่ 100.....	114
4.3 การลู่เข้าหากำไรการผลิตเหมาะสมสูงสุด ค้นหาจากการจัดการปุ๋ยและน้ำเพียงอย่างเดียว โดยแสดงภาพ รุ่นที่ 100	118
4.4 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตเหมาะสมต่ำสุด ค้นหาจากการจัดการปุ๋ยและน้ำเพียงอย่างเดียว โดยแสดงภาพ รุ่นที่ 100	118
4.3 การลู่เข้าหากำไรการผลิตเหมาะสมสูงสุด ค้นหาจากการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติก อัลกอริทึม แบบไม่ใช้ฐานความรู้ และ แบบใช้ฐานความรู้ปรับปรุงโครโมโซม โดยแสดง ภาพการการหยุด รุ่นที่ 1000.....	124
ก1.1 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่กำไรสูงสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100.....	134
ก1.2 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยต้นทุนต่ำสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100.....	134
ก1.3 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่กำไรสูงสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500.....	137
ก1.4 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยต้นทุนต่ำสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500.....	137
ก1.5 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่กำไรสูงสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000.....	140
ก1.6 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยต้นทุนต่ำสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000....	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก2.1 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่กำไรสูงสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100……..	144
ก2.2 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยต้นทุนต่ำสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100……..	144
ก2.3 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่กำไรสูงสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500……..	147
ก2.4 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยต้นทุนต่ำสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500……..	147
ก2.5 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่กำไรสูงสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000……..	150
ก2.6 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยต้นทุนต่ำสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000…..	150
ก3.1 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำที่กำไรสูงสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100……..	153
ก3.2 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำต้นทุนต่ำสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100……..	153
ก3.3 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำที่กำไรสูงสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500……..	154
ก3.4 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำต้นทุนต่ำสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500……..	154
ก3.5 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำที่กำไรสูงสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000……..	155
ก3.6 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำต้นทุนต่ำสุดก่อนปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000….	155
ก4.1 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำที่กำไรสูงสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100……..	164
ก4.2 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำต้นทุนต่ำสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100……..	164
ก4.3 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำที่กำไรสูงสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500……..	167
ก4.4 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำต้นทุนต่ำสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500……..	167
ก4.5 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำที่กำไรสูงสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000……..	170
ก4.6 การลู่เข้าหารูปแบบการใส่น้ำต้นทุนต่ำสุดหลังปรับ เงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 1000…..	170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากรายงานความมั่นคงทางด้านอาหาร ประจำปี ค.ศ. 2003 คาดว่าปี ค.ศ. 2025 จะมีสภาวะขาดแคลนด้านอาหาร Cassman [1] ได้มีการสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลตั้งแต่ปี 1981 ถึง 2004 ซึ่งใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการทำนายการผลิตพืชอาหาร 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด ข้าว และข้าวสาลี ทั่วโลก พบว่า มีพื้นที่การผลิตลดลงต่อปี จำนวน 2.1 ล้านตัน ซึ่งจะส่งผลต่อการลดลงของปริมาณอาหารต่อปี เช่นกัน แต่ในทางตรงกันข้ามจำนวนประชากรโลกเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 11% ต่อปี โดยคาดว่า ปี ค.ศ. 2025 จะสูงถึง 9 พันล้านคน [2] ดังนั้น ระบบการผลิตที่มีต้นทุนการจัดการสูงจะส่งผลต่อราคาซื้อขายที่สูงขึ้น [3] และระบบการเกษตรจะไม่สามารถผลิตต่อไปได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการขาดแคลนอาหารเพื่อการบริโภค ของประชากรโลก

ปุ๋ย เป็นธาตุอาหารของข้าว ประกอบด้วยไนโตรเจน (N) ฟอสเฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลัก ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตตลอดอายุการเก็บเกี่ยว และเพิ่มผลผลิตให้กับข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลักของคนเอเชีย และทั่วโลก ซึ่งปุ๋ยไนโตรเจน เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างผลผลิตสูงสุด ปัจจุบันมีแนวโน้มการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพของดินเสื่อมโทรมลง ดังนั้น นักวิจัยด้านการเกษตรทั่วโลก ได้พยายามใช้เทคนิค Nitrogen Fertilizer Use Efficiency (NUE) ในการจัดการปุ๋ยเพื่อลดต้นทุนการผลิต พบว่า ในเอเชียลดได้ 31% แต่ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ต่อมา ได้มีกลุ่มนักวิจัยด้านการเกษตร ได้พยายามทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใส่ปุ๋ยแบบเรียลไทม์ โดยการใช้แผ่นเทียบค่าสีของใบข้าว (LLC) ถ้าสีของใบข้าวอยู่ในเงื่อนไขใดก็ให้ใส่ปุ๋ยตามกฎเกณฑ์นั้นๆ ซึ่งช่วยได้ในระดับหนึ่ง

สถาบัน International Rice Research Institute (IRRI) ได้พยายามค้นหาการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* เพื่อตรวจสอบและวางแผน ก่อนการปลูกข้าวในแปลงทดลอง โปรแกรมสามารถพิจารณา รูปแบบการจัดการปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิตได้ และสามารถกำหนดปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้งได้ โดยโปรแกรมสามารถคำนวณสรีระของข้าว หรือผลผลิตเป็นรายวัน ตลอดช่วงอายุการเก็บเกี่ยว อีกทั้ง สามารถเปรียบเทียบวิธีการจัดการ ได้หลายวิธี และหลายพันธุ์ ได้เพียงครั้งเดียว ดังนั้น นักวิจัยทั่วเอเชียจึงนิยมใช้ *Oryza2000* เป็นเครื่องมือเปรียบเทียบผลผลิต ระหว่าง ค่าสังเกตที่ปลูกในแปลงทดลอง กับรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำด้วยแบบจำลอง ซึ่งการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำจากโปรแกรม ดังกล่าว ยังไม่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการลงได้ อีกทั้ง โปรแกรมสามารถใช้ได้เฉพาะผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ มีบทบาทในการควบคุมประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ สำหรับด้านการเกษตร ยังขาดการประยุกต์ใช้ความสามารถด้านอัลกอริทึมในการควบคุมอุปกรณ์ และเทคโนโลยีการผลิต ให้มีประสิทธิภาพสูง และต้นทุนการจัดการที่ต่ำ ซึ่งหัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ ได้เน้นศึกษา การนำความรู้ของผู้เชี่ยวชาญด้านการเกษตร หรือระบบงานความรู้ (Knowledge-Based System-KBS) ร่วมกับ เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm-GA) ช่วยในการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้ฐานความรู้ดั้งเดิม (Typical Knowledge-Based-TKB) การใส่ไนโตรเจน (N) จากทษฎีการจัดการปุ๋ยของ Yoshida [5] & Datta [6] และน้ำ กรมการข้าว [41] [42] [43] เป็นเงื่อนไขร่วมค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสม จากการศึกษารายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การนำเทคนิคอัลกอริทึมเข้าไปช่วยแก้ไขปัญหาด้านต้นทุนการผลิตข้าวได้ ซึ่ง ปัจจุบัน พบว่า ยังมีปริมาณงานวิจัยที่ศึกษาในปริมาณที่น้อย และคำตอบที่ได้จากงานวิจัย ยังไม่สามารถยืนยันผลลัพธ์ ได้ดีกว่า วิธีการค้นหาแบบดั้งเดิม อย่างชัดเจน

ดังนั้น หัวข้อวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว แบบใหม่ ด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับการใช้ฐานความรู้ (Knowledge-Based-KB) จากผู้เชี่ยวชาญการเกษตร เป็นเงื่อนไข (Constrain) ร่วมการค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสมที่สุด การทดลองครั้งนี้ใช้ข้าวพันธุ์ IR72 (IRRI) และใช้อุณหภูมิจากสถานีข้อมูลอากาศเฉลี่ยจากสถานี จังหวัดฉะเชิงเทรา อยุธยา และสุพรรณบุรี เพื่อเป็นตัวแทนสภาพอากาศในเขตการพื้นที่ปลูกข้าวชลประทาน (นาปรัง) เพื่อใช้ในการค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสม พบว่า การค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำ ด้วยเทคนิคฐานความรู้ จากผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ สามารถเป็นต้นแบบการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ในการเพิ่มทางเลือกการแก้ไขปัญหาต้นทุนการผลิตสินค้าเกษตรให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง โดยเฉพาะข้าว ซึ่งถือว่า เป็นอาหารที่สำคัญของประเทศไทยและประชากรในประเทศ อื่นๆ ทั่วโลก จากเหตุผลดังกล่าว หวังว่า แบบจำลองนี้ใช้จะเป็นแนวทางในการค้นหาทางเลือกการลดต้นทุนการผลิตข้าว ได้อีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อศึกษาและปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมด้วยฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำเพื่อค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำในนาข้าว ที่มีกำไรสูงขึ้น

3.เพื่อศึกษาการปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมและรักษาโครโมโซมที่ดีไว้เพื่อไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยและน้ำที่ดีในแต่ละรุ่น (Generation)

1.3 ข้อจำกัดและขอบเขตงานวิจัย

1. เป็นการทดลองวัดประสิทธิภาพผลกำไรจากรูปแบบการใส่ปุ๋ยโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ *Oryza2000* และได้ทดสอบรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ได้จากเจเนติกกับผลการทดลองการปลูกข้าวด้วยปุ๋ยไนโตเจนในหลายๆ ระดับ โดยได้นำผลจากจำลองการเจริญเติบโตของข้าวไปทดสอบในแปลงนาเกษตรกร

2. การทดลองดังกล่าวได้ใช้ข้อมูลลักษณะพันธุ์ข้าว IR72 ที่มีการสอบเทียบ (Calibration) ในสภาพแวดล้อมการปลูกข้าวในประเทศฟิลิปปินส์ ในการค้นหาแนวทางการทดสอบการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำในประเทศไทย

3. การทดสอบปลูกข้าวในสภาพแปลงนาเกษตรกร และเลือกโครโมโซมที่มีกำไรสูงสุดจากรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ได้จากแบบจำลองในรุ่นสุดท้าย โดยเลือกโครโมโซมที่มีการใส่ปุ๋ยหนึ่งครั้งและใส่ปุ๋ยสองครั้ง ซึ่งใช้พันธุ์ข้าว กข49 ซึ่งอยู่ในประเภทสายพันธุ์ *Indica* กลุ่มเดียวกับ IR72 โดยใช้พื้นที่นาชลประทาน ณ ที่ตำบลเทพราช อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

4. ได้ใช้ค่าเฉลี่ยของภูมิอากาศของจังหวัดในพื้นที่ภาคกลาง เพื่อเป็นสภาพภูมิอากาศการปลูกข้าวนาปรัง ประกอบด้วย จังหวัด ฉะเชิงเทรา อยุธยา และสุพรรณบุรี ในประเทศไทย เพื่อเป็นตัวแปรร่วม การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม จากเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมในการค้นหารูปแบบที่มีกำไรสูงสุด

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการค้นหาคำตอบเฉพาะถิ่น ด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้งานร่วมกับฐานความรู้ (Knowledge-Based) จากระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ด้านการผลิตข้าว โดยเฉพาะการจัดการปุ๋ยไนโตเจนในนาข้าว การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว ได้ใช้โปรแกรม *Oryza2000* คำนวณผลผลิตข้าว และทำงานร่วมกับ แบบจำลองการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยโปรแกรม MATLAB 2012b อีกทั้ง เปรียบเทียบผลผลิตข้าว จากรูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำ ที่ได้จากการค้นหาหลายรูปแบบจากการทดลอง ด้วยค่าทางสถิติและกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ได้ออกแบบและพัฒนา แบบจำลองใหม่ ด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม และปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่ เพื่อค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่ดีกว่าแบบดั้งเดิม และวิเคราะห์การปรับปรุงเทคนิคการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) โดยใช้ฐานความรู้ จากผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร (Nutritional Knowledge Base) และแบบจำลองการเจริญเติบโตข้าว *Oryza2000* แบบอัตโนมัติ

3. การทดลอง ได้ใช้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ เพื่อทำการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 จากนั้น และบันทึกบันทึกรูปแบบการจัดการในแต่ละรุ่นที่มีกำไรสูงสุด

4. ทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำ ด้วยจากการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับเงื่อนไขความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว จากกลุ่มวิจัยใช้น้ำชลประทาน และความรู้จากวิทยานิพนธ์เรื่องการจัดการน้ำในนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทน และคุณภาพน้ำ

5. แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยค่าทางสถิติและกราฟ ประกอบด้วยค่าเฉลี่ย กำไรเหมาะสมสูงสุด ต้นทุนการจัดการเหมาะสมต่ำสุด รุ่นการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุด และระยะเวลาในการค้นหาคำตอบทั้งหมด อีกทั้ง ทดลองเปรียบเทียบการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมก่อนและหลังการปรับปรุงแบบจำลองและอัลกอริทึมการค้นหา ด้วยฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าว (Nutritional Knowledge-Based of Rice Crops-NBRC) และการปรับปรุงโครโมโซมด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำในนาข้าว (Water Knowledge-Based of Rice Crops-WKBC) จากฐานความรู้จากกรมการข้าว (ประเทศไทย), Yoshida [5] และ K.De Datta [6]

6. เรียบเรียงเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์ โดยทำการเรียบเรียงเนื้อหาวิทยานิพนธ์ตามรูปแบบของทางคณะกำหนดโดยการเรียงลำดับจากบทที่ 1 ถึงบทที่ 5 อีกทั้ง จัดเตรียมเอกสารประชุมวิชาการ เพื่อใช้เป็นหลักฐานการนำเสนอผลงานวิชาการระดับนานาชาติ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้และเข้าใจอัลกอริทึมที่เกิดจากการเรียนแบบพฤติกรรมธรรมชาติทางชีววิทยา

2. ได้แนวทางการพัฒนาแบบจำลองเพื่อค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำในนาข้าว

3. ได้อัลกอริทึมเทคนิคการค้นหาเฉพาะถิ่นด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้ผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

4. ได้เทคนิคการปรับปรุงและประเมิน ขั้นตอนทางพันธุกรรมด้วยความรู้ทางด้านอัลกอริทึม เพื่อรักษารูปแบบโครโซมที่ดีในแต่ละรุ่นไว้ได้

5. ได้รูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำในนาข้าวที่เหมาะสมที่สุด เพื่อแนะนำเกษตรกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการศึกษาหัวข้อวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาถึงประวัติ และความเป็นมา วัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และขอบเขตงานวิจัย วิธีการดำเนินวิจัย และการจัดเรียงหัวข้อการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

2. ศึกษาทฤษฎีหลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองด้วยเจเนติกอัลกอริทึม รวมทั้งเทคนิคการผสมผสานงานปรับปรุงประสิทธิภาพ ด้วยฐานความรู้จากระบบผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

3. วางแผนการทดลอง พัฒนาแบบจำลอง รวมทั้งการเตรียมแผนออกแบบการทดลอง และค้นหาใช้เครื่องมือวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง

4. พัฒนาแบบจำลอง และวางผังงาน การพัฒนาแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม MATLAB v2012b และทดลองแบบจำลอง โดยการวัดประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

5. สรุปประสิทธิภาพการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

1.7 การจัดเรียงหัวข้อในการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงประวัติ และความเป็นมา วัตถุประสงค์ ข้อจำกัด และขอบเขตงานวิจัย วิธีการดำเนินวิจัย และการจัดเรียงหัวข้อการเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ร่วมทั้ง การพัฒนาแบบจำลองด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยฐานความรู้จากระบบผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร โดยเฉพาะการจัดการปุ๋ยและน้ำ เพื่อช่วยให้พบคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility) และสามารถพบคำตอบ ที่เหมาะสมเร็วขึ้น และปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ใหม่ และการค้นหาแบบมีเงื่อนไข (Constrains) โดยใช้ฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำ เพื่อใช้ในการประเมินผลผลิต จากรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำจากการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility) ด้วยแบบจำลอง

บทที่ 3 ประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการพัฒนาแบบจำลองการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในนาข้าว และทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ซึ่งได้กล่าวถึงการปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตรการผลิตข้าวในการค้นหารูปแบบปุ๋ยที่เหมาะสม

บทที่ 4 แสดงรายละเอียด และขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลอง และสรุปเปรียบเทียบผลการทดลอง และแสดงประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบของแบบจำลองด้วยกราฟ

บทที่ 5 สรุปภาพรวมวิทยานิพนธ์ ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพ และการประยุกต์ใช้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

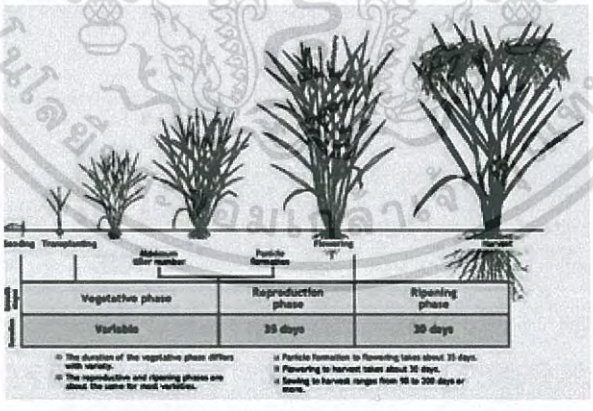
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานและความสำคัญที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 นี้ กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานและความสำคัญที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆ ประกอบด้วย ส่วนที่หนึ่ง การเจริญเติบโตของข้าว และฐานความรู้การใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร หรือแบบดั้งเดิม ส่วนที่สอง ศึกษาแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* จากสถาบัน IRRI และการคำนวณปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสม ส่วนที่สาม ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม และวิธีการปรับปรุงอัลกอริทึม รวมทั้ง หลักการเจเนติกอัลกอริทึม ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้พัฒนาแบบจำลองเพื่อการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งความรู้ในแต่ละส่วน จะถูกนำไปศึกษาการสร้างและปรับปรุงเงื่อนไขการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม พร้อมทั้งปรับปรุงโครโมโซมลูกจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ให้อยู่ในกฎฐานความรู้ เพื่อให้พบคำตอบที่เหมาะสม ได้เร็วขึ้น

2.1 ความรู้พื้นฐานการเจริญเติบโตของข้าว

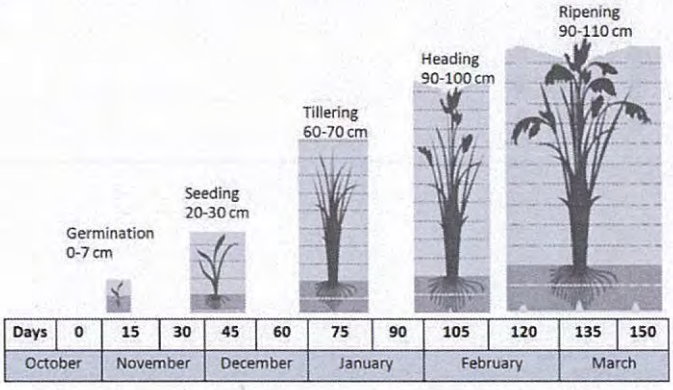
ระยะการเจริญเติบโตของข้าว ในปี ค.ศ. 1997 Thuy Le Toan [5] แสดงระยะการเจริญเติบโตของข้าว ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ระยะการเจริญเติบโตข้าว Thuy Le Toan ปรับปรุงจาก [5]

จากภาพที่ 2.1 แสดงรายละเอียดการเจริญเติบโตข้าว โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ตามรายงานของ Thuy Le Toan ได้แก่ ระยะที่ 1 ระยะ *Vegetative* คือ เริ่มตั้งแต่ การปลูกข้าว ถึง ระยะข้าวตั้งท้อง ระยะที่ 2 ระยะ *Reproductive* คือ เริ่มตั้งแต่ ข้าวออกดอก ถึง ระยะสร้างรวง และระยะที่ 3 *Grain Filling* และ *Maturation* คือ ระยะสร้างเมล็ด ถึง ระยะเก็บเกี่ยว ในทฤษฎีของระยะการเจริญเติบโตของข้าว จากแนวความคิดของ Yoshida [5] ได้แสดง ดังภาพที่ 2.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 ระยะการเจริญเติบโตของข้าวปรับปรุงจาก Yoshida [5]

จากภาพที่ 2.2 แสดงรายละเอียด การเจริญเติบโตของข้าว ในพื้นที่การปลูกข้าวนาปรัง หรือมีการจัดการน้ำ ซึ่งมีการเจริญเติบโต ในช่วงเดือน ตุลาคม ถึง มีนาคม โดยวิธีการปลูกข้าวใช้วิธีหว่านข้าวเปลือก (*Seeding*) โดยเริ่มจากการแช่ข้าวเปลือกในน้ำสะอาด เพื่อให้ข้าวงอก โดยใช้ระยะเวลา 1-2 วัน จากนั้น เริ่มหว่าน วันที่ 1 เดือน ตุลาคม โดยระยะช่วงก่อน 30 วัน หลังการปลูกข้าว (Date Afterseeding-DAS) จะมีลักษณะการเจริญเติบเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยอาศัยอาหารจากเมล็ดและจากใบข้าว โดยการสังเคราะห์แสง และจากนั้น ช่วงก่อน 60-65 วัน หลังการปลูก จะมีการพัฒนาการสร้างลำต้น ที่ขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารที่เหมาะสม หรือเพียงพอต่อการใช้สร้างลำต้น และการยืดตัวของราก โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน (N) จะมีผลต่อความสมบูรณ์ของสรีระของข้าว (*Biomass*) และจำนวนลำต้น (*Clumn*) ของข้าว ที่จะส่งผลต่อ ปริมาณดอกข้าว (*Spikelet*) ที่จะกลายเป็นจำนวนเมล็ดข้าว (*Grain Yields*) ในที่สุด

2.2 ความรู้พื้นฐานการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าวของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

2.2.1 ความหมาย และความสำคัญของปุ๋ย (Fertilizer)

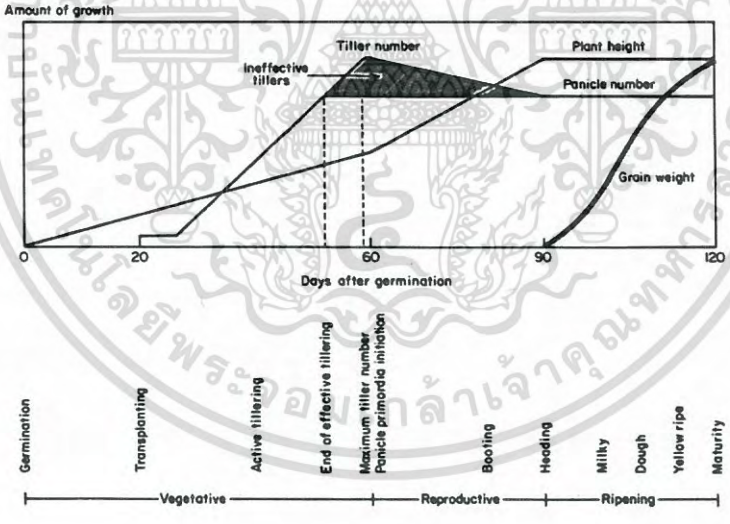
ปุ๋ย คือ ธาตุอาหารที่พืชใช้ดำรงชีวิตได้ตลอดอายุการเก็บเกี่ยวโดยปริมาณธาตุอาหาร และความเหมาะสมในการจัดการ มีผลต่อปริมาณผลผลิต ต้นทุนการผลิต และผลกำไร ซึ่ง ปุ๋ยประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน (*Nitrogen*) ฟอสเฟอรัส (*Phosphorus*) และโพแทสเซียม (*Potassium*) และธาตุอาหารรองอีก 13 ชนิด ซึ่งมีปริมาณเพียงพอในดินอยู่แล้ว โดยปุ๋ยไนโตรเจน มาจากการเผาไหม้ น้ำฝน มูลสัตว์ และเศษวัสดุ ฟางข้าว และจากเกษตรกรในแต่ละฤดูกาลผลิตข้าว ที่มีปริมาณไนโตรเจนมีไม่เพียงพอกับความต้องการของข้าว จึงถูกกำหนดใส่โดยเกษตรกร เพื่อให้มีปริมาณเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการแตกกอของต้นข้าว ซึ่งช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใส่ปุ๋ย คือ ในระยะข้าวที่มีอายุ ประมาณ 10-15 วัน หลังการปลูกหรือหว่าน เพื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการสร้างลำต้น ใบ และครั้งที่สอง คือ ช่วงก่อนระยะข้าวตั้งท้อง หรือข้าวอายุประมาณ 65 วันหลังการปลูก เพื่อการสร้างรวง และเมล็ดข้าวให้สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2 ซึ่งอ้างอิงจาก Yosida [5] และหลักการผลิตพืช ของ Datta [6]

2.2.2 ผลการตอบสนองของปุ๋ยในนาข้าว

Yosida [5] ได้จำแนกช่วงการเจริญเติบโตของข้าว ออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ *Vegetative* ช่วงที่ 2 คือ *Reproductive* และ ช่วงที่ 3 คือ *Repining* ซึ่ง Kimura และ Chiba ทำการทดลองปลูกข้าว เพื่อศึกษาการตอบสนองกับปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ในนาข้าว โดยแบ่งช่วงการทดลอง ออกเป็น 11 ระยะ ประกอบด้วย I.Germination II.Transplanting III.Activetillering IV.Endofactivetillering V.Maximum tiller number VI.Booting VII.Heading VIII.Milky IX.Dough X.Yellow ripe และช่วงสุดท้าย XI.Maturity ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงปริมาณความเข้มข้นของการใช้ไนโตรเจนตลอดช่วงอายุการเก็บเกี่ยว ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม โดยได้ทดลองปริมาณการใช้ปุ๋ยหลายระดับ ซึ่งมีความแตกต่างกัน 7 ระดับ (Treatments) ดังนี้



ภาพที่ 2.3 แสดงระยะการพัฒนาการเจริญเติบโตของข้าว ตลอดช่วงอายุ 120 วัน [5]

โดย ตารางที่ 2.1 เป็นการเก็บข้อมูลจากการทดลองที่มีการกำหนดระดับความเข้มข้นไนโตรเจน (N) ในการใส่ปุ๋ยในแปลงปลูกข้าว พบว่า ช่วงเริ่มต้น และช่วงกลางการเจริญเติบโต มีความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูง และช่วงปลายการเจริญเติบโต มีปริมาณความต้องไนโตรเจน (N) ลดลง ซึ่งสามารถแสดงประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยไนโตเจนในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของการใช้ไนโตรเจนตลอดช่วงอายุการเก็บเกี่ยว เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนตุลาคม [5]

Treatment	Nitrogen concentration (ppm)						
	23 Jun - 10 Jul	10-13 Jul	13 Jun - 4 Aug	13-14 Aug	13-26 Aug	26 Aug -3 Sep	3 Sep - 14 Oct
1	1.0	1.5	3.0	3.8	3.0	2.0	2.0
2	1.5	2.1	4.2	5.1	3.9	2.5	2.4
3	2.0	3.0	6.0	6.8	5.0	3.2	2.9
4	2.5	4.2	8.5	9.2	6.5	4.0	3.5
5	3.5	6.0	12.0	12.4	8.4	5.0	4.2
6	5.0	8.5	17.0	16.7	10.8	6.4	5.0
7	7.5	12.0	24.0	22.5	14.0	8.0	6.0

ซึ่งการทดลองนี้ ได้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว 2 ครั้ง โดยครั้งแรก แนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ช่วงระหว่าง 15-20 วัน หลังการปลูกข้าว โดยการหว่าน (Sowing) และ ครั้งที่สอง ก่อนวันที่ 15-20 วัน ก่อนข้าวออกรวง หรือสร้างดอก จากการทดลอง สรุปได้ว่า ข้าวมีความต้องการใช้ธาตุอาหารไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตสูง ในช่วงระหว่าง อาทิตย์แรกๆ ถึงอาทิตย์ที่ 4 และมีความต้องการใช้ปริมาณไนโตรเจนสูง เพื่อการสร้างใบ ในช่วงระหว่างอาทิตย์ ที่ 8-10 สำหรับสร้างกาบใบ และลำต้น หลังจากอาทิตย์ที่ 10 ข้าวมีความต้องการใช้ปริมาณไนโตรเจนลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงสิ้นสุดอายุการเก็บเกี่ยว โดยเฉลี่ยข้าวมีความต้องการปุ๋ยไนโตรเจน สำหรับสร้างชีวมวลต่อวัน ประมาณ 50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เป็นอย่างต่ำ อีกทั้งพบว่า การใส่ไนโตรเจน 8 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน สามารถเพิ่มผลผลิตสูงขึ้นถึง 1 ตัน หรือ 1,000 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

2.2.3 การวัดประสิทธิภาพการตอบสนองของปุ๋ยในนาข้าว

การวัดประสิทธิภาพในแต่ละช่วงเวลาการเจริญเติบโตของข้าว จากปริมาณการนำปุ๋ยไนโตรเจน ไปใช้งาน (Partial Productive Efficiency of Nitrogen Absorbed-*PN*) ตั้งแต่ ช่วงเวลา (n-1) ถึง n โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$PN(n) = \frac{Y(n) - Y(n-1)}{N(n) - N(n-1)} \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $Y(n)$ คือ น้ำหนักเมล็ด ณ เวลาใดๆ สอดคล้องกับระยะเวลา (n)

$Y(n-1)$ คือ น้ำหนักเมล็ด ณ เวลาใดๆ สอดคล้องกับระยะเวลา ($n-1$)

$N(n)$ คือ ปริมาณไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้งานทั้งหมดสอดคล้องกับระยะเวลา (n), และ

$N(n-1)$ คือ ปริมาณไนโตรเจนที่พืชนำไปใช้งานทั้งหมดสอดคล้องกับระยะเวลา ($n-1$)

ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่า ในกรณีที่ข้าวมีใบสีเหลือง หรือขาวซีด แสดงถึงอาการข้าวขาดธาตุไนโตรเจน (N) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการสร้างปริมาณต้นข้าวต่อกอที่ลดลง นั้นแสดงให้เห็นว่า เกษตรกรควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจน เพื่อให้ทันความต้องการธาตุอาหารของต้นข้าว ซึ่งบางส่วนต้องการไนโตรเจน ในการสร้างเมล็ดข้าว (Rice and rice products) ดังนั้น ประสิทธิภาพของข้าวที่สมบูรณ์ คือ มีปริมาณข้าวสาร 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป โดยการวัดประสิทธิภาพของข้าวจากการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม พบว่า ประสิทธิภาพการนำไนโตรเจนไปใช้อยู่ประมาณ 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์ พบว่า ไนโตเจนหนึ่งกิโลกรัม จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของข้าวเปลือก 50 กิโลกรัม โดยเมื่อคำนวณจากเปอร์เซนต์ของการเพิ่มขึ้นของข้าวจะอยู่ระหว่าง 15 - 20 กิโลกรัม ต่อการใส่ปุ๋ยหนึ่งกิโลกรัม โดยความต้องการปุ๋ยไนโตรเจน (N) สำหรับพัฒนาผลผลิตข้าวเปลือก (Grain Yield) ที่เพิ่มขึ้น มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$Y = Y_0 + \Delta Y_F \tag{2.2}$$

$$Y = Y_0 + (Fertilizer\ eficiency) + \Delta N_F \tag{2.3}$$

โดยที่ Y คือ ผลผลิตข้าว

Y_0 คือ ผลผลิตข้าวในสภาพดินที่มีธาตุอาหารปกติเฉลี่ย 2 ตันต่อเฮกตาร์ (320 กิโลกรัมต่อไร่)

ΔY_F คือ การเพิ่มขึ้นของอัตราผลตอบแทนการผลิตข้าวที่ได้รับจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N)

ΔN_F คือ ปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ในนาข้าว

สรุป คือ เมื่อใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 50 กิโลกรัม สามารถเพิ่มผลผลิตข้าว ประมาณ 2.75 - 3.25 ตันต่อเฮกตาร์ และถ้าต้องการผลผลิตข้าว 6 ตันต่อเฮกตาร์ ต้องใส่ปุ๋ยไนโตรเจนปริมาณ 160 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ (960 กิโลกรัมต่อไร่) ซึ่งปริมาณการใส่ปุ๋ยในนาข้าว มีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของผลผลิต Datta [6] แต่มีความเสี่ยงกับโรคพืช เช่น โรคแมลง หนอน กอ เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมทั้งเวลาและปริมาณ จะส่งผลต่อผลผลิตข้าวที่ดีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความรู้พื้นฐานการจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

2.3.1 ความหมาย และความสำคัญของน้ำ (Water)

น้ำ มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของข้าว โดยตลอดระยะการปลูกข้าวมีการสูญเสียน้ำ เนื่องจาก 1) การคายน้ำของพืช (Transpiration: *T*) คือ การระเหยของน้ำออกจากต้นพืช ทางปากใบ และผิวใบ มีหน่วยเป็น ความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน 2) จากการระเหย (Evaporation : *E*) คือ การระเหยของน้ำจากผิวน้ำ หรือผิวดิน มีหน่วยเป็น ความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา หรือปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน 3) ปริมาณการใช้น้ำของพืช หรือ การคายระเหยน้ำของพืช (Crop Evapotranspiration: *ET*) คือ ปริมาณน้ำที่พืชใช้เพื่อการเจริญเติบโตตลอดอายุการเก็บเกี่ยว รวมถึง ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงนา โดยการรั่วไหล การคายน้ำ และการระเหย ซึ่งมีหน่วยเป็น ความลึกของน้ำ/หน่วยเวลา หรือ ปริมาตรของน้ำ/หน่วยเวลา/หน่วยพื้นที่ เช่น มิลลิเมตร/วัน และ 4) การสูญเสียจากปริมาณการใช้น้ำของพืช ในอากาศ โดยมีการอ้างอิงจากค่าการระเหยต่อวัน (Reference Crop Evapotranspiration: ET_o) หรือ หมายถึง ค่า Potential Evapotranspiration: ET_p หรือ หลักการคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียไป จากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึง โดยดินต้องมีความชื้นอยู่อย่างเพียงพอกับความต้องการพืชตลอดเวลา ทั้งนี้ การใช้น้ำของพืชอ้างอิง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับอิทธิพลอย่างอื่น เช่น การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ อุณภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ช่วงแสง เป็นต้น

2.3.2 ความรู้พื้นฐานการใช้น้ำของข้าว โดยจากข้อมูลทางอากาศ

วิธีการหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว มีการหาจากการคำนวณ ด้วยสูตร Empirical โดยคำนวณจาก ข้อมูลทางภูมิอากาศ ทั้งนี้ ปริมาณการใช้น้ำของพืชส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพภูมิอากาศ ซึ่งที่นิยมใช้มากที่สุด คือ สูตรของ Penman เป็นสูตรที่ต้องการข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยามาประกอบในการคำนวณ ประกอบด้วยข้อมูล ทางด้านอุณหภูมิของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ เปอร์เซ็นต์ของการส่องแสงจากดวงอาทิตย์ อัตราความเร็วลมสูงจากพื้นดิน 2 เมตร รังสีแสงอาทิตย์ และสัมประสิทธิ์ความสะท้อนจากพื้นผิว ซึ่งค่าเหล่านี้ หาได้จากตารางสำเร็จรูป ในกรณีที่ต้องการหาค่าปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ (Consumptive use of potential evapotranspiration) ของพื้นที่ที่ไม่เคยวัดค่ามาก่อน ต้องหาค่าโดยการคำนวณแล้วปรับค่าที่ได้ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง อีกครั้ง โดยค่าที่ได้จากการคำนวณ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient) ซึ่งมีสูตร ดังนี้

$$ET_c = K_c \times ET_p \tag{2.4}$$

โดยที่ ค่า Et_c คือ ปริมาณการใช้น้ำของข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

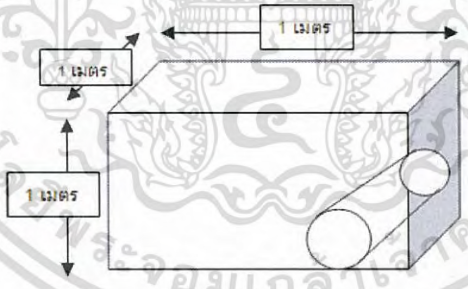
K_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว และ

Et_q คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

ยกตัวอย่างการคำนวณ เช่น ข้าวพันธุ์ กข ปลูกในเขตพื้นที่นาปรัง สามารถคำนวณปริมาณการใช้น้ำ ดังนี้ กำหนดให้ K_c = 1.24 และ Et_q = 8.52 ดังนั้น Et_c = 1.24 x 8.52 = 10.56 มิลลิเมตรต่อวัน เป็นต้น

2.3.3 ความรู้พื้นฐานการใช้น้ำในแปลงนาปลูกข้าว โดยการทำชลประทาน

ปริมาณน้ำ (มวลน้ำ) 1 ลูกบาศก์เมตร ถ้านำมาตั้งเป็นลูกสี่เหลี่ยม จะเป็นลูกสี่เหลี่ยมที่มีขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และสูง 1 เมตร ภาพที่ 2.4 ซึ่ง ได้แสดงปริมาตรน้ำ โดยสมมุติว่ามีท่อส่งน้ำเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6-12 นิ้ว หรือเท่ากับ 15-30 เซนติเมตร มีปริมาตรน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยพื้นที่ปากท่อเท่ากับ (((22/7) x 1.5) x 1.5) = 0.07 ดังนั้นปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร/0.07 = 14.29 เมตร นั้นหมายความว่า 1 วินาที ท่อนี้จะสามารถปล่อยน้ำออกได้ 14.29 เมตร หรือ 1 ลูกบาศก์เมตร และนั้นหมายความว่า ถ้า 1 นาที สามารถสูบน้ำได้ 1 x 60 = 60 ลูกบาศก์เมตร และถ้า 1 ชั่วโมง จะสามารถสูบน้ำได้ 60 x 60 = 3,600 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1 วัน จะสามารถสูบน้ำได้ 36,00 x 24 = 86,400 ลูกบาศเมตร เป็นต้น



ภาพที่ 2.4 แสดงปริมาตรน้ำ และท่อส่งน้ำ

และได้แสดงตัวอย่างเพิ่มเติม เช่น การคำนวณหาปริมาตรน้ำในภาชนะสี่เหลี่ยม เช่น บ่อเลี้ยงปลา บ่อซีเมนต์การคำนวณปริมาตรน้ำ โดยใช้สูตร ดังนี้ ปริมาตรน้ำ = กว้าง X ยาว X สูง (ความลึก) หรือ พื้นที่ปากบ่อ x สูง (ความลึก) ตัวอย่างเช่น การคำนวณปริมาตรบ่อเลี้ยงปลา มีขนาด 3 ไร่ ใส่น้ำในระดับ 120 ซม. คำนวณ ดังนี้ เนื้อที่ 1 ไร่ เท่ากับ 1,600 ตารางเมตร ดังนั้น บ่อมีพื้นที่เท่ากับ 1600 x 3 = 4,800 ตารางเมตร โดยมีปริมาณน้ำสูง 120 เซนติเมตร หรือเท่ากับ 1.2 เมตร โดยจากสูตรปริมาตรน้ำ = พื้นที่ (พื้นที่ปากบ่อ) x สูง (ความลึก) = 4800 x 1.2 = 5,760 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้น บ่อมีความจุเท่ากับ 5,760 ลูกบาศก์เมตร (คิว หรือตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้น้ำขึ้นอยู่กับ การให้น้ำทางผิวดินในลักษณะใด โดยการให้น้ำทางผิวดินกระทำได้โดยให้น้ำขัง หรือ ไหลไปบนผิวดิน และซึมลงไปในดินตรงจุดที่น้ำขัง หรือไหลผ่าน ดังนั้น อาจถือว่าผิวดินเป็นทางน้ำ โดยทางน้ำดังกล่าวนี้ มีขนาดรูปร่างและคุณสมบัติทางชลศาสตร์แตกต่างกันออกไป โดยพื้นที่เพาะปลูก ทั้งหมด ปกคลุมด้วยน้ำ ในแบบให้น้ำท่วมขังผิวดิน ประกอบด้วย 1. วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว (*Graded Border Method*) 2. วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ (*Level Border Method*) 3. วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นของเนิน (*Contour Level Method*) และ 4. วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (*Contour Ditch Method*) ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ใช้วิธีที่แรก คือ วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว (*Graded Border Method*) การให้น้ำโดยวิธีนี้ ทำโดยเปิดให้น้ำเข้าไปท่วมผิวดินในแปลง โดยมีคันดินขนาดเล็กสองคันซึ่งมีแนวตรง และขนานกันคอยควบคุมอัตราการให้น้ำที่พอเหมาะ ซึ่งคำนวณหาปริมาตรน้ำที่จะต้องจ่ายให้กับแปลงด้วย ระยะเวลาที่ดินดูดซึมน้ำเข้าไปเท่ากับความลึกของน้ำที่ต้องการ เช่น สมมุติว่าแปลงหนึ่งมีพื้นที่ 1 ไร่ หรือ 1,600 ตารางเมตร ต้องการให้น้ำลึก 80 มิลลิเมตร ดังนั้น ปริมาตรของน้ำที่จะต้องส่งเข้าแปลงจะเท่ากับ 1,600 x 0.08 หรือ 128 ลูกบาศก์เมตร สมมุติว่า ถ้าจะให้น้ำซึมลงไปในดินลึก 80 มิลลิเมตร จะต้องใช้เวลานาน 4 ชั่วโมง ดังนั้น ควรจะส่งน้ำเข้าแปลงด้วยอัตรา 128/4 = 32 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 9 ลิตรต่อวินาที เป็นต้นส่วนวิธี อื่นๆ สรุปโดยย่อ คือ ผลจากการใช้น้ำชลประทานจากการทดลองในสถานีทดลองเกษตรชลประทาน และสามารถสรุปการวิเคราะห์การใช้น้ำชลประทาน [41] [42] ดังนี้

1.การใช้น้ำชลประทานเตรียมแปลงตกกล้า และน้ำใช้หล่อเลี้ยงต้นกล้าตลอดอายุ 2 0 – 30 วัน ประมาณ 210 $ม^3$/ไร่ และน้ำเตรียมแปลงทำเทือกปักดำ อีก 440 $ม^3$/ไร่ รวมน้ำ ใช้ช่วงระยะต้นกล้า และทำเทือกปักดำ 650 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่

2.การใช้น้ำชลประทานสำหรับหล่อเลี้ยงต้นข้าว ตั้งแต่ ปักดำจนกระทั่งสุกแก่ ควรใช้น้ำขัง ในกระทงนา อย่างน้อย 5 – 10 เซนติเมตร และม่ควรปล่อยให้พื้นที่นาแห้งเกิน 1 วัน แต่ปักดำจนกระทั่งข้าวสุกแก่ เก็บเกี่ยว ประมาณ 695 - 1,200 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่

3.การใช้น้ำชลประทาน ตั้งแต่เตรียมแปลง การปักดำ ข้าวสุกแก่ตั้งแต่ 1,345 – 1,850 $ม^3$/ไร่ าคิดประสิทธิภาพการส่งน้ำ เฉลี่ย 70 % จะต้องส่งน้ำให้ข้าว 2,690 – 3,145 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ซึ่งการ โดยแนะนำให้ส่งน้ำขังแปลงนาเพียง 5 – 10 เซนติเมตร เพื่อประหยัดน้ำที่จะระเหยด้วย

2.4 ความรู้พื้นฐานการจัดการปุ๋ย และน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

ผังความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในแปลงปลูกข้าวนาปรัง ตลอดอายุการเก็บเกี่ยวข้าว ของกรมการข้าว แห่งประเทศไทย มีรายละเอียดขั้นตอนการจัดการที่เหมาะสม ดังภาพ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการจัดการน้ำที่เหมาะสมในแต่ระยะการปลูกข้าวสรุป ดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะกล้า ข้าวอายุ 1-15 วัน

1. ระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร (50-100 มม.) หลังจากหว่านข้าวได้ 4 วัน ให้ระบายน้ำออกให้แห้ง ตลอดจนถึงข้าวอายุ 20 วัน

2. ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1 สูตร 16-20-0 25 กก/ไร่ เมื่อข้าวอายุ 20 วัน และระบายน้ำเข้ารักษาระดับน้ำ 5 เซนติเมตร (50 มม.)

ระยะที่ 2 ระยะข้าวแตกกอ ข้าวอายุ 25-55 วัน

3. เมื่อข้าวอายุ 40 วันระบายน้ำออกให้น้ำแห้ง 5 วัน

4. ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 สูตร 46-0-0 10 กก/ไร่ และระบายน้ำเข้ารักษาระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร (50-100 มม.) จนข้าวอายุ 90 วัน

ระยะที่ 3 ระยะข้าวตั้งท้อง ข้าวอายุ 55-90 วัน

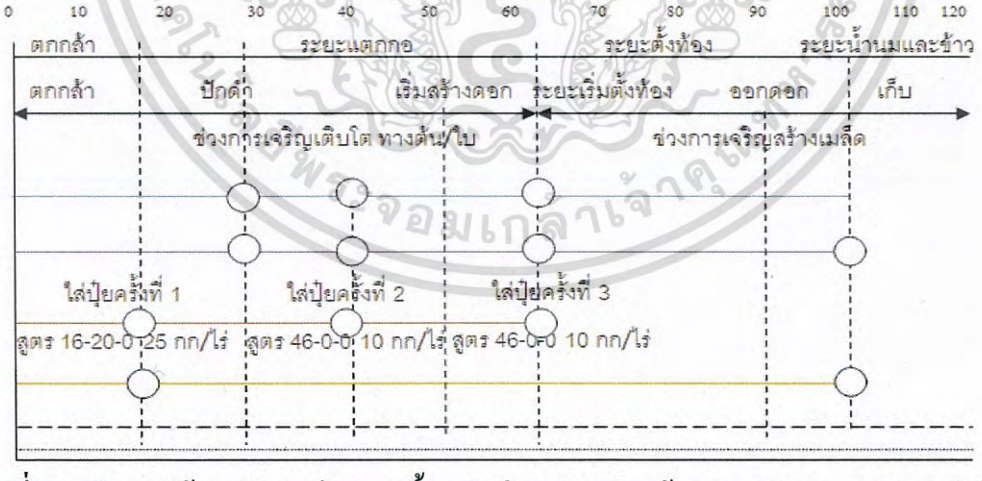
5. ห้ามขาดน้ำ รักษาระดับน้ำ 5-10 เซนติเมตร (50-100 มม.) ตลอดจนข้าวอายุ 90 วัน ป้องกันเมล็ดข้าวลีบ

ระยะที่ 4 ระยะข้าวสุกแก่ ข้าวอายุ 90-120 วัน

6. ไม่มีการใส่ปุ๋ย

7. ไม่มีการจัดการน้ำ

8. เก็บเกี่ยวข้าวในระยะ 110-115 วัน หรือ 28-30 วัน หลังข้าวออกรวง



ภาพที่ 2.5 ผังความรู้การจัดการปุ๋ย และน้ำแปลงในแปลงปลูกข้าวนาชลประทาน (กรมการข้าว)

โดย ภาพที่ 2.5 คือ เส้นสีฟ้า : ช่วงระยะการตัดพันธุ์ข้าวปน , เส้นสีม่วง:การกำจัดวัชพืช, เส้นสีแดง : การใส่ปุ๋ย และเส้นสีเหลือง : การสำรวจโรคแมลง โดยระดับการจัดการน้ำในแปลงนาข้าวถูกแสดง โดยเส้นประ : – – – – หมายถึง ระดับน้ำสูง 10 ซม. และเส้นจุดไข่ปลา : ..... หมายถึง ระดับน้ำสูง 5 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต จากการจัดการน้ำที่เหมาะสม คือ ผันน้ำเข้าแปลงนาก่อนการใส่ปุ๋ยทุกครั้ง โดยใส่น้ำสูง 100 มิลลิเมตร และระบายน้ำออกครั้งเดียว เมื่อข้าวอายุ 90-95 วัน ก่อนข้าวออกดอก ซึ่งข้อสำคัญของน้ำในการปลูกข้าว คือ ถ้าขาดน้ำในช่วงการเจริญเติบโตสูง จะส่งผลต่อการเกิดวัชพืช และถ้าข้าวขาดน้ำในช่วงระยะผสมเกสร (ตั้งแต่ตั้งท้องจนถึงข้าวออกรวง) จะมีเมล็ดลีบสูง

ตารางที่ 2.2 สรุประดับน้ำที่เหมาะสมในแปลงนาร่วมกับการใส่ปุ๋ยจาก กรมการข้าว

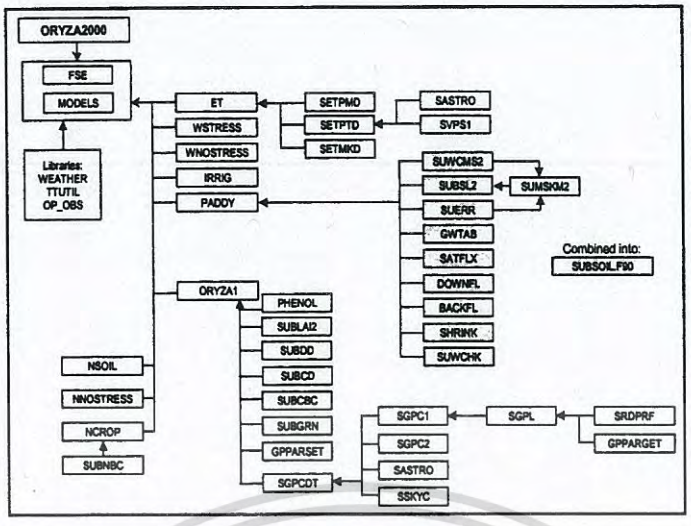
รายการ	ระดับน้ำ (ความสูงของน้ำ)		
	เซนติเมตร (cm)	มิลลิเมตร(mm) หรือลูกบาศก์เซนติเมตร(cc)	ลูกบาศก์เมตร (m^3)
ข้าวงอก	2.5	25	0.025
ปักดำถึงระยะแตกกอ	8	80	0.080
แตกกอสูง	10	100	0.100
ก่อนหว่านปุ๋ยทุกครั้ง	5-10	50-100	0.050-0.100
หลังข้าวออกดอก 15 วัน	0	0	0
ช่วงเก็บเกี่ยว	0	0	0

2.5 แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* (IRRI)

2.5.1 ประวัติ และความเป็นมา แบบจำลอง

แบบจำลองการปลูกข้าว *Oryza2000* พัฒนาเริ่มแรก ช่วงปี ค.ศ. 1990 ภายใต้โครงการ "Simulation and Systems Analysis for Rice Production (SARP)" โดย Ten Berge และ Kropff ซึ่ง *Oryza2000* เป็นเวอร์ชั่นที่รวม 3 โมเดล ต้นแบบ ของแบบจำลองการปลูกข้าว ตระกูล ORYZA คือ ORYZA1 ที่ใช้วิเคราะห์ potential production ที่พัฒนาโดย Kropff ในปี ค.ศ. 1994 และฟังก์ชัน ORYZA-W ใช้สำหรับวิเคราะห์ผลผลิตข้าว และน้ำเป็นปัจจัยจำกัด ในส่วนของฟังก์ชัน ORYZA-N ใช้วิเคราะห์ผลผลิตภายใต้ข้อจำกัดของไนโตรเจน ที่พัฒนาโดย Drenth ในปี ค.ศ. 1994 โดยทำการคำนวณการเจริญเติบโต การพัฒนาการของข้าว อัตราการคายระเหยน้ำ อัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่อการเจริญเติบโตของผลผลิตข้าว ทั้งในสภาพการปลูกแบบน้ำตม (Puddle Soil) และแบบไม่เป็นน้ำตม (Non Puddle Soil) เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติ ข้อดี ด้านประสิทธิภาพ จากงานวิจัย พบว่า การสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับสภาพการปลูกข้าวในแปลงนาจริง ภายใต้เงื่อนไขการปลูกข้าวเดียวกัน อีกทั้ง สามารถใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาวิธีการจัดการ วิธีการปลูกข้าว โดยการบริหารจัดการปริมาณน้ำ ดิน และปุ๋ย ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งเป็นข้อดี ในการนำมาปรับปรุง ประสิทธิภาพแบบจำลอง ให้ดีขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองการเจริญเติบโตข้าว *Oryza2000* [4]

รายละเอียด แบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* พัฒนาโดย สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ซึ่งเป็นการคำนวณการเจริญเติบโตของข้าวรายวัน โดยคำนวณหลังจากปลูกข้าวหรือหว่านข้าว 4 วัน จากนั้น ทำการคำนวณการเจริญเติบโตรายวัน ตลอดอายุการเก็บเกี่ยว หรือจนกว่าปริมาณธาตุอาหาร น้ำ อากาศ ไม่เหมาะสม จึงหยุดการคำนวณ ซึ่งมีตัวแปรเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมการปลูกข้าว เช่น การสังเคราะห์แสงของพืช (Photosynthesis Driven Model) อัตราการคายระเหยน้ำรายวัน (คำนวณโดย Modified Equations) ผลจากความแห้งแล้งต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของต้นข้าว (คำนวณในกรณี Soil Water Contents มีปริมาณต่ำกว่าค่า Saturation) ซึ่งโปรแกรม มีการคำนวณค่าสมดุลน้ำ โดยใช้โปรแกรมย่อย PADDY ภายใต้คุณสมบัติของ ดิน และน้ำ ในสภาวะต่างๆ โดย *Oryza2000* ต้องการข้อมูลลักษณะกายภาพของพื้นที่ และสภาพแวดล้อมในการปลูก รวมทั้ง ลักษณะชีวภาพ ของการจัดการการผลิตข้าว ซึ่งนอกจากนี้ยังมีการปรับค่าพารามิเตอร์ และประเมินการใช้ในสถานการณ์ต่างๆ ให้เหมาะสม ได้ [4]

นอกจากนี้ มีการวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวแปร ที่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และผลผลิต โดย ORYZA-N เป็นฟังก์ชันการวิเคราะห์ผลผลิต ภายใต้ข้อจำกัดของไนโตรเจนซึ่งสามารถแก้ไขปรับปรุงปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ได้หลายระดับ อีกทั้งสามารถปรับปรุงปริมาณการใส่ปุ๋ยได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง จากเหตุผลเบื้องต้น จึงทำให้แบบจำลอง *Oryza2000* จึงเป็นที่นิยม สำหรับนักจำลองการเจริญเติบโตของข้าว เพื่อใช้ศึกษาการจัดการปุ๋ยในนาข้าว อีกทั้ง แบบจำลองได้มีการสอบเทียบความน่าเชื่อถือ จากหน่วยทดลองในสถานบันวิจัยข้าว IRRI และพื้นที่ อื่นๆ ที่ตั้งอยู่ในแถบเอเชีย เช่น ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย จีน อินเดีย และประเทศไทย เป็นต้น

การพัฒนาโปรแกรม *Oryza2000* พัฒนาโดย FORTRAN สำหรับจำลองสภาพแวดล้อมระบบ ประกอบด้วยโปรแกรมหลัก ที่เรียกว่า FSE และใช้ Library สำหรับจัดการข้อมูลสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อากาศ ที่เรียกว่า WHEATHER ที่พัฒนาโดย Kraalingen ในปี ค.ศ. 1991 ซึ่งใช้ Utility Library สำหรับงานเฉพาะ เช่น การอ่านและเขียน ข้อมูลอินพุท และเอาท์พุท สอดแทรกเชิงเส้น เป็นต้น เรียกว่าฟังก์ชัน TTUTIL และแนวทางการพัฒนาโปรแกรมสำหรับรูปแบบที่จะเชื่อมโยงกับระบบ FSE คือ การใช้แนวคิดอัตราสถานะ ของการจำลองสถานการณ์จากการปลูกข้าวที่ประกอบด้วย การคำนวนน้ำหนักของสรีระ หรือ อวัยวะของพืช เช่น ใบ ลำต้น ราก เป็นต้น และดัชนีพื้นที่ใบ เพื่อใช้เป็นค่าประเมินผลผลิตข้าวในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต ซึ่งคำนวณแบบไดนามิก จนกว่าจะครบตามจำนวนวันปลูกข้าว หรือ ถ้าพบเงื่อนไขที่ผิดปกติในช่วงการเจริญเติบโตของข้าว โปรแกรมจะหยุดการทำงาน และถ้าไม่พบสิ่งผิดปกติ แบบจำลองก็จะคำนวณการเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นรายวัน ไปตลอดอายุการเก็บเกี่ยว (Harvesting)

2.5.2 โครงสร้างแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000*

การกำหนดพารามิเตอร์ ของแบบจำลอง ในหัวข้อ Program and Library Structure of *Oryza2000* ของ FSE system ประกอบด้วย ฟังก์ชันย่อย 8 ฟังก์ชัน ดังนี้

1. ET เป็นฟังก์ชัน ที่ทำหน้าที่คำนวณอัตราการระเหยน้ำจากดิน และน้ำ ซึ่งประกอบด้วย การคำนวณ 3 รูปแบบ ที่แตกต่างกัน คือ *Penman-Montheith Priestley-Taylor* และวิธีของ *Makkink*

2. WSTRESS เป็นฟังก์ชัน ที่ทำหน้าที่คำนวณการดูดน้ำ และคายน้ำที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งเป็นปัจจัยสำหรับการทดสอบทนแล้งในช่วงการเจริญเติบโต

3. WNOSTRESS เป็นฟังก์ชัน ที่คำนวณศักยภาพการผลิต

4. ORYZA1 เป็นฟังก์ชัน ที่คำนวณการเจริญเติบโตทางสรีระของต้นข้าวรายวัน โดยใช้ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง คือ พารามิเตอร์สภาพอากาศ และวิธีการปลูกข้าว

5. NCROP เป็นฟังก์ชัน ที่คำนวณศักยภาพการดูดซึมธาตุอาหารไนโตเจน เพื่อการสร้างสรีระ (Biomass) และผลผลิตข้าว (Grain Yields)

6. NNOSTRESS เป็นฟังก์ชันที่คำนวณการเจริญเติบโตของข้าว ที่อยู่ภายใต้มีปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน (N) ที่มีจำกัด และไม่จำกัด

7. RRIG เป็นฟังก์ชัน ที่คำนวณระดับการจัดการระดับน้ำในแปลงนารายวันเพื่อตรวจสอบความสมดุลน้ำในดิน

8. PADDY เป็นฟังก์ชันที่คำนวณความสมดุลของปุ๋ยและน้ำ ในดิน

ทุกฟังก์ชัน จะรวมอยู่ในฟังก์ชันหลักของ *Oryza2000* ซึ่งพารามิเตอร์ จะถูกกำหนดลักษณะการทดลองโดยผู้ใช้งาน เช่น พารามิเตอร์ "PRODENV" และ "NITROENV" โดยพารามิเตอร์ "PRODENV" เกี่ยวกับการกำหนดสภาพแวดล้อมการผลิตข้าว ภายใต้การจัดการปุ๋ยและน้ำ ซึ่ งการทำงานภายใต้ค่าโหมด " POTENTIAL" คือ การทำงานแบบไม่มีการคำนวณสมดุล

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143967

ของน้ำ และ "WATER BALANCE MODE" คือ การทำงานแบบมีการคำนวณสมดุลของน้ำ ซึ่งเป็นการทำงานในชุดรูปแบบการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมการผลิต โดยการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในหลายระดับต้องทำการกำหนดกำหนดพารมิเตอร์ ภายใต้ "NITROENV" และการกำหนดให้ทำงานภายใต้ค่า "POTENTIAL" คือ ไม่มีการคำนวณสมดุลของไนโตรเจน และภายใต้ค่า "NITROGEN BALANCE MODE" คือ มีการคำนวณสมดุลของไนโตรเจน ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้ แบ่งรูปแบบการกำหนดเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1.PRODENV="POTENIAL" และ NITROENV="POTENIAL" (ใช้รูปแบบภายใต้การผลิตที่มีศักยภาพที่มีข้อจำกัดแบบไม่มีธาตุไนโตรเจน)

2.PRODENV="WATER BALANCE" และ NITROENV="POTENIAL" (การทำงานภายใต้สมดุลของน้ำ เช่น การจัดการน้ำชลประทานที่จำกัด ด้วยข้อจำกัดที่ไม่มีปุ๋ยไนโตรเจน)

3.PRODENV="POTENIAL" และ NITROENV= "NITROGEN BALANCE" (ใช้รูปแบบภายใต้การผลิตที่มีศักยภาพที่มีข้อจำกัดของปุ๋ยไนโตรเจน)

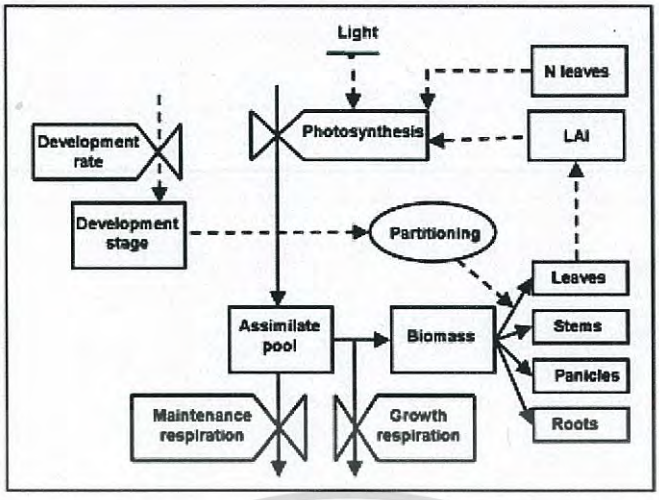
4.PRODENV="WATER BALANCE" และ NITROENV="NITROGEN BALANCE" (ใช้รูปแบบภายใต้การผลิตโดยใช้การจัดการน้ำชลประทานแบบจำกัด ด้วยข้อจำกัดไนโตรเจน)

2.5.3 แบบจำลองสภาพแวดล้อม และการเจริญเติบโตของข้าว

โครงสร้างรูปแบบของแบบจำลองข้าว *Oryza2000* ในภาพที่ 2.7 แสดงให้เห็นส่วนประกอบของแบบจำลอง เพื่อการพัฒนาการทางสรีระของข้าว ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ในสภาวะที่สมดุล ระหว่างสภาพแวดล้อม ต่างๆ เช่น แสง ปริมาณน้ำ ที่มีปริมาณเพียงพอ ปริมาณไนโตรเจนที่มีปริมาณเพียงพอ และปราศจากโรคพืช ผลลัพธ์ของแบบจำลอง *Oryza2000* โดยมีโมดูล ORYZA1 ซึ่งทำหน้าที่คำนวณน้ำหนักแห้งในแต่ละวัน ด้วยค่าอัตราการเจริญเติบโตรายวันของข้าวในแต่ละช่วงเวลา ระบบจะทำการสะสมผลผลิตรายวัน ตลอดช่วงอายุการเก็บเกี่ยวของข้าว

โดยการคำนวณการผลิตข้าว ส่วนแห้งขึ้นอยู่กับการดูดซึมคาบอนไดน์ออกไซด์ (CO_2) พื้นที่ของใบ (LAI) และทรงพุ่ม ในการสังเคราะห์แสง เพื่อสร้างการเจริญเติบโตของอวัยวะส่วนต่างๆ รายวัน คำนวณด้วยฟังก์ชัน ORYZA1 แต่ยังขึ้นตัวแปรอื่นๆ เช่น อุณหภูมิรายวัน ปริมาณน้ำรายวัน ที่มีผลต่อการสร้างใบ การแบ่งเซลของราก ดอกข้าวกลายเป็นหมัน หรือ เมล็ดข้าวลีบ เป็นต้น ซึ่งฟังก์ชัน ORYZA1 สามารถใช้ ตรวจสอบความทนแล้งข้องข้าวได้ โดยการตรวจสอบทำการเลือกรูปแบบการทดลองให้เหมาะสมในการศึกษา เช่น WATER BALANCE ในส่วนของฟังก์ชัน PADDY เป็นการจำลองความสมดุลของน้ำในดิน และผลกระทบของสรีระต้นข้าว เช่น เงื่อนไขการขาดน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 แบบจำลองสภาพแวดล้อม และการเจริญเติบโตของข้าว [4]

ความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนในการพัฒนาสรีระ จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจน ซึ่งจะสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต ในส่วนของใบข้าว โดยจะถูกจำลองการทำงานด้วยฟังก์ชัน NCROP ในส่วนที่เป็นฟังก์ชันย่อย จะถูกเรียกจาก ฟังก์ชันหลักอีกครั้ง ซึ่งปุ๋ยไนโตรเจนจะถูกคำนวณตามความต้องการใช้งานของข้าว ด้วยฟังก์ชันย่อย NSOIL และขบวนการปรับสมดุล (Mineralization) ระหว่างความต้องการไนโตรเจนจากส่วนต่างๆ ของข้าว กับปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่กำหนดใส่ก่อนการปลูกข้าวโดยเกษตกร เป็นต้น

2.5.4 ฟังก์ชันการพัฒนาการทางสรีระของข้าว ด้วยแสง

ฟังก์ชันการทำงานใน *Oryza2000* จะมีการคำนวณเริ่มต้นจากศูนย์ โดยระยะแรก เรียกว่า ช่วงระยะการงอก (Emergence stage) และระยะที่ 2 เรียกว่า ช่วงสร้างเมล็ด (Maturity stage) และระยะที่สาม ช่วงพัฒนา (Development stages) ซึ่งระยะการเจริญเติบโต ถึง ช่วงเก็บเกี่ยวผลผลิต แบ่งค่าของระยะออกเป็นสี่ช่วง โดยมีค่าดัชนีการเจริญเติบโตของข้าว ดังนี้ ค่าดัชนีของ emergence เป็น 0 ค่าดัชนีของ panicle intialtion มีค่าเป็น 0.65 ค่าดัชนีของ flowering มีค่าเป็น 1 และค่าดัชนีของ maturity มีค่าเป็น 2 ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณ ดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาลักษณะของต้นข้าว (Phenological Development) ช่วงสร้างเมล็ด หรือ emergence โดยมีค่าเท่ากับ 0 ในฟังก์ชัน ORYZA1 มีการคำนวณการเจริญเติบโต ด้วยการสังเคราะห์แสง และอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้น โดยมีอุณหภูมิ 8 30 และ 42 °C เข้ามาเกี่ยวข้องกับการพัฒนา ดังกล่าว โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$T_d = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} + (T_{\max} - T_{\min}) \times \frac{\cos(0.2618(h-14))}{2} \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย T_{base} คือ อุณหภูมิต่ำสุด, T_{opt} คือ อุณหภูมิเฉลี่ย, T_{high} คือ อุณหภูมิสูงสุด และ

h คือ ระยะเวลาในแต่ละวัน มีหน่วยเป็นชัวโมง (hours)

และ มีข้อกำหนด ดังนี้

$$T_d \le T_{base}, T_d \ge T_{high} : \text{HUH} = 0$$

$$T_{base} < T_d \le T_{opt} : \text{HUH} = \frac{(T_d - T_{base})}{24}$$

$$T_{opt} \le T_d < T_{high} : \text{HUH} = \frac{[T_{opt} - (T_d - T_{opt}) \times (T_{opt} - T_{base})/(T_{high} - T_{opt})]}{24}$$

โดยการเจริญเติบโตรายวัน สามารถคำนวณด้วยสูตร ดังนี้

$$\sum_{h=1}^{24} (HUH) \qquad (2.6)$$

ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขของอุณภูมิสำหรับการเจริญเติบ โต ถ้าในกรณีที่อุณหภูมิมีความผิดปกติ หรือ ต่ำกว่า 12 °C ติดต่อกัน 3 วัน ข้าวจะตาย ซึ่งจะคำนวณด้วยฟังก์ชันย่อย PHENOL

2. อัตราการเจริญเติบ โตรายวัน (Crop Growth Rate) คำนวณมาจากการนำ CO_2 ไปใช้ในการพัฒนาส่วนต่างๆ ของพืช มีรายละเอียด ดังนี้

$$G_p = \frac{A_d \times (30/44) - R_m + R_t}{Q} \qquad (2.7)$$

โดย A_d คือ อัตราการใช้ CO_2 ต่อวัน (kg CO_2 ha/d)

R_m คือ ปริมาณการใช้ CO_2 ต่อวัน (kg CO_2 ha/d)

R_t คือ ปริมาณที่จำเป็นต้องใช้ CO_2 ต่อวัน (kg CO_2 ha/d)

Q คือ ปริมาณที่จำเป็นต้องใช้ CO_2 สร้างฟางแห้งต่อวัน (kg CO_2 ha/d)

3. การสร้างดอกข้าว และเมล็ดข้าว (Spikelet and Grain Formation) โดยอัตราการสร้างดอกข้าว (no. of spikelets/ha soil/d) จะถูกคำนวณในฟังก์ชันย่อย ORYZA1 ซึ่งคำนวณการเจริญเติบโต (G, kg dry matter/ha soil/d) และการสร้างดอกข้าว ด้วยค่า γ(number / kg) จะเริ่มการคำนวณ ตั้งแต่ DVS=0.65 ถึงช่วงออกดอก 50% หรือช่วง DVS=1 โดยมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=p}^{F}(G_i \times \gamma) \tag{2.8}$$

โดยที่ P และ F คือ วันที่เริ่มใบธง จน ถึงช่วงข้าวออกดอกประมาณ 50%

4. การพัฒนาการทางใบ (Leaf area Growth)

ทำการคำนวณการพัฒนาทางใบรายวัน เรียกว่า ค่า GLAI (GLAI, ha leaf/ha soil/d) คำนวณโดยฟังก์ชันย่อย SUBLAI2 ประกอบด้วย สองส่วน คือ การเจริญเติบโตจากการหว่านเมล็ด และการย้ายต้นกล้า หลังจากการเพาะด้วยเมล็ด ซึ่งการพัฒนาช่วงlinear phase (m^2 leaf/kg leaf) จะทำการพัฒนาทางสรีระของข้าว ดังนี้

$$SLA = a + b \times \exp(c \times (DVS - d)) \tag{2.9}$$

โดย a, b, c และ d คือ พารามิเตอร์ที่ได้มาจากการทดลองในแปลงทดลอง

5) การเจริญเติบโตของข้าวจากหว่านเมล็ด (Transplanted Rice: Grown in seedbed) ในระยะการเจริญเติบโตเริ่มต้น มีการเจริญเติบโต โดยอาศัยอุณหภูมิ โดยวิธีการหว่านเมล็ด จะใช้ฟังก์ชัน SUBDD สำหรับคำนวณค่า LAI โดยถูกเรียกใช้งานจากฟังก์ชัน ORYZA1 มีสูตรดังนี้

$$LAI_{ts} = LAI_{t0} \times \exp(R_1 + T_s) \tag{2.10}$$

โดย

LAI_{ts} คือ พื้นที่ใบต่อเฮกตาร์ (ha leaf/ha soil)

LAI_{t0} คือ พื้นที่ใบต่อเฮกตาร์ (ha leaf/ha soil) ผลรวมอุณหภูมิเริ่มมีค่าเป็นศูนย์

R_l คือ อัตราการเจริญเติบโตของใบ (RGRL; $(^{\circ}Cd)^{1}$)

และการเจริญเติบโตของพื้นที่ใบ ที่มีผลจากปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ในระหว่างช่วงการเพาะปลูกข้าว มีสมการ ดังนี้

$$R_1 = R_{l\max}(1 - f_N)(R_{l\max} - R_{l\min}) \tag{2.11}$$

โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_l คือ อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่ใบ $(^{\circ}Cd)^{-1}$

R_{lmax} คือ อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่ใบสูงสุด $(^{\circ}Cd)^{-1}$)

R_{lmin} คือ อัตราการเจริญเติบโตของพื้นที่ใบต่ำสุด $(^{\circ}Cd)^{-1}$)

f_N คือ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโต

ช่วงการเจริญเติบโต หรือ linear phase ถูกกำหนดได้จากปริมาณคาร์โบไฮเดรต ในช่วงการสร้างใบบริเวณที่มีสีเขียว (LAI) และน้ำหนักแห้งของใบสีเขียว (W_{lvg}) ประกอบด้วยรายละเอียด ดังสมการนี้

$$LAI = SLA \times W_{lvg} \tag{2.12}$$

และการเจริญเติบโตทางใบต่อวันสุทธิ (gW_{lvg}) สามารถคำนวณได้จาก การเจริญเติบโตของดัชนีพื้นที่ใบต่อวัน ลบด้วย ค่าดัชนีพื้นที่ใบปัจจุบัน (LAI) และเฉพาะผลรวมของพื้นที่สีเขียว (W_{lvg}) โดยสามารถคำนวณ ได้จากสมการนี้

$$gLAI = ((W_{lvg} + gW_{lvg}) \times SLA - LAI \tag{2.13}$$

การคำนวณโดยฟังก์ชัน ORYZA1 ได้ใช้การเจริญเติบโตทางใบ โดยเริ่มด้วยน้ำหนักของอวัยวะของพืช (Weigth) และดัชนีพื้นที่ใบ (LAI) ซึ่งมีสูตรการคำนวณรวม ดังนี้

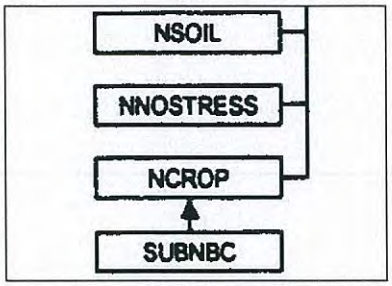
$$gLAI = ((W_{lvg} + gW_{lvg} - W_{lvgexs}) \times SLA) - LAI_{exs} - LAI \tag{2.14}$$

จากสูตร 2.13 ได้เปลี่ยนเป็น 2.14 คือ การเปลี่ยนจากการเจริญเติบโตแบบสมการ exponential เป็น การเจริญเติบโตแบบ linear โดยใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย (Weigthed mean) โดยสามารถนำค่าต่างๆ ไปใช้แสดงการเจริญเติบโตทางใบได้

2.5.5 ฟังก์ชันการพัฒนาการทางสรีระของข้าว ด้วยปุ๋ยไนโตรเจน

ใน *Oryza2000* ถูกคำนวณมาจากสองฟังก์ชันหลัก คือ NCROP และ NSOIL ซึ่งฟังก์ชัน NCROP จะทำงานภายใต้การกำหนดเงื่อนไข "NITROGEN BALANCE" โดยส่วนของการควบคุมตัวแปร (Control parameter) และในส่วนของ NSOIL จะคำนวณปริมาณไนโตรเจนในดินจากบริเวณรากข้าว ภายใต้เงื่อนไข "POTENTIAL" ในฟังก์ชัน "NNOSTRESS" เนื่องจากเป็นฟังก์ชันย่อย และถูกกำหนดการทำงานด้วยตัวแปร "POTENTIAL" และ "NITROENV" ภายใต้ *Oryza2000*

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างส่วนประกอบของฟังก์ชันย่อยที่ทำการคำนวณปุ๋ยไนโตรเจน (N) [4]

ความต้องการใช้งานของปุ๋ยไนโตเจนต่อวัน ถูกจำกัดด้วยประสิทธิภาพ ในการดูดซึมอาหารของอวัยวะส่วนต่างๆ ของพืช โดยทำงานด้วยฟังก์ชันย่อย NCROP และขึ้นอยู่กับปริมาณของอวัยวะการพัฒนาการเจริญเติบโตของพืชสูงสุดต่อวัน โดยศักยภาพดังกล่าว ยังจะถูกกำจัดจากคุณภาพดิน และอัตราการดูดซึมของรากพืช (Uptake) ด้วย เช่นกัน ซึ่งฟังก์ชันการคำนวณไนโตรเจนทั้งหมด ความต้องการปุ๋ยไนโตรเจนผ่านอวัยวะของข้าว และการรักษาระดับไนโตรเจนให้อยู่ในช่วงความต้องมีปริมาณสูงสุดและปริมาณต่ำสุดรายวัน โดยความสามารถดังกล่าว จะถูกคำนวณได้จากสมการนี้

$$ND_{mx,lv} = \frac{(NC_{mx,lv}(W_{lv} + GW_{lv}\delta_t \times NA_{lv}))}{\delta_t} \qquad (2.15)$$

โดยที่ $ND_{mx,lv}$ คือ ความต้องการปริมาณไนโตรเจนของใบ (kg N/ha/d)

$NC_{mx,lv}$ คือ ปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในน้ำหนักแห้ง (kg N kg^{-1} dry matter)

W_{lv} คือ น้ำหนักใบแห้ง (kg dry matter ha^{-1})

GW_{lv} คือ อัตราการเจริญเติบโตทางใบ (kg dry matter $ha^{-1}d^{-1}$)

NA_{lv} คือ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (amount of N kg N ha^{-1})

ความต้องการปริมาณปุ๋ยไนโตเจนสูงสุด จะอยู่ในช่วงระยะเริ่มต้น โดยจะพบว่าปริมาณไนโตรเจนที่สะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืชนั้น จะมีปริมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักใบ และลำต้น โดยสามารถคำนวณได้จาก (2.15) ซึ่งจะแสดงดังสมการ (2.16) ดังนี้

$$ND_{mx,st} = (0.5)\frac{(NC_{mx,st}(W_{st} + GW_{st}\delta_t \times NA_{st}))}{\delta_t} \qquad (2.16)$$

โดย $ND_{mx,lv}$ คือ ปริมาณความต้องการไนโตเจนของต้นข้าว (kg N/ha dry matter)

$NC_{mx,lv}$ คือ ปริมาณไนโตเจนสูงสุดในใบ (kg N/ha)

W_{st} คือ ปริมาณน้ำหนักแห้ง (kg dry matter/ha)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GW_{st} คือ อัตราการเจริญเติบโต (kg dry matter/ha/d)

NA_{st} คือ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่ใส่ (kg N/ha)

การสะสมสรีระของพืช จะถูกคำนวณจากปริมาณไนโตรเจน ในส่วนต่างๆ ของพืชต่ออัตราการเจริญเติบโตต่อวัน โดยมีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

$$W_{mx,so} = NC_{mx,so} \times GW_{so} \quad (2.17)$$

โดยที่ $ND_{mx,so}$ คือ ความต้องการไนโตรเจนเพื่อสร้างอวัยวะส่วนต่างๆของพืช (kg N/ha dry matter)

$NC_{mx,so}$ คือ การสะสมปริมาณไนโตรเจนสูงสุดต่อวัน (kg N/ha)

GW_{so} คือ อัตราการเจริญเติบโตของอวัยวะพืช (kg dry matter/ha/d)

ความต้องการปุ๋ยไนโตรเจน (Nitrogen Uptake) คือ ข้อจำกัดของการใช้ไนโตรเจนต่อวัน โดยปกตินาข้าวในเขตร้อนชื้น ต้องปริมาณไนโตรเจนต่อวัน ประมาณ 9-12 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อวัน (kg/ha/d) และพื้นฐานของ *Oryza2000* ได้กำหนดความต้องการปุ๋ย อยู่ที่ 8 กิโลกรัมต่อเฮกคาร์ต่อวัน ซึ่งความต้องการปริมาณไนโตรเจน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างอวัยวะส่วนต่างๆ ของข้าว สามารถคำนวณได้จากสูตร (2.18) ดังนี้

$$ND_{mx,c} = \left(ND_{mx,lv} \times NT_{a,lv}\right) + \left(ND_{mx,st} \times NT_{a,st}\right) + \left(ND_{mx,so} \times NT_{a,so}\right) \quad (2.18)$$

โดยที่ $ND_{mx,c}$ คือ ความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูงสุด (kg N/ha/d)

$ND_{mx,lv}$ คือ ความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในใบ (kg N/ha/d)

$ND_{mx,st}$ คือ ความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในลำต้น (kg N/ha/d)

$ND_{mx,so}$ คือ ความต้องการปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในอวัยวะพืช (kg N/ha/d)

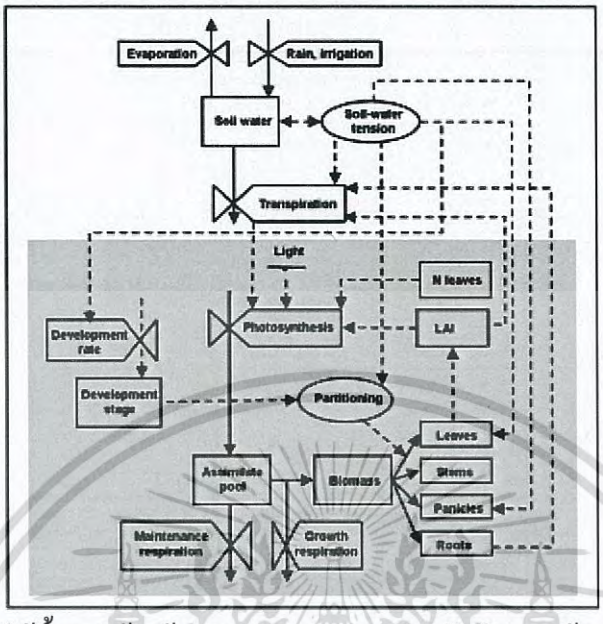
$NT_{a,lv}$ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในใบ (kg N/ha/d)

$NT_{a,st}$ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในลำต้น (kg N/ha/d)

$NT_{a,so}$ คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนสูงสุดในอวัยวะพืช (kg N/ha/d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ฟังก์ชันการพัฒนาการทางสรีระของข้าว ด้วยน้ำ



ภาพที่ 2.9 ระบบการใช้น้ำของข้าวด้วยแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* [4]

ภาพที่ 2.9 ในส่วนของ Evaporation คือ การระเหยของน้ำจากพื้นดินและพืช โดย Rain คือ การเติมน้ำเข้าระบบจากปริมาณฝนตก และ Irrigation คือ การเติมน้ำเข้าระบบ จากกรณีที่มีการจัดการน้ำในแปลงนา การระเหยของน้ำทั้งหมด จากการใช้น้ำจากส่วนต่างๆ ของพืช และปริมาณน้ำที่ระเหย จากพื้นดินโดยตรง (Soil Water Tension) ถูกกำหนดโดย Bouman [4] และYoshida [5]

รายละเอียดการพิจารณาปริมาณการใช้น้ำที่เหมาะสม คือ ในส่วนของ *Oryza2000* เมื่อมีการกำหนดตัวแปร PRODENV เท่ากับค่า "WATER BALANCE" โดยกำหนด PRODENV เท่ากับค่า "POTENTIAL" เพื่อนำข้อมูลการใช้น้ำจากไฟล์พารามิเตอร์มาสู่การคำนวณความสมดุลของการใช้น้ำ จากเงื่อนไขที่กำหนดพารามิเตอร์ดังกล่าว ซึ่งโปรแกรมสามารถ สามารถเพิ่มปริมาณน้ำจากฝนและจากการจัดการน้ำจากเขื่อนหรือชลประทาน ได้อย่างไม่จำกัด

โดยการจัดการน้ำ แบ่งออกเป็น 3 ฟังก์ชันย่อย ที่ถูกเรียกใช้งานจาก *Oryza2000* คือ ET, WSTRESS และ WNOSTRESS ซึ่ง ET จะมีการคำนวณในช่วงก่อนการหว่านข้าว โดยเรียกว่า อัตราการเหยน้ำของพืช ซึ่งกำหนดความสูงของข้าวเหนือผิวดิน 8-10 เซนติเมตร เมื่อข้าวมีส่วนเหนือดินตลอดจนมีการเจริญเติบโตปกติ ห้ามมีการขาดน้ำ ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณ 3 แบบ คือ แบบ *Penman* (ฟังก์ชันย่อย SETPMD) แบบ *Priestley-Taylor* (ฟังก์ชันย่อย SETPTD) และ แบบ *Makkink* (ฟังก์ชันย่อย SETMKD) โดยทั่วไปใช้ *Penman* ซึ่งสามารถคำนวณเงื่อนไขของความแห้งแล้งที่เกิดจากแรงลม และความชื้น โดยกำหนดที่พารามิเตอร์ ETMOD จากไฟล์การจัดการน้ำ แต่ถ้าต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเรื่องอุณหภูมิและพลังงานแสงอาทิตย์ ก็ทำการเลือกพารามิเตอร์ *Priestley-Taylor* และ *Makkink* โดยมีรายละเอียด ดังตารางที่ 2.3 นี้

ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์นำเข้าเพื่อคำนวณการระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration)

Item	Penman	Priestley-Taylor	Makkink
Input parameters			
Geographic latitude (LAT; dec.degr.)	x	x	
Angstrom parameters (ANGA, ANGB)	x		
Mean daily temperature (TMDA;C)	x	x	x
Wind speed (WN; m s-1)	x	x	x
Vapor pressure (VP; kPa)	x		
Computed out put			
Reference evapotranspiration(ETD; mm d-1)	x	x	x
Radiation term(ETRD; mm d-1)	x		
Drying power term (ETAE; mm d-1)	x		

หลังจากที่มีการกำหนดตัวแปร และเงื่อนไขเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะการคำนวณปริมาณการระเหยรายวัน โดยมีการใช้ค่าเฉลี่ยในการกำหนดการระเหย จากพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 0.25 เมื่อแปลงนา มีความสูงของน้ำลึกมากกว่า 5 มิลลิเมตร ซึ่งคำนวณจากสูตร ดังนี้

$$\rho_s = ALB \times ((1-0.5) \times \frac{\theta}{\theta_s}) \qquad (2.19)$$

โดย *ALB* คือ ผลรวมพื้นที่ใบที่ได้รับแสงกระทบ

ρ_s คือ ค่าการระเหยของน้ำจากพื้นดิน

θ คือ ปริมาณน้ำเหนือพื้นดินจริง

θ_s คือ การที่น้ำถูกทำให้ระเหยด้วยความร้อน และแสงแดด

$$\rho = \rho_s \exp(-k \times LAI) + \rho_c \exp(-k \times LAI) \qquad (2.20)$$

โดย ρ คือ ค่าการระเหยที่มีการใช้พื้นที่ใบเข้ามาร่วมพิจาณาการระเหยด้วย โดยค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระทบใช้มีค่าเท่ากับ 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากฟังก์ชัน ของ PENMAN มีการกำหนดค่าการระเหยของน้ำ ในแปลงนา ผ่านตัวแปร ISURF ถ้าเท่ากับ 1 = open water ถ้าเท่ากับ 2 = bare soil หลังจากปลูกข้าวแล้ว จะมีค่าเท่ากับ 3 ดังรายละเอียดด้านล่าง

```
1:!----- Penman evapotranspiration
2:       IF ( ETMOD.EQ.'PENMAN') THEN
3:!----- SET ISURF value ( soil or water backgroud) for wind function in main field
4:!      Before transplanting : ISURF equals 1= open water, or 2 =bare soil)
5:!      After transplanting : ISURF equals 3
6:          IF (CROPSTA .LT. 3 THEN
7:              IF (WLO .GT. 5.) THEN
8:                  ISURF =1
9:              ELSE
10:                 ISURF = 2
11:             END IF
12:         ELSE
13:             ISURF = 3
14: END IF
15: CALL SETPMD (IDOY, LAT,ISURF,RF,ANGA,ANGB,0.,RDD,TMDA,WN,VP, 16:ETD,ETRD,ETAE,DT)
```

หลังจากค่า reflection coefficients ถูกคำนวณ โดยค่า ETMOD ถูกตรวจสอบการคำนวณตามความเหมาะสม โดยการคำนวณแรงลม ความร้อนสัมพัทธ์ จากส่วนที่ถูกแสงกระทบ จากเงื่อนไขที่กำหนดตัวแปร ISURF มีค่าเป็น 1 ซึ่งเป็นตัวระบุการจ่ายน้ำ โดยมีการรักษาระดับน้ำที่ 50 มิลลิเมตร ซึ่งถ้าก่อนการปลูก ISURF มีค่าเป็น 2 และหลังการปลูก ISURF มีค่าเป็น 3 โดยถ้ากำหนดค่า ISURF เรียบร้อย จะมีเรียกฟังก์ชันย่อยชื่อ SETPMD ซึ่งคำนวณด้วยวิธี Penman ดังนี้

```
1:!----- Makkink evapotranspiration
2:      ELSE IF ( ETMOD.EQ.'MAKKINK') THEN
3:          CALL SETMKD (RDD, TMDA, ETD)
4:!----- Estimate radiation -drivern and wind0 and humidity-friven part
5:      ETRD = 0.75 * ETD
6:      ETAE = ETD-ETRD
7:!----- Priestley-Taylor evapotranspiration
8:    ELSE IF ( ETMOD.EQ.'PRIESTLEY TAYLOR') THEN
9:      CALL SETPTD ( IDOY,LAT,RF,RDD,TMDA,ETD)
10:!    Estimate radiation-driven and wind- and humidity-driven part
11:     ETRD = 0.75*ETD
12:     ETAE = ETD – ETRD  END IF
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเรียก ฟังก์ชัน *Makink* (SETMKD) และ *Priesley-Taylor* (SETPTD) จะคำนวณเฉพาะค่า ET_0 (ETD) ซึ่งถูกประเมินการระเหยของน้ำประมาณ 75% และ ET_{rd} ซึ่งน้ำถูกระเหยด้วยแสงประมาณ 25% และค่า ET_0 จะถูกคูณด้วยค่าการระเหยในแต่ละพื้นที่ จากค่า FAOF ที่มีการคำนวณค่าการระเหย ไว้แล้ว

```
1:!----- Calculate potential soil evaporation taking into account the standing crop
2:      EVSC = EXP( -0.5*LAI) * (ETRD+ETAE)
3:      EVSC = MAX(EVSC, 0.)
4:!----- Calculate potential transpiration of rice in main field
5:      IF (CROPSTA .GE. 4) THEN
6:        TRC = ETRD * ( 1. -EXP(-0.5*LAI)) + ETAE * MIN (2.0,LAI)
7:!----- There is no transpiration from main field before transplanting
8:      ELSE
9:        TRC = 0.
10:     END IF
```

โดยค่า การแผ่รังสีแสงอาทิตย์ (ET_{rd}) และการแห้ง (ET_{ae}) ซึ่งถูกกำหนดอัตราการระเหยจากชั้นของดิน และน้ำ E_p (EVSC) ขณะที่พลังงานลมทำให้ชั้นของใบ มีการระเหยของน้ำที่ลดหลั่นกันเป็นชั้นๆ โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$E_p = (ET_{rd} + ET_{ae}) \exp(-k \times LAI) \qquad (2.21)$$

โดยค่า LAI คือ พื้นที่ใบ และ k คือ ค่าการระเหยของน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ (ใช้ค่า0.5) ซึ่งจะใช้แค่การคำนวณใบบนของข้าว เท่านั้น โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$T_p = ET_{rd}(1 - \exp(-k \times LAI)) + ET_{ae} \times LAI) \qquad (2.22)$$

สูตรการคำนวณการเจริญเติบโตของข้าว ที่ได้แสดงในรายงานเล่มนี้ ได้ศึกษาจากการทำงานของโปรแกรมของ *Oryza2000* ดังนั้น สามารถรายละเอียดเพิ่มเติม ได้จากหนังสือ "Rice of Production" ของ Yoshida [5] และ Bouman [3] ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านสามารถนำไปประกอบการใช้งานด้านการพัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวด้วยระบบทางคอมพิวเตอร์ได้มากขึ้น

เนื่องจาก โปรแกรมถูกพัฒนาจากสถาบัน IRRI เป็นหลัก สูตรการคำนวณ จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบคำสั่ง ของภาษา FORTRAN โดยโปรแกรม FSE เป็น Open Source ที่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงคำสั่งภาษา FORTRAN จาก GUI ในฟังก์ชันโปรแกรม FSErun.exe ซึ่งในส่วนของฟังก์ชันของโปรแกรม FSEWINrunOnly.exe ไม่สามารถแก้ไขคำสั่งภาษา FORTRAN ได้ แต่สามารถแก้ไขได้ เฉพาะในส่วนที่เป็นค่าพารามิเตอร์ สำหรับควบคุมวิธีการปลูกข้าว และตรวจสอบประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของข้าวตลอดช่วงอายุการเก็บเกี่ยวเท่านั้น ส่วนตัวแปรอื่นๆ ผู้ใช้งานต้องกำหนดพารามิเตอร์ก่อนการทดลอง และต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญ เท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงสนใจนำโปรแกมดังกล่าว มาพัฒนาร่วมกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาใหม่ โดยใช้ความสามารถฟังก์ชันการคำนวณ ของโปรแกรม MATLAB 2012b เพื่อพัฒนาแบบจำลอง สำหรับค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษารายงานการวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบว่า งานวิจัยมีการสร้างแบบจำลองการใส่ปุ๋ยและน้ำที่มีการพิจารณา ตัวแปรวันที่ จำนวนครั้ง และปริมาณการใส่ปุ๋ยและน้ำ พร้อมกัน ดังนั้นจึงได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่ โดยใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยเจเนติกอัลกอริทึม และกำหนดเงื่อนไขการค้นหาโดยใช้ฐานความรู้การใส่ปุ๋ยและน้ำจากผู้เชี่ยวชาญ ในการค้นหาและสร้างรูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำ ที่มีต้นทุนการจัดการต่ำ และค้นหาเร็วกว่าวิธีการจัดการแบบดั้งเดิม

2.6. ประวัติและหลักการของเจเนติกอัลกอริทึม

2.6.1. ประวัติเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm)

วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต (Evolutionary strategies-EA) ค้นพบโดย I.Rechenber ที่ประเทศเยอรมันนี ในปี ค.ศ. 1960 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนา GA และในปี ค.ศ. 1975 ถูกค้นพบโดย John Holland ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นกระบวนการค้นหาคำตอบโดยการเรียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ที่เกี่ยวข้องกับยีน และต่อมาในปี ค.ศ. 1992 โดย John Koza ได้ใช้ GA มาพัฒนา Evolve Programs หรือ เรียกว่า Genetic Programming-GP ซึ่งทั้ง GA และ GP มีพื้นฐานการพัฒนาการเรียนแบบสิ่งมีชีวิตตามหลักของธรรมชาติที่ว่าด้วย ทฤษฎีการคัดเลือกตามธรรมชาติ และทฤษฎีการสืบทอดลักษณะทางพันธุกรรมของยีน เพื่อการมีชีวิตรอดของสายพันธุกรรม ตลอดไป

ขั้นตอน GA เป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์อย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการค้นหา การเพิ่มประสิทธิภาพ และการเรียนรู้ (Search, Optimization and Learning) ด้วยการเลียนแบบทฤษฎีการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีจุดเด่นในด้านความทนทาน ต่อความผิดพลาดในการค้นหาคำตอบ จากแหล่งข้อมูลที่มีความซับซ้อน และยาก ที่จะสร้างแบบจำลองด้วยสมการคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นกระบวนการค้นหาไม่มีความเฉพาะเจาะจงกับแบบจำลอง หรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การจัดตารางเวลา (Timetable scheduling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ (Control system design) การออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบท่อส่งก๊าซ (Gas pipeline optimization) และการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ ที่สามารถเรียนรู้จากสภาพแวดล้อมได้ (Genetic based machine learning) เป็นต้น โดยหลักการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นการเลียนแบบ กระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ เพื่อพัฒนาหรือทำการ "วิวัฒนาการ" ให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด และเหมาะสมที่สุด ปัจจุบัน มีการนำความรู้ด้าน GA มาร่วมแก้ไขปัญหางานเกี่ยวกับการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนพันธุกรรมยีนของสิ่งมีชีวิตที่ สามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อม หรือวิวัฒนาการวิธีการที่ถูกโปรแกรมให้ทำการเปลี่ยนแปลง หรือปรับปรุงส่วนประกอบของระบบโดยการสร้างขึ้นมาใหม่ โดยการดัดแปลงและการคัดสรรโดยวิธีธรรมชาติให้เกิดสิ่งใหม่ๆ มาใช้งาน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหา ในงานด้านต่างๆ ที่มีความซับซ้อน

จุดเด่น ของการค้นหาด้วย ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม คือ ความอ่อนตัว และความทนทานต่อการความผิดพลาด และความแตกต่างของแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ โดยทั่วไปแล้วการแก้ปัญหา และการค้นหาคำตอบจาก ชุดข้อมูล ด้วยกระบวนการค้นหา ทำให้มีผลดีที่สุดกว่าแบบดั้งเดิม (Conventional Search and Optimization Techniques) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ การค้นหาด้วยหลักการแคลคูลัส (Calculus Based Search) การค้นหาแบบแจกแจงทีละข้อมูล (Enumerative Search) และการค้นหาแบบสุ่ม (Random Search) ซึ่งแต่ละแบบ มีจุดแข็งและจุดอ่อน ที่แตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะสำหรับชุดข้อมูล ที่ต้องการค้นหาคำตอบ

2.6.2. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Process)

เป็นกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งเริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาในรูปของยีนลักษณะโครโมโซม และกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในกระบวนการวิวัฒนาการชุดคำตอบ จากนั้นจะกำหนดชุดคำตอบชุดแรก (Initial Generation) ในรูปของโครโมโซมด้วยการสุ่ม และนำชุดคำตอบ เข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นกระบวนการค้นหาแบบต่อเนื่องที่ประกอบด้วยตัวดำเนินการ (Operator) ได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การผสมยีน (Crossover) กับการกลายพันธุ์ (Mutation) และนำไปประเมินความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม ที่กำหนดตามวัตถุประสงค์ ในการค้นหาคำตอบ โดยมีขั้นตอนการค้นหา ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบพื้นฐาน (Leelawong, 2009)

```
1:    Begin
2:    Set generation g=0;
3:    Initialize population;
4:    While termination condition is not met, do
5:        Begin
6:        Evaluate fitness;
7:        Select most fit individuals for reproduction;
8:        Crossover genes from selected individuals;
9:        Mutation based on probability;
10:       Replace weak candidates with better offspring;
11:       Set generation g=g+1;
12:   End
```

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดยีน และโครโมโซม ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มักกำหนดในรูปของแถวของอักขระ (String of Alphabet) หรือแถวของเลขฐานสอง (Bit string) เทียบเท่ากับ แถวโครโมโซมที่ประกอบด้วยยีนย่อยๆ ในลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ การกำหนดโครโมโซมอย่างง่าย ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มักกำหนด เป็นเซ็ตของยีน ที่เป็นเลขฐานสอง เช่น {100101} โดยตำแหน่งของยีนแต่ละยีนในโครโมโซมจะแทนลักษณะขององค์ประกอบย่อย ของชุดคำตอบแต่ละปัญหา ซึ่งโครงสร้างของโครโมโซม และชุดคำตอบ ที่ถอดรหัสจากโครโมโซมมาแล้ว จะเทียบได้กับ Genotype และ Phenotype ตามลำดับ ตามทฤษฎีของ Mendel อย่างไรก็ดี การกำหนดยีนและโครโมโซม สามารถกำหนดในรูปแบบอื่นได้ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างขององค์ประกอบย่อยของคำตอบ และลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้ไข ตัวอย่างเช่น อาจกำหนดโครโมโซม เป็นเซ็ตของยีนที่เป็นเลขฐานสิบ หรืออาจกำหนดโครงสร้างของโครโมโซมที่เป็น Matrix ของยีนที่เป็นตัวเลข หรือตัวอักษรตามความต้องการ และลักษณะของปัญหาตัวอย่างการกำหนดยีน โดยรูปแบบโครโมโซมสามารถแสดงค่าของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ ในช่วงจำนวนเต็ม x = [0, 31] เป็นเซ็ตของยีนที่เป็นเลขฐานสอง จำนวน 5 หลัก ตามตัวอย่าง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

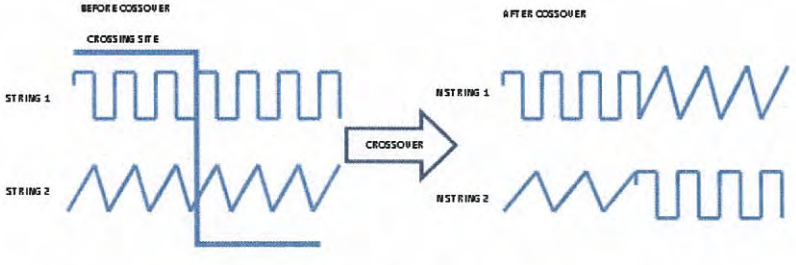
ตารางที่ 2.4 แสดงการแปลงค่าโครโมโซมด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x) = x^2$

01101	11000	01000	10011	01100	11001	11011	10000
169	576	64	361	144	625	729	256

ขั้นตอนที่ 2 ตัวเนินการ (Operator) ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วยตัวดำเนินการหลัก ได้แก่ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การผสมยีน (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยมีลำดับการนำไปใช้ ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ดังนี้

ตัวดำเนินการที่ 1 การสืบพันธุ์ (Reproduction) เป็นการสร้างประชากรใหม่ ด้วยการสำเนาซ้ำจากการคัดเลือกประชากรชุดเดิม ด้วยการใช้ความน่าจะเป็นของคะแนนความเหมาะสมที่ได้จากการประเมินด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม ซึ่งเป็นการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ โดยสายพันธุ์ตามธรรมชาติที่มีความเหมาะสม กับสภาพแวดล้อมจะมีโอกาสในการอยู่รอด และสืบทอดสายพันธุ์ได้มากกว่า วิธีการทั่วไป สำหรับการคัดเลือกประชากรในกระบวนการสืบพันธุ์ ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ได้แก่ การคัดเลือกแบบ Roulette Wheel คือ การสุ่มเลือกด้วยการกำหนดความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก ตามสัดส่วนของคะแนนความเหมาะสมของประชากร จากการรวมคะแนนทั้งหมด โดยมีการคัดเลือกแบบอื่น เช่น การคัดเลือกแบบ Tournament คือ การสุ่มจับคู่เปรียบเทียบจากกลุ่มประชากร โดยคัดเลือกผู้ชนะจากการเปรียบเทียบนั้น และการคัดเลือกแบบ Linear Ranking คือ การจัดอันดับคะแนนความเหมาะสมของประชากร โดยกำหนดความน่าจะเป็น ในการถูกคัดเลือกตามการจัดอันดับนั้น เป็นต้น

ตัวดำเนินการที่ 2 การผสมยีน (Crossover) เป็นการนำเอาโครโมโซมในประชากรที่ได้จากการสืบพันธุ์ มาจับคู่ และผสมยีน ระหว่างกัน ให้ได้โครโมโซมใหม่ เพื่อหาลักษณะทางพันธุกรรมใหม่ที่มีความเหมาะสมที่ดีกว่าเดิม โดยวิธีการผสมยีนที่นิยมใช้ คือ การผสมยีนแบบจุดเดียว (Single-Point crossover) คือ การสุ่มเลือกจุดผสมยีนเพียงจุดเดียว และสลับยีนระหว่างคู่โครโมโซมพ่อแม่เพื่อให้ได้โครโมโซมลูก ดังภาพที่ 2.10 นอกจากนี้ ยังมีวิธีการอื่นในการผสมยีน เช่น การผสมยีนแบบสองจุด (Two-Point crossover) และการผสมยีนแบบสม่ำเสมอ (Uniform crossover) เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 ปรับปรุงจากการผสมยีนแบบจุดเดียวของ Goldberg (1991)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวดำเนินการที่ 3 การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นกระบวนการที่ช่วยเสริมความสมบูรณ์ ของการสืบพันธุ์ และการผสมยีน เนื่องจากการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีในกระบวนการสืบพันธุ์ และผสมแลกเปลี่ยนยีนจะสามารถสร้างโครโมโซมใหม่ ที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นกว่าเดิมได้ แต่กระบวนการดังกล่าว เป็นการอาศัยข้อมูลจากโครโมโซมเดิมที่มีอยู่แล้ว อาจจะไม่สามารถค้นพบโครโมโซมที่ดีกว่า ภายนอกข้อมูลในกลุ่มประชากรของโครโมโซมเดิม ซึ่งการกลายพันธุ์จะช่วยให้สามารถค้นพบคำตอบที่อาจ ไม่มีข้อมูลอยู่ในกลุ่มประชากรของโครโมโซมเดิมได้ ซึ่งการสุ่มเปลี่ยนค่ายีนในโครโมโซมต้องกำหนดอัตราความน่าจะเป็น (P_m) ค่อนข้างต่ำ

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนด และคำนวณฟังก์ชันความเหมาะสม เป็นการกำหนดเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของโครโมโซม ฟังก์ชันความเหมาะสม อยู่ในรูปแบบที่สามารถคำนวณได้ด้วยคอมพิวเตอร์ เช่น ฟังก์ชันเชิงเส้น หรือฟังก์ชันเมทริกส์ โดยใช้ข้อมูลจากโครโมโซม ได้แก่ ยีน และตำแหน่งของยีนในโครโมโซม เป็นตัวแปรนำเข้า นอกจากนี้ ฟังก์ชันความเหมาะสมยังสามารถรวมข้อจำกัด (Constraints) ให้เหมาะสมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้ ตัวอย่าง เช่น ค่าใช้จ่าย และทรัพยากรอื่นๆ ที่จำเป็น ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

จากขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเบื้องต้น เป็นแนวคิดพื้นฐาน เพื่อใช้ในการสร้างแนวทางแก้ไขปัญหาแบบใหม่ (Novel Approach) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา และค้นหาคำตอบด้วยการเลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างการค้นหาแบบสุ่ม กับการเปรียบเทียบคำตอบ จะต่างจาก Hill Climbing Technique คือ ขั้นตอนของ GA ใช้การผสมชุดคำตอบที่มีความเหมาะสม และคัดเลือกคำตอบที่ดีกว่า เพื่อสร้างชุดคำตอบที่ดียิ่งขึ้น แทนการเปรียบเทียบคำตอบข้างเคียง เพื่อปรับทิศทางการค้นหา ทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีจุดแข็งที่สามารถค้นหาคำตอบจากชุดข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องได้ และการใช้ชุดคำตอบจำนวนหนึ่งแทนการเปรียบเทียบระหว่างคำตอบแต่ละคำตอบ ทำให้การค้นหาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถค้นหา คำตอบที่ดีที่สุด (Global Minima / Global Maxima) ได้โดยไม่ติดอยู่กับคำตอบที่ดีเฉพาะที่ (Local Minima / Local Maxima) อย่างไรก็ดี ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธี ที่ใช้การคำนวณค่อนข้างมาก และใช้เวลานาน จึงเป็นวิธีการที่ไม่สามารถใช้งานได้โดยตรง แต่ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบัน ทำให้สามารถลดเวลาในการดำเนินการ ตามกระบวนการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ได้

ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำแนวคิดขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม ดังกล่าวมาใช้สร้างแบบจำลองเพื่อค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน และน้ำในนาข้าว โดยใช้ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญการเกษตรเป็นเงื่อนไขในการค้นหาที่มีต้นทุนการจัดการต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหวังว่า จะพบรูปแบบการจัดการที่มีกำไรการผลิตที่สูงขึ้น อีกทั้ง เป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ เพื่อการค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสม และตรวจสอบเพื่อการวางแผนก่อนจะปลูกข้าว และลดความเสี่ยงในการลงทุนปลูกข้าวในแต่ละฤดูกาลผลิตลงได้

2.7 ปัญหา และงานวิจัยที่เกี่ยวกับการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม

การ optimization (OP) เกิดขึ้นจากนักวิทยาศาสตร์ ที่ต้องการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ออกมาเหมาะสมที่สุด ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ มาจากหลักพื้นฐานความรู้ด้านฟิสิกส์ของระบบนั้นๆ ซึ่งก่อน ปี ค.ศ. 1940 วิธีการทำ OP ของฟังก์ชัน ที่มีหลายตัวแปรยังมีไม่มากนัก เช่น การทำ least square ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาทางด้านฟิสิกส์บางประเภท แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเป็นที่รู้จัก คือ การทำ newton method ซึ่งถูกนำมาใช้กับปัญหาของระบบ ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีทางเคมี ในช่วงปี ค.ศ. 1940 ถึง ปี ค.ศ. 1950 และสาขาใหม่ทางด้าน OP ที่เรียกกันว่า กำหนดการเชิงเส้น (linear programming) จากนั้น ได้มีการศึกษา และพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันหลังจากนั้น มีการนำวิธีการทำ OP มาใช้อย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น วิทยาศาสตร์, วิศวกรรมศาสตร์, คณิตศาสตร์ และเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งรายงานนี้ ได้ศึกษาเทคนิคการ OP จากการผลิตข้าวของนักทดลองด้านการเกษตร และแนวทางการค้นหาความเหมาะสมการใส่ปุ๋ยและน้ำในการผลิตข้าวด้วยเทคนิคทางด้านอัลกอริทึม

โดยการศึกษารายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีปริมาณน้อย อีกทั้ง ความสามารถในการใช้งานยังอยู่ในระดับที่น่าพอใจค่อนข้างต่ำ จึงเป็นเหตุผลให้สนใจที่จะศึกษา และทดลองค้นหาวิธีการใหม่ๆ โดยหวังว่า จะพบคำตอบในการค้นหาที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น และสามารถค้นหาคำตอบได้ดีกว่า การค้นหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมแบบดั้งเดิม และศึกษาการประยุกต์แนวความคิดด้านอัลกอริทึม ในการปรับปรุงประสิทธิภาพอัลกอริทึม และแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพค้นหาคำตอบที่เหมาะสม และเชื่อถือ สูงขึ้น

2.7.1 งานวิจัยการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

ในปี ค.ศ. 2009 Tonini [1] ได้รายงานเกี่ยวกับสถานการณ์ข้าวในโลกโดยคาดการณ์ว่า ปี ค.ศ 2025 ประชากรโลกจะสูง ถึง 9 พันล้านคน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการขาดแคลนอาหาร โดยข้อมูลดังกล่าว ทำให้นักวิชาการทั่วโลกได้ให้ความสนใจ ในการศึกษาความคลาดแคลนอาหารของโลก โดยเฉพาะเอเชียซึ่งเป็นแหล่งผลิตข้าวส่งออกทั่วโลก อีกทั้ง ประเทศไทย เป็นประเทศผู้ส่งออกข้าวสูงที่สุด ของโลก โดย ปี ค.ศ. 2002 Kenneth G. & Cassman [2] ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารของพืช โดยเฉพาะไนโตรเจน ที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าว ถ้ามีการผลิตข้าวปริมาณสูง การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนก็มีปริมาณสูง ซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่สูง เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 1991 ถึง ค.ศ. 1993 Bouman [4] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบการใส่ปุ๋ยกับข้าว โดยการตรวจสอบน้ำหนักชีวมวล ซึ่งมีการกำหนดรูปแบบปุ๋ย โดยการแบ่งใส่หลายรูปแบบ โดยทดลองที่ IRRI ประเทศฟิลิปปินส์ โดยทดสอบใส่ปุ๋ยปริมาณ 0-255 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยแบ่งการใส่ปุ๋ย 1-7 ครั้ง ต่อฤดูกาลผลิตข้าว ซึ่งพบว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมมีปริมาณปุ๋ยจำนวน 180 กับ 255 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จะสามารถตอบสนองต่อน้ำหนักชีวมวล และพื้นที่ใบ (LAI) ที่เพิ่มขึ้น โดยทดสอบในแปลงที่มีการบริหารจัดการในเขตชลประทาน ด้วยข้าวพันธุ์ IR72 จากการทดลอง พบว่า ค่าใช้จ่ายในการจัดการต้นทุนสูง โดยวัดจากจำนวนครั้งที่ใส่ปุ๋ยและปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการใส่ปุ๋ยจริง ในแปลงของเกษตรกร การนำผลดังกล่าว ไปทำการทดสอบ ได้ทดลองระหว่างแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* กับทดสอบโดยแปลงนาทดลอง จากการสังเกต พบว่ามีค่าใช้จ่ายสูง สำหรับการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ย อีกทั้งสิ้นเปลืองเวลาการค้นหาด้วยเช่นกัน ซึ่งเป็นแนวทางการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

ในปี ค.ศ. 1977 Yoshida [5] ได้เขียนหนังสือ "การผลิตข้าว (Rice Production)" ประกอบด้วยทฤษฎีพื้นฐานการผลิตข้าว สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมในการปลูกข้าว เช่น สภาพดิน เพาะปลูก สภาพอากาศ ปริมาณน้ำฝน แสง ที่ใช้ในการสร้างชีวมวลของต้นข้าว รวมทั้งธาตุอาหาร โดยหนังสือ ดังกล่าว ได้อธิบายวิธีการค้นหาปริมาณปุ๋ยไนโตเจนในนาข้าว สรุปดังนี้ การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสม ควรใส่รองพื้นในขั้นตอนเตรียมดิน จากนั้นใส่ปุ๋ยเมื่อช่วงข้าวอายุ 15-20 วัน หลังจากวันที่ทำการหว่านข้าว และครั้งสุดท้ายใส่เมื่อข้าวตั้งท้องก่อนข้าวออกดอก ซึ่งเป็นระยะที่ข้าวมีอายุ 60-75 วัน หลังจากวันที่ทำการหว่านข้าว ประมาณ 3 ครั้ง โดยมีปริมาณการใส่จำนวน 30 กิโลกรัมต่อไร่ต่อครั้ง หรือ 187.5 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ต่อการใส่หนึ่งครั้ง และหลังจากข้าวมี อายุ 60-75 วัน มีแนวโน้มการดึงปุ๋ยไนโตรเจนจากดินลดลง ซึ่งจะเปลี่ยนไปใช้ไนโตนเจนที่มีการสะสมในลำต้น ข้อปล้อง หรือส่วนสีเขียวของต้นข้าว เป็นต้น อีกทั้ง ได้กล่าวถึง การประเมินประสิทธิภาพการผลิตข้าวจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน สรุปได้ว่า ปริมาณการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน 1 กิโลกรัม จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าว 15%

2.7.2 งานวิจัยการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ด้วยเทคนิคอัลกอริทึม

ในปี ค.ศ. 2009 Soundharajan [22] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ เทคนิคขั้นตอนการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อค้นหารูปแบบการจัดการน้ำที่เหมาะสมในอ่างเก็บน้ำร่วมกับ *Oryza2000* โดยค้นหาทางเลือกรูปแบบการจัดการน้ำที่เหมาะสม โดยรายงานนี้ มีการตรวจสอบประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของข้าว ภายใต้น้ำมีจำนวนจำกัด ซึ่งการค้นหาทั้งหมด ได้ใช้หลักการเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับค้นหารูปแบบการจัดการน้ำในเขื่อนที่เหมาะสม พบว่า การเทคนิคการค้นหาดังกล่าว สามารถพบรูปแบบการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการใส่น้ำมากกว่า 13 ครั้งต่อฤดูกาลผลิตข้าวจึงจะให้ผลผลิตได้สูง ประโยชน์ คือ ทราบปริมาณการเก็บกักน้ำ เพื่อใช้สำหรับการปล่อยน้ำให้กับการผลิตข้าวของเกษตรได้ อย่างเหมาะสม

ในปี ค.ศ. 2010 โปรแกรม LINTUL3 พัฒนาโดย Shibu [7] โดยการวิจัย ได้พยายาม Calibration รูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว โดยตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนในชีวมวลและสรีระของต้นข้าว ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักแห้ง หลังจากใส่ปุ๋ย ในช่วงเริ่มต้นการหว่านข้าว และโดยมีเงื่อนไขการทดสอบปริมาณการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ในระดับ 0-400 kg/ha^{-1} ซึ่งเป็นมาตรฐานการจัดการปุ๋ยในภูมิภาคเอเชีย โดยแบบจำลอง LINTUL1-2 มีการจุดเด่นในการตรวจสอบปริมาณไนโตรเจน และทำงานร่วมกับ LINTUL3 ที่มีจุดเด่นในการพิจารณาตรวจสอบเฉพาะปริมาณแสงในการสร้างชีวมวล โดยผลตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนในน้ำหนักชีวมวลด้วยวิธี Root Mean Square Deviation (RMSD) และวิธี Average Absolute Deviation (AAD) จากการสำรวจพื้นที่หน่วยทดลอง ทั้งหมด พบว่า มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย 26% และในแต่ละหน่วยการทดลอง พบว่า มีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย 41% ซึ่งแบบจำลองสามารถตอบสนองต่อการขาดไนโตเจนได้เป็นอย่างดี ซึ่งประโยชน์จากการทดลองสามารถใช้หาปริมาณไนโตรเจนจากข้าวในแต่ละพันธุ์ได้

ในปี ค.ศ. 2011 Cui [8] ได้ศึกษาเรื่องการตัดสินใจการใส่ปุ๋ยให้เหมาะสมกับพื้นที่เพาะปลูก โดยใช้โปรแกรมแบบจำลองการเจริญเติบโตข้าว ในการค้นหาปริมาณ และเวลาที่เหมาะสม ในการใส่ปุ๋ย โดยแบบจำลองประกอบด้วย sub model ที่มีความสัมพันธ์ในการค้นหาวิธีการตัดสินใจใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ซึ่งได้ใช้เทคนิคทางด้านอัลกอริทึมในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยวิธี Simplex Method และใช้ข้อมูลการปลูกข้าวในแปลงทดลองเป็นเงื่อนไขการค้นหาร่วมกัน เช่น ข้อมูลดิน อากาศ วิธีปลูก และพันธุ์ข้าว ร่วมทั้งการจัดการน้ำ โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณจนกว่าจะพบผลผลิตที่ใกล้เคียงกับค่าคาดหวังของการทดลอง และระบบจะทำนายวันที่ข้าวออกดอก จากการจัดการปริมาณปุ๋ย และจำนวนครั้งที่ใส่ เป็นเงื่อนไขในการคำนวณ ซึ่งผลจากการทดลอง พบว่า แบบจำลองสามารถทำนายวันออกดอกของข้าวได้ใกล้เคียงกับค่าคาดหวัง แต่ผลผลิตข้าวยังต่ำกว่าค่าคาดหวัง และปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสมที่สุด คือ กำหนดให้ใส่ปุ๋ยจำนวน 4 ครั้ง และได้ทดลองการค้นหาการใส่ปุ๋ยมากกว่า 4 ครั้ง โดยใช้แบบจำลองในการคำนวณส่วนต่างของความต้องปุ๋ยจากต้นข้าว เพื่อให้ครบตามความต้องการใช้งานจริงของข้าวในแต่ละการทดลอง ซึ่งการจัดการ ดังกล่าว พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการจัดการที่สูง และได้มีการทดสอบในแปลงทดลองที่มีการระบายน้ำสูงและต่ำ พบว่า ระบบแนะนำการใช้ปุ๋ยในแปลงทดลองได้ดีในระบบการระบายน้ำต่ำ โดยใส่ปุ๋ยจำนวน 156 kg/ha^{-1} ให้ผลผลิตจำนวน 7153 kg/ha^{-1}

ในปี ค.ศ. 2010 Barton [13] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเทคนิคทางด้านเจเนติกอริทึมใช้แก้ปัญหาด้านการเกษตร โดยใช้ค้นหาค่าความเหมาะสมสูงสุด และค่าต่ำสุด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบ โดยได้รายงานว่า มีการนำเทคนิคอัลกอริทึม ค้นหาความเหมาะสมของวิธีการจัดการสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในโรงเรือนทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

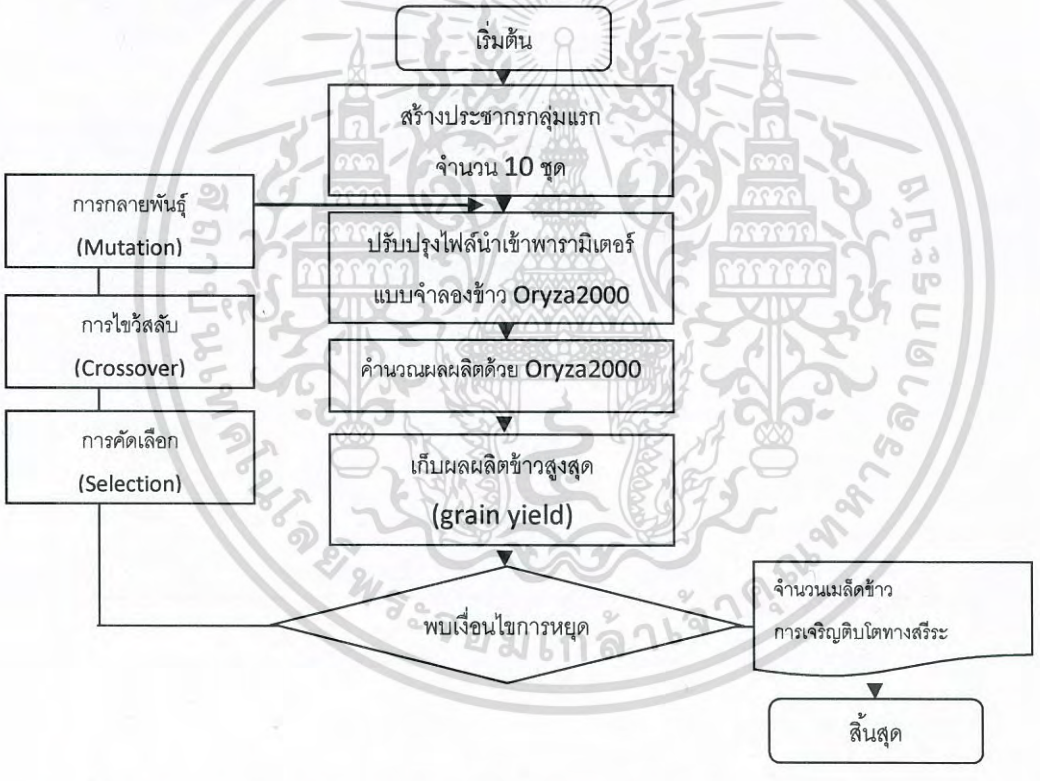
(Green housed) การจัดการน้ำ (Irrigation Management) และการค้นหาพื้นที่การเพาะปลูก (Land allocation) เป็นต้น ซึ่งสรุปว่า การนำเทคนิคทางด้านอัลกอริทึมเข้ามาช่วยค้นหาคำตอบที่เหมาะสมในการจัดการแปลงเกษตร สามารถจัดการสภาพแวดล้อมการปลูกข้าวได้ดีกว่าวิธีการจัดการแบบดั้งเดิม (Typical) อีกทั้ง ได้กำหนดเงื่อนไข (Constrains) ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วย GA ซึ่งสามารถนำมาแก้ไขเกี่ยวกับการค้นหาคำตอบ ทั้งที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible) และเป็นไปไม่ได้ (Infeasibly) อีกทั้งมีการใช้เป็นตัวถอดรหัสในขบวนการ homomorphous mapping สำหรับการค้นหาคำตอบในชุดของคำตอบที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งรายงานนี้ ได้ใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2010 Annepu, Subbaiah, & Kandukuri [18] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึม จากการแก้ไขปัญหารูปแบบโครโมโซมที่เกิด จากการสร้างในกลุ่มแรก รวมทั้งปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมที่เกิดขึ้นหลังจากขบวนการ GA ซึ่งวิธีการทั่วไป พยายามตรวจสอบคำตอบโดยการดูความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น โดยใช้ฟังก์ชันกั้น (Penalty) ในขั้นตอนการค้นหาคำตอบ เพื่อให้พบค่าความเหมาะสมสูงสุด (Maximization) หรือ ค่าต่ำสุด (Minimization) ในขบวนการค้นหาคำตอบ อีกทั้งช่วยป้องกันคำตอบที่มีปัญหา (Infreasible chomosome) ในขบวนการค้นหา และสร้างคำตอบให้อยู่ในพื้นที่การค้นหาที่เหมาะสม ในขั้นตอนของเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้ สามารถแก้ไขปัญหาและปรับปรุงรูปแบบของคำตอบในเชิงตัวเลขได้ นอกจากนี้ การนำเทคนิคดังกล่าว มาค้นหากลยุทธ์การบริหารพื้นที่การเกษตรให้มีกำไรสูงสุดได้เป็นอย่างดี ประกอบด้วย วิธีการจัดการด้านการใส่ปุ๋ย แรงงาน การอนุบาลพืช และเงื่อนไขการจัดการน้ำ โดยได้ทดลองที่ประเทศอินเดีย ซึ่งการทดลองดังกล่าว เป็นรูปแบบปัญหาการจัดการ ที่มีลักษณะการจัดการหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective) ซึ่งรายงานนี้ ได้เปลี่ยนปัญหาทั้งหมดแบบแยกส่วน คือ เป็นวัตถุประสงค์เดียว (Sigle-objective) และได้ปรับปรุงเงื่อนไขการค้นหาคำตอบด้วยเจเนติกอัลกอริทึมด้วย ซึ่งแบบจำลองดังกล่าว สามารถสร้างความพอใจให้กับผู้มีส่วนได้เสียในกลุ่มเกษตรกรได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 2010 Sorama , Bolboaca, & Jantschi [19] ได้กล่าวถึงความสำคัญ ของการนำเทคนิคทางด้านเจเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ค้นหา และเรียนรู้การแก้ไขปัญหา ในงานด้านการเกษตรที่มีอยู่มากมาย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถนำความรู้ด้านอัลกอริทึมนำมา ช่วยจัดกลุ่ม (Classification) ปรับปรุงงานและค้นหาความเหมาะสม (Optimization) สร้างแบบจำลอง (Simulation) และสร้างเครื่องมือช่วยตัดสินใจ (Dicision) รวมทั้งการค้นหาสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของข้าว เช่น การจัดการธาตุอาหาร ดิน และสภาพอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ยังเป็นปัญหาที่ยาก และซับซ้อน แต่การใช้ขบวนการพัฒนา และค้นหาคำตอบ ด้วยขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม จะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 2013 Pannavich & Worapoj [25] ได้ทำการศึกษา และพัฒนาแบบจำลองการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษารายงานการวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีรายงานใดที่ใช้เทคนิคด้านอัลกอริทึมในการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว ดังนั้นรายงานนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่ โดยใช้ข้อดีของ GA และโปรแกรม MATLAB 2012b ในการศึกษาในครั้งนี้ โดยเริ่มจาก ขบวนการคัดเลือกเครื่องมือ และส่วนประกอบ ในการพัฒนาแบบจำลอง และในส่วนที่สอง เป็นการคัดเลือกเทคนิคการพัฒนาแบบจำลอง ให้สามารถค้นหาค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมได้ดีขึ้น โดยได้ประเมินความน่าเชื่อถือแบบจำลอง ด้วยผลผลิตข้าว ที่ได้จากรูปแบบการค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะเหมาะสมด้วยแบบจำลองใหม่ โดยการนำผลลัพธ์ในรุ่นสุดท้ายที่มีกำไรสูงสุดไปทดสอบที่แปลงนาของเกษตรกร โดยปลูกแบบข้าวนาปรัง และเปรียบเทียบผลผลิตสุดท้ายระหว่างการทดลอง และการปลูกข้าวในแปลงนาเกษตรกร ซึ่งอัลกอริทึมมีผังการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ดังนี้



ภาพที่ 2.11 ผังการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบดั้งเดิม [25]

โดยมีขั้นตอน การกำหนดเงื่อนไขการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในการวัดประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยในนาข้าว โดยใช้ผลผลิตสูงสุดในแต่ละรุ่นการค้นหา เพื่อใช้ในการคัดเลือกรูปแบบการจัดการที่เหมาะสมสูงสุด โดยมีการกำหนด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Max(Yield_i) = GrainYield_i \quad (2.23)$$

$$f(Yield_i) \quad (2.24)$$

$$\max(f(Yield_i)) \quad (2.25)$$

โดยที่ $Yield_i$ คือ ผลผลิตข้าวแต่ละแปลงที่ได้จากรูปแบบการจัดการปุ๋ย i

i คือ 1,2,3,...,10

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ย จำนวน 10 รูปแบบ จากฐานความรู้ของผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตข้าว และมีรูปแบบไฟล์ ตามเงื่อนไขของโปรแกรม *Oryza2000* ดังนี้

$$PF_i = [DAY_i, FER_i] \quad (2.26)$$

โดยที่ PF คือ รูปแบบของการใส่ปุ๋ยไนโตเจน

DAY คือ วันที่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

FER คือ ปริมาณปุ๋ยไนโตรเจน

i คือ 1,2,3,...,10

ขั้นตอนที่ 3 คัดเลือก และกำหนดขั้นตอนการทดสอบแบบจำลอง เพื่อประเมินประสิทธิภาพ รูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยไนโตเจน ที่ได้จากการค้นหาด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ด้วย GA

ซึ่งรายละเอียดการทำงานของ แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยสรุป ประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก (Main function) ที่แสดงลำดับการทำงานของแบบจำลองทั้งหมด และฟังก์ชันย่อยที่ทำหน้าที่เฉพาะส่วนแตกต่างกัน เป็นลำดับ เริ่มต้นโดย ฟังก์ชันแรก ที่ใช้ในการสร้างโครโมโซมกลุ่มโครโมโซมเริ่มต้น (Initial chromosome) ฟังก์ชันต่อมา นำรูปแบบโครโมโซมปุ๋ยไปคำนวณผลผลิตข้าว โดยทำการรันโปรแกรม *Oryza2000* เพื่อคำนวณผลผลิต จากรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ย ที่ถูกสร้างขึ้นจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ จากนั้น ฟังก์ชัน การคัดเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ ได้ใช้เทคนิควงล้อการคัดเลือก ในการเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด 2 ลำดับ และบันทึกไฟล์ข้อมูลที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่ขั้นตอน ของฟังก์ชั่นการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยเทคนิคการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมจนพบเงื่อนไขการหยุด และแสดงคำตอบที่เหมาะสมในรุ่นสุดท้าย ของการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยลำดับการทำงานของแบบจำลอง มีรายละเอียด คือ เริ่มจากการสร้างกลุ่มโครโมโซม การจัดการปุ๋ย เริ่มต้น 10 ชุด และคัดเลือกเพื่อนำมาพัฒนาคำตอบ ในขบวนการของ GA เพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสม มีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

ขั้นตอน การสร้างกลุ่มโครโมโซมการจัดการปุ๋ยเริ่มต้น (Initial Creation Function)
ขั้นตอนที่ 1: กำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้น Initial Create = 0;
ขั้นตอนที่ 2: While Initial Create = 10; ครบ 10 ชุดหรือยัง
ขั้นตอนที่ 3: สร้างรูปแบบโครโมโซม randi(x*i*,y*i*) || i=1,2,3,...,10
ขั้นตอนที่ 4: บันทึกลง text file randi(x*i*,y*i*) || i=1,2,3,...,10
ขั้นตอนที่ 5: Initial Create = Initial Create +1;
ขั้นตอนที่ 6: end

รายละเอียด คือ ได้สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้น โดยใช้คำสั่ง randi( ) ในการสุ่มตัวเลขประกอบไปด้วยตัวเลข 2 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยตัวเลข 10 ตำแหน่ง โดยรูปแบบชุดที่หนึ่ง มีเงื่อนไขการสร้าง คือ ตัวเลขห้ามซ้ำ และเมื่อทำการสุ่มครบ 10 ตำแหน่งแล้ว ให้ใช้คำสั่งเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก (Ascending) และตัวเลขชุดที่สอง ให้เรียงตามลำดับการสุ่มสร้าง จากนั้น ให้นำรูปแบบโครโมโซมทั้งสองมารวมกับไฟล์ลักษณะพันธุ์ข้าว IR72 ของสถาบัน IRRI เพื่อเตรียมสำหรับนำเข้าคำนวณผลผลิตด้วยโปรแกรม *Oryza2000* เพื่อประเมินผลผลิตจากรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่สุ่มสร้างขึ้น โดยสรุปขั้นตอนการทำงาน ดังนี้ ทำการอ่านไฟล์ต้นแบบ (IR72DSF.T92) เมื่อถึงตัวแปร FERTIL = " " ให้สลับไปทำการอ่านไฟล์ croall*i*.txt เมื่อสิ้นสุดบรรทัดสุดท้าย ก็ให้กลับไปอ่านไฟล์ IR72DSF.T92 จนครบบรรทัดสุดท้าย แล้วทำการบันทึกเป็นชื่อ IR72DS%d.T92 จากนั้น ให้ทำตามขบวนการดังกล่าวให้ครบ 10 ไฟล์ หรือรูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าว 10 รูปแบบ (ชื่อไฟล์ IR72DS [1-10]) เพื่อเตรียมพร้อม สำหรับการนำเข้า เพื่อประเมินผลผลิตข้าวด้วยแบบจำลอง *Oryza2000* โดยแสดงรายละเอียดของขั้นตอนของอัลกอริทึม ในการสร้างประชากรชุดเริ่มต้น ดังนี้

บรรทัดที่ 1 สุ่มสร้างรูปแบบการใส่ปุ๋ย ประกอบด้วยตัวเลขที่อยู่ในเวคเตอร์ ขนาด 2 แถว 10 หลัก และทำการบันทึกรูปแบบการจัดการปุ๋ย ด้วยรูปแบบไฟล์ (2.26)

บรรทัดที่ 2, 3 กำหนดรอบการตรวจสอบเท่ากับ 10 รอบ เท่ากับเท่ากับขนาดโครโมโซม

บรรทัดที่ 5 ตรวจสอบค่า f(k) ที่อยู่ในตำแหน่ง > 65 ตามเงื่อนไขช่วงวันที่ใส่ปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 6, 8 และ **10** เป็นจริงหรือไม่อยู่ในช่วง ให้ปรับตำแหน่งนั้นมีค่าเป็นศูนย์

บรรทัดที่ 12 คำนวณระยะห่างของการแสดงตำแหน่งที่มีค่ากับตำแหน่งก่อนหน้าหนึ่งตำแหน่งเพื่อใช้ในการประเมินรูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสม

บรรทัดที่ 14 ตรวจสอบค่าในตำแหน่งปริมาณมีระยะห่างการแสดงมากกว่า 15 วันและปริมาณ การใส่ปุ๋ยอยู่ระหว่าง 15 - 60 กิโลกรัม

บรรทัดที่ 17 รักษาค่าที่เหมาะสมค่าเดิมไว้ ณ ตำแหน่งนั้น

อัลกอริทึม การสร้างรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยด้วยฐานความรู้แบบดั้งเดิม

```
1: fcount=0;2:tdk=0; //กำหนดตัวแปรเริ่มต้น
2: for k=1:1:10
3:  dk=0;
4:  if f(k) > 65
5:  y(k)=0;  //ค่าในตำแหน่งมีค่ามากกว่า 65 ปรับค่าในตำแหน่งนั้นเป็น ศูนย์ (0)
6:  else if f(k) < 20
7:  y(k)=0;   //ค่าในตำแหน่งน้อยกว่า  20 ปรับค่าในตำแหน่งนั้นเป็น ศูนย์ (0)
8:   else if y(k) < 15 %volume per time
9:  y(k)=0;  //ค่าในตำแหน่งน้อยกว่า 15 ปรับค่าในตำแหน่งนั้นเป็น ศูนย์ (0)
10: else if k > 1 && y(k) > 0    %Keep Distant Date
11: dk=f(k)-f(k-1);
12: tdk=tdk + dk; //คำนวณระยะห่างระหว่างวันที่การใส่ปุ๋ย
13: if dk > 15 && tdk > 15
14: y(k)= y(k); //ให้คงค่าในตำแหน่งที่เหมาะสม
15: else if dk < 15 && y(k-1) == 0
16: y(k)=y(k);
17: else
18:  y(k)=0; //ค่าในตำแหน่งที่ที่ไม่เหมาะสมให้ปรับค่าเป็นศูนย์(0)
19: end
20: fcount=fcount+1;
21: else
22: dk=f(k);
23: fcount=fcount+1;
24: end;   end ;   end;   end;  end  //สิ้นสุดอัลกอริทึม
```

ภาพที่ 2.12 อัลกอริทึมสร้างโครโมโซมการใส่ปุ๋ยด้วยความรู้ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนต่อมา การคำนวณผลผลิตข้าว โดยทำการรันแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* ซึ่งมีการการเตรียมไฟล์รูปแบบปุ๋ยกับพารามิเตอร์พันธุ์ข้าว IR72 ไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งได้จากการสุ่มสร้างขึ้นมา โดยมีขั้นตอนการทำงานในฟังก์ชัน ดังนี้

ขั้นตอน การคำนวณผลผลิตของข้าว
ขั้นตอนที่ 1: Run ไฟล์ exe ชื่อ"ORYZAWIN.exe"
ขั้นตอนที่ 2: Kill process ด้วย userpath('clear')
ขั้นตอนที่ 3: หยุดรอการ runไฟล์ pause(5);
ขั้นตอนที่ 4: ฟิวเตอร์ข้อมูลจาก ไฟล์ผลลัพธ์ Oryza2000
ขั้นตอนที่ 5: คัดลอกและบันทึกข้อมูลเป็น Text File(*.txt)
ขั้นตอนที่ 6: หยุดรอการ run ไฟล์ pause(5);
ขั้นตอนที่ 7: แสดงข้อมูลสิ้นสุดการทำงาน

จากขั้นตอนด้านบน ได้แสดงขั้นตอนการทำงาน และการแก้ไขปัญหาในฟังก์ชันโดยระบบมีข้อจำกัดการเรียกใช้งานฟังก์ชัน ได้แค่ USER เดียว ซึ่งขณะที่เริ่มรันไฟล์ "ORYZAWIN.exe" ของ *Oryza2000* ด้วยคำสั่ง winopen() ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งทำการคำนวณบนระบบดอส (DOS) หรือบน text mode ได้ทำการ Kill process หลัก เพื่อไม่ให้ Oryzawin ค้าง โดยทำการหยุดรอเพื่อให้ Oryzawin ทำงานเสร็จ ด้วยคำสั่ง Pause(5); คือ ทำการหยุดรอ 5 วินาที จากนั้นก็ทำการคัดกรองข้อมูลจากไฟล์ ชื่อ RES.dat (RES=output) เพื่อใช้ในการคำนวณ และประเมินผลผลิตข้าวที่เหมาะสมสูงสุดต่อไป

ขั้นตอน การคัดกรองข้อมูลจากไฟล์ RES.DAT เป็นไฟล์ RES1.TXT
ขั้นตอนที่ 1: ฟิวเตอร์ข้อมูลจาก ไฟล์ผลลัพธ์ Oryza2000
ขั้นตอนที่ 2: สร้างไฟล์ชื่อ"RES1.TXT"
ขั้นตอนที่ 3: คัดลอกไฟล์ "RES.DAT"เป็นไฟล์"RES.TXT"
ขั้นตอนที่ 4: อ่านไฟล์ "RES.TXT"ครั้งละ 1 บรรทัดไม่รวม Header file
ขั้นตอนที่ 5: บันทึกข้อมูลที่ไฟล์ชื่อ "RES1.TXT"
ขั้นตอนที่ 6: สิ้นสุดไฟล์หรือยัง
ขั้นตอนที่ 7: ถ้าไม่สิ้นสุดกลับไปทำข้อ 1
ขั้นตอนที่ 8: ถ้าสิ้นสุดแสดงข้อความสิ้นสุดการทำงาน

และขั้นตอน การคัดกรองข้อมูลข้อมูล จากไฟล์ RES.DAT เป็นไฟล์ RES1.TXT เพื่อทำการเปลี่ยนชนิดข้อมูล จากชนิดสตริง (String) ให้เป็นข้อมูลที่อยู่ในลักษณะเมตริกซ์ (Matrix) ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปคำนวณได้ โดยมีขั้นตอนการอ่านข้อมูล คือ เริ่มจากการสร้างไฟล์ ชื่อ RES1.TXT ด้วยคำสั่ง sprintf('RES1.txt'); คัดลอกไฟล์ RES.DAT เป็นชื่อ ไฟล์ RES.TXT เพื่อแก้ไขปัญหา เรื่องการใช้งานได้เพียงผู้ใช้งานเดียว ทำการอ่านไฟล์ ด้วยคำสั่ง textscan( ) โดยไม่อ่านในส่วนที่เป็น Header ไฟล์ และทำการอ่านทีละบรรทัด พร้อมทั้งบันทึกทีละบรรทัด ไปที่ไฟล์ ชื่อ RES1.TXT ด้วยคำสั่ง fprintf(RES1.TXT,'%s\n',dataFiled); และขึ้นบรรทัดใหม่ทุกบรรทัด ซึ่งทำการอ่านซ้ำ จนถึงบรรทัดสุดท้ายของไฟล์ RES.TXT และทำการบันทึกเฉพาะ รูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมสูงสุดในรุ่นสุดท้าย โดยแยกบันทึกไฟล์ ที่มีเฉพาะรูปแบบการใส่ปุ๋ย และวันที่การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมที่สุด ในรุ่นสุดท้ายเพื่อการนำไปใช้ประเมินรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ต่อไป

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง และคำตอบ ที่ได้จากการใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วย GA โดยมีเงื่อนไขการค้นหา ดังตารางที่ 2.5 โดยทำการรันโปรแกรม แบบอิสระ 3 ซ้ำ และมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100

ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ สำหรับการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม (GA) แบบง่าย

พารามิเตอร์	รายละเอียดเงื่อนไข
จำนวนประชากรเริ่มต้น	10
ความน่าจะเป็นการครอสโอเวอร์	0.9
ความน่าจะเป็นในการมิเตชัน	0.5
เงื่อนไขการหยุดทำงาน	เงื่อนไขการหยุด 100 500 และ 1000

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง เนื่องจากงานวิจัยนี้ ได้ใช้น้ำหนักข้าว และ รูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ที่มีหน่วยการวัดเป็นกิโลกรัม ซึ่งข้อกำหนด ของโปรแกรม *Oryza2000* ได้แสดงเฉพาะปริมาณที่เป็นจำนวนเมล็ด ซึ่งจากความรู้ ของ Yoshia [5] ได้กำหนด จำนวนเมล็ดข้าวหนึ่งกิโลกรัม มีจำนวนเมล็ดข้าวเปลือก ประมาณ 50,000 เมล็ด ดังนั้น ได้ใช้ค่าดังกล่าวเปลี่ยนฟิลด์ NSP-Number of spikelet (no/ha) ที่เก็บจำนวนเมล็ดข้าวให้มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ดังนี้

$$\text{ผลผลิตข้าวกิโลกรัมต่อเฮกตาร์ (kg/ha)} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด } (NSP)}{\text{จำนวนเมล็ดต่อหนึ่งกิโลกรัม}} \qquad (2.27)$$

จากสูตร (2.27) ได้ใช้ความรู้ดังกล่าวเป็นแนวทางในการสร้างเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ในขบวนการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ด้วย GA ซึ่งใช้ประเมินประสิทธิภาพผลผลิต แต่ละรูปแบบการใส่ปุ๋ย ว่ามีผลผลิตมาก หรือน้อย ต่างกันเพียงใด อีกทั้ง ได้ประยุกต์ใช้ (2.27) เพื่อเปรียบเทียบการหาค่าสัดส่วนการถูกเลือก เป็นโครโมโซมพ่อและแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เหมาะสม ในขั้นตอน วงล้อการคัดเลือก เพื่อนำไปสร้าง และพัฒนาโครโมโซมลูกที่ดี ในรุ่นถัดไป และบันทึกผลผลิต ในไฟล์ *FittnessValue2.txt* เพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพผลผลิตข้าวในแต่ละรุ่นการค้นหา จนถึงการค้นหาในรุ่นสุดท้าย

จากการศึกษา และพัฒนาแบบจำลองเพื่อค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม โดยมีเงื่อนไขการค้นหา ดังตาราง ที่ 2.5 โดยมีผลการทดลองค้นหา ดังตารางที่ 2.6 คือ ผลจากการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในรุ่นสุดท้าย ประกอบด้วยการใส่ปุ๋ย 10 รูปแบบ สามารถให้ผลผลิตข้าวกิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ดังนี้ 7982.7 7560.54 7983.16 7983.16 7982.7 7982.7 5861.22 7983.16 5861.22 และ 7983.16 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่ามีรูปแบบการใส่ปุ๋ย ที่มีผลิตสูงสุด คือ 7983.16 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จำนวน 4 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 3 4 8 และ 10 ตามลำดับ โดยรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่มีผลิตต่ำสุด คือ รูปแบบการใส่ปุ๋ย ที่ 7 และ 9 จำนวน 5861.22 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และต้นทุนปริมาณการใส่ปุ๋ย ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 แสดงผลผลิตข้าว จากรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน จำนวน 10 รูปแบบ ดังนี้

	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7	แบบที่ 8	แบบที่ 9	แบบที่ 10
ผลผลิต (กก.)	7983	7561	7983	7983	7983	7983	5861	7983	5862	7983

ตารางที่ 2.7 ได้สรุปปริมาณการปุ๋ยในนาข้าว จากรุ่นสุดท้ายของการค้นหาด้วยเทคนิคดังกล่าว พบว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยสูงสุด จำนวน 1,031 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือ 164.96 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ รูปแบบที่ 1 มีปริมาณการใส่ปุ๋ย จำนวน 885 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือ 141.6 กิโลกรัมต่อไร่ และรูปแบบที่มีปริมารการใส่ต่ำสุด คือ รูปแบบที่ 7 กับ 9 มีปริมาณการใส่ปุ๋ย จำนวน 520 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือ 83.2 กิโลกรัมต่อไร่ และต่ำสุดลำดับที่สอง คือ รูปแบบที่ 4 มีประมาณการใส่ปุ๋ย จำนวน 529 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ หรือ 84.64 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 2.7 แสดงปริมาณการใช้ปุ๋ย จากรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน จำนวน 10 รูปแบบ ดังนี้

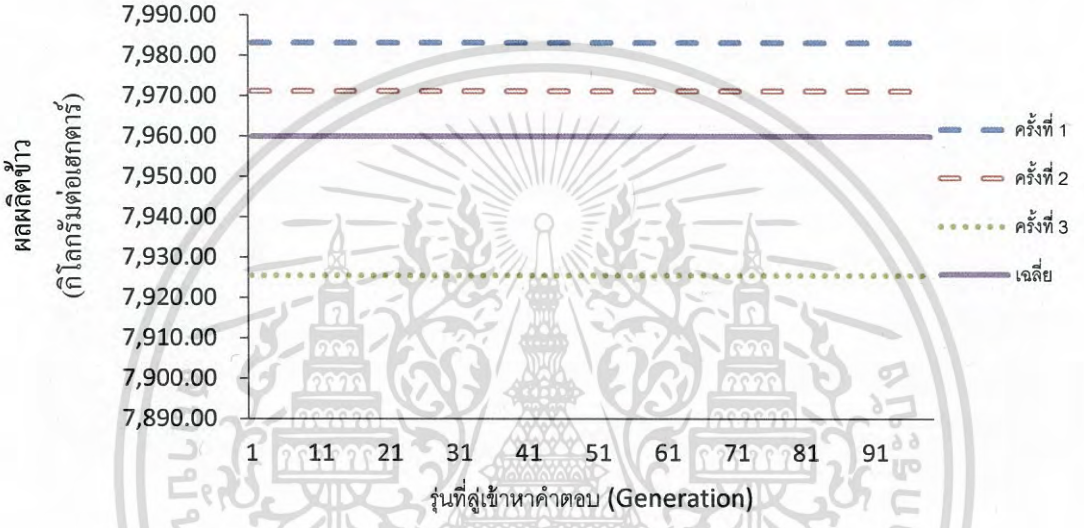
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6	แบบที่ 7	แบบที่ 8	แบบที่ 9	แบบที่ 10
ความถี่ (ครั้ง)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ปริมาณ (กก.)	885	724	730	529	1031	542	520	679	520	640

ซึ่งผลผลิต จากตารางที่ 2.6 ดังกล่าว ไม่ได้ลบค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ได้จากการค้นหาด้วยแบบจำลองที่ใช้ เทคนิค GA ค้นหา มีผลต่อการ เพิ่มขึ้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลผลิตการปลูกข้าว แต่รูปแบบการใส่ปุ๋ยที่พบ ยังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และรูปแบบ ไม่ใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ย ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร

และจากการตรวจสอบการลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมสูงสุด ได้แสดงดัง ภาพที่ 2.14 ด้วย ค่าเฉลี่ยรุ่นการลู่เข้าหาคำตอบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยในโตรเจนที่มีผลผลิตข้าวสูงสุด จากการทดสอบทั้งสามครั้ง พบว่า การค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยไม่มีการพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้น ในช่วงการหยุดการค้นหาจำนวน 100 รุ่น และใช้เวลานานกว่า 2 ชั่วโมง และแสดงการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสมสูงสุด (Maximization) ด้วยกราฟ ดังนี้



ภาพที่ 2.13 แสดงการลู่เข้าหาผลผลิตสูงสุดจากการค้นหารูปการใส่ปุ๋ยด้วยเจเนติกอัลกอริทึมและรูปแบบแบบการจัดการแบบดั้งเดิม

จากผลการทดลองดังกล่าว สรุปว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยไม่มีความใกล้เคียง กับการทดลองของ Bouman [3] และ ไม่มีการลู่เข้าหาค่าเหมาะสมสูงสุดได้ อีกทั้ง ใช้เวลาในการค้นหาค่อนข้างนาน และรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร เช่น รูปแบบการจัดการปุ๋ย ของ Yosida [5] และ Datta [6] อีกทั้ง ยังมีทุนการจัดการสูงและกำไรที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาการใส่ปุ๋ยของ Cui [7] และ Shibu [8] เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 2014 Pannavich & Worapoj [26] ได้ปรับปรุงการพัฒนาแบบจำลอง โดยปรับปรุงเงื่อนไขการค้นหาด้วยฐานความรู้ใหม่ และใช้เทคนิคการกำหนดเงื่อนไขในการค้นหา และปรับปรุงวัตถุประสงค์ ใหม่ โดยใช้กำไรการจัดการจาก รูปแบบการจัดการ ที่ได้ทดลองในงานของ Pannavich & Worapoj [25] ซึ่งการทดลองใหม่ ครั้งนี้ ได้ใช้ความรู้จากการใส่ปุ๋ย ที่เหมาะสมจาก Yosida [5] & Datta [6] เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพอัลกอริทึม และสร้างเงื่อนไขในการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการจัดการที่เหมาะสมสูงสุด ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ อีกทั้งใช้เทคนิคใหม่ จากการศึกษา ในรายงานของ Osman [43], Reid [39] และ Lukasiewycz [28] ที่ได้ใช้เทคนิคการปรับปรุงประสิทธิภาพทางด้านอัลกอริทึม เพื่อค้นหารูปแบบการจัดการพื้นที่การเกษตร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการค้นหาคำตอบทีเหมาะสม โดยรายงานดังกล่าว ได้ใช้เทคนิคการปรับปรุง GA ด้วยหลักการออฟติไมเซชั่น (Optimization) ซึ่งปรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดและต่ำสุด คือ (Maximize/Minimize $F(X)$ | *ค่าของ* $X= X_1....X_n$) และ กำหนดเงื่อนไข ในการค้นหาคำตอบ คือ Cj(X), j=1,..,m โดย X คือ $n \geq 1$ ตัวแปร และ Cj(X) คือ จำนวนเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ในพื้นที่คำตอบ (Search Space) ที่เหมาะสม เพื่อให้พบคำตอบที่เหมาะสมในขอบเขตที่กำหนด

ดังนั้น การทดลอง ของ Pannavich & Worapoj [25] จึงได้ใช้การปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ร่วมกันค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ในขบวนการการของ GA โดยมีรายละเอียกการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อให้เจเนติกอัลกอริทึมค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่มีกำไรจากการผลิตสูงสุด โดยมีรายละเอียด ดังนี้

$$PF = \left(\left(\frac{Y}{GM}\right) \times S\right) - \left((F \times C) + (ST \times SE)\right) \qquad (2.28)$$

หรือ

PF = Income[(จำนวนเมล็ด/50,000) x ราคาขาย] – Cost [(ปริมาณปุ๋ยต่อเฮกตาร์ต่อครั้ง x ราคาปุ๋ยต่อกิโลกรัม) + (จำนวนครั้งใส่ปุ๋ย x ค่าจ้างหว่านปุ๋ยต่อเฮกตาร์ต่อครั้ง)];

โดยที่ *Profit* (*PF*) คือ กำไรจากการผลิตข้าวต่อเฮกตาร์

Grain Yield (*Y*) คือ จำนวนเมล็ดจากการคำนวณด้วยแบบจำลองข้าว *Oryza2000*

GM คือ จำนวนเมล็ดข้าวต่อหนึ่งกิโลกรัมเฉลี่ย 50,000 เมล็ด

Sale Price (S) คือ ราคาขายข้าวกำหนดราคาด้วยค่าเฉลี่ยการรับซื้อข้าวเปลือกปีปัจจุบัน

Fertilizer Volume (*F*) คือ ปริมาณการใส่ปุ๋ยกิโลกรัมต่อเฮกตาร์

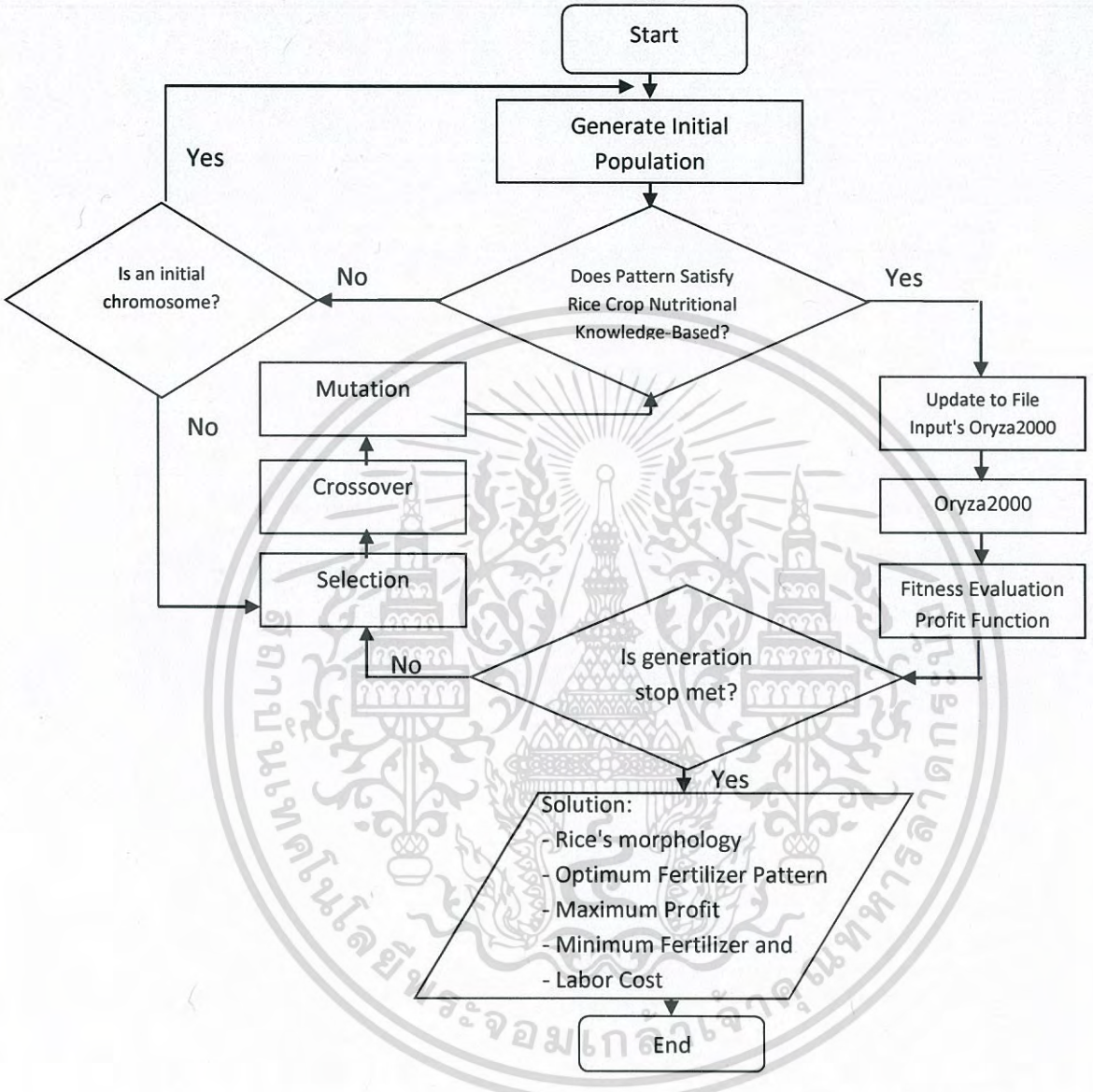
Costing (C) คือ ราคาปุ๋ยต่อกิโลกรัม ราคาอ้างอิงใน ปีปัจจุบัน

Sowing Time (ST) คือ จำนวนครั้งในการหว่านปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิต

ซึ่งงานวิจัยนี้ ได้ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อใช้ควบคุมการคัดเลือกโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ ที่มีกำไรจากการจัดการที่เหมาะสมสูงสุด และสร้างโครโมโซมชุดเริ่มต้นให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในกฎฐานความรู้การจัดการปุ๋ยที่หมาะสม เพื่อให้กลุ่มโครโมโซมเริ่มต้นมีรูปแบบที่ดี โดยอัลกอริทึมการค้นหา ได้แสดงดังผังการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม ดังนี้



ภาพที่ 2.14 ผังการค้นหารูปแบบปุ๋ยที่เหมาะสมด้วยเจเนติกร่วมกับฐานความรู้ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร [26] ปรับปรุงจาก [25]

จากผังการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ดังภาพที่ 2.14 สามารถแสดงอัลกอริทึม ในการการค้นหารูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสม ดังนี้

อัลกอริทึม การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มชุดตัวเลขในการสร้างรูปแบบการใส่ปุ๋ยในนาข้าวจำนวน 10 โครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a. สุ่มตัวเลขจำนวนจริง 1 ชุด ความยาว 10 ตำแหน่ง โดยมีค่าตัวเลข ตั้งแต่ 1 ถึง 130 เรียงลำดับตัวเลขจากค่าน้อยไปหาค่ามาก

b. สุ่มตัวเลขจำนวนจริง 1 ชุด ความยาว 10 ตำแหน่ง โดยมีค่าตัวเลข ระหว่าง 0 ถึง 180 เรียงตามลำดับก่อนและหลังการสุ่ม โดยแสดงตัวเลขที่มีระยะห่าง ≥ 10

$$DD = \left(\left(1a_i - \left(1a_i + 1\right)\right)\right) \geq 10 \qquad (2.29)$$

โดยที่ *Date Distance* (*DD*) คือ ระยะห่างระหว่างวันที่การใส่ปุ๋ย

$1a_i$ คือ ตำแหน่งวันที่ใส่ปุ๋ยตำแหน่งที่ i

$1a_i + 1$ คือ ตำแหน่งวันที่ใส่ปุ๋ยหลังจากวันที่ i หนึ่งตำแหน่ง

c. นำตัวเลขที่ได้จาก (1a) และ (1b) ประกอบกันโดยมีรูปแบบ คือ

$$\left[1a_i, 1b_i \middle| i = 1,2,3,...,10\right] \qquad (2.30)$$

โดยที่ $1a_i$ คือ วันที่การใส่ปุ๋ย ณ ตำแหน่งที่ i

$1b_i$ คือ ปริมาณการใส่ปุ๋ย ณ ตำแหน่งที่ i

d. ตรวจสอบผลรวมของ โครโมโซมรูปแบบการใส่ปุ๋ยตลอดฤดูกาลผลิตว่าอยู่ในเงื่อนไขความรู้การจัดการปุ๋ย หรือไม่ และมีผลรวมอยู่ระหว่างปริมาณ 60- 180 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

i. ถ้าไม่อยู่ในเงื่อนไข ฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าวให้กลับไปทำข้อ (a)

ii. ถ้าอยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าวให้บันทึกเป็นโครโมโซมที่เหมาะสม ทำขั้นตอนต่อไป

iii. ทำการนับจำนวนโครโมโซมรูปแบบการใส่ปุ๋ยให้ครบ 10 โครโมโซม และทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลจาก ข้อ (1) ไปสร้างเป็นพารามิเตอร์ของการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม จำนวน 10 รูปแบบ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณผลผลิตข้าว จากรูปแบบโครโมโซมปุ๋ยที่สุ่มสร้าง จากข้อ (1) ด้วย *Oryza2000*

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณกำไรด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากสมการที่ (2.29)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ทำการค้นหาโครโมโซม ที่มีกำไรสูงสุด จนพบเงื่อนไขการหยุด

ถ้าพบ เงื่อนไขทำการหยุดค้นหา และแสดงโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่ให้กำไรสูงสุด

ถ้าไม่พบ เงื่อนไขการหยุดให้ ทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 สุ่มคัดเลือกโครโมโซมพ่อ Prarent1 [1] และแม่ Prarent2 [2] สองอันดับที่มีความถี่ในการถูกเลือกสูงที่สุด จากการหมุนวงล้อการคัดเลือก (Roulette wheel)

ขั้นตอนที่ 7 ทำการสุ่มตำแหน่งการไขว้สลับหนึ่งตำแหน่ง โดยมีขอบเขตตั้งแต่ 1 ถึง 10

ขั้นตอนที่ 8 ทำการสุ่มตัวเลขโอกาสการไขว้สลับ โดยมีขอบเขตตั้งแต่ 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 9 ทำการไขว้สลับค่าโครโมโซม ณ ตำแหน่ง ตัวเลขที่สุ่มได้ จากข้อ 7 และ 8

Prarent1[1]-Random [1,10] && Prarent1 [2] + Random [1,10] to Position10 (2.31)

Prarent1[2] - Random [1,10]&& Prarent1 [1] + Random [1,10] to Position 10 (2.32)

ขั้นตอนที่ 10 ทำการสุ่มตำแหน่งการกลายพันธุ์ โดยมีขอบเขตตั้งแต่ 1 ถึง 10

ขั้นตอนที่ 11 ทำการสุ่มตัวเลขโอกาสการกลายพันธุ์ โดยมีขอบเขตตั้งแต่ 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 12 ทำการกลายพันธุ์สองโครโมโซมที่ตำแหน่งการสุ่มจากข้อ (10)

Prarent1 [1] - Random [1,10]&& Random [1,10]&& Prarent1 [1] + Random [1,10] to Position 10 (2.33)

Prarent1 [2] - Random [1,10]&& Random [1,10]&& Prarent1 [2] + Random [1,10] to Position 10 (2.34)

ขั้นตอนที่ 13 หากำไรสูงสุด (Maximum Profit) จากสมการที่ (2.29) ในแต่ละรอบการค้นหา

$$\max profit_i = \max(profit_i) \geq Old \max profit_i \quad (2.35)$$

โดยที่ $max\ profit_i$ คือ กำไรสูงสุดที่เกิดจากการใส่ปุ๋ยรูปแบบ i ที่เหมาะสมที่สุด

$Oldmax\ profit_i$ คือ กำไรสูงสุดจากการค้นหาในรอบที่ผ่านมา

$_i$ คือ 1,2,3,...,10

ขั้นตอนที่ 14 แทนที่โครโมโซมแย่ที่สุดสองลำดับ ด้วยโครโมโซมที่มีกำไรสูงสุดสองลำดับ

$$Badprofit_{10} = \max profit(top_1) \quad (2.36)$$
$$Badprofit_9 = \max profit(top_2)$$

โดยที่ $Bad\ profit_{10}$ คือ โครโมโซมหรือรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่มีกำไรแย่ที่สุด ลำดับที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bad profit $_9$ คือ โครโมโซมหรือรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่มีกำไรแย่ที่สุด ลำดับที่ 2

ขั้นตอนที่ 15 บันทึกโครโมโซมที่ดีที่สุดหนึ่งอันดับไว้สำหรับเปรียบเทียบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยที่ทำให้มีกำไรจากการผลิตข้าวสูงที่สุดในแต่ละรุ่น (generation)

ขั้นตอนที่ 16 หยุดการค้นหา เมื่อพบเงื่อนไขการค้นหา จากการกำหนด รอบการค้นหา คือ เมื่อ j=n $\mid j$=1,2,3,…,n โดยที่ n คือ จำนวนรอบที่ผู้ใช้ต้องการให้หยุดค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 17 ถ้ายังไม่พบ เงื่อนไขการหยุดให้กลับไปทำตั้งแต่ข้อ (6) อีกครั้ง ถ้าพบทำข้อถัดไป

ขั้นตอนที่ 18 แสดงรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยที่เหมะสมในนาข้าว ที่ให้ผลกำไรจากการจัดการสูงที่สุดหนึ่งลำดับ สามารถแสดงรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่ตำแหน่ง i

$$\max profit_{i,j} \Big| i, j = 1,2,3,...,10 \qquad (2.37)$$

โดยที่ $max\ profit_{ij}$ คือ รูปแบบการใส่ปุ๋ยแบบที่ i ในรุ่นที่ j ที่ผลิตข้าวแล้วมีกำไรเหมาะสมสูงสุด

j คือ รูปแบบการจัดการปุ๋ยที่ให้ผลกำไรสูงสุดจากการค้นหาจำนวน j รุ่น

และมีการปรับปรุงฟังก์ชันการสร้างชุดโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเริ่มต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้ ได้ปรับปรุงจากรายงานของ Pannavich & Worapoj [25] ใหม่ โดยเมื่อสุ่มสร้างกลุ่มโครโมโซมเริ่มต้น ทำการเลือกเฉพาะรูปแบบที่อยู่ในกฎการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเท่านั้น และกำหนดเงื่อนไขการค้นหา โดยใช้ความรู้สำหรับค้นหา จาก กรมการข้าว (ประเทศไทย), Yoshida [5] และ Datta [6] เพื่อกำหนดขอบเขตบน (Upper Bound) และขอบเขตล่าง (Lower Bound) รวมทั้ง คัดกรองรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ซึ่งใช้การคัดกรองด้วยเทคนิคค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility solution) จากรายงานของ Lukasiewycz [27], Isaacs [38], Reid [39] และ Richa Garg & Saurabh [40] เพื่อเป็นต้นแบบในการกำหนดเงื่อนไขการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ให้มีรูปแบบการจัดการใกล้เคียงกับ Bouman [4], Shibu [7], Cui [8] และ Shamar [9] โดยมีรายละเอียดการปรับปรุง ดังนี้

อัลกอริทึม การสร้าง และการกรองโครโมโซมเริ่มต้น (Initial Group) ด้วยกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในนาข้าว ปรับปรุงจาก รายงานของ Pannavich & Worapoj [25] ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และกำหนดเงื่อนไขการหยุดที่ 100,000 รอบ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างไฟล์โครโมโซม เพื่อเก็บรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่สุ่มแล้วตรงและไม่ตรงกฎ

ขั้นตอนที่ 3 สร้างชุดข้อมูลวันที่ใส่ปุ๋ย (*D1*) โดย

3.1 สุ่มตัวเลข 10 ตัวเลข โดยมีขอบเขตล่าง คือ 1 และขอบเขตบน 115

3.2 ตรวจสอบว่ามีตัวเลขซ้ำกันหรือไม่ ถ้าซ้ำค้นหาตัวเลขจนกว่ามีค่าไม่ซ้ำ

3.3 ถ้าพบว่า ชุดตัวเลขสุ่มอยู่ในกฎ ให้เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

3.4 และเก็บข้อมูลไว้ที่ตัวแปร *D1*

ขั้นตอนที่ 4 สร้างชุดข้อมูลปริมาณการใส่ปุ๋ย (*V1*)

4.1 สุ่มตัวเลขจำนวน 10 ตัวเลข โดยมีขอบเขตล่าง คือ 0 และขอบเขตบน ในการสุ่มคือ 180

4.2 เก็บข้อมูลไว้ที่ตัวแปร *V1* โดยเรียงลำดับตัวเลขตามลำดับการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบรูปแบบการใส่ปุ๋ยด้วยกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว

5.1 กำหนดตัวแปร *df1* รับค่าวันที่ และกำหนดตัวแปร *vf1* รับค่าปริมาณปุ๋ย

5.2 ตรวจสอบว่าตัวแปรที่สุ่มสร้างขึ้น อยู่ในกฎฐานความรู้หรือไม่

5.3 ถ้ารูปแบบวันที่ อยู่ในกฎ ให้เก็บค่าไว้ในตัวแปร *df1*

5.4 คำนวณระยะห่างการใส่ปุ๋ยระหว่างตำแหน่งปัจจุบัน กับตำแหน่งก่อนหน้า

5.5 ตรวจสอบระยะห่างการใส่ปุ๋ยอยู่ในช่วงวันที่เหมาะสม [15-20] หรือไม่

5.6 ถ้าอยู่ ทำการเก็บวันที่ดังกล่าวไว้ในตัวแปร *vf1* (เหมาะสม)

5.7 และหาผลรวมตัวเลขในโครโมโซมวันที่ พร้อมทั้งตรวจสอบ ดังนี้

5.8 ถ้าผลรวมมีค่า 0 ให้กลับไปค้นหา วันที่และปริมาณใส่ปุ๋ย ที่อยู่ในกฎใหม่

5.9 ถ้าผลรวมมีค่าไม่เท่ากับ 0 แสดงว่าเหมาะสม ทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 นำข้อมูลวันที่ และปริมาณการใส่ปุ๋ย มารวมไว้ในไฟล์เดียวกัน

ขั้นตอนที่ 7 นำข้อมูล จากข้อ 6 รวมกับไฟล์พารามิเตอร์ข้าว (ภาคผนวก ข) เพื่อคำนวณผลผลิตด้วยแบบจำลองที่ค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม และสิ้นสุดฟังก์ชันการสร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นด้วยอัลกอริทึมฐานความรู้

โดยมีอัลกอริทึม การสร้างกลุ่มโครโมโซม การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเริ่มต้นด้วยฐานความรู้รูปแบบใหม่ ดังภาพที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม ปรับปรุงการค้นหา และสร้าง กลุ่มโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 1. Define Variable // กำหนดตัวแปร

1.1 Stop Criteria =100000 //กำหนดเงื่อนไขการหยุดที่ 100000 รอบ

1.2 Chromosome Counting = 0 //กำหนดตัวแปร Counting = 0

1.3 Initial Group Chromosome = 0 ///กำหนดตัวแปรเก็บจำนวนโครโมโซมที่เป็นไปตามกฎ

1.4 Reject Chromosome =0 // กำหนดตัวแปรเก็บโครโมโซมที่ไม่เป็นไปตามกฎ

ขั้นตอนที่ 2. Create File data file // สร้างไฟล์เก็บรูปแบบโครโมโซม

2.1 Create File Chromosome is croall*new*.txt | new is 1,2,3,…,10

//สร้างไฟล์เก็บรูปแบบการใส่ปุ๋ย

2.2 Create File for collection reject chromosome |CromoshomeFlase.txt

//สร้างไฟล์เก็บโครโมโซมที่สุ่มแล้วไม่ตรงตากฎการไขใส่ปุ๋ยนาข้าว

ขั้นตอนที่ 3. Create Date // สร้างชุดข้อมูลวันที่ใส่ปุ๋ย

3.1 random create date data represent by vector size 1X10 number between [1 115]

//สุ่มตัวเลข 10 ตัวเลขโดยมีขอบเขตล่าง คือ 1 และขอบเขตบน 115

3.2 check if number is duplicate renew random until vector until not duplicate

//ตรวจสอบว่ามีตัวเลขซ้ำกันหรือไม่ ค้นหาตัวเลขจนกว่าไม่ซ้ำ

3.3 vector date sort ascending //กรณีที่ไม่ซ้ำให้เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

3.4 define is D1 // เก็บข้อมูลไว้ที่ตัวแปร D1

ขั้นตอนที่ 4. Create Volume // สร้างชุดข้อมูลปริมาณการใส่ปุ๋ย

4.1 random create volume data represent by vector size 1X10 number between [0 180] //สุ่มตัวเลขจำนวน 10 ตัวเลข โดยมีขอบเขตล่างคือ 0 และขอบเขตบนในการสุ่มคือ 180

4.2 define is V1 //เก็บข้อมูลไว้ที่ตัวแปร V1

ขั้นตอนที่ 5. Check Chromosome format // ตรวจสอบรูปแบบการใส่ปุ๋ยตามกฎฐานความรู้ผู้เชี่ยวชาญด้านการปลูกข้าว

defend df1, vf1// กำหนดตัวแปร df1 รับค่าวันที่ และกำหนดตัวแปร df1 รับค่าปริมาณปุ๋ย

if 15 <D1 < 65 and 15 <V1<180 then //สอบถามตัวแปรที่สุ่มสร้างอยู่ในกฎหรือไม่

df1 = D1 // ถ้าอยู่เก็บวันที่ไว้ในตัวแปร df1

%check date distance //ตรวจสอบระยะห่างของวันที่

Date Distance = D*i*- (D*i*-1) //หาส่วนต่างระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งการใส่ปุ๋ยก่อนหน้า

If 15 ≤ date Distance ≤ 20 //สอบถามมีระยะห่างอยู่ในช่วง 15-20 หรือไม่

vf1 = V1 //ถ้าอยู่ทำการเก็บวันที่ดังกล่าวไว้ในตัวแปร vf1 ; end; end

check value chromosome(svc) = summary (vf1) // ทำการคำนวณผลรวมตัวเลขในโครโมโซม

if svc == 0 then //ถ้าโครโมโซมมีค่า 0

call go to 3.for create date again //ให้กลับไปเริ่มค้นหาใหม่ที่หัวข้อ 3

else go to 6 for Matching Result end //แต่ถ้ารวมแล้วไม่เท่ากับศูนย์ หรือ มากกว่า 0 ให้ทำต่อไป

ขั้นตอนที่ 6. Matching Result Date from 3 and Volume from 4 //รวมข้อมูลวันที่และปริมาณการใส่ปุ๋ย

Matching with vercat [D1,V1] //นำวันที่และปริมาณไว้ด้วยกันเพื่อสร้างไฟล์นำเข้าแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว

ขั้นตอนที่ 7. Save history // บันทึกลงไฟล์โครโมโซมตามรูปแบบของโปรแกรม Oryza2000

ภาพที่ 2.15 อัลกอริทึมการสร้างกลุ่มโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมเริ่มต้นด้วยฐานความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

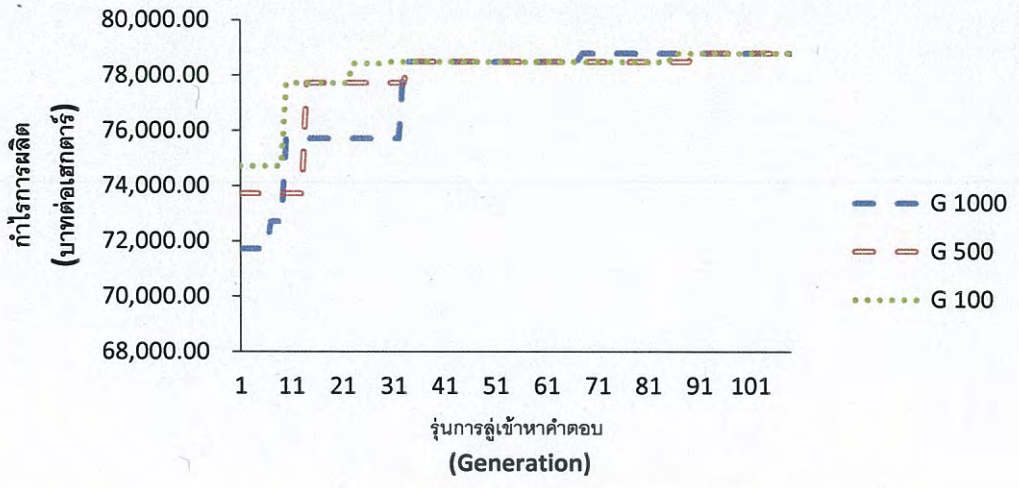
โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลอง ดังตารางที่ 2.8 เป็นการกำหนดเงื่อนไขการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้ในการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว ประกอบด้วย ค่าใช้จ่าย ในการบริการใส่ปุ๋ยต่อครั้งต่อเฮกตาร์ (60 x 6.25) เป็นจำนวนเงิน 375 บาท ต้นทุนปุ๋ยไนโตรเจน กิโลกรัมละ 16.3 บาท ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง จำนวน 15-60 กิโลกรัม และปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิต จำนวน 50-180 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ โดยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ยต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต จำนวน 1-3 ครั้งโดยแต่ละครั้ง มีระยะห่างการใส่ปุ๋ย ประมาณ 15-20 วันและวันที่ในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ตั้งแต่ ข้าวเจริญเติบโต ณ วันที่ 15 ถึง วันที่ 65 วัน หลังการปลูกข้าว

ตารางที่ 2.8 กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการรันเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ด้วยฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

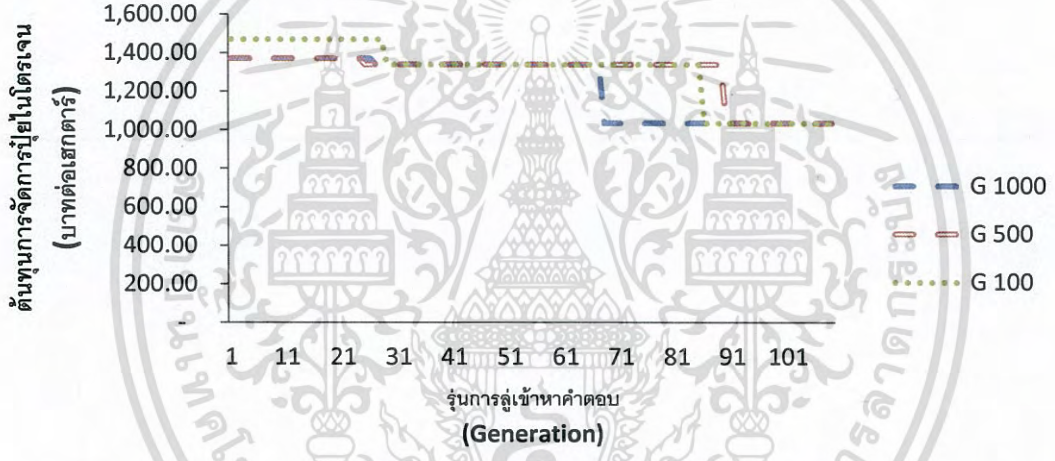
พารามิเตอร์	รายละเอียดเงื่อนไข
จำนวนประชากรเริ่มต้น	10
ความน่าจะเป็นการครอสโอเวอร์	0.07
จุดการครอสโอเวอร์	Single Point
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.01
จุดกลายพันธุ์	Single Point
เงื่อนไขการหยุดทำงาน	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 500 1000
ค่าใช้จ่ายในการจ้างใส่ปุ๋ยต่อครั้งต่อเฮกตาร์ (บาท)(60*6.25)	375
ต้นทุนปุ๋ยต่อกิโลกรัม (บาท)	16
ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง (กิโลกรัม)	15-60
ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิต (กิโลกรัม)	50-180
จำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิต (ครั้ง)	1-3
วันที่ในการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (วันที่)	15^{th}-65^{th}
ระยะห่างระหว่างวันที่ใส่ปุ๋ยในแต่ละครั้ง (วัน)	15-20

การประเมินผลการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้แบบใหม่ ด้วยค่าสถิติ และกราฟการลู่เข้าหาคำตอบ ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ย กำไร ต้นทุน และรุ่นการลู่เข้าหารูปแบบการจัดที่เหมาะสม โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ 1000 ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 2.16 และ 2.17 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 แสดงการลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงที่รุ่น 100



ภาพที่ 2.17 แสดงการลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงที่รุ่น 100

จากการปรับปรุงอัลกอริทึม เพื่อการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม จากรายงาน Pannavich & Worapoj [25] พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์กับการค้นหารูปแบบใหม่ร่วมกับฐานความรู้ของ Yoshida [5] & Datta [6] กับการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยแบบดั้งเดิม จากงานทดลองของ Bouman [4] & Cui [8] ที่ใช้โปรแกรม Dicision support ด้วยวิธี simplex method ในค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม พบว่า การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยแบบใหม่ ด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมมีกำไรการผลิตสูงกว่า วิธีการค้นหาแบบ ดั้งเดิม ถึงแม้ว่าเวลาในการค้นหาคำตอบยังคงใช้เวลาค่อนข้างนาน

ข้อดี หลังจากได้ใช้ความรู้ในการใส่ปุ๋ยจากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตข้าว พบว่า สามารถพบรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ให้ผลกำไรสูงขึ้น โดยรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมสูงสุด คือ ใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดฤดูกาลผลิต และรูปแบบการใส่ปุ๋ยดีปานกลาง คือ ใส่ปุ๋ยจำนวน 1 และ 3 ครั้ง ตลอดฤดูกาลผลิต

ข้อเสีย รูปแบบโครโมโซมหลังจากสิ้นสุดขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม พบว่า มีรูปแบบการใส่ปุ๋ยบางส่วน ไม่เป็นไปตามกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าว หรือรูปแบบเสียหาย เช่น การใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง หรือมากกว่า 4 ครั้ง แสดงให้เห็นว่า รูปแบบดังกล่าวไม่เหมาะสมทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดการปุ๋ย อีกทั้ง ทำให้เสียเวลาในการกลับไปเริ่มต้นค้นหารูปแบบที่ดีใหม่ และบางครั้งไม่สามารถรันแบบจำลองได้ โดยรูปแบบโครโมโซมที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ มีลักษณะดังนี้ คือ ระยะห่างวันที่ใส่ปุ๋ยอยู่ในช่วงต่ำกว่า 15 วัน ปริมาณการใส่ปุ๋ยไม่อยู่ในช่วง จำนวน 50 - 180 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ความถี่ในการใส่ปุ๋ย ไม่อยู่ในช่วง 1-3 ครั้งต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต โดยเกิดปัญหารูปแบบโครโมโซม เมื่อผ่านขั้นตอนเจเนติกแล้วรูปแบบวันที่การใส่ปุ๋ยซ้ำ ซึ่งไม่ตรงกับกฎการสร้างไฟล์ของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* ที่สามารนำไปคำนวณผลผลิตได้ อีกทั้ง รูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่ไม่อยู่ในกฎจะไม่สามารถใช้ในแปลงนา ได้

2.7.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมและการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

ในปี ค.ศ. 1989 Goldberg [10] รายงานว่าการศึกษาปัญหาการค้นหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุดของฟังชันนั้น Search Space อาจมีค่าไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) และบ่อยครั้งที่มีค่าสูงสุด และต่ำสุดหลายๆ ค่า (Sub-Optimum Peaks) ซึ่งปัญหาดังกล่าว มีความยุ่งยากมากขึ้น เมื่อใช้วิธีแคลคูลัสและอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ในการค้นหาค่าสูงสุดและต่ำสุด โดยกระบวนการ GA เป็นกระบวนการหาค่าความเหมาะสมสูงสุดที่ใช้เทคนิคการสุ่มค้น (Random Sampling Search Procedure) และใช้ทฤษฎีวิวัฒนาการ และการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต ในการค้นหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันนั้นๆ ซึ่งสรุปขั้นตอนการทำงานดังนี้ ทำการสุ่มชุดของค่าเริ่มต้นกลุ่มแรก จากนั้นใช้เทคนิคค้นหาด้วยกระบวนการ GA เพื่อทำการค้นหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุดใน Search Space ไปพร้อมกันทั้งชุด โดยใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุด จากการแทนค่าในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งข้อได้เปรียบจากการใช้วิธีที่การดังกล่าว สามารถค้นหาค่าสูงสุดและต่ำสุด จากจุดที่หนึ่งไปจุดที่สองและจุดต่อไปเรื่อยๆทีละจุด โดยเทคนิคนี้ อาจทำให้มีโอกาสได้ค่า Local Optima ได้น้อยกว่า วิธีอื่นๆ ถึงแม้ว่าจุดนั้นจะไม่สามารถเป็นจุดที่ให้ค่า ที่ดีที่สุดได้ก็ตาม

ในปี ค.ศ. 1991 Goldberg & Deb [11] ได้ศึกษา วิธีเชิงพันธุกรรม GA ที่ใช้ทฤษฎีวิวัฒนาการ (Evolution) และการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต โดยถูกนำมาใช้ในการหา Rule Curves ที่เหมาะสม โดยบทความนี้ ใช้เทคนิคนี้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น รวมทั้งเป็นวิธีที่ลดโอกาสที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optima) ลงในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม โดยชุดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ที่ไม่ทราบค่าจะถูกแปลงเป็นโครโมโซมในเชิงพันธุกรรมทางชีววิทยา และจากนั้น ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผสมพันธุ์ กระบวนการเปลี่ยนถ่ายยีนพันธุกรรม และกระบวนการกลายพันธุ์ เพื่อคัดเลือกชุดโครโมโซมที่ดีที่สุด ให้อยู่รอดในรุ่นถัดไป ซึ่งค่าชุดตัวแปรตัดสินใจที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด โดยกระบวนการพื้นฐานในการค้นหาคำตอบด้วย GA นั้น โครโมโซมจะถูกเข้ารหัส (Encode) แบบไบนารีบิตสตริง โดยกระบวนการผสมพันธุ์ใช้การคัดเลือกโครโมโซมพ่อแม่แบบสุ่มวงล้อการคัดเลือก และเปลี่ยนถ่ายยีนแบบหนึ่งจุด (One-Point Crossover) โดยในกระบวนการเปลี่ยนถ่ายยีนพันธุกรรมในกระบวนการกลายพันธุ์ค่าของบิตสตริงจะถูกเปลี่ยนเป็นบิตตรงข้าม (Inverse Bits) จาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 จากนั้น ทำซ้ำไปจนพบเงื่อนไขการหยุด โดยวิธีการดังกล่าวสามารถพบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้

ในปี ค.ศ. 2003 Blum [12] ได้ศึกษาการปรับปรุงความสามารถของขบวนการค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ด้วยขบวนการ Cobination Optimization (CO) ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาในหลากหลายสาขา เช่น ด้านอุตสาหกรรมด้านการจัดการต้นทุนการผลิตในขบวนการผลิต เป็นต้น อีกทั้งรายงานนี้ ได้อธิบายการ Optimization ซึ่งเรียกว่า I&D ซึ่งจากขบวนการดังกล่าว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบในกลุ่มคำตอบที่เป็นคำตอบ (Search Space) ลักษณะ local optimal ซึ่งเป็นชุดคำตอบของปัญหาที่อยู่ในรูปตัวเลขที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete) โดยขบวนการ Evolutional หรือ กระบวนการพัฒนาสายพันธุ์ของคำตอบจากขบวนการ ผสมพันธุ์ (Recombination) การกลายพันธุ์ (Mutation) ระหว่างการคัดเลือกพ่อแม่ ในผสมพันธุ์ (Selection) ซึ่ง GA จะอยู่ในส่วนที่เป็น EC โดยสามารถที่จะปรับปรุงเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบ เพื่อให้ได้คำตอบตรงกับค่าที่คาดหวังได้ โดยวิธีการทำงานนี้ อาจจะไม่พบคำตอบที่ดีที่สุดแต่จะพบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในกลุ่มของคำตอบและยอมรับได้ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบได้เร็วขึ้น

ในปี ค.ศ. 2006 Barton [13] ได้สรุปว่ามีหลายวิธีที่สามารถใช้วิธีการปรับปรุงการทำงานวิธีการค้นหาคำตอบ ร่วมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยรายงานนี้ ได้ใช้ความรู้จากการค้นหาคำตอบครั้งแรก (Metamodel Base) เป็นเงื่อนไขการพิจารณาค้นหาคำตอบในครั้งถัด และใช้วิธีการวนซ้ำ ซึ่งเรียกว่า Iterative Approach โดยมีเป้าหมาย คือ ปรับปรุงให้ขั้นตอนในการค้นหารวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวถึงแม้ว่า จะพบคำตอบที่เป็น Local optimum หรือ Grobal optimum แต่วิธีดังกล่าว ก็สามารถลดระยะเวลาการค้นหาได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี ค.ศ. 2007 Kusakci & Can [44] มีแนวคิดในการใช้เงื่อนไขในการค้นหาต้นทุนต่ำสุด ซึ่งมีคำตอบเป็นโกบอลออฟติไมเซชั่น (Global optimization -GO) เป็นการพัฒนาคำตอบที่ดีจากการถูกคัดเลือกโดยธรรมชาติจากปัญหาต่างๆ และเทคนิคการค้นหาแบบไม่มีเงื่อนไข ซึ่งสามารถทำได้ง่ายร่วมกับขบวนการ EA ซึ่งการค้นหาแบบมีเงื่อนไขเป็นเรื่องซับซ้อน ดังนั้น GO เป็นส่วนสำคัญในงานทางด้านเศษฐศาสตร์วิศวกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคการเรียนรู้พัฒนาแนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อการเอาชนะปัญหาทางธรรมชาติ ซึ่งมีอัลกอริทึมตัวอย่าง ดังนี้ ant colony optimization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ACO), particle swarm artificial immune systems (PSO) และ evolutionary algorithms (EA) เป็นต้น แต่อัลกอริทึมการค้นหาคำตอบดังกล่าว อาจจะใช้เวลาค้นหานานกว่าปกติ

การค้นหาคำตอบแบบไม่มีเงื่อนไข (Unconstrained) จะใช้แค่เครื่องหมาย เท่ากับ หรือไม่เท่ากับ ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งมีความเป็นไปได้ และยากที่จะพบคำตอบที่เหมาะสม หรือบางครั้งอาจจะไม่พบคำตอบตรงตามเงื่อนไขที่ระบุในการค้นหา ดังนั้น ต้องอาศัยโครงสร้างของคำตอบและตัวแปร เป็นเงื่อนไข ร่วมกันค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งรายงานนี้ ได้ใช้เงื่อนไขเชิงตัวเลขในการค้นหา โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า การค้นหาแบบมีเงื่อนไข (Constrained) อีกทั้ง ทำการตรวจสอบคำตอบที่เป็นไปได้ และเป็นไปไม่ได้ พร้อมกัน และเพื่อลดปัญหาการไม่พบคำตอบในขอบเขตของปัญหานั้น ซึ่งจะสามารถพบคำตอบได้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพในการค้นหาสูง ซึ่งเป็นเป้าหมายของอัลกอริทึมส่วนใหญ่ ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

การใช้ความรู้พื้นฐาน ในการกำหนดเงื่อนไขการค้นหาที่เหมาะสม (Constrained optimization) มีรายละเอียด คือ สามารถแบ่งการกำหนด ออกเป็น 2 ส่วน หรือ n ตัวแปร ประกอบด้วย objective function ที่มีการค้นหาค่าสูงสุด (Maximized) และการค้นหาค่าต่ำสุด (Minimized) ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขการค้นหา แบบเท่ากับ (Equality) และไม่เท่ากับ (Inequality) โดยมีรูปแบบทั่วไป ดังนี้

$$\min or \max f\left(\vec{x}\right) \middle| \vec{x} = \left[x_1,...,x_n\right]^T \in F \subseteq S \subseteq \mathbb{R}^n \tag{2.38}$$

โดยที่ $g_i(\vec{X}) \leq 0, I = 1,\ldots,r$

$h_i(\vec{X}) = 0, i=r+1,\ldots,m$

และ $S = \{\vec{X} \in \mathbb{R}^n \mid l_j \leq X_j \leq u_j\}$, $j=1,..,n$

$F = \{\vec{X} \in S \mid g_i(\vec{X}) \leq 0$ and $h_i(\vec{X}) = 0$

$\vec{X} = [x_1,\ldots,x_n]^T$

R คือ จำนวนเครื่องหมายไม่เท่ากับ

m-r คือ จำนวนเครื่องหมายเท่ากับ

ε คือ ค่าการยอมรับความผิดพลาด โดยที่ $\varepsilon > 0$

โดยมีสูตรการยอมรับความผิดพลาด ดังนี้

$$\left|h^i\left(\vec{x}\right)\right| - \varepsilon \leq 0 \tag{2.39}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงผลรวมของเงื่อนไข ได้ดังนี้

$$V\left(\vec{x}\right)=\sum_{i=1}^{r}\max\left(0,g_i\left(\vec{x}\right)\right)+\sum_{i=1}^{r}\left|h^i\left(\vec{x}\right)\right| \tag{2.40}$$

โดยเป็นเครื่องมือในการวัดและค้นหาคำตอบ $\vec{x}$ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ดังนี้ 1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) มีสัญลักษณ์ คือ $f(\vec{x})$ 2) ผลรวมจำนวนเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบสัญลักษณ์ คือ $v(\vec{x})$ และ 3) จำนวนเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบสัญลักษณ์ $\rho(\vec{x})$ ซึ่งตัวแปรทั้งสาม ที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น เป็น เครื่องมือวัดประสิทธิภาพการใช้เทคนิค constrained optimization (CO)

ในการปรับปรุงคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility maintenance-Fm) มีจุดประสงค์หลักในการปรับปรุง คือ พยายามให้คำตอบที่เกิดขึ้นอยู่ในเงื่อนไขของปัญหาที่กำหนด ดังนั้น การปรับปรุงคำตอบที่เป็นไปได้ (Repairing infeasible individual) และการหาคำตอบที่เหมือนกับเป้าหมายที่กำหนด (Homomorphous mapping) โดยทั้งสองวิธีนี้ เป็นการสร้างกลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้บางครั้ง มีการแทนที่คำตอบที่ดีกว่า แต่บางครั้งก็ใช้เพื่อตรวจสอบเพียงอย่างเดียว ซึ่งปัญหาของการปรับปรุงคำตอบที่เป็นไปได้อาจเกิดความไม่น่าเชื่อถือเกิดขึ้น ส่วนเทคนิคของ homomorphous mapping คือ พยายามสร้างคำตอบให้อยู่ในพื้นที่คำตอบที่ตรงกับปัญหานั้นๆ โดยอาศัย hypercube เพื่อยืนยันว่าคำตอบนั้นถูกตรงตามปัญหาหรือไม่ แต่วิธีดังกล่าวมีต้นทุนในการจัดการสูง เนื่องจากมีการเชื่อมโยงข้อมูลทั้งไป และกลับทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหาคำตอบ

มีหลากหลายเทคนิคที่ใช้ในการควบคุม COP ซึ่งถูกแบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือ feasibility maintenance, penalty function, separation of constraint violation and objective function, multi-objective optimization evolutionary algorithms และ parallel populations approaches เป็นต้น โดยได้ยกตัวอย่าง ดังนี้

ฟังก์ชันกั้น (Penalty Function) เป็นวิธีที่นิยมสำหรับกั้นพื้นที่เฉพาะในการค้นหาคำตอบ โดยทั่วไปมักนิยมใช้คำถามสองข้อในกั้นดังนี้ ข้อแรก จะมีน้ำหนักในการกั้นระยะห่างการค้นหาคำตอบได้อย่างไร ข้อที่สอง เปอร์เซนต์ความมั่นใจของการกั้นเพื่อค้นหาคำตอบ น้ำหนักของฟังก์ชันกั้น (Penalty weights) แต่คำตอบที่เป็นไปได้อาจจะมีค่าที่ดีน้อยกว่าคำตอบที่ไม่อยู่ในเขตที่เป็นพื้นที่กั้น โดยในการค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงนี้ เรียกว่า near feasibility threshold (*NFT*) ซึ่งใช้ยืนยันการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ในพื้นที่ใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแยกกันระหว่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไข (Constrains) โดยการแยกกัน ได้แนะนำวิธีการเปรียบเทียบ 3 กฎ ระหว่าง การปรับปรุงระหว่างคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility) และคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasibility) ซึ่งคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ก็จะถูกประเมินระยะห่างระหว่างความเป็นไปได้ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ แต่ในส่วนของการคัดเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ มาทำการพัฒนาทางสายพันธุ์นั้น จะมีการเปรียบเทียบก่อนเข้าสู่ขบวนการ ดังนี้ คือ (1) ถ้าคำตอบทั้งคู่เป็นไปได้จากการคัดเลือกจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนั้น คำตอบนั้นจะถูกเลือก (2) มีหนึ่งโครโมโซมที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility) และคำตอบอื่นๆ ไม่ใช่ก็ให้ทำการเลือกเฉพาะคำตอบที่เป็นไปได้มา (Feasibility solution) (3) ถ้าเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ทั้งคู่ (Infeasibility) ซึ่งกฎการยอมรับคำตอบที่เป็นไปได้ ดังกล่าว ถูกกล่าวถึงในงานของ EA ที่อยู่ใน DE ซึ่งมีการใช้ feasibility rule ในเรื่องการค้นหาด้วยวิธี particle evolutionary searm optimization Plus (PESO+) ซึ่งสามารถช่วยค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility) อย่างมีประสิทธิภาพ และ ABC อัลกอริทึมถูกปรับปรุง และพัฒนาขึ้นมาโดย Karaboka และ Akay ปี ค.ศ. 2011 เพื่อช่วยค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยเงื่อนไข (Constrains) โดยอัลกอริทึมนี้มีการศึกษาถึง 13 ตัวแปร อีกทั้ง ได้ศึกษาเปรียบเทียบคำตอบจากการค้นหากับอัลกอริทึมในกลุ่มเพิ่มเติม

โดยรายงานนี้ ได้กล่าวถึง เทคนิค constraint-handling เป็นวิธีการใช้ค่าความผิดพลาด (ε) ในการควบคุมวิธีการค้นหาในเขตพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ และวิธีการเปลี่ยนจาก COP ในรูปแบบของการค้นหาแบบไม่มีเงื่อนไขประกอบด้วยสองส่วน คือ (1) ในส่วนของการกำหนดขอบเขตการค้นหาคำตอบให้สามารถเปลี่ยนแปลงขอบเขตการค้นหาภายใต้การนับจำนวนคำตอบที่ไม่พบ (2) ส่วนที่สามารถแก้ไขค่าความผิดพลาด (ε) ในการค้นหาให้มีค่าน้อยที่สุดที่สามารถพบคำตอบได้ ซึ่งเรียกว่า ε level ซึ่งมีรูปแบบการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนี้

$$\left(f\left(\vec{x_1}\right),v\left(\vec{x_1}\right)\right)\le\varepsilon\left(f\left(\vec{x_2}\right),v\left(\vec{x_2}\right)\right)\begin{cases}\left(f\left(\vec{x_1}\right)<f\left(\vec{x_1}\right)\right),if\ v\left(\vec{x_1}\right),v\left(\vec{x_2}\right)<\varepsilon\\ \left(f\left(\vec{x_1}\right)<f\left(\vec{x_1}\right)\right),if\ v\left(\vec{x_1}\right)=v\left(\vec{x_2}\right)\\ \left(f\left(\vec{x_1}\right)<v\left(\vec{x_1}\right)\right),otherwise\end{cases}\quad(2.41)$$

$$\left(f\left(\vec{x_1}\right),v\left(\vec{x_1}\right)\right)\le\varepsilon\left(f\left(\vec{x_2}\right),v\left(\vec{x_2}\right)\right)\begin{cases}\left(f\left(\vec{x_1}\right)<f\left(\vec{x_1}\right)\right),if\ v\left(\vec{x_1}\right),v\left(\vec{x_2}\right)<\varepsilon\\ \left(f\left(\vec{x_1}\right)<f\left(\vec{x_1}\right)\right),if\ v\left(\vec{x_1}\right)=v\left(\vec{x_2}\right)\\ \left(f\left(\vec{x_1}\right)<v\left(\vec{x_1}\right)\right),otherwise\end{cases}\quad(2.42)$$

จากการใช้วิธีควบคุมความผิดพลาดของคำตอบ (ε Method) ในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ ด้วยข้อมูลจากปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งใช้ในการควบคุมการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ในขั้นตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลายพันธุ์ ที่พัฒนาโดย Takahama และ Sakai ในปี ค.ศ. 2006 ซึ่งสามารถค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ ด้วยการใช้วิธีการดังกล่าว โดยทดสอบกับ 26 ปัญหา ซึ่งสามารถพบคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ จากรายงานดังกล่าว ได้แนะนำการปรับปรุงค่าความผิดพลาดของคำตอบ (ε Method) ในขั้นตอนของระบบการค้นหาคำตอบเพื่อให้สามารถพบจำนวนคำตอบได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพการค้นหาเพิ่มมากขึ้น

โดย Pereira และ Lapa ได้ออกแบบ (Island Genetic Algorithm-*IGA*) ซึ่งถูกใช้กับโรงงานผลิตไฟฟ้า จากพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่ง IGA สามารถเรียนรู้การควบคุมปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถเป็นต้นแบบของการเรียนรู้ และควบคุมปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยใช้กลยุทธ์การควบคุมพารามิเตอร์ เพื่อให้พื้นที่ในการค้นหาคำตอบลดน้อยลง ซึ่งจะพบคำตอบที่เป็นไปได้ ในฟังก์ชันก์วัตถุประสงค์ หรือปัญหานั้นๆ อีกทั้งสามารถลดระยะเวลาการค้นหาคำตอบ ในขั้นตอนการไขว้สลับ และการกลายพันธุ์ ได้ ซึ่งใช้เทคนิคการไขว้สลับ เป็นแบบ two new parameter control strategies โดยวิธีการดังกล่าว สามารถเรียนรู้ปัญหา ในขั้นตอนการพัฒนาทางสายพันธุ์ เพื่อทำการปรับปรุงอัลกอริทึมในการค้นหาได้ เช่นกัน โดยรายงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธี Island Model ในขั้นตอนการปรับปรุงเงื่อนไขการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งจะสามารถพบลักษณะของคำตอบ ในขั้นตอน COPs ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากรายงานนี้ สรุปได้ว่า วิธีการ constrain handling สามารถช่วยระบบการค้นหาแบบ COPs ให้พบคำตอบที่เป็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีประโยชน์ในงาน EAs ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก เช่น GA และ ESs ในขณะที่ DE พึ่งจะมีบทบาทสำคัญ ในไม่กี่ปีที่ผ่านมา และ penalty function เป็นอีกเทคนิคหนึ่ง ที่มีความยืดหยุ่นในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละปัญหาได้ดี ถ้ามีการ hybrid กันระหว่าง constrain optimization จะทำให้เป็นจุดแข็งในการค้นหาคำตอบได้ เช่น menetic algorithm ที่เป็นการค้นหาคำตอบเฉพาะถิ่น (Local search) เป็นต้น

ในปี ค.ศ. 2000 Reid [39] ได้ศึกษาแนวทางการหาคำตอบด้วยเงื่อนไข โดยเทคนิคในการค้นหาแบบมีความยืดหยุ่นสูง เช่น EA และ GA เป็นต้น ซึ่งอัลกอริทึม ดังกล่าว ได้เน้นการค้นหาคำตอบแบบเป็นลำดับ (Sequential) ซึ่ง GA เป็นการค้นหาคำตอบโดยการปรับปรุงจากกลุ่มของคำตอบมากกว่าหนึ่งรอบ และในแต่ละรอบมีการพัฒนาการค้นหาเพื่อนำไปสู่คำตอบที่เหมาะสมตามลำดับ

โดย GA มีการค้นหาคำตอบจากจุดเดิมไปจุดใหม่ ขณะที่อัลกอริทึมการค้นหาแบบดั้งเดิมส่วนใหญ่ ที่มีการค้นหาโดยตรง (Direct search) ซึ่งการค้นหานั้นเป็นการเปรียบเทียบลักษณะของโครโมโซมเดิมที่มีความใกล้เคียงหรือไม่ซ้ำ (Distinct) กับโครโมโซมต้นแบบ (Phenotype)

มีหลายวิธีการสำหรับการปรับปรุงเงื่อนไข ให้มีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยค้นหาคำตอบที่เหมาะสม และสามารถพบคำตอบหลากหลายขึ้น โดยขึ้นอยู่กับสัดส่วนของตัวแปรในการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนใหญ่ เงื่อนไขในการค้นหาเป็นสมการเส้นตรง และเป็นการค้นหาคำตอบในเชิงตัวเลข และคำตอบในการค้นหาส่วนใหญ่ มีสองประเภท ได้แก่ การหาค่า maximize และ minimize ดังนั้น กลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้หลังจากการค้นหาจะแสดงถึงการยอมรับประสิทธิภาพในการปรับปรุงเงื่อนไขในการค้นหาได้เป็นอย่างดี โดยมีสมการในการค้นหาคำตอบด้วยเงื่อนไข ดังนี้

$$f(x): Z^n \rightarrow \mathbb{R}^n \tag{2.43}$$

โดยกำหนดให้ $A\,x \leq b,\ l \leq x \leq u,\ x \in Z^n$

โดยให้ $A = [a_{i,j}] \in \mathbb{R}^{mxn}$, $b = [b_i] \in \mathbb{R}^m$, $l = [l_j] \in Z^n$ และ $u = [u_j] \in Z^n$ ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะไม่มีเครื่องหมายไม่เท่า กับรวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นรายละเอียดการลดตัวแปรสำหรับศึกษา และค้นหาในพื้นที่การค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ลง

การไขว้สลับ (Crossover) งานวิจัยนี้ ได้ใช้การไขว้สลับแบบสองจุด (Two-Point Crossover) ซึ่งเน้นให้มีการคัดเลือกจากระบบธรรมชาติ เพื่อให้สามารถอยู่รอดจากอัตราการผสมพันธุ์ ในระบต่างๆ การไขว้สลับเกิดจากโครโมโซมสองโครโมโซม ซึ่งถูกเลือกคำตอบจากการประเมินด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีสัญลักษณ์ ดังนี้

$$\Omega = \left\{ \{x, y\} \middle| x, y \in Z^n \right\} \tag{2.44}$$

จากสมการดังกล่าว เป็นคู่ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน และคำตอบที่เป็นไปได้อยู่ในขอบเขตของโครโมโซมคู่เริ่มต้น ซึ่งในรายงานนี้ ได้อธิบายรายละเอียดชุดคำตอบ ดังนี้

$$X = \left\{ i : 1 \leq i \leq n^i \in N \right\} \tag{2.45}$$

ฟังก์ชันการไขว้สลับสองจุดมีรูปแบบดังนี้

$$\Xi : \Omega \times X \times X \rightarrow \Omega \tag{2.46}$$

โดยมีเงื่อนไขดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Xi\left(\{x,y\},h,k\right)=\begin{cases}\{x',y'\}\ if\ h<k\\ \{x,y\},otherwise\end{cases} \tag{2.47}$$

ซึ่งค่า x, y และ ผลที่ได้จากการไขว้สลับ จะมีรูปแบบของคำตอบใหม่ x',y' มีรูปแบบ ดังนี้

$$\begin{aligned}x&=\left[x_1,...,x_n\right]^T, y=\left[y_1,...,y_n\right]^T\\ x'&=\left[x_1,...,x_n\ y_{h+1},...,y_k\ x_{k+1},...,x_n\right]^T\\ y'&=\left[y_1,...,y_h\ x_{h+1},...,x_k\ y_{k+1},...,y_n\right]^T\end{aligned} \tag{2.48}$$

ซึ่งการไขว้สลับ (Crossover) ถูกเรียกกว่า meaningful ถ้า h < k; โดยที่ h $\geq$ k ถ้าไม่มีคำตอบเกิดขึ้น ก็จะมีการไขว้สลับ มีรูปแบบ ดังนี้

$$\Xi_{h,k}\left(x,y\right)\equiv\Xi\left(\{x,y\},h,k\right) \tag{2.49}$$

จะเห็นได้ว่า คำตอบในแต่ละรอบ ที่มีการค้นหาจะอยู่รอบ $\Xi_{h,k}\subset Z^n$ ดังนั้น ในคำตอบที่เกิดจากขบวนการไขว้สลับ ซึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ จะถูกปรับปรุงให้อยู่ในขอบเขต หรือพื้นที่ที่เป็นไปได้ P โดยมีรูปแบบมาตรฐาน ดังนี้

$$\Xi_{h,k}\left(x,y\right)\cdot\left(\{x,y\},h,k\right)\in\varnothing\left(P\right) \tag{2.50}$$

ซึ่งเป็นคำตอบที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ $\varnothing(P)$ จากการไขว้สลับสองจุดแต่คำตอบยังคงอยู่ในพื้นที่ S โดยมีนิยาม คือ $S\subseteq\Lambda$ และมีคำตอบที่เป็นไปได้อยู่ในรูปดังนี้

$$\varnothing\left(S\right)=\left\{\left(\{x,y\},h,k\right):x,y\in s^x\neq y^{h,k}\in\chi^h<k\right\} \tag{2.51}$$

โดยจำนวนครั้งในการไขว้สลับ จะอยู่ในรูปแบบ ดังนี้

$$\left|\varnothing\left(S\right)\right|=\frac{1}{4}\left(n^2-n\right)\left|S\right|\left(\left|S\right|-1\right) \tag{2.52}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำตอบในแต่ละรุ่นขึ้นอยู่กับจำนวนไขว้สลับ $|\Lambda|$ และในแต่ละรอบก็จะทำการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ซึ่งอยู่ใน $|P|$

การปรับปรุงคำตอบที่เป็นไปได้ในรายงานนี้ได้กล่าวถึง คำจำกัดความของคำตอบที่เกิดขึ้นจากการไขว้สลับ โดยสิ่งที่จำเป็นในการไขว้สลับ คือ โครโมโซมพ่อและแม่ที่เหมาะสม ซึ่งไม่ทำให้เสียเวลาในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ จากการไขว้สลับ โดยประสิทธิภาพในการค้นหาจะใช้ระยะเวลาในการค้นหา จากรูปแบบ $O(n^2)$ ถึง $O(n)$ ซึ่งโอกาสในการค้นหาคำตอบจากโครโมโซมพ่อและแม่นั้น จะใช้ระยะเวลาในการค้นหาซึ่งมีรูปแบบ $O(mn + n^2)$ กล่าวคือ $r : Z^n \rightarrow R^m$ ซึ่งสามารถแสดง ในรูป n-dimensional ดังนี้

$$r(x) = b - A \cdot X \tag{2.53}$$

และ สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแบบเมตริก ซึ่งค่า x เป็นเมตริกที่ยอมรับได้ หรือกลุ่มของคำตอบจากการค้นหาที่ทำให้เป็นกลุ่มคำตอบที่น่าพอใจ โดยมีการพิจารณาการปรับปรุงในส่วนของการไขว้สลับ (Crossover) ดังนี้

$$\{x', y'\} = \Xi_{h,k}(x, y) \tag{2.54}$$

ซึ่งค่า x' และ y' มาจากสมการ ดังนี้

$$X' \in P <=> \delta(h,k) \leq r(x) \text{ และ } Y' \in P <=> -r(x) \leq \delta(h,k)$$

โดยมีเงื่อนไขการคัดเลือกคำตอบว่าอยู่ในระดับความพึงพอใจหรือไม่ สามารถตรวจสอบจาก $\delta^{(h,k)} \equiv \delta^{(h,k)}(x,y)$ โดยมีเงื่อนไข ดังนี้

$$\delta^{(k-1,k)} = \delta^{(k,k)} + (y_h - x_h) \cdot \left[a_{j,h} \right]^m | i = 1, \tag{2.55}$$

$$\delta^{(k,k+1)} = \delta^{(k,k)} + (y_{k+1} - x_{k+1}) \cdot \left[a_{i,k+1} \right]^m | i = 1, \tag{2.56}$$

$$\delta^{(h,k)} = 0 \tag{2.57}$$

โดยที่กำหนดค่าอื่นๆ ดังนี้ $h,k : 1 \leq h \leq k \leq n$ และ $r(x') = r(x) - \delta^{(h,k)}$ และ $r(y') = r(y) + \delta^{(h,k)}$

ซึ่งการค้นหาจะเริ่มต้นจาก การกำหนดเงื่อนไขของขอบเขตการค้นหา ต่ำสุดและขอบเขตสูงสุดก่อน โดยค่า h เป็นค่าที่กำหนดขอบเขตล่าง และ k เป็นค่าที่กำหนดขอบเขตการค้นหาบน จากนั้น ขั้นตอนที่สอง ทำการปรับค่าความเหมาะสมของ h ซึ่งกำหนดค่าเริ่มต้นจาก $\delta^{(h,k)} = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำการค้นหาคำตอบอยู่ในเงื่อนไข และที่เป็นไปได้ จากสูตร (2.56) ซึ่งในการค้นหาแต่ละครั้ง ต้องผ่านการคัดเลือกคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนี้

$$-r(y) \le \delta^{(h,k)} \le r(x) \tag{2.58}$$

ซึ่งจากการกำหนดขอบเขต การค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ จากสูตรดังที่ได้กล่าวไปแล้ว สำหรับทำการคัดเลือก และการไม่ยอมรับคำตอบที่ไม่ได้ อยู่ในขอบเขตของเงื่อนไข การค้นหา ต้องค้นหา จนถึงรอบสุดท้าย หรือ *n-1* รอบ และมีวิธีอื่น ในการเลือกพื้นที่ค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ จากการไขว้สลับ ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขการค้นหา ดังนี้

$$P_F = \frac{1}{(n-1)\cdot P_r\left(\Xi\right)_{h,k}\left(x,y\right) \subseteq P} \tag{2.59}$$

จากสูตรดังกล่าว สามารถพบคำตอบในการค้นหาอย่างน้อย หนึ่งคำตอบซึ่งค่า P_F เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบข้อมูล ในการค้นหาก่อนล่วงหน้า และนับจำนวนครั้งเมื่อ พบคำตอบที่เป็นไปได้ จากการค้นหาตามเป้าหมาย โดยคำตอบที่พบทั้งหมด จะกำหนดเป็น t_F และคำตอบที่ค้นหาทั้งหมด t_C แต่อย่างไรก็ตาม P_F จะสามารถประเมินได้ จากสมการนี้

$$P_r\left(\Xi_{h,k}\left(x,y\right) \subseteq P\right) = \frac{t_F}{t_C} \tag{2.60}$$

ค่า P_r เป็นค่าที่ใช้กำหนดเงื่อนไขในการปรับการลู่เข้าหาคำตอบ ซึ่งสามารถกำหนดได้ว่า จะให้ทำการลู่เข้าหาคำตอบได้เร็วเพียงใด โดยปรับแต่งค่า P_r ให้ตรงกับความเชื่อมั่น และประสิทธิภาพในการทดลองค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility solutions) โดยคำตอบที่เป็นได้ทั้งหมด จะอยู่ในรูปแบบ $\emptyset_P$ ที่มีค่าสูง ซึ่งค่า ดังกล่าว สามารถอธิบายได้เพิ่มเติม ดังนี้

$$\left|P\right| = \frac{2}{3}\left(\left|\lambda\right|+1\right) \tag{2.61}$$

ส่วนใหญ่ การยอมรับเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Highly-constrained) และการรักษาคำตอบที่เป็นไปได้เอาไว้ (Regard feasible) รวมทั้งคำตอบที่เป็นไปได้จากการไขว้สลับแบบครึ่ง (Half-feasible crossover) จะทำให้ทราบค่าการยอมรับคำตอบที่เหมาะสมจากสมการนี้

$$P_{F+H} = \frac{1}{(n-1)\cdot\left[\mathrm{P}_r\left(\Xi_{h,k}\left(x,y\right) \subseteq P\right) + P_r\left(\left|\Xi_{h,k}\left(x,y\right) \cap P\right| = 1\right)\right]} \tag{2.62}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสูตร P_{F+H} ใช้เช่นเดียวกับสูตร P_F โดยทำการประเมิน และรักษาจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้เอาไว้ในค่า t_{F+H} จากคำตอบที่เป็นไปได้ ก็จะได้โครโมโซมที่มีคำตอบจากการไขว้สลับที่เหมาะสมสูงสุดมากกว่าคำตอบอื่นๆ เพื่อทำการแทนค่าโครโมโซม ที่ไม่ดีในกลุ่มเริ่มต้น

ความเป็นไปได้ ในการกลายพันธุ์ (Feasible Mutation)

$$\psi : Z^n \times Z \times \chi \rightarrow Z^n \tag{2.63}$$

โดยกำหนดให้ $\Psi([x_1, \ldots, x_n]^T, v, k) = [x_1, \ldots, x_{k-1}\ v\ x_{k+1}, \ldots, x_n]^T$

โดยขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation) อาจจะถูกทำการเปลี่ยนอัลลีน แค่หนึ่งครั้ง หลังจากการไขว้สลับ (Crossover) สิ้นสุด ซึ่งมีรูปแบบการทำงานคล้ายกันโดยรูปแบบการกลายพันธุ์ คือ

$$x' = \psi\left(x, \varepsilon + x_k, k\right) \tag{2.64}$$

โดยกำหนดให้ $\bar{I}_{k-x_{kv}} \leq \varepsilon \leq \bar{U}_{k-x_k}$ และค่า $\varepsilon \in z$

ถ้ามีความเป็นไปได้ทั้งหมด ก็ต่อเมื่อ $i : 1 \leq i \leq m$

$$a_{i,k} = 0 \vee \left(a_{i,k} > 0 \wedge \varepsilon \leq \frac{r(x)_i}{a_{i,k}} \right) \vee \left(a_{i,k} > 0 \wedge \varepsilon \leq \frac{r(x)_i}{a_{i,k}} \right) \tag{2.65}$$

โดยพื้นฐาน ของคำตอบ จะอยู่ในเวคเตอร์ และอินเด็ก ที่เป็นส่วนประกอบ ของการกลายพันธุ์ในแต่ระรอบ และจะมีการตรวจสอบเพื่อรักษาความโครโมโซมที่ดี ด้วยค่า ε ให้อยู่ในเงื่อนไข ที่เป็นกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility solutions) โดยที่ k คือ คอลัมน์ของเมตริกซ์ A โดย $a_{j,k}$ กำหนด $r(x)_i / a_{j,k}$ ให้เป็นค่าขอบเขตล่าง และถ้าเป็นค่าบวกให้เป็นขอบเขตบน จะทำการตรวจสอบว่า ควรที่จะมีการกลายพันธุ์ (Mutation) หรือไม่ โดยพิจารณา จากค่า $x_k + \varepsilon$ โดยค่าการยอมรับเดิม เป็นค่า x_k

จากรายงานนี้ สรุปได้ว่า จากการใช้เทคนิคการพัฒนาทางสายพันธุ์ (Evolutional algorithm) ในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ในเชิงตัวเลข ทำให้ทราบว่า สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้ามีการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์และการหาขอบเขตที่เหมาะสมในการค้นหาคำตอบ เพื่อให้พบคำตอบเฉพาะถิ่น (Local) ได้รวดเร็ว และมีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งขบวนการทางเจเนติกอัลกอริทึม แสดงให้เห็นว่า สามารถสร้างความมั่นใจ ในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพ ซึ่งโครโมโซมลูกที่เป็นไปได้จะถูกพัฒนาคำตอบจากขบวนการพัฒนาทางสายพันธุ์ (Genetic algorithm) จะเห็นว่า การรายงานดังกล่าวมีสองประเด็น คือ ค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ในพื้นที่จำกัดได้ และสามารถสร้างจุดในการไขว้สลับ และกลายพันธุ์ ได้เหมาะสม ซึ่งจากรายงานนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าวิธีการไขว้สลับและกลายพันธุ์ จะส่งผลต่อการพัฒนาคำตอบให้มีความเหมาะสมสูงสุด

ในปี ค.ศ.2008 Lukasiewycz [27] ได้ศึกษาการป้องกันคำตอบที่เป็นไปได้ที่เกิดจากการไขว้สลับ (Crossover) และการกลายพันธ์ (Mutation) โดยเน้นการปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ช่วงการค้นหา ให้สามารถรักษาคำตอบที่เป็นไปได้เอาไว้ โดยความเชื่อมั่นได้จากผลการทดสอบ 6 ปัญหาจาก Test suite ที่นิยามปัญหา ในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนี้

Definition 1:

$$Minimize\ f(x) \tag{2.66}$$

$$Subject\ to\ x \in X_f \subset \{0,1\}^n \tag{2.67}$$

โดยที่ X คือ $\{0,1\}^n$ คือ ค่า Binary หรือ 0 กับ 1

$X_f\ C\ X$ คือ คำตอบที่อยู่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$Ax \leq b$ คือ เงื่อนไขในการค้นหาที่เป็นอยู่ใน Linear

และ $A \in Z^{m,n}$, $b \in Z^m$

โดยรายละเอียด ได้กล่าวถึงการค้นหาด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อย่างเดียวไม่เพียงพอ ซึ่งรายงานนี้ ได้ใช้ฟังก์ชันในการจำกัดพื้นที่การค้นหา (Penalty functions-*Pf*) เพื่อไม่ให้อยู่นอกพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibility area-*Fa*) โดยวิธีการดังกล่าว ยังไม่ยืนยันว่าจะพบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดหรือไม่ ซึ่งในรายงานนี้ ได้ใช้ Pseudo-Boolean(*PB*) ในการบอกว่า คำตอบนั้นเป็นคำตอบที่อยู่ในขอบเขตของการค้นหาหรือไม่ โดยได้บรรจุ Logic การทำงานไว้ ในส่วนของการไขว้สลับและการกลายพันธ์ ของโครโมโซมในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งทำให้การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมใน โลกแห่งความเป็นจริง (Real world) ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ในส่วนอื่นๆ ที่ได้กล่าวถึง คือ ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการรักษาคำตอบที่เป็นไปได้ และผลการทดลองจาก 6 กรณีที่ใช้ในการทดสอบปัญหา

โดยการทดสอบในครั้งนี้ ได้ใช้ตัวแปรการตรวจสอบสามเงื่อนไขเชื่อมกัน ซึ่งเรียกว่า 3 –SAT หรือ วิธีการดังกล่าวได้ระบุว่า มีความเกี่ยวข้องหรืออยู่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ ทั้ง 3 เงื่อนไขหรือไม่ ถ้าเป็นคำตอบที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขทั้งสาม ก็กำหนดค่าของคำตอบเป็น 1 แต่ถ้าไม่อยู่ในพื้นที่คำตอบทั้ง 3 ปัญหาก็ให้คำตอบเป็น 0 โดยมีสมการ การตรวจสอบ ดังนี้

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} r_i \cdot x_i \tag{2.68}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ r_i คือ ตัวเลขที่ถูกสุ่มจากตัวเลขจำนวนจริงบวกตั้งแต่ 0 ถึง 1

และกำหนดให้ n คือ จำนวนตัวแปรไบนารี (Binary variable) และ

k คือ จำนวนเงื่อนไข (Number of constraints)

การทดสอบกรณีที่ 1 (T1) การสุ่มตัวเลข โดยให้ค่า n=100 และ k=400โดย $\frac{k}{n} \approx 4.3$ ซึ่งกรณีการทดสอบถ้าค่ามีความเข้าใกล้ตัวเลขดังกล่าว ก็เพียงพอสำหรับการเลือกกรณีการทดสอบนี้

การทดสอบกรณีที่ 2 (T2) การสุ่มตัวเลขโดยให้ค่า n=150 และ k=600 ทำงานร่วมกับกรณีที่ 1 แต่มีการปรับเปลี่ยนขนาดของตัวอย่างการทดสอบ

การทดสอบกรณีที่ 3 (T3) เป็นการทดสอบจากปัญหาที่เกิดขึ้นจริง หรือ real world โดยให้ n=1000 และ k=4000 ซึ่งทำการเลือกตัวแปรจากเหตุผลต่างๆ ดังนี้ ซึ่งตัวแปร x_i ถูกเลือกจากการสุ่ม (random) แต่ตัวแปร x_j และ x_k จะถูกเลือกโดยวิธีการ Geometric Distribution โดยการกลับค่า (inverse) ฟังก์ชัน $F^{-1}(u) = [\ln(1-U)/\ln(1-p)]$ โดย u คือ ตัวเลขสุ่มระหว่าง 0 ถึง 1 ในส่วนของ $j = (i + F^{-1}(u))/n + 1$ และ $k=(j + F^{-1}(u))/n + 1$ โดยค่า p จะลดลง และมีคำนวณระยะห่าง จาก $\frac{1}{p}$ และในกรณีนี้ ให้กำหนดค่า p เท่ากับค่า 0.1 และทำการค้นหาในวิธีค้นหาแบบ hierarchical ไปเรื่อยๆ จนพบเงื่อนไขการหยุด

การทดสอบกรณีที่ 4 (T4) เป็นการทดสอบจากปัญหาที่เกิดขึ้นจริง หรือ real world โดยให้ n=1000 และ k=4000 วิธีการเหมือนกรณีที่ 3 แต่การเปลี่ยนค่า b ใหม่ โดยการสุ่มและทำการแบ่งช่วง โดยใช้สูตร $\frac{k-b}{a}$ ซึ่งใช้ในการสุ่มเลือกเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบว่า จะใช้กรณีใดโดยค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่ 4 นี้ กำหนดให้ a = 10 และ b=100 ดังนั้น ชุดคำตอบเริ่มต้นจำนวน 10 คำตอบจะถูกค้นหาจากกลุ่มของคำตอบที่มีสมาชิกจำนวน 100 คำตอบ

การทดสอบกรณีที่ 5 (T5) กรณีที่ 5 ถูกสร้างให้มีทิศทางการทำงานเดียวกับการทดสอบที่ 4 โดยกำหนดให้ n=2000 , k=8100 ,a=20 และ b=100 ซึ่งวิธีการทดสอบนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงขนาดการทดลองค้นหาปัญหา

การทดสอบกรณีที่ 6 (T6) ในขณะเดียวกัน กรณีที่ 6 ถูกสร้างให้มีทิศทางการทำงานเดียวกับการทดสอบที่ 3 โดยกำหนดให้ n=3000 , k=9000 , และ $\frac{k}{n}$= 3 ซึ่งกรณีนี้ ความเป็นไปได้ในการค้นหาคำตอบจะมีอัตราการค้นหาสูง แต่จะมีช่วงการค้นหามีความเหมาะสมต่ำ

จากกรณีที่ 1 ถึง 6 ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมนั้น จะมีการทดสอบ เพื่อให้มีพบคำตอบที่หลากหลาย และมีความน่าเชื่อถือในการค้นหาที่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสร้าง Pseudo-Boolean (*PB*) solver เพื่อใช้ในการรักษาคำตอบที่เป็นไปได้ ให้อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการ รวมทั้ง การค้นหาคำตอบในส่วนของไขว้สลับและกลายพันธ์ ที่ไม่ทำให้คำตอบที่เป็นไปได้สูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเสียหาย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สร้าง *PB* ขึ้นมาใช้งานในลักษณะต่างๆ ดังนี้

อัลกอริทึม PB Solver

โดยอัลกอริทึม DPLL เป็นการสร้างโดยใช้เทคนิค backtracking เพื่อตรวจสอบว่า คำตอบดังกล่าว มีอยู่ในเงื่อนไขการค้นหาหรือไม่ ถ้าอยู่ ก็เลือก และถ้าไม่อยู่ก็ไม่ถูกเลือก โดยมีรายละเอียดใน Algorithm 1 DPLL ดังนี้

อัลกอริทึม DPLL เป็นการค้นหาเป็นคำตอบที่ใช่ หรือไม่ใช่ ตามเงื่อนไขของการค้นหาคำตอบ จากฟังก์ชัน branch(ρ, σ) โดยเรียกเทคนิคนี้ว่า branching strategy ซึ่งประกอบด้วย 2 คำตอบที่เป็นไปได้ คือ 0 และ 1 เท่านั้น ซึ่ง $\rho \in R^n$ และ $\sigma \in \{0,1\}^n$ ถ้าเงื่อนไข ดังข้อ 4 แล้วไม่เป็นความจริง การกำหนดจำถูกย้อนกลับ (Reverted) การค้นหาทันที

Algorithm 1 DPLL backtracking algorithm: solve

Require: $\rho \in R^n, \sigma \in \{0,1\}^n$

Ensure: $X \in X^f$

1: While true do
2: branch (ρ,σ)
3: if *CONFLICT* then
4: backtrack()
5: else if *SATISFIED* then
6: return *x*
7: end if
8: end while

อัลกอริทึม feasibility-preserving Operator จากการค้นหาคำตอบด้วย PB solver จะพบคำตอบ $X \in X^f$ โดยถูกไกด์ การค้นหาด้วย branch (ρ, σ) ซึ่งใช้อัลกอริทึมดังกล่าว ในการตรวจสอบคำตอบที่เป็นไปได้ในชุดเริ่มต้น ที่มีประสิทธิภาพมาก และในอัลกอริทึมที่ 2 นี้ คือ การรักษาคำตอบที่เป็นไปได้ ในขั้นตอนของการไขว้สลับและการกลายพันธุ์ จากโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ ซึ่งเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasibly solution) อยู่แล้ว ซึ่งมีการกำหนดในการสร้างหรือพัฒนาโครโมโซมลูกที่เกิดขึ้นมาใหม่ด้วยคุณสมบัติพ่อกับแม่ที่ถูกคัดเลือกเข้ามาในขบวนการเจเนติก ซึ่งมีรูปแบบของอัลกอริทึม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Algorithm 2 Feasibility-preserving crossover and mutation operator

Require:x' , x'' $\in X^f$; C $\subseteq$ {1,…,n}; r $\in$ R [0,1] (mutation rate)

Ensure: X $\in X^f$

1: for i $\in$ {1,…..,n} do

2: if i $\in$ C then

3: $\sigma_i = X'_i$

4: else

5: $\sigma_i = X''_i$

6: End if

7: ρ_i = rand(0,1)

8: if rand(0,1) $<$ r then

9: $\rho_i = \rho_{I+1}$

10: $\sigma_i = \sigma_i$

11: end if

12: end if

13: x = solve(ρ, σ)

14: return x

อัลกอริทึมที่สอง ต้องการให้คำตอบอยู่ใน x' , x'' $\in X^f$ และเลือกคำตอบที่เป็นไปได้จาก C โดย $\subseteq$ {1,…,n} ซึ่งค่าคำตอบที่เหมาะสมใหม่ จะได้จากข้อมูลเดิม ที่มีการสร้างคำตอบจาก branch(ρ, σ) ซึ่งค่า *r* ที่ถูกสุ่มมา จะเลือกว่ากลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้จะเป็นค่าใด โดยทำการเลือกเงื่อนไขดังกล่าว เพื่อรักษาคำตอบที่เป็นไปได้ ให้อยู่ในกลุ่มของโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ ซึ่งความหลากหลายของคำตอบ (Adaption diversity $div(x,\sigma) = \sum_{i=1}^{n} \frac{|x_i - \sigma_i|}{n}$) โดยตัวแปร σ เป็นค่าการควบคุมความหลากหลายในขอบเขต ที่ได้กำหนดไว้

$$P\left(x = solve\left(\rho,\sigma\right)\right) > P\left(\bar{x}\right) = solve\left(\rho,\sigma\right) \tag{2.69}$$

$$if\ div\left(x,\sigma\right) < div\left(\bar{x},\sigma\right) \tag{2.70}$$

สุ่มค่า $\bar{x},\sigma$ เพื่อค้นหาค่าจากการคำนวณ ด้วย *solve* $(\bar{x},\sigma)$ จนพบค่า $\bar{x}$ มีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม Minimizing the Adaption Diversity

การรักษาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยการกำหนดให้มีความหลากหลายของคำตอบน้อยที่สุด จากตัวควบคุมคำตอบในชุดคำตอบ *C* โดยการควบคุมบิต ที่ส่งผลต่อค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม หลังจากการไขว้สลับ ซึ่งงานวิจัยนี้ ได้ใช้ความรู้เรื่อง *graph* ในการตรวจสอบคำตอบจากเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น โดยลดความหลากหลายของคำตอบลง โดยการกำหนดจุดในการสลับแค่หนึ่งจุดเท่านั้น

***Definition* 2:** *(Constraint-Graph)* โดยที่

G(V,E) เป็นกราฟที่ไม่ใช่เส้นตรงโดยใช้สูตรการสร้างจากสมการ $Ax \leq b$ โดยเป็นชุดคำตอบซึ่งมีค่าเป็น $w: V \times V \rightarrow R$ โดยเป็นการให้น้ำหนักในแต่ละคำตอบ ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้ และทำการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้และทำการบันทึกไว้

Definition 3:

Cut G(V,E) กำหนดให้เป็นกราฟ โดยทำการแยกคำตอบออกเป็น *2* ชุด ชุด *C* และ $\bar{C}$ โดยให้แต่ละจุดแทนค่าด้วย $e=(u,v) \in E$ โดยที่ $u \in E$ และ $v \in C$ น้ำหนักในการตัดได้จากผลรวมของน้ำหนักในแต่ละจุด โดยที่ *C* ถูกเลือกจากอัลกอริทึม *2* ซึ่งการตัดจุดที่มีค่าเล็กที่มีแนวโน้มจะมีปัญหากับเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ดังนั้นจุดเล็กจึงเป็นที่มาของคำว่า *minimize the adaption diversity*

Min-Cut algorithm เป็นการหาจุดที่เล็ก และก็ตัดทิ้ง อย่างไรก็ตามเหตุผลในการตัดทิ้งต้องมีการพิจารณาอย่างเพียงพอ ซึ่งตัวอย่างของการตัดโดยใช้อัลกอริทึม *3* มีจุดประสงค์ ในการตัดจนถึงตำแหน่งที่ *n-1* หรือ จุดสุดท้ายของกราฟ

Algorithm Vertex ordering heuristic

Require: G(V<E),w

Ensure: P is an ordered set

1: while P $\neq$ V do

2: Select $X_i \in V \backslash P$ with $\sum_{x_j \in P} w(x_i, x_j) = \max\{\sum_{xk} \in P W(x_i, X_k) | X_k \notin P\}$

3: P= P U $\{x_i\}$

4: End while

5: return P

ให้เงื่อนไขกราฟดังนี้ *G(V,E)* โดยแสดงน้ำหนักด้วย w โดยทำการตรวจสอบจนกว่า $P = V$ แล้วจึงหยุด และแสดงค่า *P* สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดประสิทธิภาพความซับซ้อนของอัลกอริทึมนี้ ใช้ Big O โดยมีรูปแบบ คือ O(|E| +|V|log|V|) โดยให้ |V| = n และ ค่าสูงสุดของ |E| คือ n^2 ซึ่งผลการรวมระยะเวลาในการคำนวณในกรณี worst-case ทั้งหมด คือ $O(n^2)$ ซึ่งทำการวัดในแต่ละปัญหา โดยเป็นต้นทุนในการแก้ไขปัญหาการออฟติไมเซชั่น

BCP Algorithm ซึ่งใช้ ขั้นตอนเริ่ม Initial เป็นอัลกิริทึมในการคัดกรองคำตอบ โดยใช้การตรวจสอบ หรือเฝ้าดู ในการค้นหาคำตอบในแต่ละรอบ การค้นหา (Watch-literal) ซึ่งถ้าคำตอบที่เป็นไปได้ ในการค้นหาปรากฏก็จะแสดงค่า True หรือ 1 ถ้าไม่ใช้คำตอบที่อยู่ในเงื่อนไขหรือขอบเขตการค้น ก็จะแสดงค่าคำตอบนั้นเป็น False หรือ 0 ซึ่งมีรูปแบบการกำหนดเงื่อนไขการเฝ้าดูดังนี้

$$S = \sum_{l_i \neq false} a_i - k \tag{2.71}$$

โดยที่ k คือ เงื่อนไขในการค้นหาคำตอบ และ s คือ ค่าที่ต้องการค้นหา (Slack value) เช่น สมมติให้ s = 3 และต้องการหาค่า x_2 และ x_3 ซึ่งแสดงตัวอย่าง ดังนี้

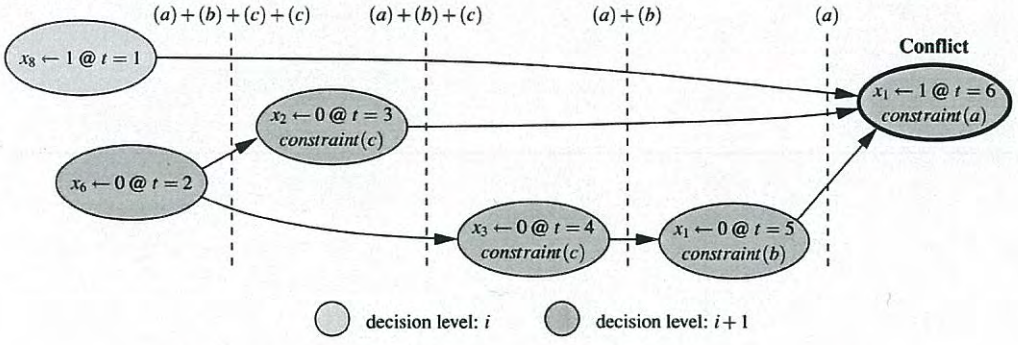
$$6x_1 + 5x_2 + 4x_3 + 2x_4 + x_5 \geq 9 \wedge x_1 = 0, \quad x_2 = 1 \wedge x_3 = 0$$

จากเงื่อนไขการค้นหา ถ้ากรณีคำตอบเป็นบวก หรือ True เครื่องหมายรูปแบบในสมการจะแสดงคำตอบเป็น ดังนี้

$$\sum_{i \in L_w} a_i = s_w \geq k \tag{2.72}$$

โดยกำหนดให้ค่า S_W คือ ผลบวกของตัวเลขที่ใช้ในขบวนการเฝ้าดูว่าคำตอบที่ค้นพบนั้นเป็นจริงหรือไม่ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.18 *Implication graph for conflict-based leaning example*

Algorithm BCP triggered by watched literal l_t = false

L_w : Set of watched literals of constraint

L_u: set of non-watched, non-false literals of constraint

$\{ a_i \}$: set of literal coefficients in L_w and L_u

1: $L_w \leftarrow L_u \{l_t\}$

2: $S_w \leftarrow S_w - a_t$

3: $a_{max} \leftarrow \max\{a_i \mid l_i \in L_w \cup L_u \wedge l_i \neq \text{true}\}$

4: while ($S_w + k + a_{max} \wedge L_u \neq \emptyset$) // fill watch set

5: $a_s \leftarrow \max\{a_i \mid l_i \in L_u\}$

6: $S_w \leftarrow S_u + a_s$

7: $L_w \leftarrow L_w \cup \{l_s\}$

8: $L_u \leftarrow L_u \setminus \{l_s\}$

9: if ($S_w < k$)

10: return *CONFLICT*

11:while ($S_w < k + a_{max}$)

12: Imply (l_{max})

13: $a_{max} \leftarrow \max\{a_i \mid l_i \in L_w \wedge l_i \neq \text{true}\}$

14: return *NO_CONFLICT*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่ายอมรับ (Threshold) ที่ใช้ในการตรวจสอบคำตอบ คือ $k + a_{max}$ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ ขึ้นอยู่กับค่าการยอมรับนั้นๆ และแสดงการวิเคราะห์ความขัดแย้งของข้อมูล ดังนี้

A. General Conflict-Based Learning การเรียนรู้จะถูกพิจารณาเป็นกลุ่มซึ่งมีการปรับปรุงการเรียนรู้ดังกล่าวเรียกว่า CNF-based SAT ซึ่งเป็นการช่วยเหลือข้อมูลเกี่ยวกับ การค้นหาแบบเรียงลำดับ ซึ่งเป็นการค้นหาแบบเดิม เพื่อให้ทราบพื้นที่การค้นหาใหม่ว่าอยู่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขการค้นหาว่าอยู่ในส่วนใด และ GRASP เป็นเครื่องมือในการพิจารณาพื้นที่การคัดคำตอบที่ไม่เหมาะสมทิ้งไป โดยคำตอบที่ต้องการค้นหาต้องเป็นค่า unique implication point (UIP) และมีค่าเป็นจริง ตามเงื่อนไขของการค้นหา ด้วย CNF-Based SAT โดยมีอัลกอริทึมการค้นหา ดังนี้

Algorithm 3 CONFLICTANALYSIS for constraint C_{conf}

1: C ← REDUCTIONPRE (C_{conf})

2: repeat

3: x ←(earliest/lastest) conflicting assignment in C

4: C' ← Constrain with implied x

5: C' ←Reproduct(C')

6: C ←CUTTINGPLANERESOLVE(C,C',x)

7: until (Reduction Post© exhibits property(2))

8: BACKTRACK to earliest possible implication time

9: BPC(C)

ตัวอย่างนี้ เป็นการใช้เงื่อนไขที่เป็นลักษณะ Pseudo-Boolean สำหรับคัดคำตอบที่ไม่เกี่ยวข้องกับ CNF ทิ้ง แต่อาจจะมีคำตอบที่เป็นไปได้ ที่ไม่ได้ถูกเลือกจากการค้นหาด้วยวิธี ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น เงื่อนไขในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ และคัดคำตอบที่ไม่อยู่ในเงื่อนไขทิ้ง ซึ่งทำการแปลงค่าโดยการค้นหาคำตอบ ต้องมีการแปลงสมการ ดังกล่าว ให้อยู่ในรูปแบบของ CNF ก่อน ซึ่งมีรูปแบบหลังการแปลงโดยเริ่มตัดพื้นที่ไม่เกี่ยวข้องโดยรวมสมการ (a) และ (b) มีเงื่อนไข คือ(b) มีพื้นที่มากกว่า (a) ซึ่งเหตุผลดังกล่าว อาจเป็นจุดอ่อน ในการค้นหาคำตอบในพื้นที่คำตอบที่ทับซ้อน สรุปขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1) ศึกษาเงื่อนไขที่ใช้ในการค้นหาจากความขัดแย้งของกลุ่มคำตอบที่จะเกิดขึ้น

2) หลังจากขบวนการ backtracking แล้วบางครั้งอาจจะมีการสร้างหลายๆ เงื่อนไขเพื่อให้สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึมที่ 3 ทำหน้าที่ตรวจสอบคำตอบที่เป็นไปได้ ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ (Conflict-analysis procedure) โดยคุณสมบัติทั้งสองข้อ อาจมีการทำวนซ้ำหลายๆ ครั้ง จนกว่าจะพบคำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติข้อที่สอง และคุณสมบัติข้อที่หนึ่ง คือ การตรวจสอบปรับปรุงลดรูปด้วยเงื่อนไขซึ่งใช้ Operation ดังนี้ REDUCTION IN, REDUCTION PRE และ REDUCTION POST โดยเงื่อนไขการลดรูปแตกต่างกัน ตามความเหมาะสม โดยฟังก์ชันการตรวจสอบ คือ CUTTINGPLANE RESOLVE สำหรับค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยเทคนิคการ Guiding the conflict analysis ในกรณีที่ค้นแล้วไม่ตรงกับคำตอบ (False) ก็ให้เลือกเงื่อนไขที่ 3 ซึ่งมีการเรียนรู้ตามเงื่อนไข Maintaining logical consistency การค้นหาแบบ Backtrack บรรทัดที่ 8 ค้นหาความเป็นไปได้ของคำตอบที่ต้องการ ซึ่งสามารถยกตัวอย่างในการใช้เงื่อนไขในการตัดสินใจค้นหาอย่างไรก็ตาม ลำดับแรก ยังไม่ต้องระบุค่าตัวแปรเดิมแล้วค่อยเปลี่ยนไปจนกว่าจะ พบว่าเงื่อนไขนั้น สามารถทำให้พบคำตอบที่พึงพอใจได้

B. CNF learning ทำในขั้นตอน REDUCTION PRE และ REDUCTION IN แต่จะต้องมีการเปลี่ยนให้อยู่ในรูป CNF CLAUSE ก่อน จากนั้น ทำการพิจารณาการลดตัวแปร ที่ทำให้เงื่อนไขในการค้นหามีจุดอ่อน คือ คำตอบที่ดีบางคำตอบไม่ถูกเลือกให้อยู่ในขอบเขตเงื่อนไขที่ใช้ในการค้นหาเทคนิคของวิธีการ CNF คือ ทำให้เกิดประสิทธิภาพโดยการแก้ปัญหาในการลดตัวแปร ค้นหาซึ่งลดปัญหาการค้นหาแบบ drawback แบบเดิมที่มีจุดอ่อน และจุดเด่นของการค้นหาแบบนี้คือช่วยลดการใช้พื้นที่ของหน่วยความจำในการประมวลผล และสามารถนำไปใช้เป็นเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ในขั้นตอน LPB ต่อไป

C. LPB Leaning ในขั้นตอนนี้ไม่มีการใช้ REDUCTION PRE เนื่องจากได้กระทำในขบวนการก่อนหน้านี้แล้ว โดย REDUCTIONIN จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบ และบันทึกเงื่อนไขไว้แล้ว ซึ่งมีการใช้เงื่อนไข C และ C' ในการตรวจสอบคำตอบที่เป็นได้ จุดประสงค์ คือลดการทำงานแบบดั้งเดิม และเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบรูปแบบใหม่ที่ดี ซึ่งวิธีการ LPB จะทำการตรวจสอบตัวแปร Slack จากการพิจารณาเบื้องต้น จะลด t=4 ด้วย 0 ก่อน และจากนั้นนำไปแทนค่าใน t=2 และปรับเครื่องหมายให้อยู่ในเครื่องหมายบวก (+) ก่อนที่จะนำไปใช้งานเบื่องต้น ต้องมีการตรวจสอบว่ามีตัวแปรตัวใดขาดหายไป เนื่องจากมีผลต่อคำตอบที่ไม่ได้ถูกค้นพบได้ ซึ่งสามารถยกตัวอย่างได้จุดประสงค์ของวิธีนี้ คือเป็นการใช้เงื่อนไขตรวจสอบโดยสุดท้ายตัวแปร slack ต้องมีค่าเป็นบวก (+) หมายความว่าทุกเงื่อนไขที่ใช้ในการตรวจสอบนั้น จะต้องสามารถตรวจสอบคำตอบได้อย่างไม่มีปัญหา หรือติดลบ (-) แต่วิธีการดังกล่าว ก็ยังพบปัญหา เพราะเงื่อนไขใหม่ที่จะนำมาใช้งานนั้น ต้องไม่ขัดแย้งกับกลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้เดิม ซึ่งสรุปขั้นตอน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 แยกการพิจารณา ทีละสมการ ด้วยคุณสมบัติข้อแรกระหว่าง C และ C' ด้วยฟังก์ชัน REPRODUCTION IN ซึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันจากสมการ C และ C' ในแต่ละรอบ

ขั้นตอนที่ 2 ค่า λ_s ที่ใช้ในการควบคุมเงื่อนไขการค้นหาตอบจะหยุดก็ต่อเมื่อพบคำตอบที่เป็นไปได้ในจำนวนที่เพียงพอ และจากนั้นจึงหยุดการประมวลผล และแสดงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

D. Other Possible Reduction ใช้รักษา Chromosome เทคนิคนี้ คือ เป็นการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยเงื่อนไขโดยการลดค่าความผิดพลาด (Error) ซึ่งส่วนใหญ่ในขั้นตอน LBP จะทำการกรองข้อมูล เพื่อตรวจสอบคำตอบที่ดีที่สุด (Global Solution) ในขั้นตอนสุดท้าย

การปรับปรุงประสิทธิภาพ อัลกอริทึม (Optimization) เป็นวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบซึ่งได้นำมาใช้ปรับปรุงอัลกอริทึมในการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Pseudo-Boolean objective) $\sum a_i l_i \rightarrow max$ ซึ่งต้องมีการปรับปรุงวัตถุประสงค์ในการค้นหาใหม่ดังนี้ $\sum a_i l_i \geq$ k การค้นหาตัวแปรตัดสินใจ คือ k โดยค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ k ตัวสุดท้ายซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการลดขอบเขตของปัญหาลงเรื่อยๆ (Monotonic decreasing) จนพบคำตอบที่เป็นไปได้ เช่น ในขั้นตอนแรกมีการกำหนด $k = 0$ ในการค้นหาคำตอบ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยน k ให้เป็นค่าใหม่ (k') และเมื่อเปลี่ยนเรียบร้อยแล้วหลังจากนั้นทำการค้นหาใหม่อีกครั้ง ถ้าพบคำตอบที่เป็นไปได้สุดท้าย จะถือว่าคำตอบนั้นเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum solution) ถ้า $\sum a_i l_i$ คือค่า k มีค่ามากว่า 0 ในการค้นหารอบถัดไป ($k'+1$) เป็นต้น

ซึ่งการค้นหาดังกล่าวเป็นการใช้ค้นหาแบบต่อเนื่อง จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการค้นหาคำตอบเพิ่มเติม แต่วิธีการดังกล่าวอาจพบข้อผิดพลาด และไม่ยืนยันประสิทธิภาพได้ร้อยเปอร์เซนต์ แต่ก็สามารถใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการควบคุมการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้และเหมาะสมที่สุด

$$\sum a_i l_i \rightarrow \max \tag{2.73}$$

โดยเปลี่ยนสมการดังกล่าว ให้เป็น รูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ความเหมาะสมน้อยที่สุด (Minimization) ที่มีหนึ่งตัวแปร ดังนี้

$$Y = \in Z + y \rightarrow \min \tag{2.74}$$

$$\sum a_i l_i + y \geq \sum a_i \tag{2.75}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการดังกล่าว มีวัตถุประสงค์ในการหาค่า y ที่คาดหวัง (Expected) ซึ่งใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบแบบง่าย โดยค้นหาไปเรื่อยๆ และนับจำนวนรอบ เพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ และมีความเหมาะสม ซึ่งการค้นหาดังกล่าว จะเป็นการตรวจสอบว่าค้นหาพบหรือไม่ โดยการตรวจสอบคำตอบที่ค้นหาแบบ Binary เป็นต้น

อัลกอริทึม บีซีพี ออฟติไมเซชั่น (BCP Optimization)

Algorithm 5 CONFLICTANALYSIS' for constraint C_{conf}

```
1: C ←REDUCTIONPRE(C_conf)
2: repeat
3:     repeat
4:         FIND earliest conflicting assignment x in C
5:         C' ← Constrain with implied x
6:         C' ←REPRODUCTION(C')
7:         if numerical overflow is possible
8:             C ← CARDINALITY REDUCTION(C)
9:             C ←CUTTINGPLANERESOLVE(C,C',x)
10:        until (C seems to exhibits property(ii))
11:        C ← REDUCTIONPOST(C)
12:    until (C exhibits property(ii))
13: BACKTRACK to earliest possible implication time
14: BCP(C)
```

ส่วนใหญ่ การค้นหาดังกล่าว เรียกว่า Breadth-First โดยใช้ LPB เป็นเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม และเป็นไปได้ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการตรวจสอบการทำงานของอัลกอริทึม ในการทดลองนี้ ได้ใช้ฟังก์ชัน BCP และ LPB ร่วมกันค้นหาคำตอบที่เป็นเหมาะสม และเป็นไปได้ โดยทำการตรวจสอบประสิทธิภาพภายหลังการลด REDUCTIONPOST และทำการนับคำตอบที่ค้นหาตามเงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งการใช้เงื่อนไขในการค้นดังกล่าว จะสามารถรักษาคำตอบที่เป็นไปได้ อีกทั้งการทดลองดังกล่าวได้ใช้ OLS ในการตรวจสอบคำตอบ และ CARD ใช้ในการค้นหาคำตอบเนื่องจาก LPB เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ โดยตรวจสอบในลักษณะ CNF เงื่อนไขการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรายงานวิจัยที่ได้ศึกษามาข้างต้น สามารถใช้เป็นแนวทางในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ดี และแก้ไขปัญหาความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ โดยการใช้เทคนิคการกำหนดเงื่อนไขการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ด้วยฐานความรู้ในเรื่องนั้นๆ อีกทั้งกำหนดขอบเขตในการค้นหาเพื่อไม่ให้ พบคำตอบที่เหมาะสมอยู่นอกพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ ซึ่งจากรายงานดังที่ได้กล่าวไปเบื้องต้น สามารถได้แก้ไขปัญหาความเร็วของของอัลกอริทึม ด้วย pseudo-Boolean constrain โดยการรวมหลายๆ แนวคิดในการแก้ไขปัญหา เช่น การตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละเงื่อนไขการค้นหาว่า อยู่ในขอบเขตที่กำหนดเงื่อนไขไว้หรือไม่ ด้วยเทคนิค SAT เพื่อใช้ในการลดขอบเขตของการค้นหาคำตอบ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นศักยภาพในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธี EDA หรือการใช้เงื่อนไข ตรวจสอบ หรือเรียกว่า pseudo-boolean ซึ่งทำการตรวจสอบทีละเงื่อนไขในแต่ละปัญหา แต่การค้นหา ดังกล่าวยังใช้เวลาค้นหาค่อนข้างนาน ซึ่งทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหา ฉะนั้น ต้องมีการเรียนรู้เพิ่มเกี่ยวกับการลบเงื่อนไขที่มากเกินไปออก เพื่อให้แบบจำลองทำงานได้เร็วขึ้น

จากการศึกษา และทดลองที่ผ่านมา ในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิทยานิพนธ์ เล่มนี้ จึงได้เสนอ การปรับปรุงขั้นตอนการการใช้ฐานรู้ การจัดการปุ๋ยและน้ำ จาก กรมการข้าวม, Yoshida & Datta [6] ที่ไม่มีการพิจารณา เงื่อนไขการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ในรายงานการวิจัยอื่นๆ ที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 ดังนั้น เพื่อให้สามารถพบคำตอบที่เหมาะสมในการจัดการปุ๋ยและน้ำทีเหมาะสมในนาข้าว ได้ใกล้เคียงผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร และสามารถค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น การศึกษาครั้งสุดท้ายนี้ ได้ทำการศึกษา และปรับปรุงอัลกอริทึมใหม่ เพื่อให้การค้นหาคำตอบอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสม อีกทั้ง รักษาคำตอบที่เป็นไปได้ให้อยู่ในรูปแบบของกฎฐานความรู้ ในขบวนการค้นหา รูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม จากขบวนการค้นหาด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม จากขบวนการค้นหา และปรับปรุงโครโมโซม ด้วยแบบจำลอง ที่ได้พัฒนาขึ้น จากรายงานของ Pannavich & Worapoj [25] เพื่อให้ มีประสิทธิภาพการค้นหาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีเป้าหมายการค้นหา คือ รูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่มีต้นทุนการจัดการต่ำ และกำไรเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้ จึงได้ศึกษาวิเคราะห์ปัญหา และค้นหาแนวทางการแก้ไข ปรับปรุงปัญหาดังกล่าวให้ดีขึ้น ซึ่งจะแสดงรายละเอียด ในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อัลกอริทึมใหม่เพื่อปรับปรุงและรักษาโครโมโซมที่ดีด้วยเงื่อนไขฐานความรู้ การจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว เพื่อลดต้นทุนการผลิต

ในบทที่ 3 นี้ จะกล่าวถึง การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ขั้นตอนค้นหาคำตอบที่เหมาะสม รวมทั้ง กระบวนการแก้ไขและการปรับปรุงโครโมโซม ในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อแก้ปัญหาโครโมโซมลูกที่ไม่เป็นไปตามกฎความรู้ เพื่อรักษารูปแบบการจัดการที่เหมาะสม และลดระยะเวลาการค้นหา โดยการวัดประสิทธิภาพได้ใช้ค่าเฉลี่ย กำไร ต้นทุน รุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม และเวลาในการค้นหาคำตอบ ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้นำเสนอ ในวิทยานิพนธ์นี้ โดยใช้แนวคิดของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับ แนวคิดพื้นฐานการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร เพื่อจะได้พบรูปแบบการจัดการที่มีต้นทุนเหมาะสมต่ำที่สุด ในบทนี้ จึงได้ได้ศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ สำหรับค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ย และรูปแบบการจัดการน้ำที่เหมาะสมและอยู่ในฐานกฎความรู้ จากนั้น ทดลองวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง จากที่ได้แก้ไขปัญหาโครโมโซมลูกที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ให้อยู่ในกฎ และมีการปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่ เพื่อให้มีการพิจารณารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมมากกว่าวิธีการค้นหาแบบดั้งเดิมมากขึ้น อีกทั้ง ได้ทำการทดลองแยกเป็นกรณีการค้นหาปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้พัฒนาและปรับปรุงใหม่ โดยทดลองค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยหรือน้ำที่เหมาะสม ก่อนและหลังการปรับปรุงโครโมโซมลูกด้วยฐานความรู้ในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทุม ที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยได้แสดงรายละเอียด ดังนี้

3.1 ปัญหา และแนวคิดการปรับปรุง

ปัญหาจากการทดลองของ Pannavich & Worapoj [25] มีข้อเสีย คือ รูปแบบการใส่ปุ๋ยไม่ใกล้เคียงกับ รูปแบบการจัดการปุ๋ยของกรมการข้าว และไม่ใกล้เคียงกับรูปแบบการใส่ปุ๋ยของ Yoshida [5] & Datta [6] อีกทั้ง เวลาที่ใช้ในการค้นหานาน และรายงานของ Pannavich & Worapoj [26] ได้ทำการปรับปรุงโครโมโซมที่ไม่สอดคล้องกับกฎ ให้มีรูปแบบที่สอดคล้องกับกฎฐานความรู้ โดยไม่ต้องกลับไปค้นหาโครโมโซมชุดใหม่ ซึ่งจะช่วย GA ทำงานเร็วขึ้น

โดยการทดลองครั้งสุดท้าย จะพิจารณาปัจจัย เรื่องการจัดการน้ำ เพิ่มจากการศึกษาของ Pannavich & Worapoj [26] ที่มีเฉพาะการค้นหารูปแบบโครโมโซม การจัดการปุ๋ยเพียงอย่างเดียว โดยจะใช้ฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำ กรมการข้าว (ประเทศไทย) เป็นเงื่อนไขในการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมกัน ซึ่งมีรายละเอียด การวิเคราะห์ การปรับปรุง GA และการทดสอบประสิทธิภาพด้วยการทดลอง ดังนี้

3.2 การวิเคราะห์และสร้างรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยและน้ำด้วยฐานความรู้

3.2.1 การวิเคราะห์รูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ย ด้วยฐานความรู้

3.2.1.1 แสดงรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมจากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

รูปแบบโครโมโซมจากการค้นหาในแต่ละรุ่น ของการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเงื่อนไขฐานความรู้ ของ Yoshida [5] & Datta [6] คือ ควรใส่ ตั้งแต่ วันที่ 15 - 65 วัน ความถี่ 1 -3 ครั้ง ปริมาณการใส่ต่อครั้ง 15-60 กิโลกรัมต่อครั้ง และตลอดฤดูกาลผลิต 50-180 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จากเงื่อนการค้นหาโครโมโซมการใส่ปุ๋ย พบว่า มีรูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่อยู่ในกฎฐานความรู้ และไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ ดังนั้น จึงได้มีการพิจารณาวิเคราะห์ และปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้ ซึ่งแสดงตัวอย่าง ได้ดังนี้

จาก ตารางที่ 3.1 แสดงรูปแบบโคโมโซม ที่ไม่มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 114 วัน พบว่า แบบจำลองสร้างโครโมโซมที่มีการใส่ปุ๋ยปริมาณ 0 กิโลกรัม จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นแบบโครโมโซมที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 3.1 รูปแบบโครโมโซมที่ 1 (*FP1*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 0 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	95	103	114
ปริมาณ (กก.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 114 วัน จำนวน 1 ครั้ง ปริมาณ 56 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 44 หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นแบบโครโมโซมที่ อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 รูปแบบโครโมโซมที่ 2 (*FP2*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 1 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	41	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กก.)	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.3 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 114 วัน จำนวน 2 ครั้ง ปริมาณ 45, 55 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ วันที่ 12 และ 39 หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่าเป็นแบบโครโมโซมที่ อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 3.3 รูปแบบโครโมโซมที่ 3 (*FP3*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 2 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	5	12	16	31	39	79	83	92	102	113
ปริมาณ (กก.)	0	45	0	0	55	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.4 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 114 วัน จำนวน 3 ครั้ง ปริมาณ 55, 51 และ 65 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ วันที่ 20, 44 และ 52 หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นแบบโครโมโซมที่ อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 3.4 รูปแบบโครโมโซมที่ 4 (*FP4*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 3 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	20	22	38	44	52	57	58	82	102	106
ปริมาณ (กก.)	55	0	0	51	65	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.5 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 114 วัน จำนวน 4 ครั้ง ปริมาณ 16, 77, 31 และ 51 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ วันที่ 16, 26, 31 และ 33 วัน หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 รูปแบบโครโมโซมที่ 5 (*FP5*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 4 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	16	26	31	33	39	41	83	92	102	106
ปริมาณ (กก.)	16	77	31	51	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.6 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 114 วัน จำนวน 5 ครั้ง ปริมาณ 43, 15, 29, 39 และ50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ วันที่ 11, 22, 44, 52 และ 57 หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 3.6 รูปแบบโครโมโซมที่ 6 (*FP6*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 5 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	11	22	44	52	57	70	75	77	82	87
ปริมาณ (กก.)	43	15	29	39	50	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.7 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม มีการแนะนำให้ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน (N) ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึง ข้าวมีอายุ 114 วัน จำนวน 5 ครั้ง ปริมาณ 43, 15, 29, 39 และ 50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ วันที่ 11, 22, 44, 52 และ 57 หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย

ตารางที่ 3.7 รูปแบบโครโมโซมที่ 7(*FP7*) ใส่ปุ๋ยจำนวน 6 ครั้ง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	14	26	31	35	37	49	59	69	70	82
ปริมาณ (กก.)	58	33	32	14	30	38	0	0	0	0

3.2.1.2 วิเคราะห์ความเสียหายโครโมโซมจัดการปุ๋ยด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

รายละเอียดคู่โครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ ก่อนเข้าสู่ขบวนการผสมพันธุ์ ในรุ่นใหม่ ซึ่งบางคู่มีโอกาสเกิดปัญหาคู่การผสมพันธุ์ ที่จะทำให้โครโมโซมลูก ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในนาข้าว ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่ (1,1) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง
คู่ (0,2) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง
คู่ (2,2) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง
คู่ (1,3) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง
คู่ (0,4) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 4 ครั้ง
คู่ (3,3) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง
คู่ (2,4) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 4 ครั้ง
คู่ (1,5) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 5 ครั้ง
และ คู่ (0,6) คือ คู่โครโมโซมพ่อที่มีการใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง และโครโมโซมแม่ที่มีการใส่ปุ๋ย 6 ครั้ง

ผลลัพธ์ที่เกิดจากคู่การผสมระหว่างโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ มีทั้งหมด 9 คู่ จึงได้แสดงการพิจารณาโอกาสเกิดความเสียหาย จากโครโมโซมลูกไม่อยู่ในฐานกฎความรู้ หลังจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม โดยได้แสดงรายละเอียด ตารางที่ 3.8 ดังนี้

ตารางที่ 3.8 แสดงการวิเคราะห์โครโมโซมลูกที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ จากเจเนติกอัลกอริทึม

แบบที่	ความถี่การใส่ปุ๋ยในแต่ละโครโมโซมที่ผ่านการผสมพันธุ์	รูปแบบโครโมโซมทั้งสองไม่อยู่ในเงื่อนไขการใส่ปุ๋ย	รูปแบบโครโมโซมหนึ่งรูปแบบไม่อยู่ในเงื่อนไขการใส่ปุ๋ย	รูปแบบโครโมโซมหลังขบวนการอยู่ในเงื่อนไขการใส่ปุ๋ย
1	1,1	-	+	+
2	0,2	-	-	+
3	2,2	-	+	-
4	1,3	-	+	-
5	0,4	+	-	-
6	3,3	-	+	-
7	2,4	-	-	-
8	1,5	-	-	-
9	0,6	+	-	-

หมายเหตุ: ไม่มีโอกาสเกิดความเสียหาย (+) , มีโอกาสเกิดความเสียหาย (-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตารางที่ 3.8 แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์โอกาสการผสมพันธุ์ระหว่างโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ ที่ทำให้รูปแบบของโครโมโซมลูก อยู่และไม่อยู่ในฐานกฎฐานความรู้ ซึ่งมีทั้งหมด 27 เหตุการณ์ จากเหตุการณ์ทั้งหมด สามารถพบคู่ผสมของรูปแบบโครโมโซมพ่อและแม่ ที่ผสมแล้วจะทำให้รูปแบบของโครโมโซมลูก มีรูปแบบการใส่ปุ๋ยอยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้ หรือ ไม่อยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้ที่เหมาะสมในนาข้าว จากตาราง 3.8 พบว่า โครโมโซมลูก หลังการผสมพันธุ์แล้วมีโอกาสเกิดความเสียหาย หรือไม่อยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้ที่เหมาะสมในนาข้าว จำนวน 19 เหตุการณ์ จากทั้งหมด 27 เหตุการณ์ โดยพิจารณา โอกาสที่จะเกิดความเสียหายของรูปแบบการใส่ปุ๋ยจากคู่ผสม ดังนี้

$$= \frac{19}{27} \times 100$$

$$= 70.37 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

และ แสดงการคำนวณโอกาสของรูปแบบโครโมโซมที่มีการใส่ปุ๋ยที่มีรูปแบบไม่เกิดความเสียหาย หรืออยู่ในเงื่อนไขการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม หลังจากขบวนการพัฒนาทางสายพันธุ์ จากขบวนการของเจเนติกอัลกอริทึม ดังนี้

$$= \frac{7}{27} \times 100$$

$$= 25.93 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

จากการคำนวณค่าโอกาสดังกล่าว จึงเป็นที่มาการนำเสนออัลกอริทึมใหม่สำหรับหรับการปรับปรุงโครโมโซมลูกที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ที่มีรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม หรืออยู่ในฐานกฎความรู้การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมอยู่แล้ว

ดังนั้น จากการคำนวณข้างต้น พบว่า โอกาสที่จะเกิดความเสียหายของรูปแบบโครโมโซมลูก จากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ในการค้นหารูปแบบที่เหมาะสม มากกว่า โอกาส ที่ไม่เกิดความเสียหายรูปแบบโครโมโซมลูก จากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม 44 เปอร์เซนต์ จากเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่มาของการกำหนดวัตถุประสงค์ ในการศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ เพื่อลดเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของโครโมโซมลูกที่ไม่เป็นไปตามกฎเงื่อนไขการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก ตารางที่ 3.8 สามารถนำมาสรุป โอกาสที่โครโมโซมลูกที่เกิดจากคู่ผสมแล้ว พบว่ารูปแบบโครโมโซมลูก ไม่อยู่ในฐานกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย หรือโครโมโซมมีรูปแบบเสีย ได้จัดกลุ่ม ดังตารางที่ 3.10 โดย มีรายละเอียด คือ สามารถจัดกลุ่มโครโมโซมได้ 5 กลุ่ม ตั้งแต่โครโมโซมที่มีความความถี่การใส่ปุ๋ยในนาข้าว จำนวน 0 ถึง 6 ครั้ง ซึ่งกลุ่ม ของโครโมโซมที่มีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 0 และ มากกว่าหรือเท่ากับ 4 ครั้ง จะไม่พบก่อนการไขว้สลับ เนื่องจากใช้ฐานความรู้ในการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ในการสร้างชุดโครโมโซมเริ่มต้น

แต่ถ้ากรณีที่ รูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมีความถี่การใส่ปุ๋ยในนาข้าว จำนวน 0, 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ครั้งต่อฤดูกาลผลิต จะสามารถพบได้ หลังจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งจะทำให้มีโอกาส พบรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ไม่อยู่ในเงื่อนไขของกฎฐานความรู้ จากตารางที่ 3.10 ได้สรุปเงื่อนไขการแก้ไขปัญหา เป็น 5 กรณี คือ โครโมโซมที่มีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 0 1 2 3 และ $\geq$4 ครั้งต่อหนึ่งโครโมโซม โดยให้อยู่ในกฎการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมของ Yoshida [5], Datta [6] และกรมการข้าว (ประเทศไทย)

จากการจัดกลุ่ม ที่แสดงในตารางที่ 3.10 เพื่อให้สอดคล้องกับกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยของ Yoshida [5] และ K.De Datta [6] สามารถแยก เป็นกรณีเงื่อนไขในการปรับปรุงโครโมโซมลูก ให้อยู่ในฐานกฎความรู้ที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียด ดังนี้

กรณีที่ 1 คือ ความถี่ 0 ตลอดทั้งฤดูกาลผลิต ไม่มีการใส่ปุ๋ย
กรณีที่ 2 คือ ความถี่ 1 ตลอดทั้งฤดูกาลผลิต มีการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง
กรณีที่ 3 คือ ความถี่ 2 ตลอดทั้งฤดูกาลผลิต มีการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง
กรณีที่ 4 คือ ความถี่ 3 ตลอดทั้งฤดูกาลผลิต มีการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง
กรณีที่ 5 คือ ความถี่ 4 และมากกว่า คือ ตลอดทั้งฤดูกาลผลิต มีการใส่ปุ๋ย >= 4 ครั้ง

ตารางที่ 3.9 แสดงการจัดกลุ่มรูปแบบโครโมโซมลูกหลังจากผ่านขบวนการค้นหา ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

รูปแบบความถี่การใส่ปุ๋ย	ก่อนไขว้สลับ	หลังไขว้สลับ,กลายพันธ์
0	ไม่พบ	พบ
1	พบ	พบ
2	พบ	พบ
3	พบ	พบ
$\geq$ 4	ไม่พบ	พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จากตารางที่ 3.9 จึงใช้เป็นเงื่อนไขสำหรับการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซม ให้อยู่ในฐานกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว และค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่มีความถี่ในการใส่น้อยครั้งที่เกิดจากการค้นหาด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ที่ยังมีกำไรจากการผลิตข้าวสูง ซึ่งได้ใช้เทคนิคการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซม ที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ ให้ทำการปรับเข้าหากฎ เงื่อนไขการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม แต่ถ้า เป็นรูปแบบที่อยู่ในกฎการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมอยู่แล้ว จะทำการพิจารณาการปรับโครโมโซม เพื่อค้นหาต้นทุนการใส่ปุ๋ยที่มีการจัดการต่ำ แต่ยังอยู่ในกฎฐานความรู้ ซึ่งจะใช้การปรับลดค่าในโครโมโซม ด้วยการ normalization ค่าความเหมาะสมในการใส่ปุ๋ยต่ำสุด ที่มีแนะนำจาก ทฤษฎีใน บทที่ 2 ที่ได้รายงานไปเบื้องต้น จากเหตุผลดังกล่าว รายงานนี้ คาดหวังว่าจะพบรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมมากกว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยของรายงานของ ปัณณวิชญ์ [25] ที่มีการใช้เพียงฐานความรู้ในการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าวเพียงอย่างเดียว และเหมาะสมกว่า Pannavich & Worapoj [26], Bouman [3] และ IRRI ที่ไม่มีการใช้ฐานความรู้ ในการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว

3.2.1.3 การปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยที่ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้

ตัวอย่าง กรณีที่ 1 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง และปริมาณการใส่ปุ๋ย 0 กิโลกรัม แสดงตัวอย่าง การปรับปรุงโครโมโซม ให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย ดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	41	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.1 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง

มีขั้นตอนการปรับปรุง ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขใด ถ้าอยู่ในเงื่อนไขการปรับที่ 1 ทำต่อ

ขั้นตอนที่ 2 : สุ่มค่าวันที่ในการใส่ปุ๋ยในช่วง [15-40] เช่น สุ่มได้ค่าวันที่การใส่ปุ๋ย คือ 15

ขั้นตอนที่ 3 : ปรับปรุงวันที่ในโครโมโซม ด้วยค่าตัวเลข จากขั้นตอน 2

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับค่า 50 (ปริมาณเหมาะสมต่ำสุด) ที่ตำแหน่ง วันที่ใหม่ ดังภาพที่ 3.2

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	15	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.2 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง กรณีที่ 2 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง แสดงตัวอย่างการปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย ดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	30	39	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.3 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง

มีขั้นตอนการปรับปรุง ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขใด พบว่าการปรับปรุงที่ 2 ทำต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 : ตรวจสอบตำแหน่งใส่ปุ๋ย อยู่ในช่วง วันที่ 15-65 หรือไม่ ถ้าพบว่า อยู่ในกฎ ทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 : ค่าในโครโมโซม มีปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง อยู่ในช่วงปริมาณการใส่ 15-60 กิโลกรัมต่อครั้ง หรือไม่ พบว่าอยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยต่อครั้ง ทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 : ค่าในโครโมโซม มีปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิตอยู่ในช่วง 50-100 หรือไม่ พบว่าไม่อยู่ในกฎ

ขั้นตอนที่ 5 : ทำการปรับค่าให้อยู่ในช่วงเงื่อนไขการใส่ปุ๋ย ด้วยค่าความเหมาะสมต่ำสุด คือ 50 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ซึ่งแสดงตัวอย่างดัง ภาพที่ 3.4

ขั้นตอนที่ 6 : ตรวจสอบว่าโครโมโซมดังกล่าวอยู่ในเงื่อนไข ของกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย หรือไม่ ถ้าอยู่ จบการปรับปรุง (จะพบว่าหลังจากใช้กฎฐานความรู้โครโมโซมจะอยู่ในกฎ)

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	30	39	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.4 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 1 ครั้ง

ตัวอย่าง กรณีที่ 3 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง แสดงตัวอย่างการปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย ดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	29	39	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	50	80	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.5 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขใด พบว่าการปรับปรุงที่ 3 ทำต่อไป

ตรวจสอบปริมาณและช่วงเวลาการใส่ปุ๋ย อยู่ในกฎหรือไม่ พบว่า ปริมาณและช่วงการใส่ปุ๋ย อยู่ในกฎฐานความรู้ ทำขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 : ทำการปรับปริมาณการใส่ปุ๋ยลง ให้ด้วยค่าการใส่ปุ๋ยต่ำสุดต่อฤดูกาลผลิต

ขั้นตอนที่ 3 : ตรวจสอบปริมาณ พบว่า มีปริมาณการใส่ปุ๋ยจำนวน 130 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลผลิต ซึ่งอยู่ในกฎฐานความรู้ที่เหมาะสม ทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับค่าตำแหน่ง วันที่ 20 ใหม่ ด้วยปริมาณการใส่ปุ๋ย 50 กิโลกรัมต่อวัน ผลลัพธ์ ดังต่อไปนี้

ตำแหน่ง ครั้งที่ 1 วันที่ 20 ปรับด้วยปริมาณ (50*50) / 130 = 19.23 กิโลกรัมต่อครั้ง

ตำแหน่ง ครั้งที่ 2 วันที่ 39 ปรับด้วยปริมาณ (50*80) / 130 = 30.77 กิโลกรัมต่อครั้ง

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณผลรวมของในโครโมโซม ภาพที่ 3.6 เท่ากับ 50 กิโลกรัม พบว่าอยู่ในช่วงการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อฤดูกาลผลิต คือ 50-180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ซึ่งอยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน จบการปรับปรุงโครโมโซม

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	20	39	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	20	31	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.6 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมปุ๋ยมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 2 ครั้ง

ตัวอย่าง กรณีที่ 4 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง แสดงตัวอย่างการปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย ดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	41	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	0	56	0	30	20	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.7 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขใด พบว่าเงื่อนการปรับที่ 4 โดย วันที่การใส่ปุ๋ยมีระยะห่างไม่อยู่ในกฎ แต่ปริมาณการใส่ปุ๋ยอยู่ในกฎฐานความรู้ ที่เหมาะสมในนาข้าว

ขั้นตอนที่ 2 : ตรวจสอบ ระยะห่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 4 ณ ตำแหน่งการใส่ปุ๋ย มากกว่า 15 วัน อยู่ในกฎ และตำแหน่งครั้งที่ 4 และ 5 ระยะห่างการใส่ปุ๋ยน้อยกว่า 15 วัน ไม่อยู่ในกฎ

ขั้นตอนที่ 3 : ปรับค่าตำแหน่ง วันที่ 68 ใหม่ ด้วยปริมาณการใส่ปุ๋ย 0 กิโลกรัม เนื่องจากอยู่นอกกฎฐานความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณผลรวมของในโครโมโซม ภาพที่ 3.8 เท่ากับ 106 กิโลกรัม พบว่าอยู่ในช่วงการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อฤดูกาลผลิต คือ 50-180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ ซึ่งอยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน จบการปรับปรุง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	41	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	0	56	0	30	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.8 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย 3 ครั้ง

ตัวอย่าง กรณีที่ 5 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ย เท่ากับหรือมากกว่า 4 ครั้ง แสดงตัวอย่าง การปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย ดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	30	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	15	56	0	30	20	20	0	0	0	0

ภาพที่ 3.9 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ยมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขการใด พบว่าอยู่ในเงื่อนไขการปรับที่ 5 โดยตรวจสอบปริมาณการใส่ปุ๋ย พบว่าไม่อยู่ในช่วงเหมาะสม [15-65] แต่ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิตอยู่ในช่วงเหมาะสม [50-180]

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณผลรวมของยีนในโครโมโซม เท่ากับ 141 กิโลกรัม พบว่าอยู่ในช่วงการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อฤดูกาลผลิต

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณระยะห่างของแต่ยีนในโครโมโซม พบว่า ไม่อยู่ในช่วงการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ดังนั้น ทำการปรับค่า ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 คำนวณระยะห่างการใส่ปุ๋ย ระหว่างยีน ครั้งที่ 2 เท่ากับ 44 กับยีน ที่ 1 เท่ากับ 30 ห่าง 14 วัน กำหนดค่าการปรับ เป็น 1 คือ ระยะห่างไม่เหมาะสม

3.2 คำนวณระยะห่างการใส่ปุ๋ย ระหว่างยีนที่ 4 เท่ากับ 64 กับยีนที่ 2 เท่ากับ 44 ห่าง 20 วันโดยให้ ค่าการปรับเป็น 0 คือระยะห่างเหมาะสม

3.3 คำนวณระยะห่างการใส่ปุ๋ย ระหว่างยีนที่ 5 เท่ากับ 68 กับยีนที่ 4 เท่ากับ 64 ห่าง 4 วัน โดยให้ ค่าการปรับเป็น 1 คือระยะห่างไม่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับปรุงค่ายีนในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมให้มีค่าเป็นศูนย์ (0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณผลรวมของในโครโมโซม ภาพที่ 3.10 เท่ากับ 45 กิโลกรัม พบว่า ไม่อยู่ในช่วงการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อฤดูกาลผลิต คือ 50-180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ แต่มีจำนวนครั้งการใส่ปุ๋ยอยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ดังนั้นปรับปรุงโครโมโซมต่อ

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	30	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	15	0	0	30	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.10 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ยมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 6 : พิจารณาการปรับให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมตำสุด 50 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อครั้ง

ตำแหน่ง ครั้งที่ 1 วันที่ 30 ปรับด้วยปริมาณ (50*15) / 45 = 16.60 กิโลกรัมต่อครั้ง

ตำแหน่ง ครั้งที่ 2 วันที่ 39 ปรับด้วยปริมาณ (50*30) / 45 = 33.33 กิโลกรัมต่อครั้ง

ขั้นตอนที่ 7 : คำนวณผลรวมของในโครโมโซม ภาพที่ 3.11 เท่ากับ 51 กิโลกรัม พบว่าอยู่ในช่วงการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อฤดูกาลผลิต คือ 50-180 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ และมีจำนวนครั้งการใส่ปุ๋ยอยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในนาข้าว ดังภาพที่ 3.11

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	30	44	62	64	68	72	75	94	101	108
ปริมาณ (กิโลกรัม)	17	0	0	34	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.11 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่ปุ๋ยมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ครั้ง

จากตัวอย่าง การปรับปรุงโครโมโซมที่มีรูปแบบไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ หลังจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในนาข้าว พบว่า รูปแบบโครโมโซมลูกทั้งหมดอยู่ในกฎฐานความรู้ 100 เปอร์เซนต์ หลังจากการเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงโครโมโซม จากเหตุผลดังกล่าว เจเนติกอัลกอริทึม จะกลับไปหยิบโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ใหม่ อีกครั้ง ในกรณีที่พบว่ารูปแบบของโครโมโซมลูกเสียหาย หรือไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ หลังจากผ่านขบวนการผสมพันธุ์

3.2.2 การวิเคราะห์การสร้างและปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการใส่น้ำ ด้วยฐานความรู้

3.2.2.1 แสดงเงื่อนไขรูปแบบโครโมโซมการใส่น้ำที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ใช้ฐานความรู้การใส่น้ำที่เหมาะสมในนาข้าว มาค้นหาและปรับปรุงโครโมโซมรูปแบบการใส่น้ำ ด้วยขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งพบว่า มีรูปแบบการใส่น้ำที่อยู่ในกฎฐานความรู้และไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ เช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงได้วิเคราะห์และปรับปรุงรูปแบบการใส่น้ำ ด้วยฐานความรู้การจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว โดยมีรายละเอียด ดังนี้ คือ ช่วงความเหมาะสมการใส่น้ำ อยู่ระหว่าง วันที่ 15 – 95 วัน ตลอดฤดูกาลเก็บเกี่ยว ความสูงของน้ำควรอยู่ระหว่าง 10 - 100 มิลลิเมตร ซึ่งการใส่น้ำแบบเดิม ของ Bouman [3], IRRI และกรมการข้าว (ประเทศไทย) พบว่า มีค่าใช้จ่ายการจัดการสูง ดังนั้น จึงได้ใช้ความถี่การใส่น้ำที่เหมาะสม 1-7 ครั้ง ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว และถ้าข้าวขาดน้ำมากกว่า 7 วัน ข้าวอาจจะตาย ซึ่งอนุญาติให้แบบจำลองค้นหาวันที่การใส่น้ำที่ข้าวสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ โดยความรู้จากการค้นหารูปแบบการใส่น้ำในนาข้าวของ Yoshida [5], Datta [6] และ Bouman [4] ที่ได้ทดลองหาความเหมาะสมในการจัดการน้ำในนาข้าวก่อนหน้านี้ จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้นำกฎฐานคามรู้ดังกล่าวมาเป็นเงื่อนไขการวิเคราะห์และปรับปรุงโครโมโซมการจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเช่นกัน

ได้สรุปรูปแบบโครโมโซมการจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว จากการใช้ฐานความรู้การจัดการน้ำ ดังนี้

1. วันที่ในการใส่น้ำลงในแปลงนา โดยมีช่วงใส่ที่เหมาะสมระหว่างวันที่ 15 – 95 วันหลังการปลูกข้าว แต่โครโมโซมจะต้องมีขนาด 150 ยีน ตามกฎของ *Oryza2000*
2. ความสูงของระดับน้ำในแปลงนา ณ วันที่เหมาะสมในการใส่น้ำ ตั้งแต่ 10 – 100 มิลลิเมตร (หรือ 1 ถึง 10 เซนติเมตร) และปริมาณน้ำต่อฤดูกาลผลิต 300 - 1500
3. แสดงตัวอย่างการใส่น้ำ ณ วันที่ 18, 76 และ 95 โดยมีความสูงของน้ำที่เหมาะสม อยู่ที่ระดับ 50 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์

3.2.2.2 การสร้างกลุ่มโครโมโซมรูปแบบการจัดการน้ำเริ่มต้นด้วยฐานความรู้

การสร้างรูปแบบการจัดการน้ำด้วยเงื่อนไขฐานความรู้การจัดการน้ำมี ขั้นตอนการสร้างรูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว ดังนี้

อัลกอริทึม การสร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นการใส่น้ำด้วยฐานความรู้ แสดงด้วยคำสั่ง MATLAB ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างรูปแบบการจัดการน้ำต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต โดยกำหนดให้

WVM_i = ((((((randi([-1 6],1,150) < 0 * 0) * randi([0 100]))) + randi ([0 8],1,150) - randi([1 5],1,150))) > 8) * (randi([0 100],1)) + ((((((randi([-1 6],1,150) < 0 * 0) * randi([0 100]))) /1 * 1))); (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ปรับค่าความสูงของน้ำให้อยู่ในช่วงวันที่ใส่น้ำ และระยะห่างการใส่น้ำ ที่เหมาะสม มากกว่าหรือเท่ากับ 7 วัน ภายใต้เงื่อนไขฐานความรู้

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณปริมาณน้ำ (*TWi*) ใช้ตลอดฤดูกาลผลิต อยู่ระหว่าง 300 -1500 มิลลิเมตร

$$TotalWVM_i(TW_i) = sum(WVM_i) \quad (3.4)$$

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณค่าต้นทุนปริมาณน้ำ (*TWip*) ใช้ตลอดฤดูกาลผลิต

$$TotalWVM_iPrice(TW_{ip}) = \frac{sum(WVM_i)}{100} \times 0.84 \quad (3.3)$$

ขั้นตอนที่ 5 การนับความถี่การเติมน้ำ (*FTAi*) เข้าแปลงนาตลอดฤดูกาลผลิต

$$Fertilizer\ Timing\ Apply(FTA_i) = sum(TotalWVM_i > 0) \quad (3.4)$$

ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณต้นทุนค่าบริการใส่น้ำต่อฤดูกาลผลิตต่อเฮกตาร์

$$Fertilizer\ Timing\ Apply\ Price\ (FTA_{ip}) = sum(TotalWVM_i > 0) \quad (3.5)$$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณต้นทุนการจัดการน้ำทั้งหมด ดังนี้

ต้นทุนการจัดการน้ำ = {

+ [(ปริมาณน้ำมิลลิเมตร / 100) X 0.84] + [จำนวนครั้งการเติมน้ำ X 60]} (3.6)

จากสูตรแปลงค่า ปริมาณน้ำจากมิลลิเมตร ให้เป็นลูกบาศก์เมตร โดยหารด้วย 100 และคูณด้วยค่าน้ำมันในการผันน้ำเข้าแปลงนาด้วยเครื่องสูบน้ำ โดยมีต้นทุนในการจัดการ 0.84 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น จากสูตรต้นทุนการจัดการน้ำจะได้ค่าใช้จ่ายในการเติมน้ำในแปลงนาต่อเฮกตาร์

3.2.2.3 แสดงรูปแบบโครโมโซมการใส่น้ำ หลังจากขบวนการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

จาก ตารางที่ 3.10 แสดงรูปแบบโคโมโซม ที่ไม่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ ณ วันที่ 4 จนถึง ข้าวมีอายุ 150 วัน พบว่าแบบจำลอง ใส่น้ำ ปริมาณ 0 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.10 รูปแบบโครโมโซมที่ 1 (*WP1*) ใส่น้ำ จำนวน 0 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	15	18	23	76	79	89	103	...	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.11 แสดงรูปแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว ตั้งแต่ วันเริ่มปลูกข้าว คือ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 150 วัน จำนวน 1 ครั้ง โดยมีความสูง ระดับน้ำ 56 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 15 หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ

ตารางที่ 3.11 รูปแบบโครโมโซมที่ 2 (*WP2*) ใส่น้ำ จำนวน 1 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	15	18	23	76	79	89	103	...	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.12 แสดงรูปแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว คือ ตั้งแต่ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 150 วัน จำนวน 2 ครั้ง โดยมีความสูง ระดับน้ำ 45, 55 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 15 และ 18 วัน หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ เนื่องจาก ลำดับที่ 3 ไม่เงื่อนไขการใส่น้ำ >= 7 วัน

ตารางที่ 3.12 รูปแบบโครโมโซมที่ 3 (*WP3*) ใส่ปุ๋ย จำนวน 2 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	15	18	23	76	79	89	103	...	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	45	55	0	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.13 แสดงรูปแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว คือ ตั้งแต่ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 150 วัน จำนวน 3 ครั้ง โดยมีความสูงระดับ 55, 51 และ 65 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 4, 23 และ 76 วัน หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ คือ ลำดับการใส่น้ำที่ 1 ไม่อยู่ในเงื่อนไข 15-95 วัน และ ลำดับการใส่น้ำที่ 1 5 และ 12 ก็ไม่อยู่ในเงื่อนไขการใส่น้ำ >=7 วัน

ตารางที่ 3.13 รูปแบบโครโมโซมที่ 4 (*WP4*) ใส่ปุ๋ย จำนวน 3 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	...	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	55	51	0	0	65	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.14 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว คือ ตั้งแต่ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 150 วัน จำนวน 4 ครั้ง ปริมาณ 16, 77, 31 และ 51 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 4, 7, 12 และ 23 วัน หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่าเป็นรูปแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ คือ ลำดับใส่น้ำที่ 1, 2, 3 และ 4 ไม่อยู่ในเงื่อนไข 15-95 วัน และ ลำดับการใส่น้ำที่ 1 , 2, 3 และ 4 ไม่อยู่ในเงื่อนไขการใส่น้ำ >= 7 วัน

ตารางที่ 3.14 รูปแบบโครโมโซมที่ 5 (*WP5*) ใส่ปุ๋ย จำนวน 4 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	...	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	16	77	31	51	0	0	0	0	0	0

จาก ตารางที่ 3.15 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว คือ ตั้งแต่ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 150 วัน จำนวน 6 ครั้ง ปริมาณ 43, 15, 29, 39, 50 และ 50 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 4, 7, 12, 23, 76 และ 103 วัน หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ คือ ลำดับการใส่น้ำที่ 1, 2 และ 3 ไม่อยู่ในเงื่อนไขช่วงเวลา 15-95 วัน ของกฎฐานความรู้ และลำดับการใส่น้ำที่ 1, 2, 3, 4 และ 9 มีระยะห่างไม่อยู่ในเงื่อนไขการใส่น้ำ >= 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.15 รูปแบบโครโมโซมที่ 6 (*WP6*) ใส่ปุ๋ย จำนวน 6 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	…	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	43	15	29	39	50	0	0	50	0	0

จาก ตารางที่ 3.16 แสดงรูปแบบการแบบโคโมโซม ที่มีการแนะนำให้ใส่น้ำ ตลอดฤดูกาลผลิตข้าว คือ ตั้งแต่ วันที่ 4 จนถึงข้าวมีอายุ 150 วัน จำนวน 7 ครั้ง ปริมาณ 43, 15, 29, 39, 50 และ 50 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ ณ วันที่ 4, 7, 12, 23, 76, 89 และ 103 วัน หลังการปลูกข้าว จากรูปแบบดังกล่าว แสดงว่า เป็นรูปแบบโครโมโซมที่ ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ คือ ลำดับการใส่น้ำที่ 1, 2, 3 และ 8 ไม่อยู่ในเงื่อนไขช่วงเวลา 15-95 วัน ของกฎฐานความรู้ และลำดับการใส่น้ำที่ 1, 2, 3, 4 และ 9 มีระยะห่างไม่อยู่ในเงื่อนไข >=7 วัน เช่นกัน

ตารางที่ 3.16 รูปแบบโครโมโซมที่ 7 (*WP7*) ใส่ปุ๋ย จำนวน 7 ครั้ง

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	…	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	43	15	29	39	50	0	50	50	0	0

3.2.2.4 สรุปโอกาสที่โครโมโซมลูกไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำที่เหมาะสม หลังจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม

สามารถพิจารณาโอกาสที่รูปแบบโครโมโซมไม่อยู่ในฐานกฎความรู้ของการใส่น้ำที่เหมาะสมในนาข้าว หลังจากผ่านขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งสามารถสรุป เป็นข้อๆ ดังนี้

1. รูปแบบการใส่น้ำหลังผ่านขบวนการเจเนติกอัลกอริทึมแล้ว วันที่ ไม่อยู่ในช่วงการใส่น้ำที่เหมาะสม 15-95 วัน หลังการปลูกข้าว
2. ระยะห่าง การใส่น้ำในแต่ละครั้ง พบว่า มีโครโมโซมที่มีระยะการใส่น้ำที่ไม่อยู่ในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ 7 วัน
3. ช่วงวันที่ขาดน้ำไม่ได้ คือ ก่อนข้าวตั้งท้อง และสร้างดอก จากการคำนวณจะอยู่ในช่วงวันที่ 44 ถึง 95 วัน หลังจากการปลูกข้าว
4. ความสูงของการใส่น้ำ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ หลังผ่านขบวนการ ไขว้สลับ (Crossover) และกลายพันธุ์ (Mutation) และมีการใส่น้ำ 0 และ 1 ครั้ง พบว่า ข้าวไม่สามารถเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลดังกล่าว จึงได้ศึกษาการปรับปรุงโครโมโซมที่มีรูปแบบการใส่น้ำไม่อยู่ในกฎฐานความรู้ในการใส่น้ำ ให้เป็นไปตามกฎฐานความรู้การจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ซึ่งมีแนวทางการปรับปรุง ดังนี้

3.2.2.5 อัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมลูกให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำที่เหมาะสมหลังจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม

ได้แสดงขั้นตอนปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมการจัดการน้ำให้อยู่ในกฎฐานความรู้

ขั้นตอนที่ 1 ตรวจสอบว่า ระยะห่างของข้อมูลแต่ละครั้งที่มีการใส่น้ำ เพื่อให้มีปริมาณน้ำที่อยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้หรือไม่ โดยมีช่วงการใส่น้ำที่มีระยะการใส่อยู่ มากกว่าหรือเท่ากับ 7 วัน ถ้ามี การใส่น้ำที่นอกจากขอบเขตจากฐานความรู้ ให้ปรับปริมาณการใส่น้ำเป็นศูนย์

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาปริมาณน้ำต่อเฮกตาร์ถ้าในกรณีมีปริมาณต่ำกว่า 50 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ ให้พิจารณาการปรับเป็น 50 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ต่อการใส่น้ำต่อครั้ง

ขั้นตอนที่ 3 ถ้าพบว่า ตั้งแต่วันที่ 44 ถึง 95 วันหลังการปลูกข้าวไม่มีการใส่น้ำให้ทำการปรับค่าวันที่ 44 เป็นการใส่น้ำสูง 100 มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์ เพื่อรักษาปริมาณน้ำให้มีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตในช่วงเวลาที่ข้าวต้องการน้ำ

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบปรับข้อมูลในเขตนนอกพื้นที่ฐานความรู้ มีปริมาณน้ำเป็นศูนย์

3.2.2.6 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมลูกที่ไม่อยู่ในฐานกฎความรู้การใส่น้ำที่เหมาะสมในนาข้าว

ได้แสดงตัวอย่างการปรับปรุงบางกรณี เนื่องจากมีการปรับปรุงโครโมโซมการใส่น้ำ คล้ายกับการปรับปรุงโครโมโซมปุ๋ย ยกเว้นมีบางกรณี คือ โครโมโซมไม่มีการใส่น้ำ และมีการใส่น้ำมากกว่า 4 ครั้ง ซึ่งจะแสดงตัวอย่างการปรับปรุง ดังนี้

ตัวอย่าง กรณีที่ 1 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำ 0 ครั้ง หรือไม่มีการใส่น้ำ แสดงตัวอย่างการปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ ดังนี้

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	15	18	23	76	79	89	103	...	114
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.12 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำ 0 ครั้ง

มีขั้นตอนการปรับปรุง ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขการปรับที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 : สุ่มค่าวันที่ในการใส่น้ำในช่วง [15-40] เช่น สุ่มได้ค่าวันที่การใส่ปุ๋ยที่ 18

ขั้นตอนที่ 3 : ปรับปรุงโครโมโซมที่ 1 ด้วย ตัวเลขของการสุ่มใหม่อยู่ในช่วง [0 – 100]

ขั้นตอนที่ 4 : เช่น สุ่มได้ค่า 60 และปรับค่าที่ตำแหน่งการสุ่ม ผลลัพธ์ได้ คือ ภาพที่ 3.13

ขั้นตอนที่ 5 : ตรวจสอบระหว่าง วันที่ 44 – 95 มีการใส่น้ำหรือไม่ถ้าไม่มีให้ปรับค่า 100 ที่ตำแหน่ง วันที่ 44 ในโครโมโซม ภาพที่ 3.13

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	15	18	23	44	79	89	95	103	114
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	0	60	0	100	0	0	0	0	0

ภาพที่ 3.13 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำ 0 ครั้ง

ขั้นตอนที่ 6 : ตรวจสอบ พบว่า มีการใส่น้ำ 2 ครั้ง และมีความสูงของน้ำ ตั้งแต่ 50 มิลลิเมตร ขึ้นไป คือ อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ก็ไม่ต้องปรับปรุงโครโมโซม ทำงานขั้นตอนต่อไป

ตัวอย่าง กรณีที่ 5 คือ รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำมากกว่า 4 ครั้ง แสดงตัวอย่างการปรับปรุงโครโมโซมให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ ดังนี้

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	…	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	43	15	29	39	50	0	50	50	0	0

ภาพที่ 3.14 ก่อนการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำ มากกว่า 4 ครั้ง

มีขั้นตอนการปรับปรุง ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ตรวจสอบโครโมโซม อยู่ในเงื่อนไขการ ปรับปรุงที่ 5

ขั้นตอนที่ 2 : ปรับปรุงค่าตัวเลข ณ วันที่ ที่ไม่อยู่ในช่วงการใส่น้ำที่เหมาะสม 15-95 วัน ให้มีค่าเป็น ศูนย์ (0) ดังภาพที่ 3.15

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	…	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	0	0	39	50	0	50	0	0	0

ภาพที่ 3.15 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำ มากกว่า 4 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 : ตรวจสอบปริมาณ พบว่า มีปริมาณการใส่น้ำ 139 ลูกบาศเมตรต่อเฮกตาร์ต่อฤดูกาลผลิต ซึ่งพบว่าอยู่ในเงื่อนไข ดังนั้น ปรับให้อยู่ในเงื่อนไขที่มีต้นทุนต่ำลง โดยคำนวณ ดังนี้

ตำแหน่ง ลำดับที่ 4 วันที่ 23 ปรับด้วยปริมาณ (39*100) / 139 = 28.05 มิลลิเมตรต่อครั้ง

ตำแหน่ง ลำดับที่ 5 วันที่ 76 ปรับด้วยปริมาณ (50*100) / 139 = 35.97 มิลลิเมตรต่อครั้ง

ตำแหน่ง ลำดับที่ 7 วันที่ 89 ปรับด้วยปริมาณ (50*100) / 139 = 35.97 มิลลิเมตรต่อครั้ง

ขั้นตอนที่ 4 : ปรับค่าใหม่ ณ ตำแหน่ง ลำดับที่ 4, 5 และ 7 ด้วยค่า 29, 36 และ 36 ดังนี้

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
วันที่	4	7	12	23	76	79	89	103	...	150
ความสูง (มิลลิเมตร)	0	0	0	29	36	0	36	0	0	0

ภาพที่ 3.16 หลังการปรับปรุง รูปแบบโครโมโซมมีความถี่ในการใส่น้ำ มากกว่า 4 ครั้ง

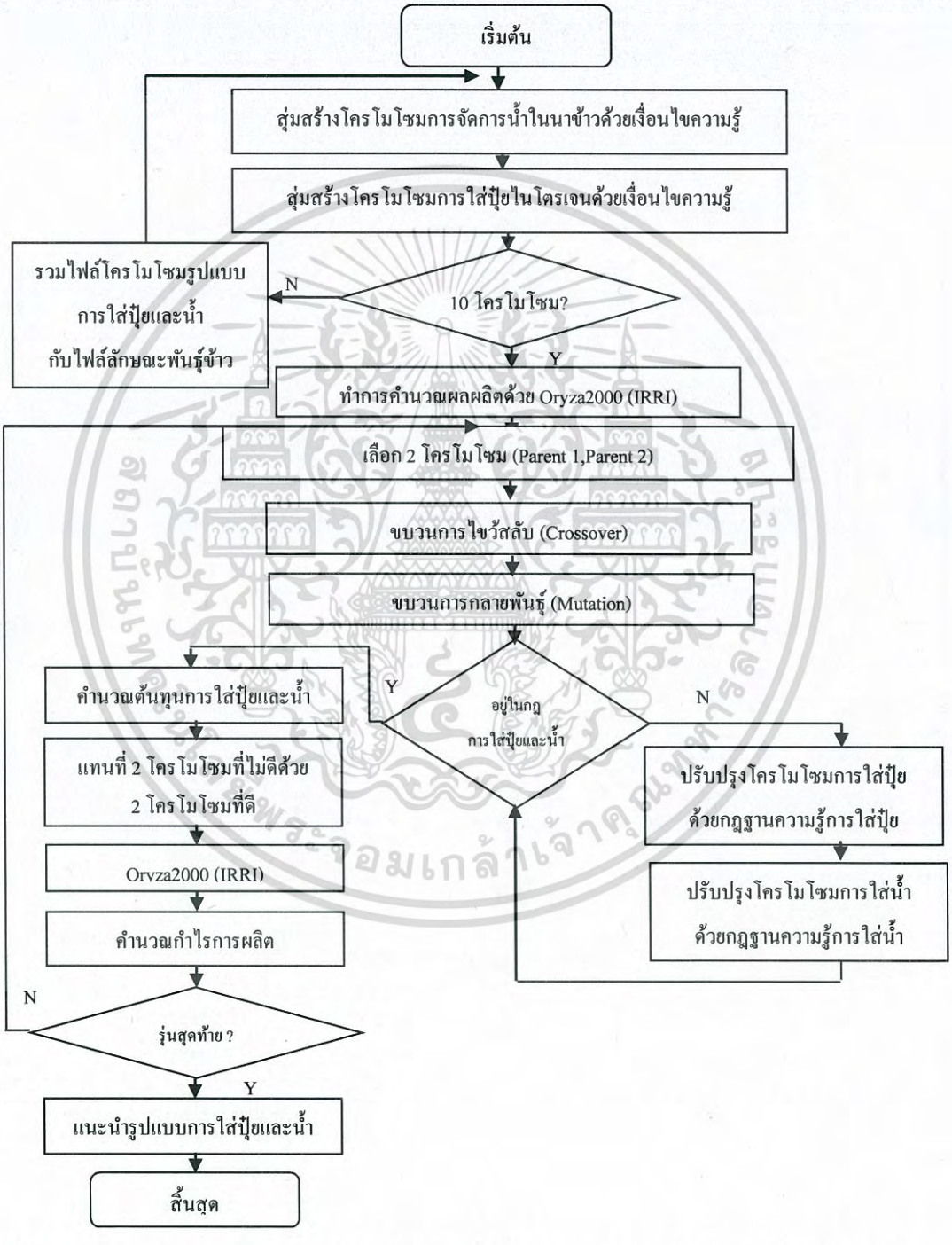
ขั้นตอนที่ 5 : ตรวจสอบว่า ตรวจสอบระยะห่างวันที่ใส่อยู่ในช่วง มากกว่าหรือเท่ากับ 7 วัน หรือไม่ และปริมาณน้ำต่อเฮกตาร์ อยู่ในช่วง 100 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์ ขึ้นไปหรือไม่ จากการปรับค่าสุดท้าย แสดงว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ก็ทำงานขั้นตอนต่อไป

จากที่ได้ แสดงการสร้างรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว การค้นหารูปแบบโครโมโซมลูกที่ทำให้ต้นทุนการจัดการปุ๋ยและน้ำต่ำกว่าโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ และแสดงรูปแบบโครโมโซมลูกที่เสียหายหลังจากขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม รวมทั้งแสดงตัวอย่างการปรับปรุงโครโมโซมลูกที่ไม่อยู่ในกฎให้อยู่ในกฎ เพื่อป้องกันไม่ให้การทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมกลับไปหยิบโครโมโซมใหม่ จากข้อมูลทั้งหมด ซึ่งจะแสดงอัลกอริทึมการค้นหาและปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมลูกปุ๋ยและน้ำให้อยู่ในกฎ เพื่อวัดประสิทธิภาพ ดังหัวข้อต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

3.3.1 แสดงผังและอัลกอริทึมการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ ดังนี้



ภาพที่ 3.17 ผังการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มชุดตัวเลขในการสร้างรูปแบบการใส่ปุ๋ยในนาข้าวจำนวน 10 โครโมโซม

a. สุ่มตัวเลขจำนวนจริง 1 ชุด ความยาว 10 ตำแหน่ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 130 จากนั้น เรียงลำดับตัวเลขจากค่าน้อยไปหาค่ามาก

b. สุ่มตัวเลขจำนวนจริง 1 ชุด ความยาว 10 ตำแหน่ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 180 จากนั้น เรียงตามลำดับการสุ่มก่อนและหลัง ให้มีระยะห่าง (Date Distance) ตั้งแต่ 10 วัน ถึง 15 วัน หลังการปลูกข้าว โดยมีสมการดังนี้

$$DDn_f = 10 \le 1a_i - 1a_i + 1 \ge 15 \quad (3.7)$$

โดย a_i คือ วันที่ในการใส่ปุ๋ย และ

i คือ ค่าของตำแหน่ง ในโครโมโซมวันที่

c. นำตัวเลขที่ได้จาก (*1a*) และ (*1b*) ประกอบกันโดยมีรูปแบบ ดังนี้

$$[1a_i, 1b_i] | i = 1,2,3,...,10 \quad (3.8)$$

โดย a คือ วันที่ในการใส่ปุ๋ย

b คือ ปริมาณการใส่ปุ๋ย (กิโลกรัม)

i คือ จำนวนโครโมโซมที่ 1 ถึง 10

d. ตรวจสอบผลรวมของโครโมโซมรูปแบบการใส่ปุ๋ยตลอดฤดูกาลผลิตว่าอยู่ในเงื่อนไขความรู้การจัดการปุ๋ยหรือไม่ โดยผลรวมอยู่ระหว่างปริมาณ 50- 180 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

i. ถ้าไม่อยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าวให้กับไปทำข้อ (a)

ii. ถ้าอยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าวให้บันทึกเป็นโครโมโซมที่เหมาะสม

iii. ทำการนับจำนวนโครโมโซมรูปแบบการใส่ปุ๋ยให้ครบ 10 โครโมโซม และทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มชุดตัวเลขในการสร้างรูปแบบการใส่น้ำในนาข้าวจำนวน 10 โครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

e. สุ่มตัวเลขจำนวนจริง 1 ชุด ความยาว 150 ตำแหน่ง โดยมีค่าตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 150 เรียงลำดับตัวเลขจากค่าน้อยไปหาค่ามาก

f. สุ่มตัวเลขจำนวนจริง 1 ชุด ความยาว 150 ตำแหน่ง โดยมีค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 100 จากนั้น เรียงตามลำดับการสุ่มก่อนและหลัง ให้มีระยะห่าง (Date Distance) มากกว่าหรือเท่ากับ 7 วัน หลังการปลูกข้าว โดยมีสมการ ดังนี้

$$DDn_w = 1a_i - 1a_i + 1 \geq 7 \qquad (3.9)$$

โดย a_i คือ วันที่ในการใส่ปุ๋ย และ

i คือ ค่าของตำแหน่ง ในโครโมโซมวันที่

g. นำตัวเลขที่ได้จาก (*1e*) และ (*1f*) ประกอบกันโดยมีรูปแบบ

$$\left[1e_i, 1f_i\right] | i = 1,2,3,...,10 \qquad (3.10)$$

โดย e คือ วันที่ในการใส่ปุ๋ย

f คือ ปริมาณการใส่ปุ๋ย (กิโลกรัม)

i คือ จำนวนโครโมโซมที่ 1 ถึง 10

h. ตรวจสอบผลรวมของโครโมโซมรูปแบบการใส่น้ำตลอดฤดูกาลผลิตว่าอยู่ในเงื่อนไขความรู้การจัดการน้ำหรือไม่ โดยผลรวมอยู่ระหว่างปริมาณ 300-1500 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์

i. ถ้าไม่อยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้การใส่น้ำในนาข้าวให้กับไปทำข้อ (a)

ii. ถ้าอยู่ในเงื่อนไขฐานความรู้การใส่น้ำในนาข้าวให้บันทึกเป็นโครโมโซมที่เหมาะสม

iii. ทำการนับจำนวนโครโมโซมรูปแบบการใส่น้ำให้ครบ 10 โครโมโซม และทำขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลจาก ข้อ (1) ไปสร้างเป็นพารามิเตอร์นำเข้าในไฟล์ข้อมูลข้าวจำนวน 10 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณผลผลิตข้าวด้วยการจัดการปุ๋ยและน้ำจากรูปแบบโครโมโซมที่สุ่มสร้าง จากข้อ (1) ด้วยโปรแกรมแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* (IRRI)

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณผลกำไร ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ด้วยสมการที่ (3.19)

ขั้นตอนที่ 6 สุ่มคัดเลือก โครโมโซมพ่อ (Prarent[1]) และแม่ Prarent1[2] สองอันดับ ที่มีความถี่ในการถูกเลือกสูงที่สุดโดยการหมุนวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel)

ขั้นตอนที่ 7 ทำการสุ่มค่าตำแหน่งการไขว้สลับ (Crossover) ระหว่าง 1 ถึง 10

ขั้นตอนที่ 8 ทำการสุ่มค่าโอกาสในการไขว้สลับ (Crossover) ระหว่าง 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 9 ทำการไขว้สลับโดยสลับค่าของสองโครโมโซม จากตำแหน่งการสุ่ม จากข้อที่ 7 และที่ 8 โดย สลับค่าของโครโมโซม ตั้งแต่ ค่าตำแหน่งที่สุดได้จาก ข้อที่ 8 ได้แสดง ดังนี้

a) Prarent1[1] - Random [1,10]&& Prarent1[2] + Random [1,10] to Position 10 (3.11)

b) Prarent1[2] - Random [1,10]&& Prarent1 [1] + Random [1,10] to Position 10 (3.12)

ขั้นตอนที่ 10 การสุ่มค่าตำแหน่งการกลายพันธุ์ (Mutation) ระหว่าง 1 ถึง 10

ขั้นตอนที่ 11 ทำการสุ่มค่าโอกาสในการกลายพันธุ์ (Mutation) ระหว่าง 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 12 ทำการกลายพันธุ์สองโครโมโซม ที่ตำแหน่งการสุ่มจากข้อที่ 10 และข้อที่ 11 ด้วยค่าการสุ่มใหม่ ได้แสดง ดังนี้

a) Prarent1 [1] - Random [1,10]&& Random [1,10]&& Prarent1 [1] + Random [1,10] to Position 10 (3.13)

b) Prarent1 [2] - Random [1,10]&& Random [1,10]&& Prarent1 [2] + Random[1,10] to Position 10 (3.14)

ขั้นตอนที่ 13 ทำการตรวจสอบและปรับปรุงโครโมโซมที่ไม่เป็นไปตามกฎเงื่อนไขการใส่ปุ๋ยและน้ำ

ขั้นตอนที่ 14 คำนวณผลผลิตข้าวด้วยการจัดการปุ๋ยและน้ำจากรูปแบบโครโมโซมที่ปรับแล้ว ด้วยโปรแกรมแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* (IRRI)

ขั้นตอนที่ 15 หากำไรสูงสุด (Maximum profit) จากสมการ

$$\max profit_i = \max\left(profit_i\right) > old \max profit_i \qquad (3.15)$$

โดยที่ $max\ profit_i$ คือ กำไรสูงสุดจากผลผลิต ของโครโมโซมในแต่ละรุ่น 10 รูปแบบ

i คือ ลำดับโครโมโซมในแต่ละรุ่นมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 โครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 16 แทนที่โครโมโซมแย่ที่สุดสองลำดับด้วยโครโมโซมที่มีกำไรสูงสุดสอง

$$Bad\ profit_{10} = \max profit(top\ 1), \quad (3.16)$$
$$Bad\ profit_{9} = \max profit(top\ 2)$$

โดยที่ $Bad\ profit_{10}$ คือ โครโมโซมหรือรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่มีกำไรแย่ที่สุด ลำดับที่ 1

$Bad\ profit_{9}$ คือ โครโมโซมหรือรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่มีกำไรแย่ที่สุด ลำดับที่ 2

ขั้นตอนที่ 17 บันทึกโครโมโซมที่ดีที่สุดไว้สำหรับเปรียบเทียบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่มีกำไรจากการผลิตข้าวสูงที่สุด ในแต่ละรุ่น (Generation) จากการค้นหาด้วยขบวนการเจเนติก

$$\max profit_{j} = \max\left(profit_{i}\right) > old \max profit_{i} \quad (3.17)$$

โดยที่ $max\ profit_{j}$ คือ กำไรสูงสุดจากผลผลิต ของโครโมโซมในแต่ละรุ่น 10 รูปแบบ

$Oldmax\ profit_{i}$ คือ กำไรสูงสุดจากการค้นหารอบที่ผ่านมา

i,j คือ ตำแหน่งที่มีผลผลิตสูงสุดในแต่ละรุ่น 1,2,3,...,10

ขั้นตอนที่ 18 เงื่อนไขการหยุดใช้รอบของการค้นหาโดยเท่ากับจำนวนรุ่นของเจเนติกหยุดการค้นหา เมื่อ $j=n \mid j=1,2,3,...,n$ โดย n คือ จำนวนรอบที่ผู้ใช้ต้องการให้เจเนติกอัลกอริทึมค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 19 ถ้ายังไม่พบเงื่อนไขการหยุดให้กลับไปทำตั้งแต่ข้อ (6) อีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 20 แสดงรูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำในนาข้าวที่ให้ผลกำไรจากการจัดการสูงที่สุดหนึ่งลำดับ

ขั้นตอนที่ 21 รูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่ให้ผลกำไรสูงสุดจากการค้นหาจำนวน j รุ่น

$$Fertilizer\ and\ Water\ pattern\ (FWP) = \max(profit_{i})\ at\ [a_{ij}, b_{ij}] \quad (3.18)$$

โดย *Fertilizer pattern* คือ รูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่มีกำไรจากการจัดการสูงสุด

i,j คือ ตำแหน่งที่โครโมโซมปุ๋ยและน้ำมีผลผลิตสูงสุดในแต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับประเมินรูปแบบการค้นหารูปแบบปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม

3.3.2.1ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ปรับปรุงจากการทดลอง Pannavich & Worapoj [25] ให้มีการพิจารณาการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวร่วมกัน ดังนี้

$$\max PFW = \left(\left(\frac{Y}{GM}\right)\times S\right) - \left((F\times C)+(ST\times SE)\right)+\left((WA\times WC)+(WT\times WE)\right) \quad (3.19)$$

หรือ

PFW = Income [(จำนวนเมล็ด/50,000)*ราคาขาย] – [

+ Cost [(ปริมาณปุ๋ยต่อเฮกตาร์ต่อครั้ง x ราคาปุ๋ยต่อกิโลกรัม)+(จำนวนครั้งใส่ปุ๋ย x ค่าจ้างหว่านปุ๋ยต่อเฮกตาร์ต่อครั้ง)]

+ Cost [(ปริมาณน้ำต่อเฮกตาร์ต่อครั้ง x ต้นทุนการใช้น้ำต่อลูกบาศก์เมตร) +(จำนวนครั้งการเติมน้ำ x ค่าจ้างการเติมน้ำต่อครั้งต่อเฮกตาร์)]];

โดย Profit (*PFW*) คือ กำไรจากการผลิตข้าวต่อเฮกตาร์ จากการจัดการปุ๋ยและน้ำ

Grain Yield (*Y*) คือ จำนวนเมล็ดได้จากการคำนวณแบบจำลองข้าว *Oryza2000*

GM คือ จำนวนเมล็ดข้าวต่อหนึ่งกิโลกรัมเฉลี่ย 50,000 เมล็ด [3]

Price Sale (*S*) คือ ราคาข้าวค่าเฉลี่ยจากการรับซื้อข้าวเปลือกปีปัจจุบัน

Fertilizer Volume (*F*) คือ ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อเฮกตาร์มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

Costing (*C*) คือ ราคาปุ๋ยต่อกิโลกรัมโดยใช้ราคาอ้างอิงปัจจุบัน

Sowing Time (*ST*) คือ จำนวนครั้งในการหว่านปุ๋ยต่อฤดูกาลผลิต

Water Accumulate (*WA*) คือ ปริมาณน้ำในการผลิตข้าวต่อฤดูกาลผลิต

Water Cost (*WC*) คือ ค่าใช้จ่ายน้ำใช้ต่อลูกบาศก์เมตร

Water apply Timing (*WT*) คือ จำนวนครั้งในการสูบน้ำ

Water Expense (*WE*) คือ ค่าบริการในการจ่ายน้ำต่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 พารามิเตอร์ (Parameters) การค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน และรูปแบบการจัดการน้ำ

ตารางที่ 3.16 พารามิเตอร์ สำหรับการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำด้วยเจเนติกอัลกอริทึม (GA)

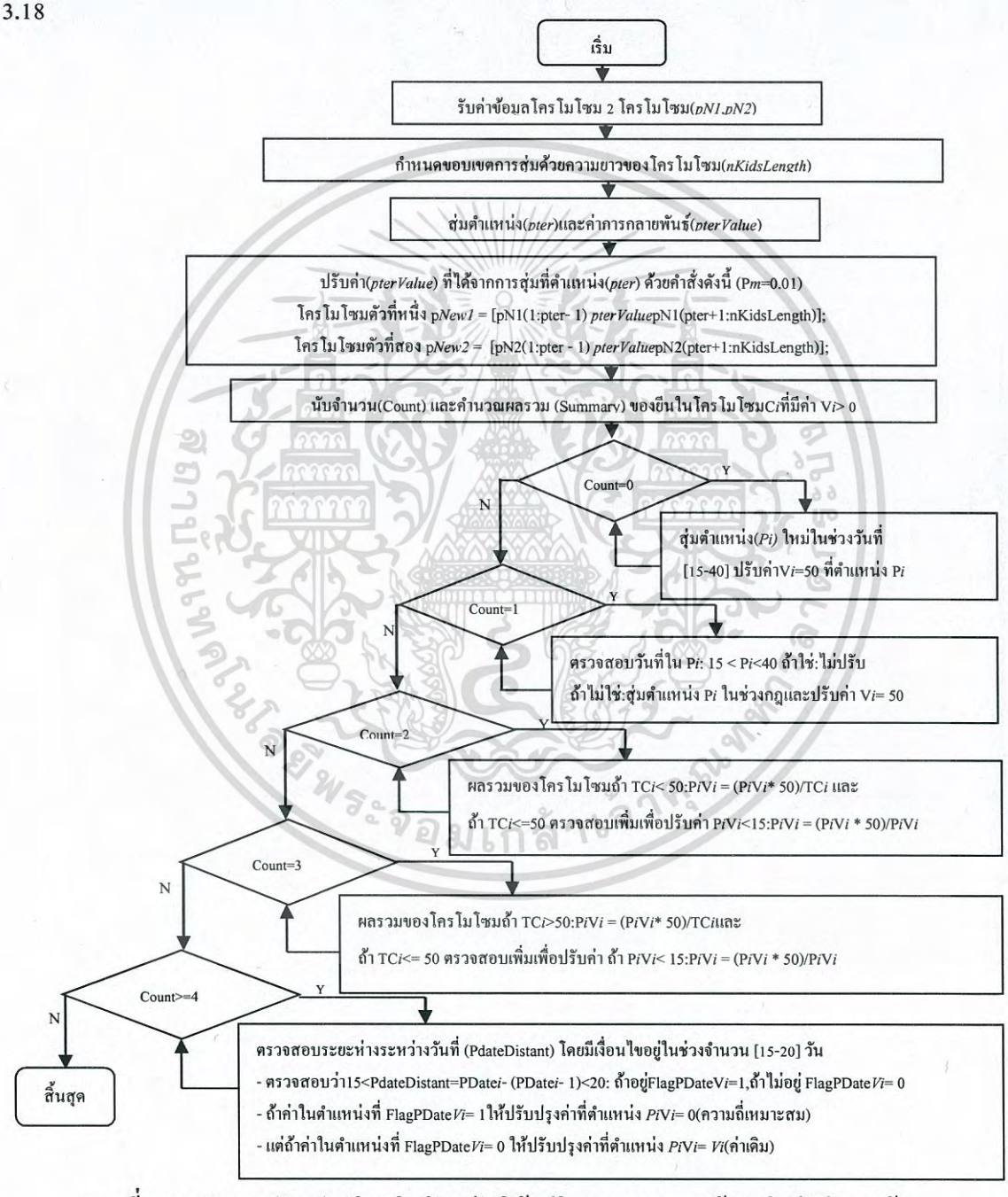
พารามิเตอร์	**รายละเอียดเงื่อนไข**
จำนวนประชากรเริ่มต้น	10
ความน่าจะเป็นการไขว้สลับ (Crossover)	0.9
ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation)	0.5
เงื่อนไขการหยุดทำงาน (รอบที่)	100 500 และ1000
เงื่อนไขการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน	
วันที่การใส่ปุ๋ย (วันที่)	15 – 65
ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง (กิโลกรัม)	15 – 60
ปริมาณการใส่ปุ๋ยตลอดฤดูกาลผลิต (กิโลกรัม)	50 -180
จำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย (ครั้งที่)	1 – 3
ระยะห่างในการใส่ปุ๋ย (จำนวนวัน)	15 - 20
เงื่อนไขการจัดการน้ำ	
วันที่การใส่น้ำ (วันที่)	15 - 95
ความสูงของน้ำต่อครั้งในการเติมน้ำ (มิลลิเมตรต่อเฮกตาร์)	10 -100
ปริมาณน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูก (ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกตาร์)	100 - 1500
จำนวนครั้งในการใส่น้ำ (ครั้งที่)	1 – 7
ระยะห่างการใส่น้ำ (จำนวนวัน)	7 - 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 อัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมลูกหลังการกลายพันธุ์เพื่อรักษาให้อยู่ในกฎฐานความรู้

3.3.3.1 ผังและอัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมลูกรูปแบบการจัดการปุ๋ย หลังขั้นตอนการกลายพันธุ์

มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สามารถรักษารูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในนาข้าวให้อยู่ในกฎเงื่อนไขการใส่ปุ๋ย และรักษาคำตอบที่เป็นไปได้และลดระยะเวลาการค้นหา ดังภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 ผังการปรับปรุงโครโมโซมปุ๋ยให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม การปรับปรุงโครโมโซมหลังขบวนการกลายพันธุ์ด้วยฐานความรู้การใส่ปุ๋ยให้อยู่ในกฎ

ขั้นตอนที่ 1: เริ่มขบวนการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดขอบเขตการสุ่มตำแหน่งกลายพันธุ์ (*Mutation Point*) ในแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3: นับ(*Count*) จำนวนยีน (*Gene*) ที่มีค่ามากกว่า 0

ขั้นตอนที่ 4: สุ่มโอกาสในการกลายพันธุ์ (P_c)

ขั้นตอนที่ 5: สุ่มตำแหน่งกลายพันธุ์ (*Mutation Point*)

ขั้นตอนที่ 6: สุ่มค่าการกลายพันธุ์ (*Mutation Value*)

ขั้นตอนที่ 7: ทำการกลายพันธุ์หรือแทนที่ค่าใหม่ที่ได้จากการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 8: คำนวณผลรวม (*TC*) จำนวนยีน (*Gene*) ที่มีค่ามากกว่า 0 ในแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 9: ตรวจสอบการปรับค่าโครโมโซมที่ไม่ดีให้อยู่ในเงื่อนไข(*Condition*) หรือกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยในนาข้าว โดยมีการกำหนดการปรับปรุงรูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ที่มีการเปรียบเทียบคู่ผสมที่จะส่งผลต่อความความเสียหายหลังจากการกลายพันธุ์แล้วดังนี้

9.1: เงื่อนไขการปรับที่ 1 คือ นับจำนวนครั้งใส่ปุ๋ยเท่ากับ 0 (*Count = 0*)

- สุ่มตำแหน่ง RP*i* ใหม่ในช่วงวันที่ 15-40 วัน
- ปรับค่า V*i*=50 ที่ตำแหน่ง RP*i*

9.2: เงื่อนไขการปรับที่ 2 คือ นับจำนวนครั้งใส่ปุ๋ยเท่ากับ 1 (*Count* = 1)

- ตรวจสอบปริมาณการใส่ปุ๋ยอยู่ในช่วงวันที่ P*i* : 1<P*i*< 40 หรือไม่

กรณีที่ 1 ถ้าใช่:P*i*= P*i* (คืออยู่ในช่วงวันที่เหมาะสมไม่ต้องปรับค่าใดๆ)

กรณีที่ 2 ถ้าไม่ใช่:สุ่มตำแหน่งในช่วง เงื่อนไข 15-40 ปรับค่าP*i*V*i* = 50

9.3: เงื่อนไขการปรับที่ 3 คือ นับจำนวนครั้งใส่ปุ๋ยเท่ากับ 2 (*Count* = 2)

- คำนวณผลรวมค่าแต่ละยีนที่มีค่ามากกว่า 0 ในแต่ละโครโมโซม P*i*

กรณีที่ 1 ถ้า TC*i*> 50 : P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 50)/TC*i* (ปรับเพื่อหาต้นทุนต่ำ)

กรณีที่ 2 ถ้า TC*i*<= 50 ตรวจสอบตำแหน่ง P*i* ถ้า P*i*< 15 : P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 15)/ P*i*V*i* (ปรับเพื่อหาต้นทุนต่ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม การปรับปรุงโครโมโซมหลังขบวนการกลายพันธุ์ด้วยฐานความรู้การใส่ปุ๋ยให้อยู่ในกฎ (ต่อ)

9.4: เงื่อนไขการปรับที่ 4 คือนับจำนวนครั้งเท่ากับ 3 (*Count* = 3)

- คำนวณผลรวมค่าแต่ละยีนที่มีค่ามากกว่า 0 ในแต่ละโครโมโซม P*i*

กรณีที่ 1 ถ้า TC*i*> 50 :P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 50)/TC*i*

กรณีที่ 2 ถ้า TC*i*$\leq$ 50 ตรวจสอบตำแหน่ง P*i*

ถ้า P*i*< 15 : P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 15)/P*i*V*i* (ปรับเพื่อหาต้นทุนต่ำ)

9.5: เงื่อนไขการปรับที่ 5 คือนับจำนวนครั้งเท่ากับ $\geq$4 (*Count* $\geq$4)

- คำนวณระยะห่างระหว่างวันที่ระหว่างยีน (G*i*) ปัจจุบันกับยีนก่อนหน้า (G*i-1*) (PdateDistant=PDate*i* - (PDate*i*- 1) ค่า Pdate-Distant อยู่ระหว่าง [15 20] หรือไม่

กรณีที่ 1 ถ้าอยู่: ให้ปรับปรุงค่า FlagPDate*Vi*=1 (ไม่เหมาะสม)

กรณีที่ 2 ถ้าไม่อยู่: ให้ปรับปรุงค่า FlagPDate*Vi*= 0 (เหมาะสม) และทำการปรับปรุงค่า (V*i*) ในยีนเป้าหมาย ดังนี้

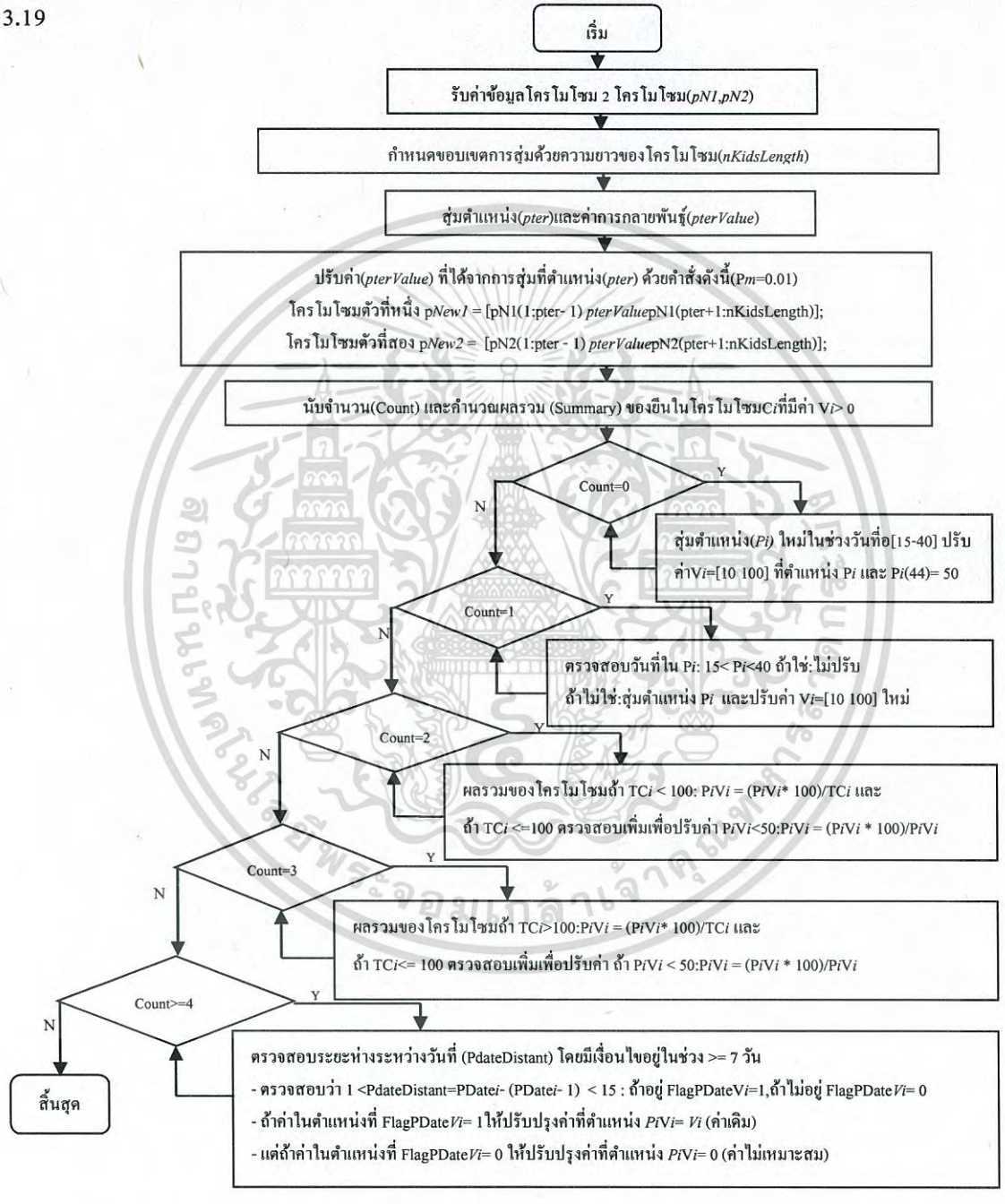
กรณีที่ 1 ถ้าค่า FlagPDate*Vi*= 1 ให้ปรับปรุงค่าที่ตำแหน่ง *Pi= 0* (ไม่เหมาะสม)

กรณีที่ 2 ถ้าค่า FlagPDate*Vi*= 0 ให้ปรับปรุงค่าที่ตำแหน่ง *Pi*= V*i* (เหมาะสม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 ผังและอัลกอริทึมการปรับปรุงโครโมโซมลูกรูปแบบการจัดการน้ำ หลังขั้นตอนการกลายพันธุ์

มีวัตถุประสงค์ เพื่อให้สามารถรักษารูปแบบโครโมโซมการใส่น้ำในนาข้าวให้อยู่ในกฎเงื่อนไขการใส่น้ำ โดยมีเป้าหมาย คือ รักษาคำตอบที่เป็นไปได้ ลดระยะเวลาการค้นหา ดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 ผังการรับปรุงโครโมโซมน้ำให้อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำในนาข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม การปรับปรุงโครโมโซมหลังขบวนการกลายพันธุ์ด้วยฐานความรู้การใส่น้ำให้อยู่ในกฎ

ขั้นตอนที่ 1: เริ่มขบวนการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดขอบเขตการสุ่มตำแหน่งกลายพันธุ์ (*Mutation Point*) ในแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 3: นับ (*Count*) จำนวนยีน (*Gene*) ที่มีค่ามากกว่า 0

ขั้นตอนที่ 4: สุ่มโอกาสในการกลายพันธุ์ (P_c)

ขั้นตอนที่ 5: สุ่มตำแหน่งกลายพันธุ์ (*Mutation Point*)

ขั้นตอนที่ 6: สุ่มค่าการกลายพันธุ์ (*Mutation Value*)

ขั้นตอนที่ 7: ทำการกลายพันธุ์ หรือแทนที่ค่าใหม่ที่ได้จากการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 8: คำนวณผลรวม (*TC*) จำนวนยีน (*Gene*) ที่มีค่ามากกว่า 0 ในแต่ละโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 9: ตรวจสอบการปรับค่าโครโมโซมที่ไม่ดีให้อยู่ในเงื่อนไข (*Condition*) หรือกฎฐานความรู้การใส่น้ำในนาข้าว โดยมีการกำหนดการปรับปรุงรูปแบบการใส่น้ำที่ระหว่างคู่ผสมที่จะส่งผลต่อความความเสียหายหลังจากการกลายพันธุ์ ดังนี้

9.1: เงื่อนไขการปรับที่ 1 คือนับจำนวนครั้งใส่น้ำเท่ากับ 0 (*Count = 0*) สุ่มตำแหน่ง RP*i* ใหม่ ถ้าอยู่ในช่วงวันที่ 15-40 วัน ให้ปรับค่า V*i*=50 ที่ตำแหน่ง RP*i* (ความสูงระดับปานกลางต่อครั้ง (50 มิลลิลิตร) และปรับ ค่า ณ วันที่ 44 ให้ใส่น้ำ 50 มิลลิเมตร (5 เซนติเมตร)

9.2: เงื่อนไขการปรับที่ 2 คือนับจำนวนครั้งใส่น้ำเท่ากับ 1 (*Count* = 1) ตรวจสอบปริมาณการใส่น้ำ อยู่ในช่วงวันที่ P*i* : 1< P*i* < 40 หรือไม่

กรณีที่ 1 ถ้าใช่: P*i*= P*i* (คืออยู่ในช่วงวันที่เหมาะสมไม่ต้องปรับค่าใดๆ)

กรณีที่ 2 ถ้าไม่ใช่:สุ่มตำแหน่งในช่วง เงื่อนไข 15-40 ปรับค่า P*i*V*i* = 50

9.3: เงื่อนไขการปรับที่ 3 คือ นับจำนวนครั้งใส่น้ำเท่ากับ2 (*Count* = 2) คำนวณผลรวมค่าแต่ละยีนที่มีค่ามากกว่า 0 ในแต่ละโครโมโซม P*i*

กรณีที่ 1 ถ้า TC*i* > 100 : P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 100)/TC*i* (ปรับเพื่อหาต้นทุนต่ำ)

กรณีที่ 2 ถ้า TC*i* <= 100 ตรวจสอบตำแหน่ง P*i* ถ้า P*i*< 50 : P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 100)/P*i*V*i*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึม การปรับปรุงโครโมโซมหลังขบวนการกลายพันธุ์ ด้วยฐานความรู้การใส่น้ำให้อยู่ในกฎ (ต่อ)

9.4: เงื่อนไขการปรับที่ 4 คือ นับจำนวนครั้งเท่ากับ3 (*Count* = 3) คำนวณผลรวมค่าแต่ละยีนที่มีค่า มากกว่า 0 ในแต่ละโครโมโซม P*i*

กรณีที่ 1 ถ้า TC*i* > 100 : P*i*V*i* = (P*i*V*i* * 100)/TC*i*

กรณีที่ 2 ถ้า TC *i* $\leq$ 100 ตรวจสอบตำแหน่ง P*i*

ถ้า P*i* < 50 : P*i*V*i*= (P*i*V*i* * 100)/ P*i*V*i* (ปรับเพื่อหาต้นทุนต่ำ)

9.5: เงื่อนไขการปรับที่ 5 คือนับจำนวนครั้ง $\geq$4 (*Count* $\geq$4) คำนวณระยะห่างระหว่างวันที่ระหว่างยีน (G*i*) ปัจจุบัน กับ ยีนก่อนหน้า (G*i-1*)

(PdateDistant=PDate*i*- (PDate*i*- 1) ค่า Pdate-Distant อยู่ในช่วง >= 7 หรือไม่

กรณีที่ 1 ถ้าอยู่: ให้ปรับปรุงค่า FlagPDate*Vi*=1 (ไม่เหมาะสม)

กรณีที่ 2 ถ้าไม่อยู่: ให้ปรับปรุงค่า FlagPDate*Vi*= 0 (เหมาะสม) และทำการปรับปรุงค่า (V*i*) ในยีนเป้าหมาย ดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้าค่า FlagPDate*Vi*= 1 ให้ปรับปรุงค่าที่ตำแหน่ง *Pi= 0* (ไม่เหมาะสม)

กรณีที่ 2 ถ้าค่า FlagPDate*Vi*= 0 ให้ปรับปรุงค่าที่ตำแหน่ง *Pi*= V*i* (เหมาะสม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบจำลองการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการจัดการน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

4.1 สภาพแวดล้อมการทดลอง

เนื่องจาก เป็นการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลอง ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ดังนั้น จึงแยกการทดลองออก เป็นกรณี เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง และรูปแบบการจัดการปุ๋ย หรือน้ำที่เหมาะสม จากวิธีการแก้ไข และปรับปรุงอัลกอริทึมในค้นหารูปแบบใหม่ ในบทที่ 3 ดังนั้น จึงทำการแยกค้นหาเพียงวัตถุประสงค์การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยหรือน้ำ เพียงอย่างเดียว อีกทั้งทำการเปรียบเทียบการค้นหารูปแบบ โครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำ ก่อนและหลัง จากมีการปรับปรุงโครโมโซมลูก ด้วยฐานความรู้ ในขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม เพื่อยืนยันประสิทธิภาพการค้นหาของแบบจำลอง และรูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสม โดยใช้ค่าเฉลี่ยจาก กำไรที่เหมาะสมสูงสุด ต้นทุนการจัดการต่ำสุด รุ่นการลู่เข้าหาคำตอบ และเวลาที่ใช้ในการค้นหา ทั้งหมด

และได้ทดลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับการพิจารณาค้นหารูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว โดยการปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) และเงื่อนไขการค้นหา ให้มีการพิจารณาความเหมาะสมรูปแบบการจัดการปริมาณน้ำในนาข้าว ที่ทำให้ผลผลิตข้าวยังคงมีกำไรสูงสุด และใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณฝน ความเร็วลมอุณหภูมิสูง-ต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ ปี 2555-2556 จากอุตุนิยมวิทยา 3 สถานี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเขตพื้นที่การทำนาปรัง โดยมีรายละเอียดวิธีการทดลอง ดังนี้

4.2 วิธีการทดลองและการวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง

4.2.1 อุปกรณ์การทดลอง ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์พีซี Intel coreTM i7 CPU 2.9 GHZ RAM 3 GB ร่วมกับ โปรแกรม MATLAB version 2012b และทดสอบบนเครื่อง Notebook Samsung CPU AMD E-450 APU RAM 4 GB

4.2.2 แนวทางการทดสอบแบบจำลอง ทดสอบโดยรันแบบอิสระ 3 ครั้ง โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 500 และ 1000

4.2.3 การวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง การตรวจสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการทดลอง ได้จาก 1. กำไรสูงสุด (Maximum profit) 2. ต้นทุนต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Minimum cost) 3. การลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรการผลิตสูงสุด หลังจากกำหนดขอบเขต และปรับปรุงเงื่อนไขการค้นหา (Constrain) และ 4. เวลาในการทำงาน (Run Times) ตั้งแต่แบบจำลองเริ่มทำงานจนจบขบวนการค้นหา และแสดงรูปแบบที่มีผลกำไรสูงสุด

4.2.3.1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ต้นทุน และกำไร จากรูปแบบการค้นหาการรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ร่วมกับพารามิเตอร์ข้าวพันธุ์ IR72

4.2.3.2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบที่ส่งผลต่อกำไรสูงสุด (Convergence) เก็บค่าความเหมาะสมสูงสุดในแต่ละรุ่น ดังนี้

$$Max(I) = Max_{i-n}\,(profit_{1-n}) \tag{4.1}$$

โดย *Max(I)* คือ ค่ากำไรเหมาะสมสูงสุดจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ Max_{i-n} คือ กำไรสูงสุดในแต่ละเจเนอเรชัน (Generation) และ $profit_{1-10}$ คือ กำไร ตั้งแต่ โครโมโซมชุดที่ 1 - 10

4.2.3.3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเวลาในการทำงานทั้งหมด (Execution Time)

การคำนวณเวลาในการทำงานทั้งหมด เรียกว่า Execution time คือ ตั้งแต่ เริ่มรันโปรแกรมจนกว่า จะพบเงื่อนไขการหยุด โดยมีสมการการวัด ดังนี้

$$Runtime = EndTime - StartTime \tag{4.2}$$

โดย *RunTime* คือ เวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมทั้งหมด จนพบเงื่อนไขการหยุดบน CPU (ms) *StartTime* คือ เวลาที่เริ่มต้น และ *End Time* คือ เวลาสิ้นสุดการรันโปรแกรม

4.2.3.4 เปรียบเทียบกำไรเฉลี่ย จากใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวแบบไม่ปรับปรุงโครโมโซม กับหลังจากปรับปรุงโครโมโซม ด้วยฐานความรู้ในขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและประเมินประสิทธิภาพ การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ ก่อนและหลังการปรับปรุงโครโมโซม

4.3.1 แสดงค่าเฉลี่ยจากผลการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม ก่อนการปรับปรุงโครโมโซม โดยรันอิสระ 3 ซ้ำ มีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 500 และ 1000

4.3.1.4 ทดสอบโปรแกรมโดยการรันแบบอิสระซ้ำ 3 ครั้ง เงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100

จากตาราง 4.2 พบว่า ผลของการค้นหาต้นทุนการจัดการปุ๋ยและน้ำเฉลี่ย 2,156.04 บาท และกำไรเฉลี่ย 73,333.12 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 20.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.29 ชั่วโมง แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

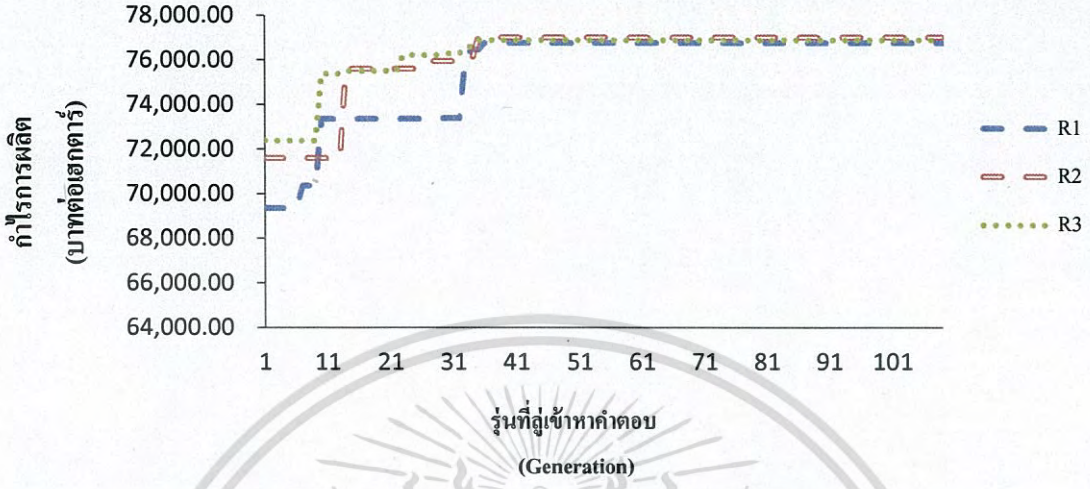
ตารางที่ 4.2 แสดงต้นทุน(Cost) กำไร(Profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N)และน้ำด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขหยุด รุ่นที่ 500

จำนวนครั้งในการรัน (Rep.)	เงื่อนไขการหยุดที่ 500 รุ่น						ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน (Cost) (บาท)					กำไร (Profit) (บาท)		
	ค่าการจัดการปุ๋ย		ค่าการจัดการน้ำ		ต้นทุนรวม			
	แรงงาน	ปุ๋ย	แรงงาน	น้ำ				
1	106.67	1,448.89	600	92	2,307.56	73,070.06	25.00	1.48
2	126.67	1,486.67	480	97	2,063.67	74,595.70	18.00	1.17
3	120.00	1,148.89	780	95	2,123.89	72,270.20	19.00	1.22
(μ)	117.78	1,430.37	640	94.66	2,156.04	73,333.12	20.67	1.29
S.D.	10.18	160.90	150.99	2.51	127.04	1181.42	3.00	0.17

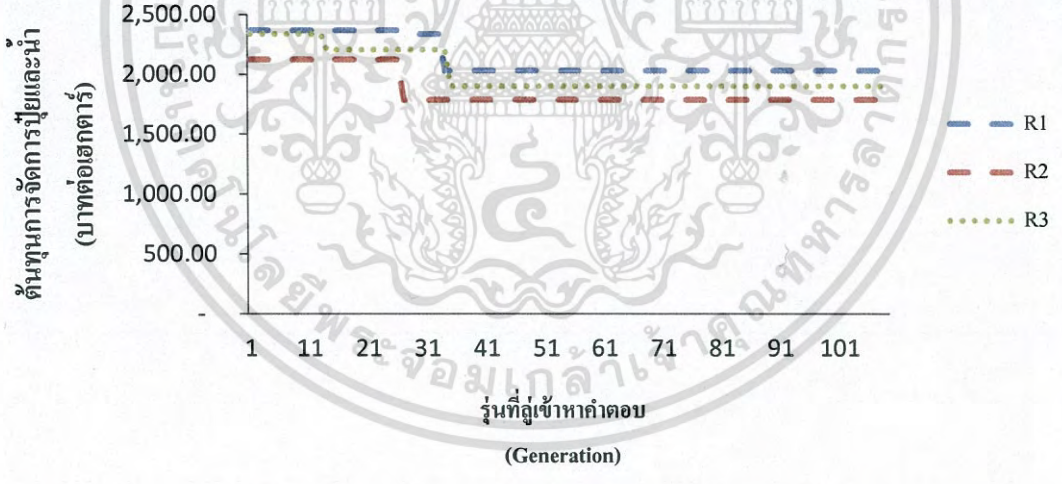
หมายเหตุ : (μ) = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มโครโมโซมทดลอง, S.D. = ค่าเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 แสดงการลู่เข้าหากำไรและต้นทุนที่เหมาะสม (Convergence) โดยเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100



ภาพที่ 4.1 แสดงการลู่เข้าหากำไรการผลิตเหมาะสมสูงสุด รันอิสระ 3 ซ้ำ โดยแสดงการหยุดรุ่นที่ 100



ภาพที่ 4.2 แสดงการลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตเหมาะสมต่ำสุด รันอิสระ 3 ซ้ำ โดยแสดงการหยุดรุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 ทดสอบโปรแกรมโดยการรันแบบอิสระซ้ำ 3 ครั้ง เงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 500

จากตาราง 4.3 พบว่า ผลของการค้นหาต้นทุนการจัดการปุ๋ยและน้ำเฉลี่ย 2,213.26 บาท และกำไรเฉลี่ย 75,578.83 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 24 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.30 ชั่วโมง แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงต้นทุน(Cost) กำไร(Profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) และน้ำด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขหยุด รุ่นที่ 1000

จำนวนครั้งในการรัน (Rep.)	เงื่อนไขการหยุดที่ 1000 รุ่น						ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน (Cost) (บาท)					กำไร (Profit) (บาท)		
	ค่าการจัดการปุ๋ย		ค่าการจัดการน้ำ		ต้นทุนรวม			
	แรงงาน	ปุ๋ย	แรงงาน	น้ำ				
1	120.00	1,285.33	900	96	2,401.33	73,870.60	25.00	1.42
2	120.00	1,240.89	660	93	2,113.89	74,595.70	26.00	1.26
3	126.67	1,128.89	780	89	2,124.56	78,270.20	21.00	1.23
(μ)	122.22	1,218.37	780	92.66	2,213.26	75,578.83	24.00	1.30
S.D.	3.85	80.62	120	3.51	169.96	2358.82	2.65	0.10

หมายเหตุ : (μ) = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มโครโมโซมทดลอง, S.D. = ค่าเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.4 ทดสอบโปรแกรมโดยการรันแบบอิสระซ้ำ 3 ครั้ง โดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 1000 จาก ตารางที่ 4.1 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยและน้ำ มีต้นทุนการจัดการปุ๋ย เฉลี่ย 2,085.33 บาท และกำไรเฉลี่ย 76,872.30 บาท โดยการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรที่เหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 31.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.23 ชั่วโมง แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงต้นทุน(Cost) กำไร(Profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (N) และน้ำด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขหยุด รุ่นที่ 100

จำนวนครั้งในการรัน (Rep.)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น						ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน (Cost) (บาท)					กำไร (Profit) (บาท)		
	ค่าการจัดการปุ๋ย		ค่าการจัดการน้ำ		ต้นทุนรวม			
	แรงงาน	ปุ๋ย	แรงงาน	น้ำ				
1	113.33	1,392.00	540	93	2,138.33	75,721.00	35.00	1.28
2	106.67	1,308.44	660	95	2,170.11	76,595.70	27.00	1.20
3	126.67	1,128.89	600	92	1,947.56	78,330.20	33.00	1.21
(μ)	115.56	1,276.44	600	93.33	2,085.33	76,872.30	31.67	1.23
S.D.	6.67	134.58	60	1.53	120.37	1311.66	3.00	0.04

หมายเหตุ : (μ) = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มโครโมโซมทดลอง, S.D. = ค่าเบี่ยงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 แสดงค่าเฉลี่ยการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยหรือน้ำ ที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว หลังการปรับปรุงโครโมโซม โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 500 และ 1000

4.3.2.1 แสดงกำไรที่เหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จากการค้นหาคำตอบด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

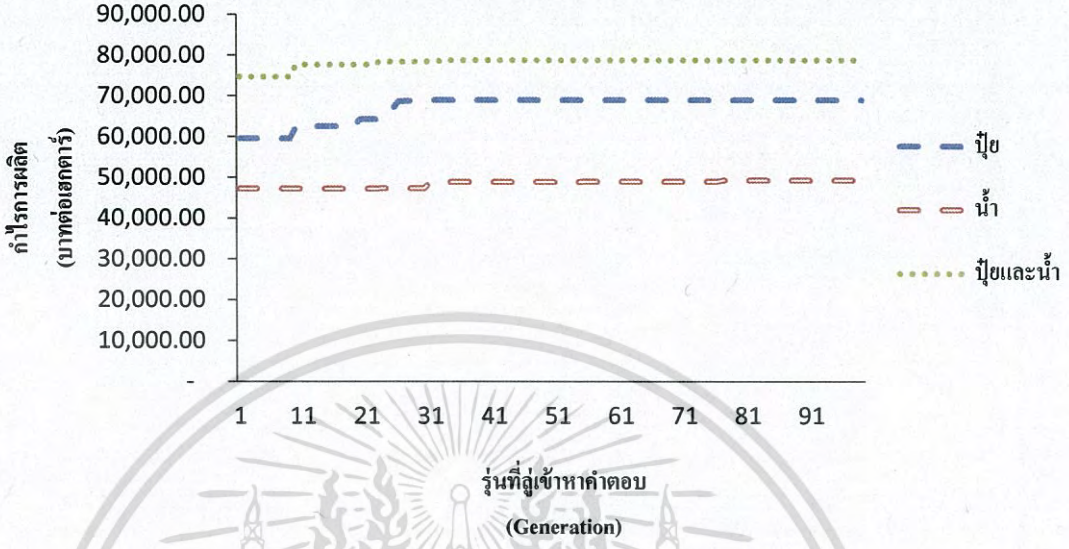
จากตารางที่ 4.5 พบว่า ผลของการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ แบบใช้ฐานความรู้และไม่ปรับปรุงโคโมโซม มีกำไรเหมาะสมเฉลี่ย 50,726.54 บาทต่อเฮกตาร์ น้อยกว่า กำไรจากการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมเฉลี่ย แบบใช้ฐานความรู้และปรับปรุงโคโมโซม มีกำไรเหมาะสมเฉลี่ย 63,657.33 บาทต่อเฮกตาร์ หรือมีกำไรสูงขึ้น 25.49 เปอร์เซ็นต์ โดยมีแนวโน้มการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 22 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.27 ชั่วโมง แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 แสดงกำไรที่เหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย ของโครโมโซมจากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับกฎฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ 1000

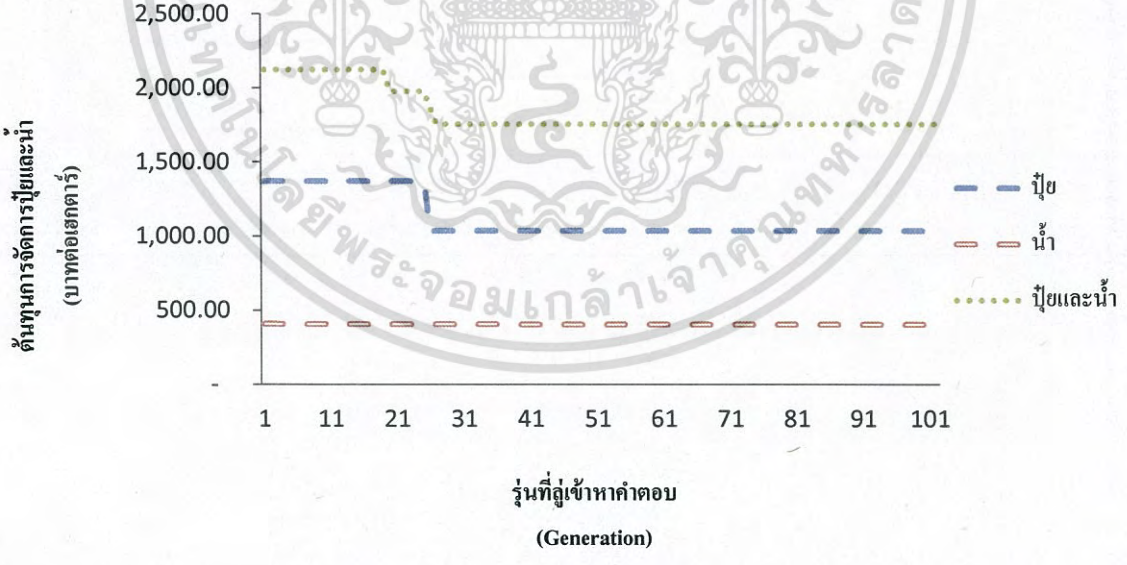
เงื่อนไขการหยุด	แสดงกำไร การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย น้ำ ปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้			
	ใช้ฐานความรู้ ไม่ปรับปรุงโคโมโซม (บาท)	ใช้ฐานความรู้และปรับปรุงโคโมโซม (บาท)		
		รูปแบบปุ๋ยอย่างเดียว	รูปแบบน้ำอย่างเดียว	รูปแบบแบบปุ๋ยและน้ำ
รุ่นที่ 100	48,419.05	62,633.23	54,260.00	63,413.44
รุ่นที่ 500	50,270.40	64,358.33	54,280.40	63,597.11
รุ่นที่ 1000	50,726.54	64,645.50	54,280.40	63,657.33
กำไรต่อเฮกตาร์	50,726.54	64,645.50	54,280.40	63,657.33
กำไรต่อไร่	8,116.25	10,343.28	8,684.86	10,185.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 แสดงการลู่เข้าหากำไรและต้นทุนที่เหมาะสม (Convergence) โดยเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ 1000



ภาพที่ 4.3 แสดงการลู่เข้าหากำไรการผลิตเหมาะสมสูงสุดจากจัดการปุ๋ยหรือน้ำที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว โดยแสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ 4.4 แสดงการลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมต่ำสุด จัดการปุ๋ยหรือน้ำที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว โดยแสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.3 แสดงต้นทุนเหมาะสมสูงสุดเฉลี่ย จากการค้นหาคำตอบด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

จากตาราง 4.6 พบว่า ผลของการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ แบบใช้ฐานความรู้และไม่ปรับปรุงโคโมโซม มีต้นทุนเหมาะสมเฉลี่ย 2,426.53 บาทต่อเฮกตาร์ น้อยกว่า ต้นทุนจากการจัดการปุ๋ยและน้ำแบบใช้ฐานความรู้และปรับปรุงโคโมโซม ต้นทุนเหมาะสมเฉลี่ย 2,085.33 บาทต่อเฮกตาร์ หรือมีต้นทุนลดลง 16.36 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยต้นที่เหมาะสม จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ1000

	แสดงต้นทุน การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ย น้ำ ปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้			
เงื่อนไขการหยุด	ใช้ฐานความรู้ไม่ปรับปรุงโคโมโซม (บาท)	ใช้ฐานความรู้ปรับปรุงโคโมโซม (บาท)		
		รูปแบบปุ๋ยอย่างเดียว	รูปแบบน้ำอย่างเดียว	รูปแบบแบบปุ๋ยและน้ำ
รุ่นที่ 100	2,538.67	1,533.56	663.50	2,213. 26
รุ่นที่ 500	2,538.67	1,438.37	592.70	2,091.48
รุ่นที่ 1000	2,426.53	1,166.00	559.36	2,085.33
ต้นทุนต่อเฮกตาร์	2,426.53	1,166.00	559.36	2,085.33
ต้นทุนต่อไร่	388.24	186.56	89.50	333.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.5 แสดงค่าเฉลี่ยรุ่นการลู่เข้าคำตอบที่เหมาะสมสูงสุด จากการค้นหาคำตอบด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

จากตาราง 4.7 พบว่า ผลของการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ แบบใช้ฐานความรู้และไม่ปรับปรุงโคโมโซม มีแนวโน้มการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม เฉลี่ยรุ่นที่ 71.67 น้อยกว่ารุ่นที่มีการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม จากการจัดการปุ๋ยและน้ำ แบบใช้ฐานความรู้และปรับปรุงโคโมเฉลี่ย รุ่นที่ 20.67 หรือพบคำตอบที่เหมาะสมเร็วขึ้น 71.15 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยรุ่นการลู่เข้าหาคำตอบที่เหมาะสม จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับกฎฐานความรู้ เงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ 1000

	แสดงการลู่เข้าหากำไรสูงสุด การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้			
เงื่อนไขการหยุด	ใช้ฐานความรู้ไม่ปรับปรุงโคโมโซม (รุ่นที่)	ใช้ฐานความรู้ปรับปรุงโคโมโซม (รุ่นที่)		
		รูปแบบปุ๋ยอย่างเดียว	รูปแบบน้ำอย่างเดียว	รูปแบบแบบปุ๋ยและน้ำ
รุ่นที่ 100	84.33	29.33	90.67	31.67
รุ่นที่ 500	72.67	21.67	82.33	22.00
รุ่นที่ 1000	71.67	27.33	87.00	20.67
รุ่นลู่เข้าเฉลี่ย	76.22	26.11	86.67	24.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.6 แสดงเวลาการค้นหาคำตอบเฉลี่ย จากการค้นหาคำตอบด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ผลของการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ แบบใช้ฐานความรู้และไม่ปรับปรุงโคโมโซม มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการค้นหาทั้งหมด จากการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้ฐานความรู้ค้นหาและปรับปรุงโครโมโซม เปรียบเทียบกับ การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยไม่ใช้ฐานความรู้ค้นหาและปรับปรุงโครโมโซม โดยระยะเวลาการค้นหาโดยมีเงื่อนไขการหยุดตรวจสอบ ที่รุ่น 100 500 และ 1000 โดยใช้เวลาเฉลี่ยลดลง คือ 1.36 1.32 และ 1.23 ชั่วโมง หรือใช้เวลาในการค้นหาคำตอบ ลดลง 23.07 17.62 และ 6.93 เปอร์เซ็นต์ แสดงการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4.3 และ ภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการค้นหาทั้งหมด จากการค้นหาคำตอบด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับกฎฐานความรู้ เงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ1000

	แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาการค้นหาทั้งหมด การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้			
เงื่อนไข การหยุด	ใช้ฐานความรู้ ไม่ปรับปรุงโคโมโซม (ชั่วโมง)	ใช้ฐานความรู้ปรับปรุงโคโมโซม (ชั่วโมง)		
		รูปแบบปุ๋ย อย่างเดียว	รูปแบบน้ำ อย่างเดียว	รูปแบบ แบบปุ๋ยและน้ำ
รุ่นที่ 100	1.56	1.09	1.23	1.20
รุ่นที่ 500	5.22	2.16	2.54	4.30
รุ่นที่ 1000	9.08	9.09	9.03	8.45
เวลาเฉลี่ย	5.29	4.11	4.27	4.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 แสดงกำไรจากการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบไม่ใช้ฐานความรู้ และใช้กับฐานความรู้ ปรับปรุงโครโมโซม

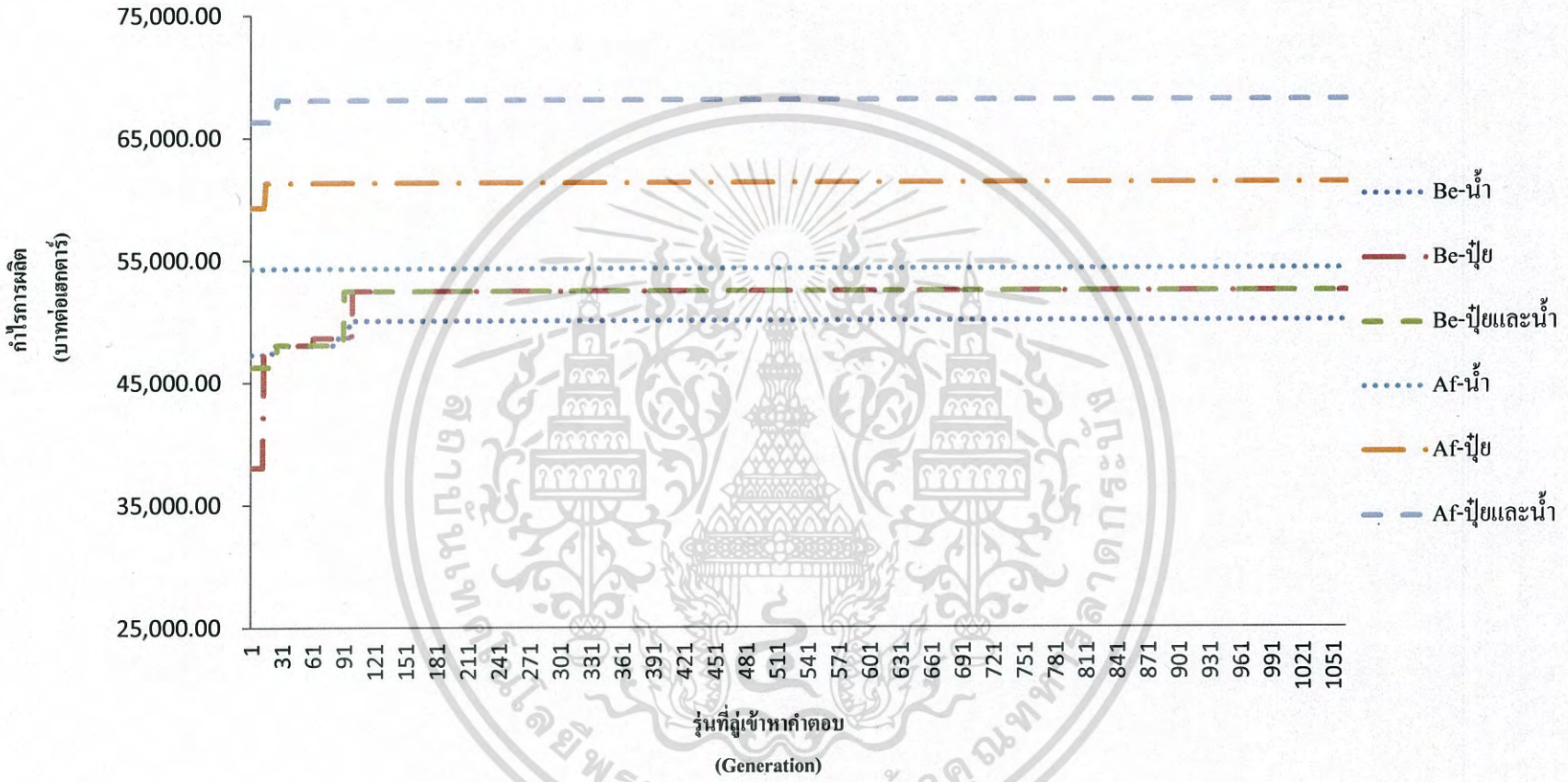
จากตารางที่ 4.9 พบว่า ผลของการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ แบบใช้ฐานความรู้และปรับปรุงโคโมโซม มีกำไรเหมาะสมสูงสุด เฉลี่ย 68,049.00 บาทต่อเฮกตาร์ มากกว่า การไม่ใช้ฐานความรู้ และไม่ปรับปรุงโคโมโซม ระหว่างการค้นหา เฉลี่ย 52,463.00 บาทต่อเฮกตาร์ หรือมีกำไรมากกว่า 29.71 เปอร์เซ็นต์ แสดงผลการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟ ดังภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.9 แสดงกำไรที่เหมาะสมสูงสุด จากการลู่เข้าหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบไม่ใช้ฐานความรู้ และใช้ฐานความรู้ เงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100 500 และ 1000

เงื่อนไขการหยุด	แสดงกำไรการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยแบบจำลองเจเนติกอัลกอริทึม					
	ไม่ใช้ฐานความรู้ ค้นหารูปแบบโครโมโซม (บาท)			ใช้ฐานความรู้ค้นหาและปรับปรุงโครโมโซม (บาท)		
	รูปแบบปุ๋ย	รูปแบบน้ำ	รูปแบบปุ๋ยและน้ำ	รูปแบบปุ๋ย	รูปแบบน้ำ	รูปแบบปุ๋ยและน้ำ
รุ่นที่ 10	47,260.00	38,010.00	46,283.00	54,260.00	59,260.00	66,283.00
รุ่นที่ 20	47,280.00	48,030.00	46,283.00	54,260.00	59,260.00	66,283.00
รุ่นที่ 30	48,010.00	48,030.00	48,049.00	54,280.00	59,260.00	68,049.00
รุ่นที่ 40	48,030.00	48,030.00	48,049.00	54,280.00	61,283.00	68,049.00
รุ่นที่ 50	48,030.00	48,030.00	48,049.00	54,280.00	61,283.00	68,049.00
รุ่นที่ 100	50,033.00	52,463.00	52,463.00	54,280.00	61,283.00	68,049.00
รุ่นที่ 150	50,033.00	52,463.00	52,463.00	54,280.00	61,283.00	68,049.00
รุ่นที่ 500	50,033.00	52,463.00	52,463.00	54,280.00	61,283.00	68,049.00
รุ่นที่ 1000	50,033.00	52,463.00	52,463.00	54,280.00	61,283.00	68,049.00

ภาพที่ 4.9 แสดงการลู่เข้าหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ที่มีกำไรที่เหมาะสม ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบไม่ใช้ฐานความรู้ (Be) และแบบใช้ฐานความรู้ (Af) ปรับปรุงโครโมโซม โดยหยุดที่รุ่น 10 50 100 500 และ 1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 การลู่เข้าหากำไรที่เหมาะสมสูงสุด จากรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบ ไม่ใช้ฐานความรู้ (Be) และแบบใช้ฐานความรู้ (Af) ปรับปรุงโครโมโซม โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 1000

4.8.6 สรุปผลการทดลอง

จากการปรับปรุงโครโมโซมรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบใช้ฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำในนาข้าว รวมทั้งการปรับปรุงกลุ่มของโครโมโซมของคำตอบ ในขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม โดยการใช้แนวทางการศึกษา และพัฒนาแบบจำลอง จากรายงานของ Osman & Can [44], Reid [39], & Lukasiewycz [28] โดยนำเทคนิคมากำหนดเงื่อนไขการค้นหา ด้วยฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำ จาก Yosida [5] & K.De Datta [6] และกรมการข้าว (ประเทศไทย) เพื่อนำมาพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองใหม่ จากรายงานของ Pannavich & Worapoj [25] [26] เพื่อให้พบรูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมมากขึ้น สรุปว่า หลังจากใช้ฐานความรู้เข้าไปปรับปรุง ในขั้นตอนของเจเนติกอัลกอริทึม มีกำไร สูงกว่า การไม่ใช้ฐานความรู้เข้าไปปรับปรุงอัลกอริทึม จำนวน 25.49 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของต้นทุนการจัดการลดลง 16.36 เปอร์เซนต์ รอบของการพบคำตอบเร็วขึ้น 71.15 เปอร์เซ็นต์ และการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมโดยมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 100 500 และ 1000 พบว่าใช้เวลาทำงานลดลง 23.07 17.62 และ 6.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อีกทั้ง จากการใช้ฐานความรู้การใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ร่วมค้นหารูปแบบการจัดการที่เหมาะสม สามารถพบกำไรเฉลี่ย สูงกว่า การไม่ใช้เงื่อนไขการจัดการปุ๋ยและน้ำในการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซม 29.71 เปอร์เซนต์ และต้นทุนเฉลี่ย ต่ำกว่า 44.95 เปอร์เซนต์ จากการหยุดตรวจสอบ ในรุ่นถี่ขึ้น พบว่า กำไรจากการค้นหามีการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นในช่วงก่อนรุ่นที่ 50 แต่หลังจากนั้น ไม่มีความเปลี่ยนแปลง หรือสภาพคงที่ตลอดจนเข้าสู่เงื่อนไขการหยุด จากการทดลองดังกล่าว สรุปได้ว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมและมีความน่าเชื่อถือสูงกว่า การค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำของผู้เชียวชาญด้านการเกษตรแบบดั้งเดิม และการใช้เทคนิคอัลกอริทึมค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยหรือน้ำ ด้วยวิธีอื่นๆ ของ Bouman [3], M.E. Shibu [7] & Cui [8] เป็นต้น อีกทั้ง วิธีการดังกล่าวสามารถประหยัดปุ๋ยและน้ำ เพื่อการปลูกข้าว ได้ดีกว่าเทคนิค อื่นๆ

จากงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่ โดยการใช้เทคนิคด้านเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ ในการค้นหาต้นทุนการจัดการปุ๋ยและน้ำร่วมกัน และการทดลองเปรียบเทียบการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยหรือน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว แบบแยกพิจารณาแต่ละวัตถุประสงค์ ดังข้อมูล ภาคผนวก ก ซึ่งผลจากการทดลองจะเห็นว่าต้นทุนลดลงอย่างชัดเจน อีกทั้งพบว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยหรือน้ำ เพียงอย่างเดียวหลังจากปรับปรุงอัลกอริทึมยังส่งผลต่อการมีกำไรที่สูงขึ้น มากกว่า การไม่ได้ใช้ฐานความรู้เข้ามาปรับปรุงอัลกอริทึม เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปวิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ได้พัฒนาแบบจำลองการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำ ที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยทำงานร่วมกับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* ที่พัฒนาโดย IRRI ณ ประเทศฟิลิปปินส์ หลังจากใช้เทคนิคการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมดังกล่าว รูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำ สามารถนำไปวางแผนผลิตข้าวได้ และจากการแนวความคิดการแก้ไขปัญหาทางด้านการลดต้นทุนการเกษตรด้วยเทคนิคทางด้านอัลกอริทึมของ ของ Osman & Can [44], Reid [39] และ Lukasiewycz [28] ร่วมกับแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว จาก Bouman [3] [4] ร่วมกับ ฐานความรู้การจัดการปุ๋ยและน้ำของ Yosida [5] & Datta [6] ในการปรับปรุงโครโมโซม ซึ่ง Pannavich & Worapoj [25] [26] ได้ใช้แนวคิดดังกล่าวในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการการค้นหาใส่ปุ๋ยและน้ำขึ้นมาใหม่ ซึ่งพบว่า แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปใช้ค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวได้

ซึ่ง เทคนิคการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม เป็นลักษณะการค้นหาแบบวนซ้ำ ดังนั้น การคำนวณแต่ระรอบจะใช้เวลานาน และจากการทดลองทั้งหมดได้ใช้ Text File ในการเก็บข้อมูล และบันทึกคำตอบทุกๆ รอบของการค้นหา รูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสมที่สุด รวมทั้งประวัติการทำงานในแต่ละรอบ ดังนั้น ทำให้การทดลองบน PC หรือ Note Book มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ ซึ่งถ้าต้องการค่าความน่าเชื่อถือในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สูงขึ้น ควรใช้การทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์เซิฟเวอร์ เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับโปรแกรมแบบจำลอง การค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านอัลกอริทึม งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพียง 2 ปัจจัยเท่านั้น แต่สามารถใช้แนะนำการแก้ไขปัญหา เรื่องของต้นทุนการผลิตของเกษตรได้ ในส่วนของปัจจัยอื่นๆ ที่ยังไม่ได้ศึกษาในเชิงลึก และบางปัจจัยกำหนดให้มีการจัดการที่เหมาะสม เช่น การระเหยของไนโตรเจนที่ระดับน้ำ อุณภูมิ แสง ที่ต่างกัน ปริมาณธาตุอาหาร *Phospurus* และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Potassium ที่เป็นธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรอง ซึ่งรายงานของ Sharma [9] ที่พยายามค้นหาธาตุอาหาร P และ K ที่ส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตข้าว ซึ่งมีผลต่อต้นทุนการจัดการที่สูง

จากแนวทางการสร้างแบบจำลอง ด้วยหลักการเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ ในการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ที่มีต้นทุนการจัดการต่ำ สามารถพบลักษณะรูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำได้ แต่ระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบทั้งโปรแกรม ยังพบว่ายังคงใช้เวลาค่อนข้างนาน ซึ่งถ้ามีการเพิ่มเงื่อนไข การคัดเลือก หรือปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใหม่ (Objective Function) ในขั้นตอนการคัดเลือกโครโมโซมพ่อกับแม่ในขบวนการวงล้อการคัดเลือก คาดว่า จะสามารถทำให้เวลาในการค้นหาคำตอบลดลงได้อีก

และคำตอบของรูปแบบโครโมโซม ที่แบบจำลองแนะนำในรอบสุดท้าย เป็นรูปแบบโครโมโซมที่มีการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนร่วมกับน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ต้องมีการทดสอบในพื้นที่แปลงนาจริง ซึ่งงานวิจัยนี้ได้จัดทำการทดลองเพียงรูปแบบการใส่ปุ๋ยเท่านั้น เนื่องจากต้องใช้งบประมาณในการทดสอบสูงมาก ซึ่งเป็นการทดลองเฉพาะรูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองในครั้งนี้ เพียงพอสำหรับการยืนยันการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึมได้ อีกทั้งยังสามารถเป็นต้นแบบ ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองแนะนำการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในการปลูกข้าวนาปรังให้กับเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Axel Tonini and et al.,Opportunities for Global Rice Research in a Changing World, International Food Policy Research Institute(IFPRI), International Rice Research Institute Los Banos, Philipines.Tonini,2009.

[2] Kenneth G. Cassman and et al., Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management" (2002). Agronomy & Horticulture -Faculty Publications.Paper 356. http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/356.Cassman, 2001.

[3] B.A.M Bouman, KroffMJ, Toung TP, Oryza2000 Modeling Lowland Rice, Los Barnos, Philippine, International Rice Research Institute(IRRI) and Wageningen University.,2001.

[4] B.A.M Bouman and et al., Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited condition, Agricultural Systems 87,2006,249-273p.

[5] Shouichi Yoshida, Fundamentals of Rice Crop Sciences, The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.,1981.

[6] Surajit K. De Datta, Principle and Practices of Rice Production, The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, SB191.R5D38 633.1'8 80-28941.,1993,pp. 348-398.

[7] M.E.Shibu, LINTUL3, a simulation model for nitrogen-limited situations: Application to rice, Eur.J.Agron.(2010),doi:10.1016/j.eja.2010.01.003,2010.

[8] Ri-Xian Cui, Decision Support System for Nitrogen Fertilizer Optimization Using Rice Growth Simulation Model, School of Plant Science, Seoul National University, Suwon, Korea,2011.

[9] Dinish K.Sharma and RK.Jana, Fuzzy Goal programming based genetic algorithm approach to nutrient management for rice crop planning,Department of Systems Engineering & OperationsResearch,Int.Production Economics, Journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijpe, 2009, 224- 232.

[10] Goldberg D.E., Genetic Algorithms in Search Optimization & Machine Learning. Addison-Wesley. Reading. Massachosetts. U. S.A., 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Goldberg D.E. and K. Deb.,A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms, Pages 69-93. Foundations of Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann, SanMateo, California, 1991.

[12] Cristian Blum,Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison, ACM Computing Surveys, Vol. 35, No. 3, September,2003, pp.268–308.

[13] Russell R. Barton ,Simulation Optimization Metamodels, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R G. Ingalls

[14] Hemant Kumar Singh and et.,al.,2009,Performance of Infeasibility Driven Evolutionary Algorithm(IDEA) on Constrained Dynamic Single Objective Optimization Problems, IEEECongress on Evolutionary Computation (CEC 2009),2009.

[15] C.Lin and J.J More, New's method for large bound-constrained optimization problems. SIAMJournal on Optimization,1999,1101-1127 p.

[16] Michel C.Fu, Optimization for Simulation Theory vs. Practice, Robert H.Smith School of Business and Institute for Systems Research, University of Maryland, College Park, Maryland,USA,INFORMS Journal on Computing Vol.14,No.3,Summer,2002.

[17] Avnish Kumar Bhatia, Applications of Genetic Algorithm in Agricultural Problems -An Overview,Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics 67(1) 2013 13-22,Available on line at www.isas.org.in/jisas,2011.

[18] Annepu G., Subbaiah, K.V. and Kandukuri, N.R.,Land allocation strategies through genetic algorithm approach- a case study. Global J. Res. Engg., 11(4),2011, 7-13

[19] Sorama D.Bolboaca, Loretz Jantschi and et al.,State of Art in Genetic Algorithm for Agricultural Systems, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,ISSN 0255-965X:Electronic 1842-4309,Available online at www.notulaebotanicae.or ,2010.

[21] J.W.Jones and et al., The DSSAT cropping system model,Agricultural Enginerring Department, University of Florida, USA,Europ.J.Agronomy 18 ,2003, 235-265.

[22] B.Soundharajan and K.P.Sudheer, Deficit irrigation management for rice using crop growth simulation model in an optimization framework,Indian Institute of Technology Madras, Chennai,India, Paddy Water Environ(2009) 7:135-149.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] A. Ponsich and C. Azzaro-Pantel, Constraint handling strategies in Genetic Algorithms application tooptimal batch plant design, Laboratoire de G๑enie Chimique de Toulouse, France.

[24] Kalyanmoy Deb, An Efficient Constraint Handling Method for Genetic Algorithms, Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL) Department of Mechanical Engineering Indian Institute of Technology Kanpur,INdia.

[25] Ariyatanakatawong P and Kreesuradej W., Simultation Optimization Framework for OptimizingNitrogenFertilization for Rice Crop,King Mongkut's Intitute of Technology Ladkrabang,Conference of The Asian Conference on the Social Sciences 2013,June 6-9 2013,(ACSS2013) by IAFOR,Osaka Prefecture,Japan.,2013.

[26] Ariyatanakatawong P and Kreesuradej W.,Simulation OptimizationUsing A Genetic Algorithm WithANitrogen Fertilizer Nutritional Knowlwdge B ase for Rice Crops,Conference of The Twentiesth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2015(AROB 20TH2015),January 21-23 2015,Beppu, Oita,Japan,2015.

[27] Lukasiewycz M., GlaB, M., Haubelt,C., Teich, J.: A Feasibility-preserving Crossover and Mutation Operator for Constrained Combinatorial Problems. In: Proceedings of Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN 2008), pp. 191-928

[28] Lukasiewycz M., GlaB, M., Haubelt,C., Teich, J.: SAT-Decoding in Evolutionary Algorithms for Discrete Constrained Optimization Problems. In: Proceedings of CEC'07.(2007) 935-942.

[29] Coello C. : Theoretical and numerical constraint handling techniques used with evolutionary algorithms: A survey of the state of the art. Art. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 191(11-12) (2002) 1245-1287.

[30] Michalewicz Z., Schoenauer, M. : Evolutionary algorithms for constrained parameter optimization problems, Evolutionary Computation 4(1)(1996), pp. 1-32.

[31] Zitzler E., Thiele L.: Multiobjective Evolutional algorithm: A comparative Case Study and the strength Pareto Approach. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 3(4) (1999) pp. 257.

[32] Koziel S., Michalewicz Z.: A decoder-based evolutionary algorithm for constrained parameter optimization problems. In: Proceedings of PPSN'98.(1998) 231-240.

[33] Chai D., Kuehlmann A.: A fast pseudo-Boolean constraint solver. In: proceedings of DAC'03.(2003) 830-835.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[34] Coello Coello & Mezura Montes, E., (2002), Constraint-handling in genetic algorithms through the use of dominance-based tournament selection.Advanced Engineering Informatics,16(3), 193-203. Doi:10.1016/S1474-0346(02)00011-3

[35] Hamida, S.B., & Petrowski, A.(2000). The need for improving the exploration operators for constrained optimization problems. IEEE Evolutionary Computation (pp. 1176-83). La Jolla, CA.

[36] Hinterding et al.,(2001),Constrained parameter optimization: equality constraints. IEEE congress on evolutionary computation (pp.687-692). Seoul, South Korea: IEEE.

[37] Ho, P.Y., & Shimizu K., (2007). Evolutionary constrained optimization using an addition of ranking method and a percentage based tolerance value adjustment scheme. Information Sciences, 177(14), 2985-3004. Doi:10.1016/j.ins.2007.01.011.

[38] Isaacs A., Ray, T., & Smith, W.(2008) Blessings of maintaining infeasible solutions for constrained multi-objective optimization problems. 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence) (pp. 2780-2787). IEEE.Doi: 10.1109/CEC.2008.4631171.

[39] Darryn J. Reid, 2000, Feasibility and Genetic Algorithms: The Behavior of Crossover and Mutation, Land Operations Division Electronics and Surveillance Research Laboratory, Department of defense Science & Technology Organization (DSTO),DSTO-TN-0320, Salisbury South Australia.

[40] Richa Garg & Saurabh Mittal,2014, Effect of Local Search on the Performance of Genetic Algorithm, International Journal of Emerging Research in Management & Technology ISSN: 2278-9359 (Volumne-3,Issue-6)

[41] อัฉรา ชุมวงศ์, 2551, การจัดการน้ำนาข้าวเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซมีเทนและคุณภาพน้ำ (Water Management in Paddy Field for Reduction of Environmental Impacts on Methane and Water Quality),วิทยานิพนธ์,วิศวกรรมดุษฎีบัณฑิต(วิศวกรรมชลประทาน),มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[42] พีระพล ตั้งสมบูญ, 2549, การใช้น้ำของพืช,เอกสารประกอบการบรรยาย หลังสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตรชลประทาน,กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทาน ส่วนการใช้น้ำชลประทาน,สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ.

[43] Ali Osman Kusa kci & Methmet Can, Constrained Optimization with Evolutionary Algorithms: A Comprehensive Review.In:Sounteast Europe Journal of Soft Computing, [Available on line at),2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์ผลการทดลองการค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าวด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ก่อนและหลังการปรับปรุงโครโมโซม ด้วยฐานความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก1 แสดงผลการค้นหารุ่นสุดท้าย และผลลัพธ์จากจำลอง ก่อนการปรับปรุง โครโมโซม การใส่ปุ๋ย ในขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม

ก4.3.1 ผลการค้นหาคำตอบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100

จากตารางที่ ก1.1 และ ก1.2 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการปุ๋ยเฉลี่ย 2,538.67 บาท และกำไรเฉลี่ย 71,257.20 บาท โดยมีการลู่เข้าหากำไรสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 84.33 และใช้เวลา เฉลี่ย 1.97 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก1.1 และ ก1.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ก1.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซม จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม ร่วมกับฐานความรู้ โดยรันอิสระและเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

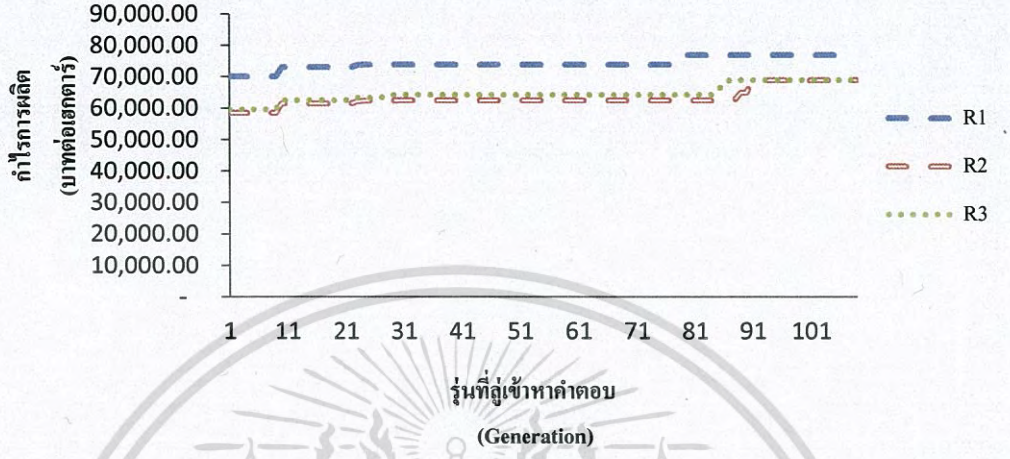
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	4	4	5	4	4	6	5	6	5	5
ผลรวม (กิโลกรัม)	175	181	161	181	113	205	160	176	202	171

ตารางที่ ก1.2 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

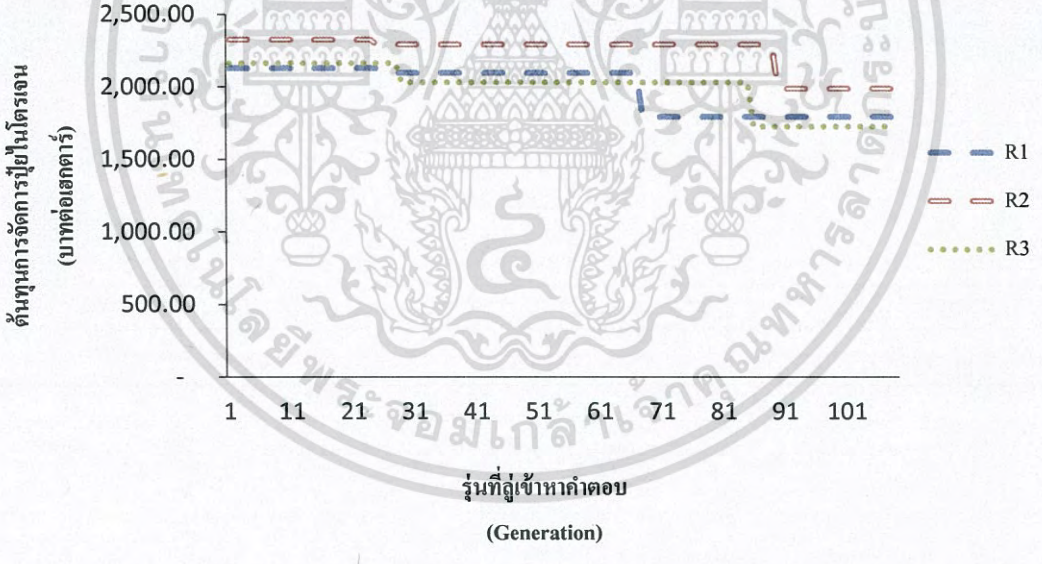
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ(Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	ปุ๋ย	รวม			
1	276.00	2,156.00	2,432.00	76,928.18	77.00	2.18
2	228.00	2,408.80	2,636.80	68,841.91	90.00	1.70
3	246.00	2,301.20	2,547.20	68,949.51	86.00	2.03
เฉลี่ย (μ)	250.00	2,288.67	2,538.67	71,573.20	84.33	1.97
S.D.	24.25	126.87	151.11	4,637.86	6.66	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.3.2 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขหยุดรุ่นที่100 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้นโดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหากำไรสูงสุดโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 ผลดังนี้



ภาพที่ ก1.1 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก1.2 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1.3 แสดงรูปแบบของโครโมโซมปุ๋ยรุ่นสุดท้าย จากการค้นหา ก่อนปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
10	49	5	0	9	26	9	20	41	19	14	58	5	0	11	43	7	58	7	56
28	0	12	61	10	55	10	108	44	56	26	33	12	45	22	15	20	56	20	54
29	59	44	4	18	11	18	22	62	26	31	32	16	31	44	29	45	0	45	0
50	0	64	40	27	16	51	31	64	12	35	14	31	29	52	39	46	45	48	44
54	18	66	75	51	0	52	0	68	0	37	30	39	79	57	50	48	17	61	17
68	0	77	0	52	0	62	0	72	0	49	38	55	0	70	0	61	26	70	9
69	49	87	0	62	53	92	0	75	0	59	0	0	0	75	0	73	0	73	0
79	0	88	0	95	0	97	0	94	0	69	0	83	0	77	4	76	0	76	0
97	0	96	0	106	0	102	0	101	0	70	0	92	0	82	0	93	0	82	0
100	0	106	0	115	0	106	0	108	0	82	0	102	106	87	0	96	0	93	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	5	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	6	ความถี่	5	ความถี่	6	ความถี่	5	ความถี่	5
รวม	175	รวม	181	รวม	161	รวม	181	รวม	113	รวม	205	รวม	160	รวม	160	รวม	202	รวม	171

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่ปุ๋ย, V= ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง

ก4.3.3 ผลการค้นหาคำตอบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม โดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 500

จากตารางที่ ก1.4 และ ก1.5 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการปุ๋ยเฉลี่ย 2,426.53 บาท และกำไรเฉลี่ย 77,437.73 บาท โดยมีการลู่เข้าหากำไรสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 72.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 5.22 ชั่วโมง และแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก1.3 และ ก1.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ก1.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซม ที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

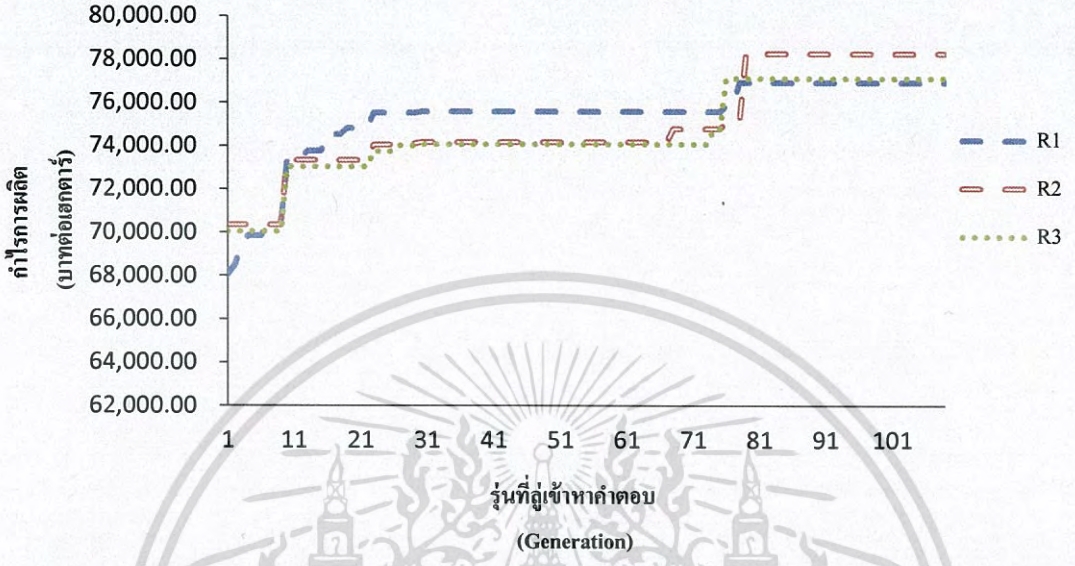
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	3	4	3	0	4	2	4	4	2	3
ผลรวม (กิโลกรัม)	132	198	123	0	203	124	270	161	145	213

ตารางที่ ก1.5 แสดงต้นทุน(cost) กำไร (profit) และค่าเฉลี่ย(μ)จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 500

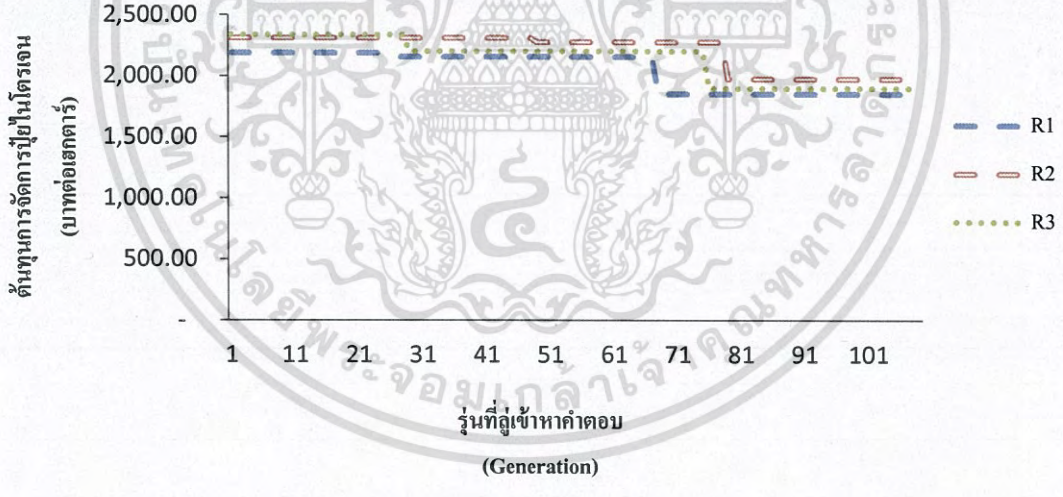
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 500 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ(Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	ปุ๋ย	รวม			
1	174.00	2,510.40	2,684.40	76,928.18	78.00	4.71
2	156.00	2,153.60	2,309.60	78,265.00	67.00	6.30
3	132.00	2,153.60	2,285.60	77,120.00	73.00	4.65
เฉลี่ย (μ)	154.00	2,272.53	2,426.53	77,437.73	72.67	5.22
S.D.	21.07	206.00	227.07	722.83	5.51	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.3.4 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขหยุดรุ่นที่ 500 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้นโดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหากำไรสูงสุดโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500 ผลดังนี้



ภาพที่ ก1.3 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก1.4 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1.6 แสดงรูปแบบของโครโมโซมปุ๋ยรุ่นสุดท้าย จากการค้นหา ก่อนปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 500

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
9	0	27	56	13	0	4	0	19	76	23	57	7	0	24	49	5	0	6	0
38	60	30	28	20	51	7	0	26	57	24	67	16	93	34	23	20	60	20	82
54	34	40	0	37	27	12	0	33	45	70	0	45	25	41	28	27	0	39	86
62	38	41	37	64	45	23	0	45	25	82	0	48	62	42	61	29	85	46	0
82	0	53	77	84	0	76	0	71	0	90	0	49	90	71	0	42	0	53	45
93	0	68	0	86	0	79	0	90	0	93	0	71	0	84	0	63	0	67	0
95	0	76	0	87	0	89	0	99	0	94	0	81	0	89	0	72	0	81	0
96	0	89	0	97	0	95	0	100	0	95	0	84	0	99	0	76	0	84	0
107	0	100	0	104	0	103	0	106	0	99	0	100	0	110	0	96	0	88	0
110	0	110	0	110	0	114	0	110	0	115	0	103	0	111	0	112	0	106	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	3	ความถี่	4	ความถี่	3	ความถี่	0	ความถี่	4	ความถี่	2	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	2	ความถี่	3
รวม	132	รวม	198	รวม	123	รวม	0	รวม	124	รวม	270	รวม	160	รวม	161	รวม	145	รวม	213

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่ปุ๋ย, V= ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง

ก4.3.5 ผลการค้นหาคำตอบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม มีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 1000

จากตารางที่ ก1.7 และ ก1.8 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการปุ๋ยเฉลี่ย 2,432.80 บาท และกำไรเฉลี่ย 76,749.73 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 71.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 9.08 ชั่วโมง และแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก1.5 และ ก1.6 ตามลำดับ

ตารางที่ ก1.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

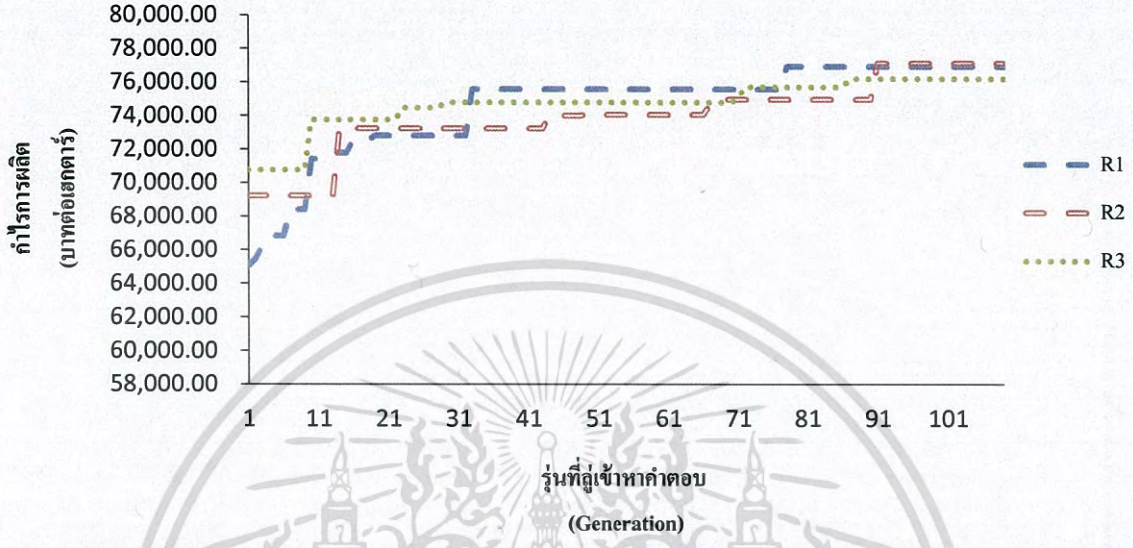
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	3	4	3	2	1	4	2	1	3	2
ผลรวม (กิโลกรัม)	171	181	134	181	56	180	100	167	159	159

ตารางที่ ก1.8 แสดงต้นทุน (cost) กำไร (profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

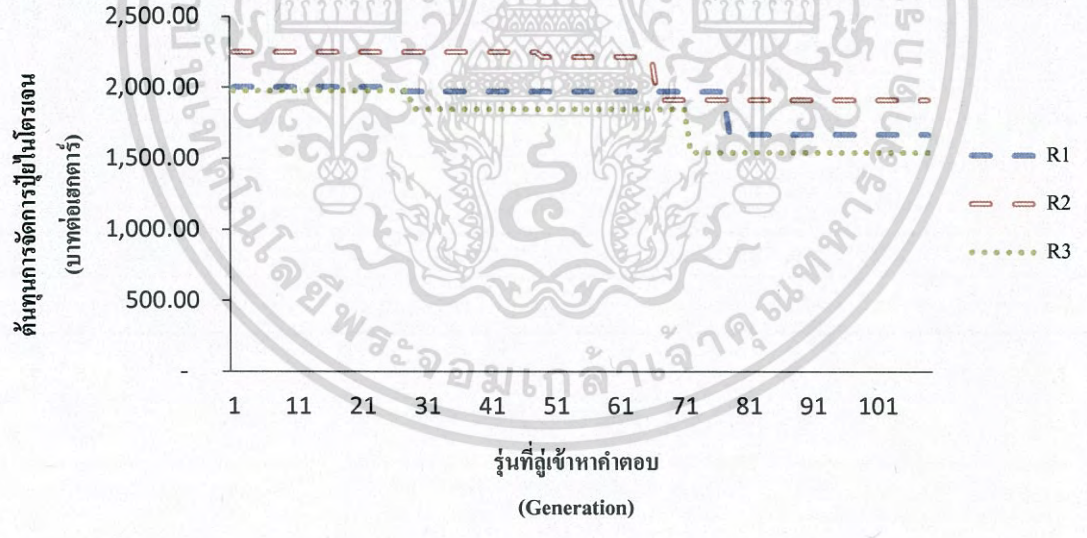
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 1000 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	ปุ๋ย	รวม			
1	138.00	2,256.00	2,394.00	76,928.18	77.00	10.05
2	132.00	2,208.00	2,340.00	77,120.00	67.00	7.80
3	150.00	2,414.40	2,564.40	76,201.00	71.00	9.40
เฉลี่ย (μ)	140.00	2,292.80	2,432.80	76,749.73	71.67	9.08
S.D.	9.17	108.01	117.17	484.79	5.03	1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.3.6 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence)ก่อนการปรับปรุงโดย เงื่อนไขหยุดรุ่นที่1000 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้นโดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหากำไรสูงสุดโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000 ผลดังนี้



ภาพที่ ก1.5 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก1.6 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก1.9 แสดงรูปแบบของโครโมโซมปุ๋ยรุ่นสุดท้าย จากการค้นหา ก่อนปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 1000

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
20	55	4	45	9	26	33	0	41	0	10	1	5	0	7	0	7	58	3	0
22	0	20	0	10	55	41	103	44	56	18	74	12	45	12	167	20	56	7	167
38	0	28	69	18	11	44	9	62	0	35	0	16	0	16	0	45	0	45	0
44	51	55	11	27	16	62	69	64	0	37	0	31	0	31	0	46	45	46	0
52	65	65	56	51	0	64	0	68	0	49	0	39	55	39	0	48	0	48	13
57	0	75	0	52	0	68	0	72	0	59	50	79	0	79	0	61	0	61	0
58	0	82	0	62	53	72	0	75	0	69	55	83	0	83	0	73	0	73	0
82	0	87	0	95	0	75	0	94	0	70	0	92	0	92	4	76	0	76	0
102	0	89	0	106	0	94	0	101	0	81	0	102	0	102	0	93	0	101	0
113	0	92	0	115	0	101	0	108	0	82	0	106	0	106	0	96	0	108	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	3	ความถี่	4	ความถี่	3	ความถี่	3	ความถี่	1	ความถี่	4	ความถี่	2	ความถี่	1	ความถี่	3	ความถี่	2
รวม	171	รวม	181	รวม	134	รวม	181	รวม	56	รวม	180	รวม	100	รวม	167	รวม	159	รวม	159

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่ปุ๋ย, V= ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง

ก4.3.7 สรุปผลการทดลองและประสิทธิภาพแบบจำลองในการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว ก่อนการปรับปรุงโครโมโซมลูกในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม

โดยรายละเอียดของโครโมโซม ที่มีปัญหา (Solution) จากขบวนการค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ย พบว่า มีรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยคือ ระยะห่างวันที่ใส่ปุ๋ย อยู่ในช่วงต่ำกว่า 15 วัน ปริมาณการใส่ปุ๋ยไม่อยู่ในช่วง จำนวน 50 - 180 กิโลกรัมต่อฤดูกาลผลิต และความถี่ในการใส่ปุ๋ยไม่อยู่ในช่วง 1-3 ครั้งต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต และมีโครโมโซมบางส่วนเมื่อผ่าน ขั้นตอนเจเนติกแล้ว วันที่การใส่ปุ๋ยซ้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถรันแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว Oryza2000 ได้ รวมทั้ง ยังพบว่ารูปแบบที่ค้นพบยังมีต้นทุนในการจัดการสูง และกำไรที่ต่ำ

ข้อดี คือ แบบจำลองสามารถค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ให้ผลกำไรเหมาะสมสูงสุดได้ โดยมีกำไรเฉลี่ย 73,879.02 บาทต่อเฮกตาร์ หรือ 11,820.64 บาทต่อไร่ ซึ่งตลอดฤดูกาลผลิตแนะนำให้ใส่ปุ๋ยเหมาะสมที่สุด 2 ครั้ง รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยจำนวน 1 และ 3 ครั้ง และมีโครโมโซมบางรูปแบบแนะนำให้ใส่ปุ๋ย มากกว่า 4 ครั้ง ต่อฤดูกาลผลิต แต่รูปแบบดังกล่าวทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการจัดการ

ข้อเสีย คือ หลังจากการค้นหารูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสมสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้แต่ยังไม่ปรับปรุงโครโมโซมลูกหลังขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม พบว่า มีรูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยบางส่วน ไม่เป็นไปตามกฎฐานความรู้ หรือมีรูปแบบเสียหาย เช่น การใส่ปุ๋ย 0 ครั้ง หรือมากกว่า 4 ครั้ง ซึ่งรูปแบบดังกล่าว ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ย อีกทั้งทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการค้นหารูปแบบโครโมโซมลูกใหม่ และเสี่ยงต่อการทำงานไม่รู้จบในขั้นตอนการค้นหา รวมทั้งรูปแบบดังกล่าวจะส่งผลต่อข้าวไม่สามารถเจริญเติบโตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก2 แสดงผลการค้นหารุ่นสุดท้าย และประสิทธิภาพแบบจำลองหลังการปรับปรุงโครโมโซมการใส่ปุ๋ย ในขั้นตอนการค้นหาโครโมโซมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

ก4.4.1 ผลการค้นหาการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม หลังการปรับปรุง เงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100

จากตารางที่ ก2.1 และ ก2.2 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการปุ๋ยเฉลี่ย 1,533.56 บาท และกำไรเฉลี่ย 74,358.33 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 29.33 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.09 ชั่วโมง และแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก2.1 และ ก2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ก2.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระโดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100

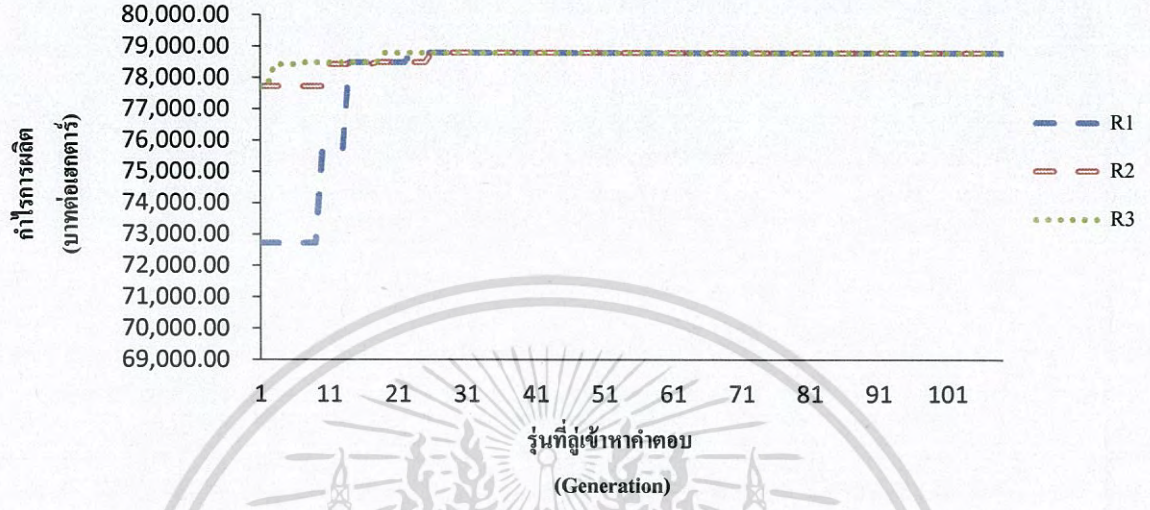
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
ผลรวม (กิโลกรัม)	78	78	77	78	78	46	82	165	78	78

ตารางที่ ก2.2 แสดงต้นทุน(cost) กำไร (profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100

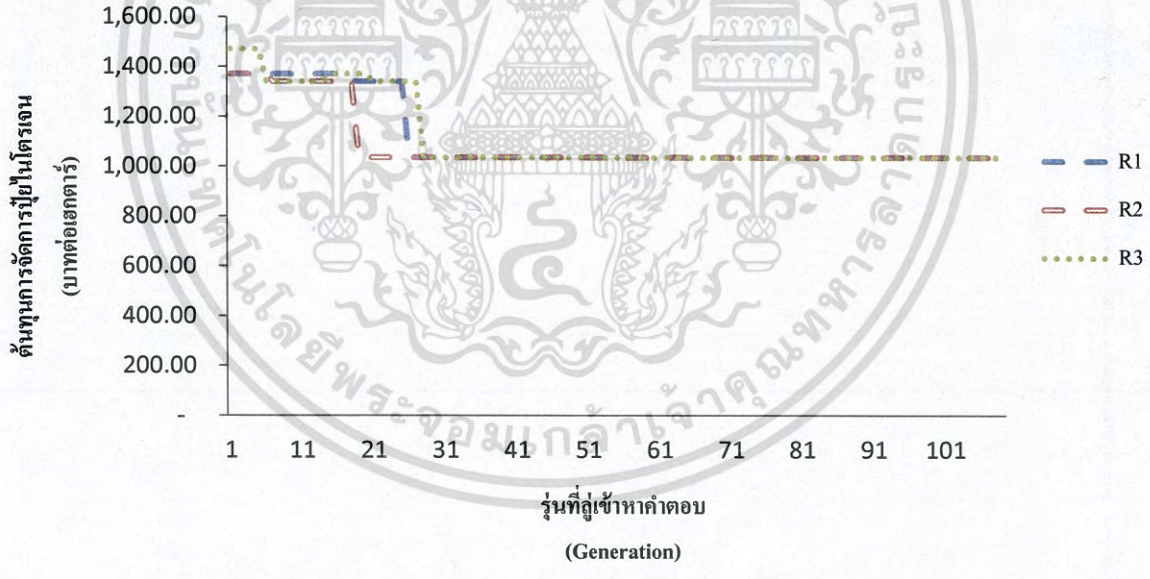
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ(Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	ปุ๋ย	รวม			
1	94.89	1,448.89	1,543.78	73,591.70	32.00	1.05
2	88.11	1,397.33	1,485.44	77,091.80	25.00	1.15
3	74.56	1,496.89	1,571.44	72,391.50	31.00	1.08
เฉลี่ย (μ)	94.89	1,447.70	1,533.56	74,358.33	29.33	1.09
S.D.	88.11	49.79	43.90	2,442.13	3.79	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.4.2 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) หลังการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขหยุดรุ่นที่ 100 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้นโดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ สำหรับการค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 ผลดังนี้



ภาพที่ ก2.1 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก2.2 การลู่เข้าหาต้ำทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2.3 แสดงรูปแบบของโครโมโซมปุ๋ยรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา หลังปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 100

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
9	0	1	0	9	0	6	0	8	0	9	0	16	0	6	0	6	0	9	0
11	0	6	0	13	0	7	0	9	0	16	0	21	0	7	0	7	0	13	0
13	0	7	0	21	0	9	0	13	0	25	29	25	0	9	0	9	0	16	0
16	0	9	0	25	0	11	0	15	0	59	17	26	0	11	0	15	0	18	0
21	0	15	0	33	77	15	0	16	0	82	0	36	0	28	0	16	0	21	0
25	0	19	0	43	0	19	0	19	0	85	0	57	0	33	0	19	0	25	0
33	0	21	0	54	0	21	0	21	0	86	0	63	82	37	165	21	0	33	0
43	0	43	0	64	0	43	0	43	78	95	0	68	0	95	0	33	0	43	0
54	78	57	78	87	0	57	78	57	0	96	0	80	0	96	0	43	78	54	78
64	0	87	0	90	0	87	0	87	0	100	0	87	0	100	0	87	0	64	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	1	ความถี่	1	ความถี่	1	ความถี่	1	ความถี่	1	ความถี่	2	ความถี่	1	ความถี่	1	ความถี่	1	ความถี่	1
รวม	78	รวม	78	รวม	77	รวม	78	รวม	78	รวม	46	รวม	82	รวม	165	รวม	78	รวม	78

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่ปุ๋ย, V= ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง

ก4.4.3 ผลการค้นหาการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม หลังการปรับปรุง เงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 500

จากตารางที่ ก2.4 และ ก2.5 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ย มีต้นทุนการจัดการปุ๋ยเฉลี่ย 1,166.00 บาท และกำไรเฉลี่ย 72,633.23 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 21.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 2.16 ชั่วโมง และแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก2.3 และ ก2.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ก2.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

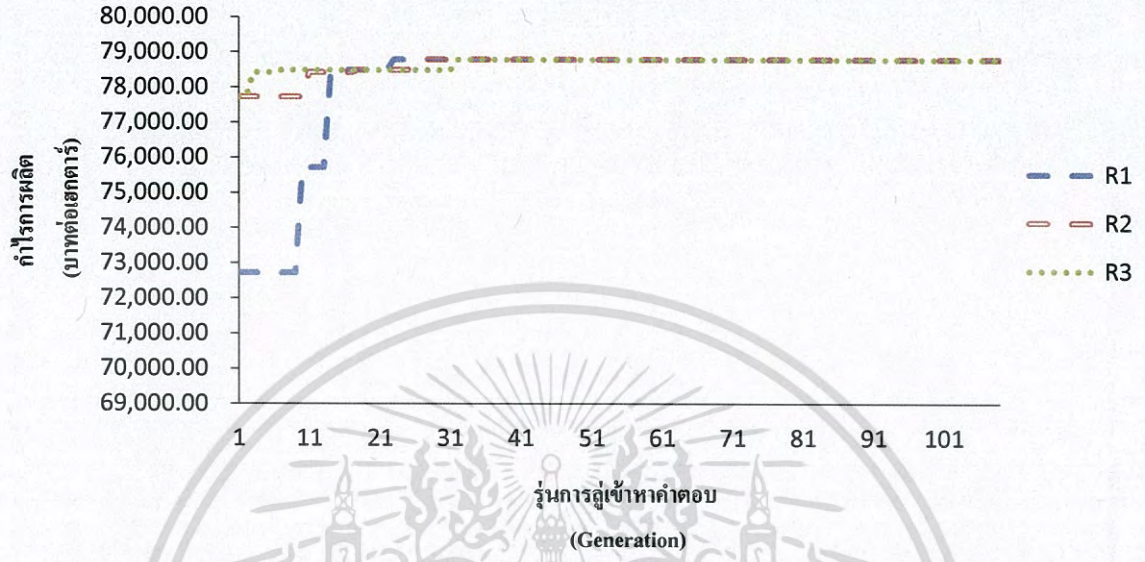
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2
ผลรวม (กิโลกรัม)	66	64	64	66	64	64	66	64	64	64

ตารางที่ ก2.5 แสดงต้นทุน (cost) กำไร (profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

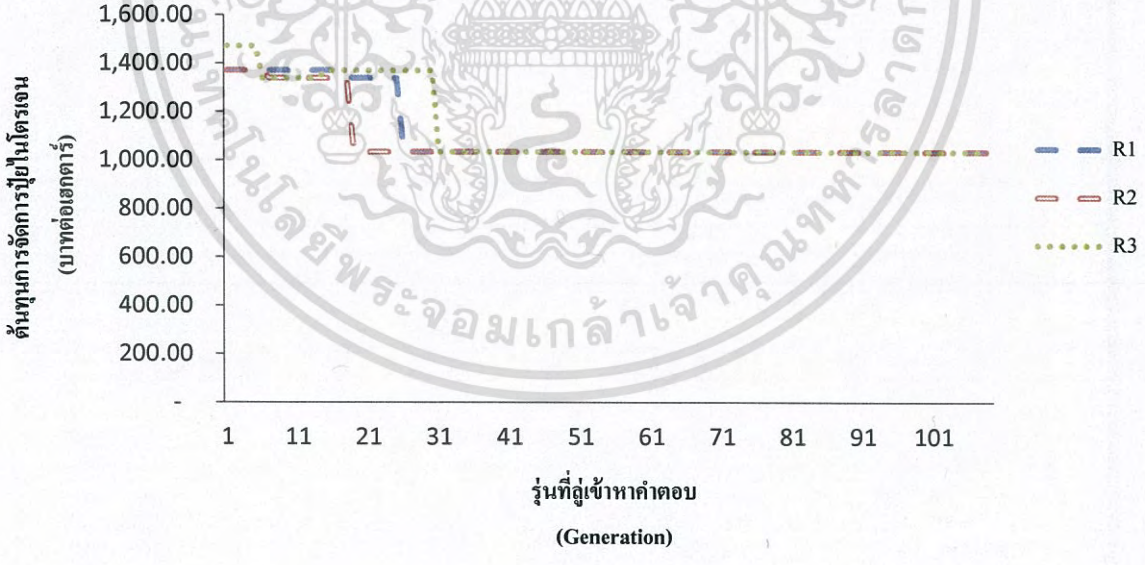
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ(Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	ปุ๋ย	รวม			
1	105.00	1,024.00	1,129.00	72,330.60	21.00	1.74
2	112.50	1,116.00	1,228.50	76,021.00	25.00	3.06
3	82.50	1,058.00	1,140.50	69,548.10	19.00	1.68
เฉลี่ย (μ)	100.00	1,066.00	1,166.00	72,633.23	21.67	2.16
S.D.	15.61	46.52	54.43	3,247.04	3.06	0.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.4.4 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) หลังการปรับปรุง โดยเงื่อนไขหยุด รุ่นที่ 500 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้นโดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการค้นหากำไรสูงสุดโดยมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500 ผลดังนี้



ภาพที่ ก2.3 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก2.4 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2.6 แสดงรูปแบบของโครโมโซมปุ๋ยรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา หลังปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่ 500

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
12	0	3	0	12	0	12	0	12	0	12	0	3	0	12	0	12	0	12	0
13	0	12	0	13	0	13	0	13	0	13	0	12	0	13	0	13	0	13	0
32	0	26	0	26	0	26	0	26	0	32	0	26	0	26	0	26	0	26	0
33	66	29	0	29	0	29	0	29	0	33	66	29	0	29	0	29	0	29	0
52	0	34	22	34	22	34	22	34	22	52	0	34	22	34	22	34	22	34	22
69	0	44	0	44	0	44	0	41	0	69	0	44	0	44	0	44	0	41	0
73	0	51	42	51	42	51	42	51	42	73	0	51	42	51	42	51	42	51	42
75	0	67	0	67	0	55	0	55	0	75	0	67	0	67	0	55	0	55	0
81	0	74	0	74	0	74	0	74	0	81	0	74	0	74	0	74	0	74	0
109	0	96	0	96	0	96	0	88	0	109	0	96	0	96	0	96	0	88	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	1	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	1	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2
รวม	66	รวม	64	รวม	64	รวม	64	รวม	64	รวม	66	รวม	64	รวม	64	รวม	64	รวม	64

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่ปุ๋ย, V= ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง

ก4.4.5 ผลการค้นหาการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสม หลังการปรับปรุงเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 1000

จากตารางที่ ก2.7 และ ก2.8 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการปุ๋ยเฉลี่ย 1,438.37 บาท และกำไรเฉลี่ย 74,645.50 บาท โดยการลู่เข้าหาคำตอบที่กำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 27.33 และใช้เวลาเฉลี่ย 9.09 ชั่วโมง และผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก2.5 และ ก2.6 ตามลำดับ

ตารางที่ ก2.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

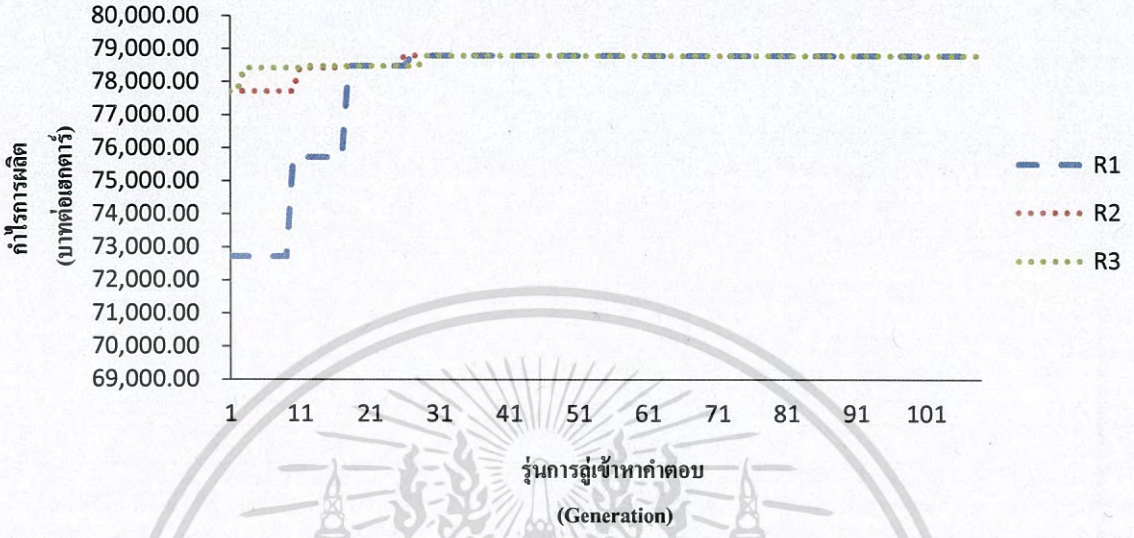
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ผลรวม (กิโลกรัม)	77	77	65	77	65	77	67	65	65	77

ตารางที่ ก2.8 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหรูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุด รุ่นที่1000

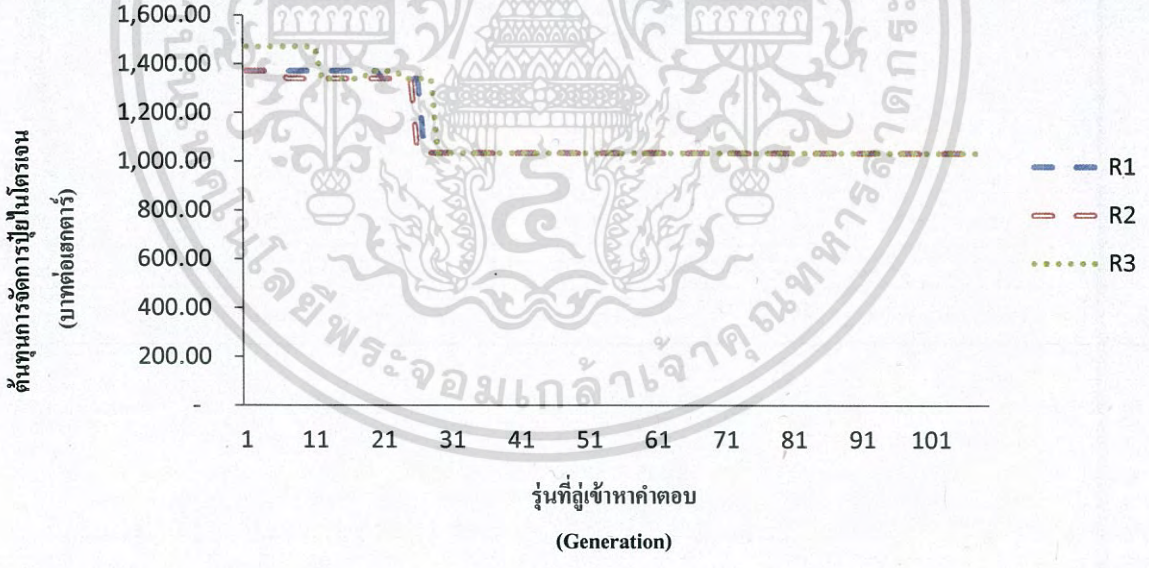
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน (Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	ปุ๋ย	รวม			
1	106.67	1,448.89	1,555.56	69,070.60	27.00	8.70
2	113.33	1,397.33	1,510.67	76,595.70	26.00	12.60
3	120.00	1,128.89	1,248.89	78,270.20	29.00	8.40
เฉลี่ย (μ)	113.33	1,325.04	1,438.37	74,645.50	27.33	9.09
S.D.	6.67	171.81	165.62	4,900.06	1.53	2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.4.6 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) หลังปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 1000 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ สำหรับการค้นหากำไรสูงสุดโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000 ผลดังนี้



ภาพที่ ก2.5 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก2.6 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2.9 แสดงรูปแบบของโครโมโซมปุ๋ยรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา หลังปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
10	0	6	0	24	0	6	0	5	0	10	0	6	0	24	0	6	0	5	0
28	0	10	0	28	0	10	0	24	0	28	0	10	0	28	0	10	0	24	0
29	59	25	59	46	22	28	59	28	22	29	59	25	59	46	22	28	59	28	22
50	0	28	0	53	0	43	0	46	0	50	0	28	0	53	0	43	0	46	0
54	18	64	18	54	43	56	18	53	43	54	18	64	18	54	43	56	18	53	43
68	0	72	0	78	0	71	0	54	0	68	0	72	0	78	0	71	0	54	0
69	0	75	0	87	0	73	0	78	0	69	0	75	0	87	0	73	0	78	0
79	0	90	0	88	0	77	0	88	0	79	0	90	0	88	0	77	0	88	0
97	0	91	0	98	0	98	0	94	0	97	0	91	0	98	0	98	0	94	0
100	0	92	0	103	0	110	0	98	0	100	0	92	0	103	0	110	0	98	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2	ความถี่	2
รวม	77	รวม	77	รวม	65	รวม	77	รวม	65	รวม	77	รวม	77	รวม	65	รวม	77	รวม	65

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่ปุ๋ย, V= ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อครั้ง

ก4.4.7 สรุปผลการทดลองและประสิทธิภาพแบบจำลองในการค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยที่เหมาะสมในนาข้าว หลังการปรับปรุงโครโมโซมลูกในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม

ผลจากการค้นหา พบว่า สามารถค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในนาข้าวได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ 1.โครโมโซมใหม่เมื่อผ่านขบวนการเจเนติกอัลกอริทึมแล้ว รูปแบบคำตอบอยู่ในกฎ 1.1 ระยะห่างการใส่ปุ๋ยอยู่ในช่วงวันที่ 15 -20 วัน 1.2 ปริมาณการใส่ปุ๋ยต่อโครโมโซมอยู่ในช่วง ปริมาณ 50 - 180 กิโลกรัม 1.3 ความถี่ในการใส่ปุ๋ยอยู่ในช่วง 1-3 ครั้งต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต 2. โครโมโซมเมื่อผ่านขั้นตอนเจเนติกแล้ว วันที่ใส่ปุ๋ยพบว่าไม่ซ้ำ และสามารถนำไปคำนวณผลผลิตด้วยแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* ได้ สุดท้าย ผลกำไรเฉลี่ยจากการค้นหารูปแบบโครโมโซมการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม ด้วยเนติกอัลกอริทึม จากการปรับปรุงรูปแบบโครโมโซมด้วยฐานความรู้ให้อยู่ในกฎ พบว่า มีกำไรการผลิตข้าวที่เหมาะสมสูงที่ขึ้น โดยมีกำไรเฉลี่ย 75,253.55 บาทต่อเฮกตาร์ หรือ 12,040.57 บาทต่อไร่

การประเมินรูปแบบโครโมโซม (คำตอบ) หลังจากสิ้นสุดขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม พบว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยเป็นไปตามกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยนาข้าว และสามารถรักษารูปแบบโครโมโซมไม่ให้เกิดความเสียหายในขบวนการไขว้สลับ (Crossover) และกลายพันธุ์ (Mutation) ได้ อีกทั้ง เวลาในการค้นหารูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก3 แสดงผลการค้นหารุ่นสุดท้าย และประสิทธิภาพแบบจำลอง ก่อนการปรับปรุงโครโมโซมการใส่น้ำ ในขั้นตอนการค้นหาโครโมโซมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

ก4.5.1 ผลการค้นหาต้นทุนการจัดการน้ำ ก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100

จากตารางที่ ก3.1 และ ก3.2 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่น้ำ มีต้นทุน เฉลี่ย 529.70 บาท และกำไรเฉลี่ย 48,805.33 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ย รุ่นที่ 90.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.22 ชั่วโมง และสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก3.1 และ ก3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ก3.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	9	7	7	9	10	9	7	7	9	10
ปริมาณน้ำ (ลบม.)	333	231	271	281	340	233	321	271	321	340

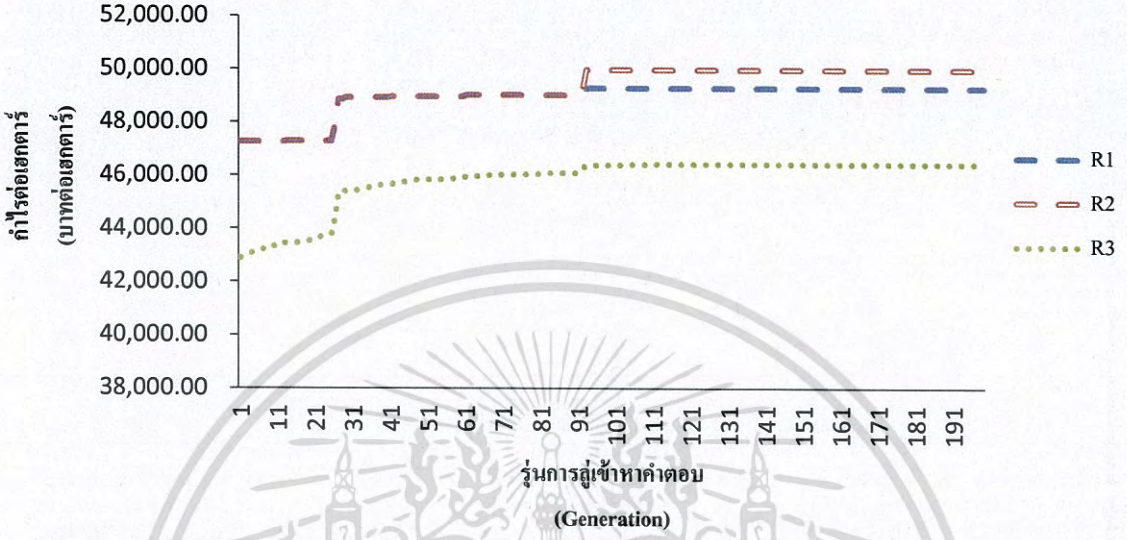
ตารางที่ ก3.2 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	น้ำ	รวม			
1	396	180.94	576.94	48,419.05	88	1.20
2	426	200.26	626.26	49,226.54	93	1.35
3	396	178.92	574.92	48,770.40	91	1.12
เฉลี่ย (μ)	406	186.70	592.70	48,805.33	90.67	1.22
S.D.	65.95	30.36	29.07	404.87	2.52	0.12

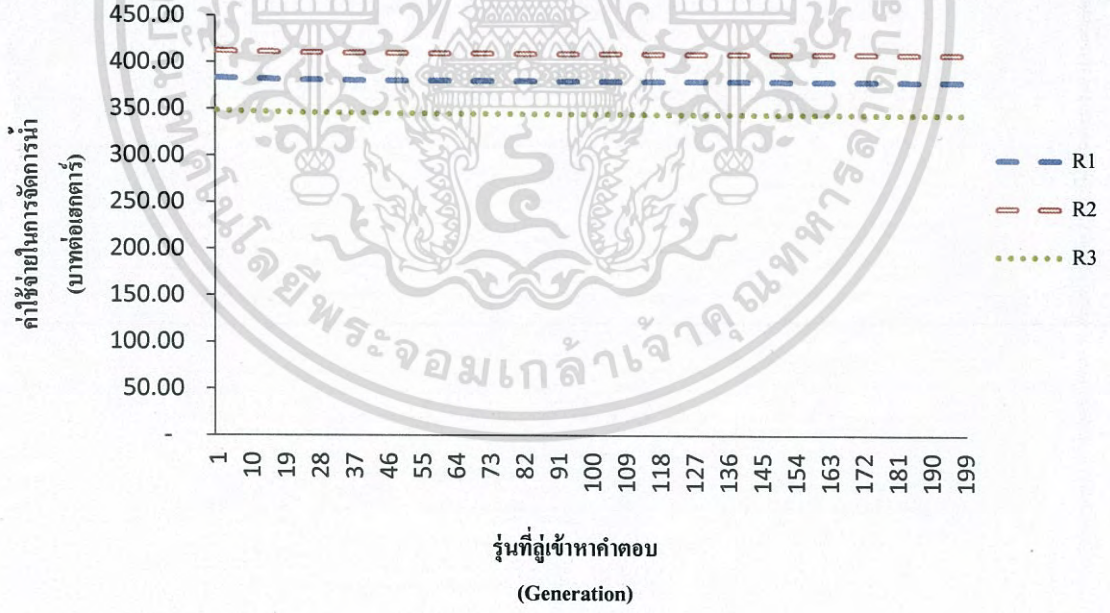
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.5.2 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ก่อนปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100

ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 ผลดังนี้



ภาพที่ ก3.1 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก3.2 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3.3 แสดงรูปแบบของโครโมโซมน้ำรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา ก่อนปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
34	37	7	33	3	31	1	31	1	34	34	37	7	33	3	31	1	31	1	34
39	37	17	33	8	31	48	31	2	34	39	37	17	33	8	31	48	31	2	34
41	37	41	33	14	31	59	31	18	34	41	37	41	33	14	31	59	31	18	34
45	37	43	33	30	31	69	31	23	34	45	37	43	33	30	31	69	31	23	34
46	37	59	33	47	31	72	31	37	34	46	37	59	33	47	31	72	31	37	34
48	37	74	33	53	31	74	31	38	34	48	37	74	33	53	31	74	31	38	34
60	37	91	33	84	31	75	31	74	34	60	37	91	33	84	31	75	31	74	34
66	37	109	0	97	0	90	31	80	34	66	37	109	0	97	0	90	31	80	34
78	37	140	0	115	0	95	31	91	34	78	37	140	0	115	0	95	31	91	34
100	0	150	0	130	0	97	0	92	34	100	0	150	0	130	0	97	0	92	34
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	9	ความถี่	7	ความถี่	7	ความถี่	9	ความถี่	10	ความถี่	9	ความถี่	7	ความถี่	7	ความถี่	9	ความถี่	10
รวม	333	รวม	231	รวม	271	รวม	181	รวม	340	รวม	333	รวม	231	รวม	271	รวม	181	รวม	340

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่น้ำ, V= ความสูง (มิลลิเมตร) และปริมาณการใส่น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ก4.5.3 ผลการค้นหาต้นทุนการจัดการน้ำ ก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 500 จากตารางที่ ก3.4 และ ก3.5 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการน้ำเฉลี่ย 559.36 บาท และกำไรเฉลี่ย 48,419.05 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 82.33 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.27 ชั่วโมง และสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก3.3 และ ก3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ก3.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระ โดยมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500

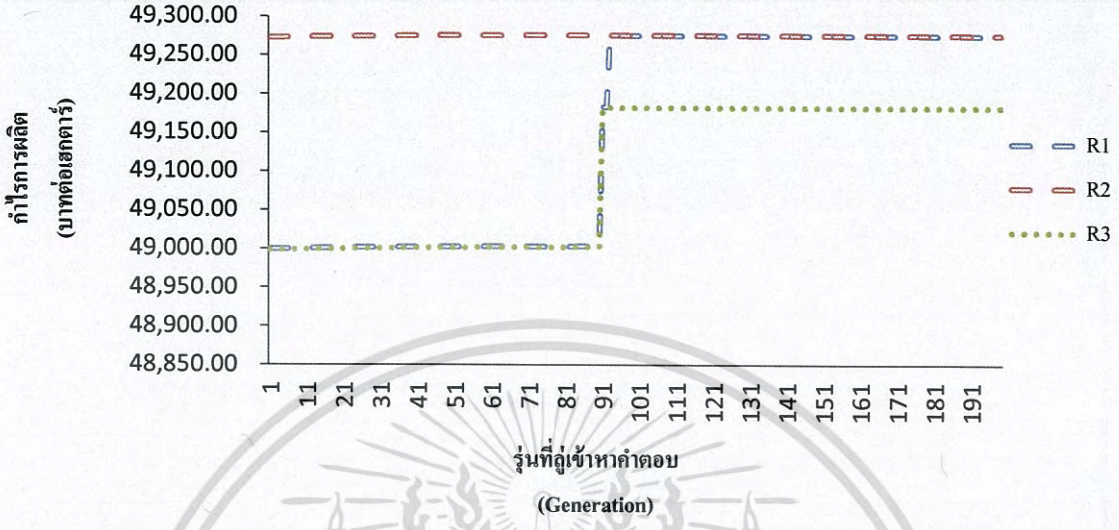
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	10	10	8	9	10	10	10	8	9	10
ปริมาณน้ำ (ลบม.)	400	330	296	288	310	400	330	296	288	310

ตารางที่ ก3.5 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

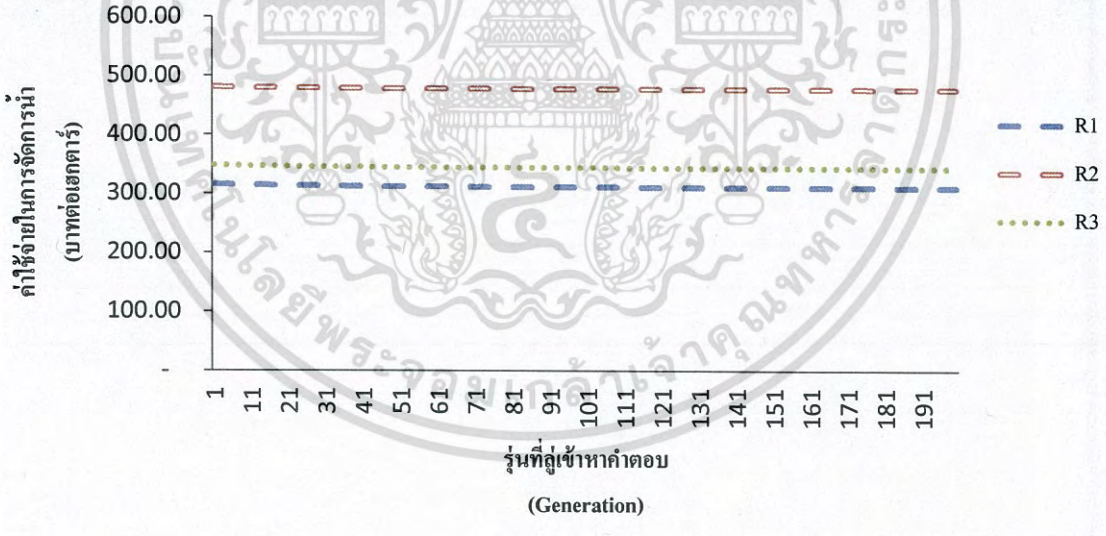
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 500 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	น้ำ	รวม			
1	372	189.34	561.34	49,242.91	75	1.39
2	402	205.55	607.55	49,275.69	92	1.25
3	336	173.21	509.21	49,161.01	80	1.18
เฉลี่ย (μ)	370	189.36	559.36	48,419.05	82.33	1.27
S.D.	68.19	35.33	49.20	1,881.07	8.74	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.5.4 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขหยุดรุ่นที่ 500 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500 ผลดังนี้



ภาพที่ ก3.3 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก3.4 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3.6 แสดงรูปแบบของโครโมโซมน้ำรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา ก่อนปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
1	40	6	33	19	37	4	32	10	31	1	40	6	33	19	37	4	32	10	31
9	40	7	33	47	37	7	32	16	31	9	40	7	33	47	37	7	32	16	31
12	40	8	33	67	37	8	32	17	31	12	40	8	33	67	37	8	32	17	31
14	40	36	33	68	37	12	32	24	31	14	40	36	33	68	37	12	32	24	31
21	40	43	33	70	37	13	32	33	31	21	40	43	33	70	37	13	32	33	31
26	40	48	33	72	37	35	32	38	31	26	40	48	33	72	37	35	32	38	31
30	40	52	33	74	37	82	32	39	31	30	40	52	33	74	37	82	32	39	31
45	40	57	33	95	37	93	32	43	31	45	40	57	33	95	37	93	32	43	31
69	40	59	33	99	0	95	32	49	31	69	40	59	33	99	0	95	32	49	31
74	40	63	33	108	0	97	0	61	31	74	40	63	33	108	0	97	0	61	31
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	10	ความถี่	10	ความถี่	8	ความถี่	9	ความถี่	10	ความถี่	10	ความถี่	10	ความถี่	8	ความถี่	9	ความถี่	10
รวม	400	รวม	330	รวม	296	รวม	288	รวม	310	รวม	400	รวม	330	รวม	296	รวม	288	รวม	310

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่น้ำ, V= ความสูง (มิลลิเมตร) และปริมาณการใส่น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ก4.5.5 ผลการค้นหาต้นทุนการจัดการน้ำก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่1000

จากตารางที่ ก3.7 และ ก3.8 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการน้ำเฉลี่ย 663.50 บาท และกำไรเฉลี่ย 48,770.40 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 87 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.16 ชั่วโมง และสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก. 17 และ ก.18 ตามลำดับ

ตารางที่ ก3.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

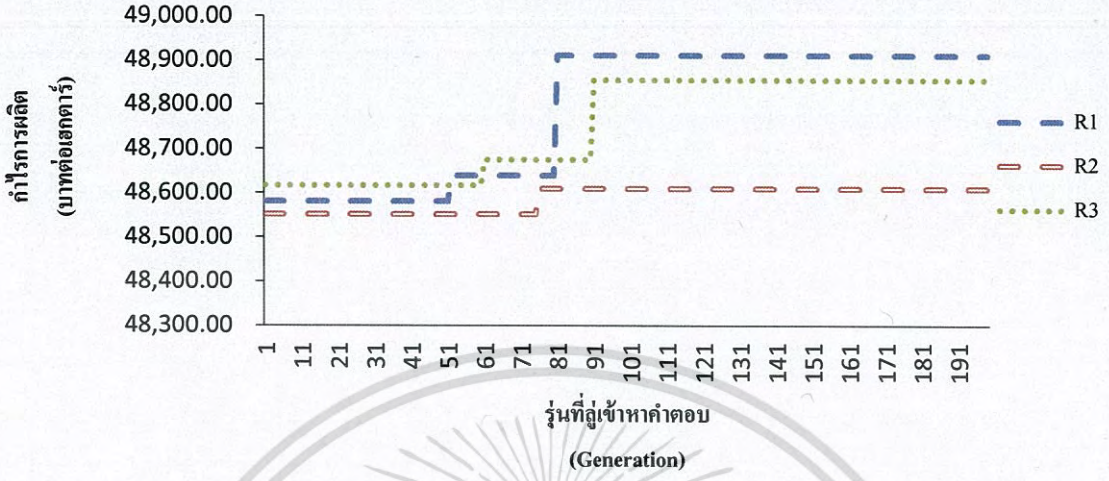
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	9	7	7	9	10	9	7	7	9	10
ปริมาณน้ำ (ลบม.)	333	231	217	279	340	333	231	217	279	340

ตารางที่ ก3.8 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

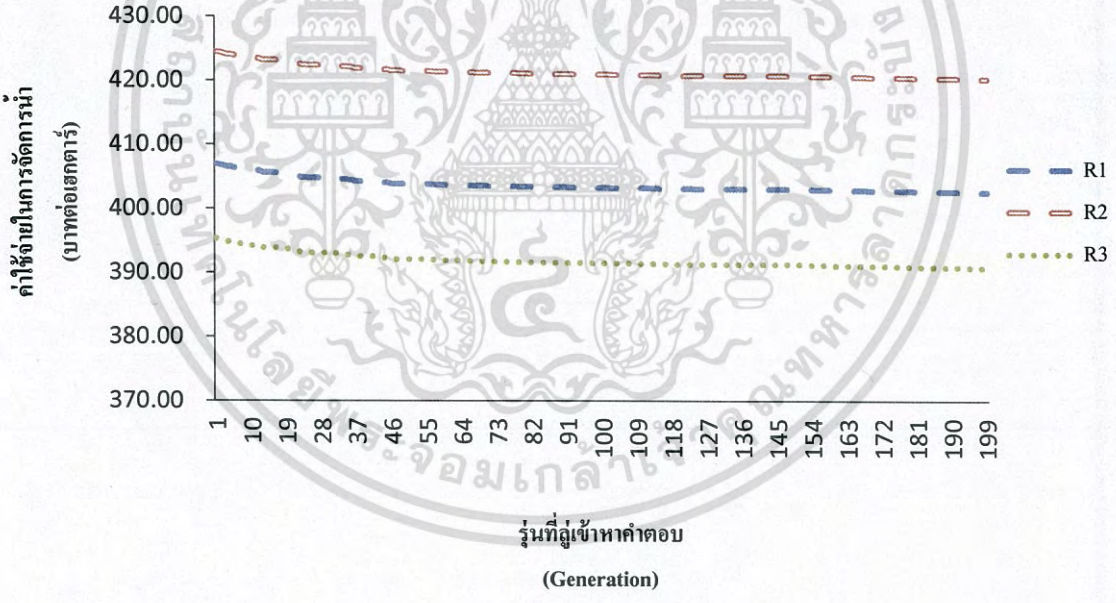
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 1000 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน (Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	น้ำ	รวม			
1	396	289.63	685.63	48,878.65	89	1.11
2	414	228.82	642.82	48,603.31	81	1.23
3	384	278.04	662.04	48,829.24	91	1.14
เฉลี่ย (μ)	398	265.50	663.50	48,770.40	87	1.16
S.D.	50.11	55.24	21.44	146.80	5.29	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.5.6 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) ก่อนการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่1000 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000 ผลดังนี้



ภาพที่ ก3.5 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก3.6 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก3.9 แสดงรูปแบบของโครโมโซมน้ำรุ่นสุดท้ายจากการค้นหาก่อนปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
34	37	7	33	3	31	1	31	1	34	34	37	7	33	3	31	1	31	1	34
39	37	17	33	8	31	48	31	2	34	39	37	17	33	8	31	48	31	2	34
41	37	41	33	14	31	59	31	18	34	41	37	41	33	14	31	59	31	18	34
45	37	43	33	30	31	69	31	23	34	45	37	43	33	30	31	69	31	23	34
46	37	59	33	47	31	72	31	37	34	46	37	59	33	47	31	72	31	37	34
48	37	74	33	53	31	74	31	38	34	48	37	74	33	53	31	74	31	38	34
60	37	91	33	84	31	75	31	74	34	60	37	91	33	84	31	75	31	74	34
66	37	109	0	97	0	90	31	80	34	66	37	109	0	97	0	90	31	80	34
78	37	140	0	115	0	95	31	91	34	78	37	140	0	115	0	95	31	91	34
100	0	150	0	130	0	97	0	92	34	100	0	150	0	130	0	97	0	92	34
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	9	ความถี่	7	ความถี่	7	ความถี่	9	ความถี่	10	ความถี่	9	ความถี่	7	ความถี่	7	ความถี่	9	ความถี่	10
รวม	333	รวม	231	รวม	217	รวม	279	รวม	340	รวม	333	รวม	231	รวม	217	รวม	279	รวม	340

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่น้ำ, V= ความสูง (มิลลิเมตร) และปริมาณการใส่น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ก4.5.7 สรุปผลการทดลองและประสิทธิภาพแบบจำลองในการค้นหารูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว ก่อนการปรับปรุงโครโมโซมลูกในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม

ผลจากการค้นหา พบว่า สามารถค้นหารูปแบบการใส่น้ำที่เหมาะสมในนาข้าวได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ 1.โครโมโซมใหม่เมื่อผ่านขบวนการเจเนติกอัลกอริทึมแล้วรูปแบบคำตอบอยู่ในกฎ 1.1 ระยะห่างการใส่น้ำอยู่ในช่วงมากกว่า 7 วัน 1.2 ความสูงของน้ำต่อโครโมโซมอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 มิลลิลิตร (1 ถึง 10 เซนติเมตร) 1.3 ความถี่ในการใส่น้ำอยู่ในช่วง 3-15 ครั้งต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต 2.โครโมโซมเมื่อผ่านขั้นตอนเจเนติกแล้ว สามารถนำไปใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* ได้

ข้อดี คือ หลังจากใช้ความรู้การใส่น้ำ จากผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตข้าว พบว่า แบบจำลองสามารถค้นหารูปแบบการใส่น้ำที่ให้ผลกำไรเหมาะสมสูงสุดได้ โดยผลกำไรจากรูปแบบโครโมโซมใหม่ โดยเฉลี่ย 48,835.03 บาทต่อเฮกตาร์ หรือ 7,813.60 บาทต่อไร่ ซึ่งแต่ยังต่ำกว่าพิจารณารูปแบบการจัดการปุ๋ยเพียงอย่างเดียว ที่มีกำไรเฉลี่ย 75,253.55 บาทต่อเฮกตาร์ หรือ 12,040.57 บาทต่อไร่ หรือน้อยกว่าประมาณ 54.39 เปอร์เซนต์ ซึ่งตลอดฤดูกาลผลิตแนะนำให้ใส่น้ำเหมาะสมที่สุด 3-4 ครั้ง รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยจำนวน 1 และ 4 ครั้ง และมีโครโมโซมบางรูปแบบแนะนำให้ใส่ปุ๋ย มากกว่า 4 ครั้ง ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และมีกำไรต่อฤดูกาลผลิตต่ำเช่นเดียวกับรูปแบบการใส่ปุ๋ย

ข้อเสีย คือ หลังจากการค้นหารูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสมสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ พบว่า มีรูปแบบโครโมโซมการใส่น้ำบางส่วน ไม่เป็นไปตามกฎฐานความรู้หรือมีรูปแบบเสียหาย เช่น การใส่น้ำ 0 ครั้ง หรือมากกว่า 4 ครั้ง ซึ่งรูปแบบดังกล่าว ไม่อยู่ในกฎฐานความรู้การใส่น้ำ อีกทั้งยังส่งผลทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการค้นหารูปแบบที่ดีใหม่ ซึ่งเสี่ยงต่อการทำงานไม่รู้จบใน ขั้นตอนของเจเนติกอัลกอริทึม โดยรูปแบบดังกล่าวยังส่งผลต่อข้าวที่ไม่สามารถเจริญเติบโตทางสรีระได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก4 แสดงผลการค้นหารุ่นสุดท้าย และประสิทธิภาพแบบจำลอง หลังการปรับปรุงโครโมโซมการใส่น้ำ ในขั้นตอนการค้นหาโครโมโซมด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

ก4.6.1 ผลการค้นหาต้นทุนการจัดการน้ำ หลังการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100 จากตารางที่ ก4.1 และ ก4.2 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่น้ำมีต้นทุน เฉลี่ย 529.70 บาท และกำไรเฉลี่ย 48,805.33 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 90.67 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.22 ชั่วโมง และสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก4.1 และ ก4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ ก4.1 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	5	4	4	4	4	5	4	4	4	4
ปริมาณน้ำ (ลบม.)	185	165	124	124	136	185	165	124	124	136

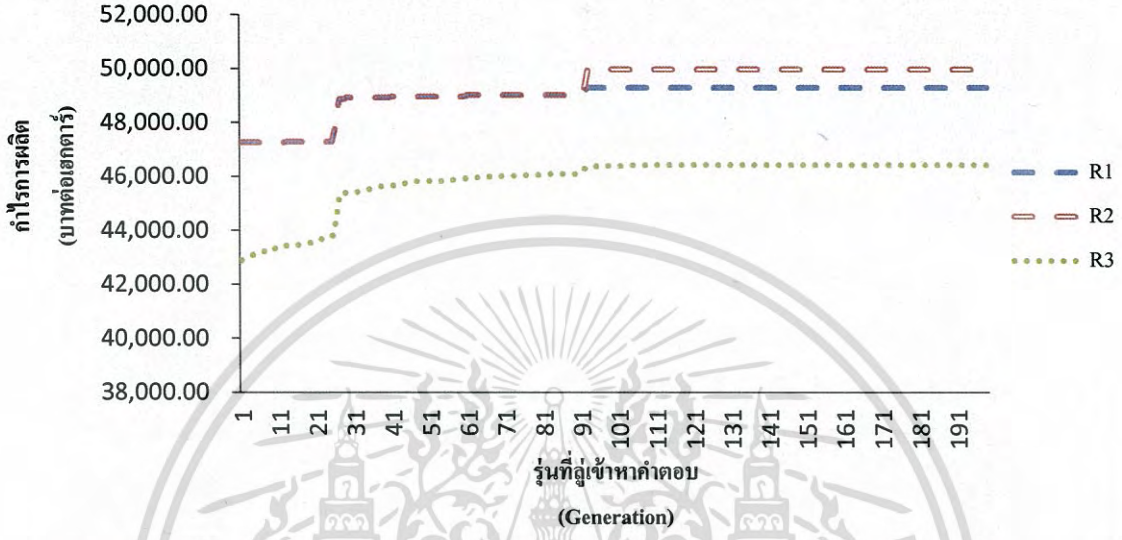
ตารางที่ ก4.2 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	น้ำ	รวม			
1	396	180.94	576.94	48,419.05	88	1.20
2	426	200.26	626.26	49,226.54	93	1.35
3	396	178.92	574.92	48,770.40	91	1.12
เฉลี่ย (μ)	406	186.70	592.70	48,805.33	90.67	1.22
S.D.	65.95	30.36	29.07	404.87	2.52	0.12

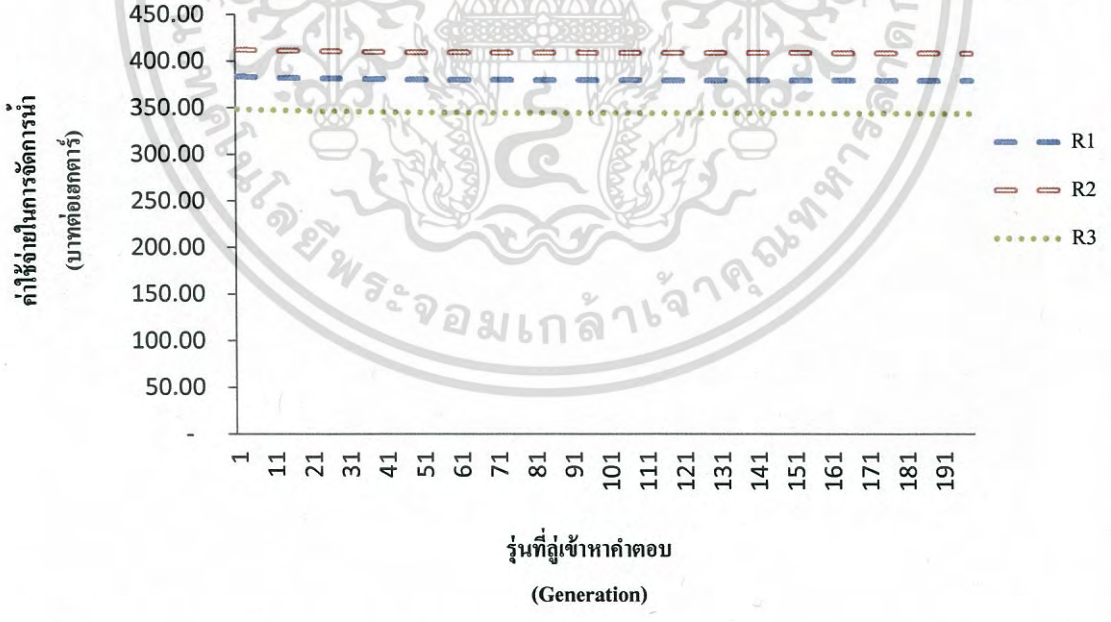
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.6.2 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) หลังปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 100

ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100 ผลดังนี้



ภาพที่ ก4.1 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก4.2 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4.3 แสดงรูปแบบของโครโมโซมน้ำรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา หลังปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 100

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
34	37	7	0	3	0	1	0	1	0	34	37	7	0	3	0	1	0	1	0
39	0	17	33	8	0	48	31	2	0	39	0	17	33	8	0	48	31	2	0
41	37	41	33	14	0	59	31	18	34	41	37	41	33	14	0	59	31	18	34
45	0	43	0	30	31	69	31	23	0	45	0	43	0	30	31	69	31	23	0
46	0	59	33	47	31	72	0	37	34	46	0	59	33	47	31	72	0	37	34
48	37	74	33	53	31	74	0	38	0	48	37	74	33	53	31	74	0	38	0
60	37	91	33	84	31	75	0	74	34	60	37	91	33	84	31	75	0	74	34
66	0	109	0	97	0	90	31	80	0	66	0	109	0	97	0	90	31	80	0
78	37	140	0	115	0	95	0	91	34	78	37	140	0	115	0	95	0	91	34
100	0	150	0	130	0	97	0	92	0	100	0	150	0	130	0	97	0	92	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	5	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	5	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	4
รวม	185	รวม	165	รวม	124	รวม	124	รวม	136	รวม	185	รวม	165	รวม	124	รวม	124	รวม	136

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่น้ำ, V= ความสูง (มิลลิเมตร) และปริมาณการใส่น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ก4.6.3 ผลการค้นหาต้นทุนการจัดการน้ำ หลังการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 500 จากตารางที่ ก.21 และ ก.22 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการน้ำเฉลี่ย 559.36 บาท และกำไรเฉลี่ย 48,419.05 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 82.33 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.27 ชั่วโมง และสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก4.2 และ ก4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ ก4.4 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระ โดยมีเงื่อนไขการหยุด ที่รุ่น 500

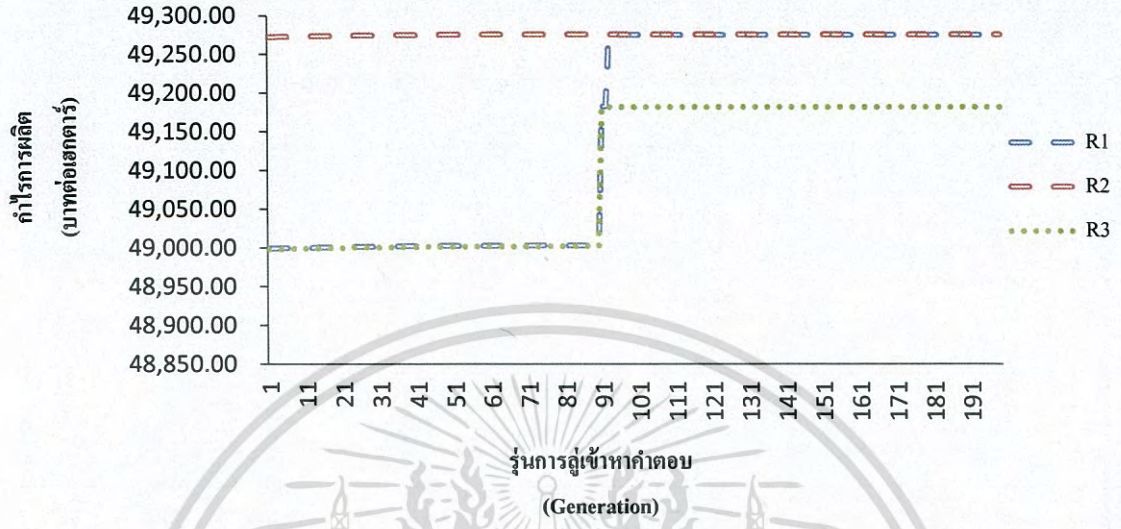
แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	3	5	3	4	4	6	5	4	3	5
ปริมาณน้ำ(ลบม.)	111	165	93	124	136	222	150	260	99	195

ตารางที่ ก4.5 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน (N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมโดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

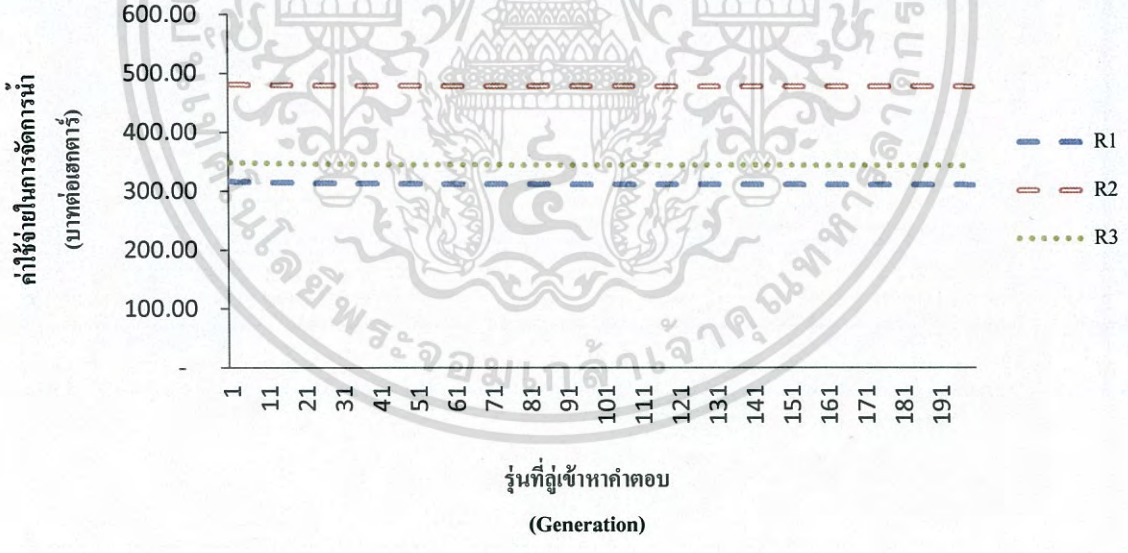
จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	น้ำ	รวม			
1	372	189.34	561.34	49,242.91	75	1.39
2	402	205.55	607.55	49,275.69	92	1.25
3	336	173.21	509.21	49,161.01	80	1.18
เฉลี่ย (μ)	370	189.36	559.36	48,419.05	82.33	1.27
S.D.	68.19	35.33	49.20	1,881.07	8.74	0.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.6.4 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) หลังการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขหยุดรุ่นที่ 500 ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500 ผลดังนี้



ภาพที่ ก4.3 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก4.4 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4.6 แสดงรูปแบบของโครโมโซมน้ำรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา หลังปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 500

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
1	0	7	0	3	0	1	0	1	0	1	0	7	0	3	0	1	0	1	0
9	0	17	33	8	0	48	31	2	0	9	0	17	33	8	0	48	31	2	0
12	0	41	33	14	0	59	31	18	34	12	0	41	33	14	0	59	31	18	34
14	0	43	0	30	31	69	31	23	0	14	0	43	0	30	31	69	31	23	0
46	37	59	33	47	31	72	0	37	34	46	37	59	33	47	31	72	0	37	34
48	0	74	33	53	0	74	0	38	0	48	0	74	33	53	0	74	0	38	0
60	37	91	33	84	31	75	0	74	34	60	37	91	33	84	31	75	0	74	34
66	0	109	0	97	0	90	31	80	0	66	0	109	0	97	0	90	31	80	0
78	37	140	0	115	0	95	0	91	34	78	37	140	0	115	0	95	0	91	34
100	0	150	0	130	0	97	0	92	0	100	0	150	0	130	0	97	0	92	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	3	ความถี่	5	ความถี่	3	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	3	ความถี่	5	ความถี่	3	ความถี่	4	ความถี่	4
รวม	111	รวม	165	รวม	93	รวม	124	รวม	136	รวม	111	รวม	165	รวม	93	รวม	124	รวม	136

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่น้ำ, V= ความสูง (มิลลิเมตร) และปริมาณการใส่น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ก4.6.5 ผลการค้นหาต้นทุนการจัดการน้ำ หลังการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 1000 จากตารางที่ ก4.7 และ ก4.8 พบว่า ผลของการค้นหาการใส่ปุ๋ยมีต้นทุนการจัดการน้ำเฉลี่ย 663.50 บาท และกำไรเฉลี่ย 48,770.40 บาท โดยมีการลู่เข้าหาคำตอบที่มีกำไรสูงสุดเฉลี่ยรุ่นที่ 87 และใช้เวลาเฉลี่ย 1.16 ชั่วโมง และสามารถแสดงผลการค้นหาคำตอบด้วยกราฟ ภาพที่ ก.23 และ ก.24 ตามลำดับ

ตารางที่ ก4.7 แสดงผลลัพธ์รุ่นสุดท้ายของโครโมโซมที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แบบสนใจเงื่อน จากรันโปรแกรมอิสระ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

แบบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความถี่	4	5	3	4	4	4	5	3	4	4
ปริมาณน้ำ (ลบม.)	148	165	93	124	136	148	165	93	124	136

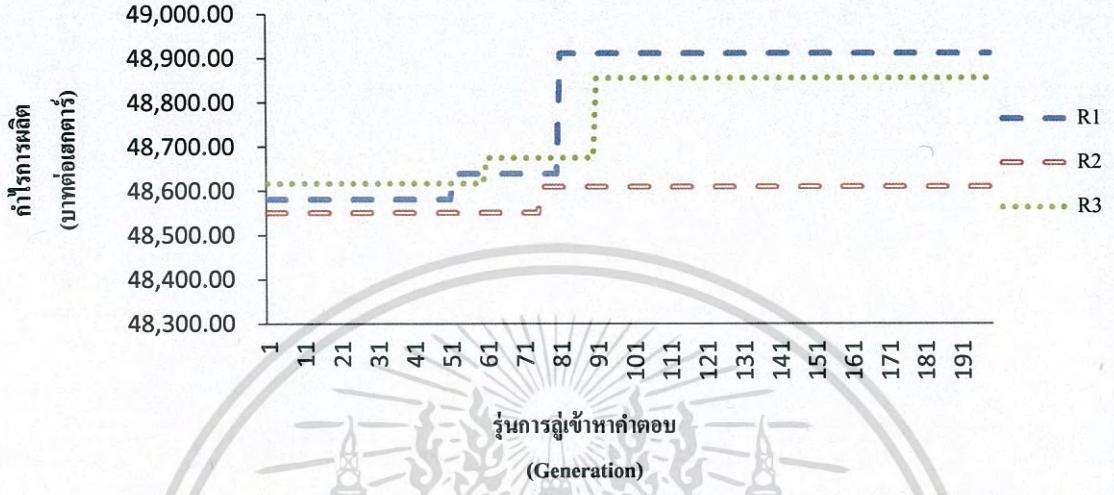
ตารางที่ ก4.8 แสดงต้นทุน(cost) กำไร(profit) และค่าเฉลี่ย(μ) จากการใช้แบบจำลองค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน(N) ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000

จำนวนครั้งในการรัน (Replication)	เงื่อนไขการหยุดที่ 100 รุ่น				ลำดับรุ่นที่ลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) (รุ่นที่)	เวลา (Run Time) (ชั่วโมง)
	ต้นทุน(Cost) (บาท)			กำไร (Profit) (บาท)		
	แรงงาน	น้ำ	รวม			
1	396	289.63	685.63	48,878.65	89	1.11
2	414	228.82	642.82	48,603.31	81	1.23
3	384	278.04	662.04	48,829.24	91	1.14
เฉลี่ย (μ)	398	265.50	663.50	48,770.40	87	1.16
S.D.	50.11	55.24	21.44	146.80	5.29	0.06

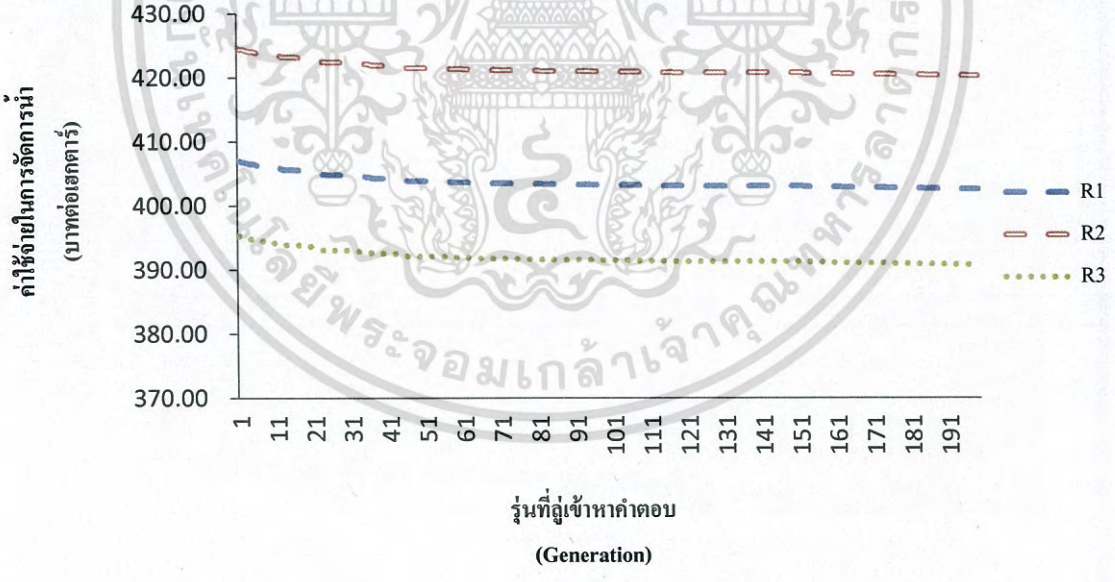
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก4.6.6 ผลการลู่เข้าหาคำตอบ (Convergence) หลังการปรับปรุงโดยมีเงื่อนไขการหยุดรุ่นที่ 1000

ได้เปรียบเทียบการลู่เข้าหาคำตอบด้วยกราฟเส้น โดยใช้การเก็บค่าสูงสุด (Maximization) จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์การค้นหากำไรสูงสุด โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น 1000 ผลดังนี้



ภาพที่ ก4.5 การลู่เข้าหากำไรการผลิตสูงสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100



ภาพที่ ก4.6 การลู่เข้าหาต้นทุนการผลิตต่ำสุดด้วยเจเนติกอัลกอริทึม แสดงการหยุด รุ่นที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก4.9 แสดงรูปแบบของโครโมโซมน้ำรุ่นสุดท้ายจากการค้นหา หลังปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับฐานความรู้ โดยมีเงื่อนไขการหยุดที่รุ่น **1000**

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3		รูปแบบที่ 4		รูปแบบที่ 5		รูปแบบที่ 6		รูปแบบที่ 7		รูปแบบที่ 8		รูปแบบที่ 9		รูปแบบที่ 10	
D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V	D	V
34	37	7	0	3	0	1	0	1	0	34	37	7	0	3	0	1	0	1	0
39	0	17	33	8	0	48	31	2	0	39	0	17	33	8	0	48	31	2	0
41	0	41	33	14	0	59	31	18	34	41	0	41	33	14	0	59	31	18	34
45	37	43	0	30	31	69	31	23	0	45	37	43	0	30	31	69	31	23	0
46	0	59	33	47	31	72	0	37	34	46	0	59	33	47	31	72	0	37	34
48	0	74	33	53	0	74	0	38	0	48	0	74	33	53	0	74	0	38	0
60	37	91	33	84	31	75	0	74	34	60	37	91	33	84	31	75	0	74	34
66	0	109	0	97	0	90	31	80	0	66	0	109	0	97	0	90	31	80	0
78	37	140	0	115	0	95	0	91	34	78	37	140	0	115	0	95	0	91	34
100	0	150	0	130	0	97	0	92	0	100	0	150	0	130	0	97	0	92	0
366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0	366	0
ความถี่	4	ความถี่	5	ความถี่	3	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	4	ความถี่	5	ความถี่	3	ความถี่	4	ความถี่	4
รวม	148	รวม	165	รวม	93	รวม	124	รวม	136	รวม	148	รวม	165	รวม	93	รวม	124	รวม	136

หมายเหตุ : D = วันที่ใส่น้ำ, V= ความสูง (มิลลิเมตร) และปริมาณการใส่น้ำ (ลูกบาศก์เมตร)

ก4.6.7 สรุปผลการทดลองและประสิทธิภาพแบบจำลองในการค้นหารูปแบบการจัดการน้ำในนาข้าว หลังการปรับปรุงโครโมโซมลูกในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม

ผลจากการค้นหา พบว่า สามารถค้นหารูปแบบการใส่น้ำที่เหมาะสมในนาข้าวได้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ 1.โครโมโซมใหม่เมื่อผ่านขบวนการเจเนติกอัลกอริทึมแล้วรูปแบบคำตอบอยู่ในกฎ 1.1 ระยะห่างการใส่น้ำอยู่ในช่วงนน้อยกว่า 7 วัน 1.2 ความสูงของน้ำต่อโครโมโซมอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 มิลลิลิตร (1 ถึง 10 เซนติเมตร) 1.3 ความถี่ในการใส่น้ำอยู่ในช่วง 3-7 ครั้งต่อหนึ่งฤดูกาลผลิต 2.รูปแบบโครโมโซมเมื่อผ่านขั้นตอนเจเนติกแล้ว สามารถนำไปใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว *Oryza2000* ได้ และสุดท้ายผลกำไรที่เกิดจากการสร้างโครโมโซมด้วยวิธีดังกล่าว พบว่า ส่งผลต่อกำไรการผลิตข้าว โดยเฉลี่ย 48,835.03 บาทต่อเฮกตาร์ หรือ 7,813.60 บาทต่อไร่ ซึ่งมีผลผลิตต่ำกว่า การค้นหารูปแบบโครโมโซมการจัดการปุ๋ยเพียงอย่างเดียว

การประเมินรูปแบบโครโมโซม (คำตอบ) หลังจากสิ้นสุดขบวนการเจเนติกอัลกอริทึม พบว่า รูปแบบการใส่ปุ๋ยเป็นไปตามกฎฐานความรู้การใส่ปุ๋ยนาข้าว และสามารถรักษารูปแบบโครโมโซมไม่ให้เกิดความเสียหายในขบวนการไขว้สลับ (Crossover) และกลายพันธุ์ (Mutation) ได้ อีกทั้ง เวลาในการค้นหารูปแบบโครโมโซมที่เหมาะสมลดลง อีกทั้งสามารถลดโอกาสความเสี่ยงในการทำงานไม่รู้จบ ในขั้นตอนเจเนติกอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่าง ไฟล์พารามิเตอร์ข้าวพันธุ์ IR72 สำหรับใช้ค้นหารูปแบบการจัดการปุ๋ยไนโตรเจนและน้ำที่เหมาะสมในนาข้าว ด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟล์พารามิเตอร์ พันธุ์ข้าว IR72 สำหรับทดลองค้นหารูปแบบการใส่ปุ๋ยและน้ำที่เหมาะสม

```
* ---------------------------------------------------------*
*                 WRTDS1.T96                               *
* Timer and experimental data file --- Jakenan 1996 exp.   *
*  Crop: IR72                                              *
*  WR = rain fed; TD = tillage deep; S1= sowing date 1     *
*  Source: Murty and Tuong experiments (Jakenan, Indonesia) *
*                                                          *
*  Source: Murty and Tuong experiments (Jakenan, Indonesia) *
*  Raising yield potential of walik jerami rice in Jakenan: *
* Identification of yield constraints                      *
* MVR Murty, TP Tuong, C Mamaril, SY Jatmiko,              *
* D Setiobudi, Suprapto, AM Fagi                           *
*                                                          *
* 1996 walik jerami                                        *
* Split plot for a two-factor (water x tillage) experiment *
* with 4 replications                                      *
* Three-factor experiment, water x tillage x transplanting date *
*                                                          *
* ---------------------------------------------------------*
* ---------------------------------------------------------*
* 1. Selection of modes of running
* ---------------------------------------------------------*
*--  RICETYPE is to select lowland rice or aerobic/upland rice
RICETYPE = 'LOWLAND'   ! Lowland rice
*RICETYPE = 'AEROBIC'   ! Upland or aerobic rice


*--  RUNMODE: mode of running ORYZA
RUNMODE = 'EXPERIMENT' ! ORYZA simulates particular experiment
*RUNMODE ='EXPLORATION' ! ORYZA used for exploraton
*--  PRODENV = Production situation setting
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*PRODENV = 'POTENTIAL' ! Potential production
PRODENV = 'WATER BALANCE' ! production may be water-limited
*-- WATBAL is choice of water balance
*    needs only be given when PRODENV = 'WATER BALANCE'
WATBAL = 'PADDY'   ! PADDY water balance (for lowland soils)
*WATBAL = 'SAHEL'   ! SAHEL water balance (for freely draining upland soils)
*WATBAL = 'SAWAH'   ! SAWAH water balance (for lowland or upland soils)
*-- NITROENV = Nitrogen production situation setting
*NITROENV = 'POTENTIAL'       ! Potential production
NITROENV = 'NITROGEN BALANCE'   ! Production may be nitrogen-limited
* WARNING: NITROGEN AND WATER LIMITATIONS AT SAME TIME IS AS
* YET UN UNVALIDATED OPTION IN ORYZA2000!!!!
*-- ETMOD is method for evapotranspiration calculation:
ETMOD = 'PENMAN' ! Penman based (van Kraalingen and Stol, 1996)
*ETMOD = 'PRIESTLEY TAYLOR' ! Priestley-Taylor (")
*ETMOD = 'MAKKINK'          ! Makkink (van Kraalingen and Stol, 1996)
* ----------------------------------------------------*
* 2. Timer data for simulation
* ----------------------------------------------------*
IYEAR  = 2013          ! start year of simulation (year)
STTIME = 13.           ! start time (day numer)
FINTIM = 1000.         ! finish time (days after start)
DELT   = 1.            ! time step (day)

* ----------------------------------------------------*
* 3. Weather station and climatica data for simulation
* ----------------------------------------------------*
WTRDIR = ' '   ! Directory of weather data
CNTR   = 'THAI'          ! Country code
ISTN   = 13              ! Station code
ANGA = 0.29              ! Angstrom A parameter
ANGB = 0.42              ! Angstrom B parameter
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
* Table for temperature increase for climatic change studies
* X value = day number, Y value is temperature increase (Celsius)
TMCTB  = 0.,  0.,
              366.,0.
* Multiplication factor for potential evapotranspiration (FAO)
FAOF = 1.3  ! Value Murty & Tuong
* Temperature increase in seed-bed due to cover:
TMPSB = 0. ! Zero when no cover over seed-bed; 9.5 with seed-bed
* ---------------------------------------------------------*
* 4. Establishment data
* ---------------------------------------------------------*
*** ESTAB is method of establishment: 'TRANSPLANT' or 'DIRECT-SEED'
*ESTAB='TRANSPLANT'
ESTAB='DIRECT-SEED'
* Transplanting date 10 march, seedling age: 27 days.
EMD    = 44      ! Day of emergence (either direct, or in seed-bed)
EMYR   = 1996    ! Year of emergence (1996)
SBDUR  = 26      ! seed-bed duration (days)
* ---------------------------------------------------------*
* 5. Management parameters
* ---------------------------------------------------------*
NPLH   = 2.5     ! number of plants per hill
NH     = 44.     ! number of hills
NPLSB  = 1000.   ! number of plants in seed-bed (???)
NPLDS  = 200.    ! number of plants/m2 direct-seeded
* Initial data at emergence, for either direct-seeding or seed-bed
* Standard data used.
LAPE   = 0.0001  ! initial leaf area per plant
DVSI   = 0.0     ! initial development stage
WLVGI  = 0.0     ! initial leaf weight
WSTI   = 0.0     ! initial stem weight
WRTI   = 0.0     ! initial root weight
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WSOI  = 0.0     ! initial weight storage organs
ZRTI  = 0.0001  ! initial root depth (m)
* Re-initialization at transplanting (standard data used)
ZRTTR = 0.05    ! root depth at transplanting (m)
*-----------------------------------------------------------------*
* 6. Irrigation parameters
* Need only to be filled-in when PRODENV = 'WATER BALANCE'
*-----------------------------------------------------------------*
** Select from the following options:
*SWITIR = 0 ! No irrigation; rainfed
SWITIR = 1 ! Irrigation supplied as input data
*SWITIR = 2 ! Irrigation at minimum standing soil water depth
*SWITIR = 3 ! Irrigation at minimum soil water potential
*SWITIR = 4 ! Irrigation at minimum soil water content
*SWITIR = 5 ! Irrigation at X days after disapp. standing water
** If SWITIR = 1, supply irrigation table, amount of irrigation
** (y in mm) for a given calendar * day (x), used if
RIRRIT =
** If SWITIR = 2-5, supply amount of irrigation IRRI (mm)
IRRI  = 10. ! Irrigation gift (mm)
** If SWITIR = 2, supply minimum standing water depth WL0MIN (mm)
** below which irrigation water is applied
WL0MIN = 2. ! Minimum standing water depth (mm)
** If SWITIR = 3-4, supply minimum soil water potential KPAMIN (KPa)
** (for SWITIR=3) or minimum soil water content WCMIN (-) (SWITIR=4)
** below which irrigation water is applied, and the soil layer to
** which this potential applies SLMIN (-)
KPAMIN = 50.  ! Minimum soil water potential (Kpa)
WCMIN  = 0.30 ! Minimum soil water content (-)
SLMIN  = 4    ! Soil layer for which KPAMIN or WCMIN applies (-)
** If SWITIR = 5, supply number of days after disappearence of
** standing water (WL0DAY) at which irrigation water is applied
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WL0DAY = 3 ! number of days after disappearence of (-) INTEGER!!

RIRRIT =

{

ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปแบบการใส่น้ำที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม

}เช่น

1., 2.,

2., 0.,

.

7., 33.,

8., 0.,

.

17., 33.,

18., 0.,

.

41., 33.,

43., 0.,

.

59., 33.,

60., 0.,

.

74., 33.,

75., 0.,

.

91., 33.,

92., 0.,

.

109., 33.,

110., 0.,

.

150., 0.,

366., 0.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
* 7. Nitrogen parameters                                    *
* Need only to be filled-in when NITROENV = 'NITROGEN BALANCE'      *
*-----------------------------------------------------------------*
* Table of recovery fraction of Nitrogen in the soil (-) second column
* versus development stage (DVS) (first column) STANDARD VALUE
RECNIT =
0.0, 0.30,
0.2, 0.35,
0.4, 0.50,
0.8, 0.75,
1.0, 0.75,
2.5, 0.75
SOILSP = 0.8  ! Indigenous soil N-supply rate (kg N/ha/d) (VALUE IRRI)
* Table of fertilizer rate (kg N/ha) (second column) versus days after sowing
* in the seed-bed (!) (first column)  [TO BE FILLED-IN]
FERTIL =
{
ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นรูปแบบการใส่ปุ๋ยที่ได้จากการค้นหาด้วยเจเนติกอัลกอริทึม
}เช่น
9., 0.,
16., 0.,
40., 0.,
45., 0.,
46., 0.,
47., 87.,
83., 0.,
92., 0.,
100., 0.,
102., 0.,
366.,  0.
* ----------------------------------------------------*
* 8. Measured data                                          *
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*    And option to force measured LAI during simulation    *
*    (instead of using simulated values)                   *
* ----------------------------------------------------------*
* Observed phenology: only required if program DRATES is run!!
{
ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นลักษณะของพันธุ์ข้าวแต่ละชนิด ดังรายละเอียดใน ภาคผนวก ก
หัวข้อที่ 1.6)  พารามิเตอร์ที่สำคัญของพันธุ์ข้าว IR72  หรือข้อมูลพันธ์ข้าวอื่นๆ
}
*Leaf N (g N/m2 leaf):
*NFLV_OBS =

*-- Parameter to set forcing of observed NFLV values during simulation
NFLV_FRC = 0       ! No forcing
*NFLV_FRC = 2      ! Forcing
** สิ้นสุดไฟล์พารามิเตอร์ข้าว
```

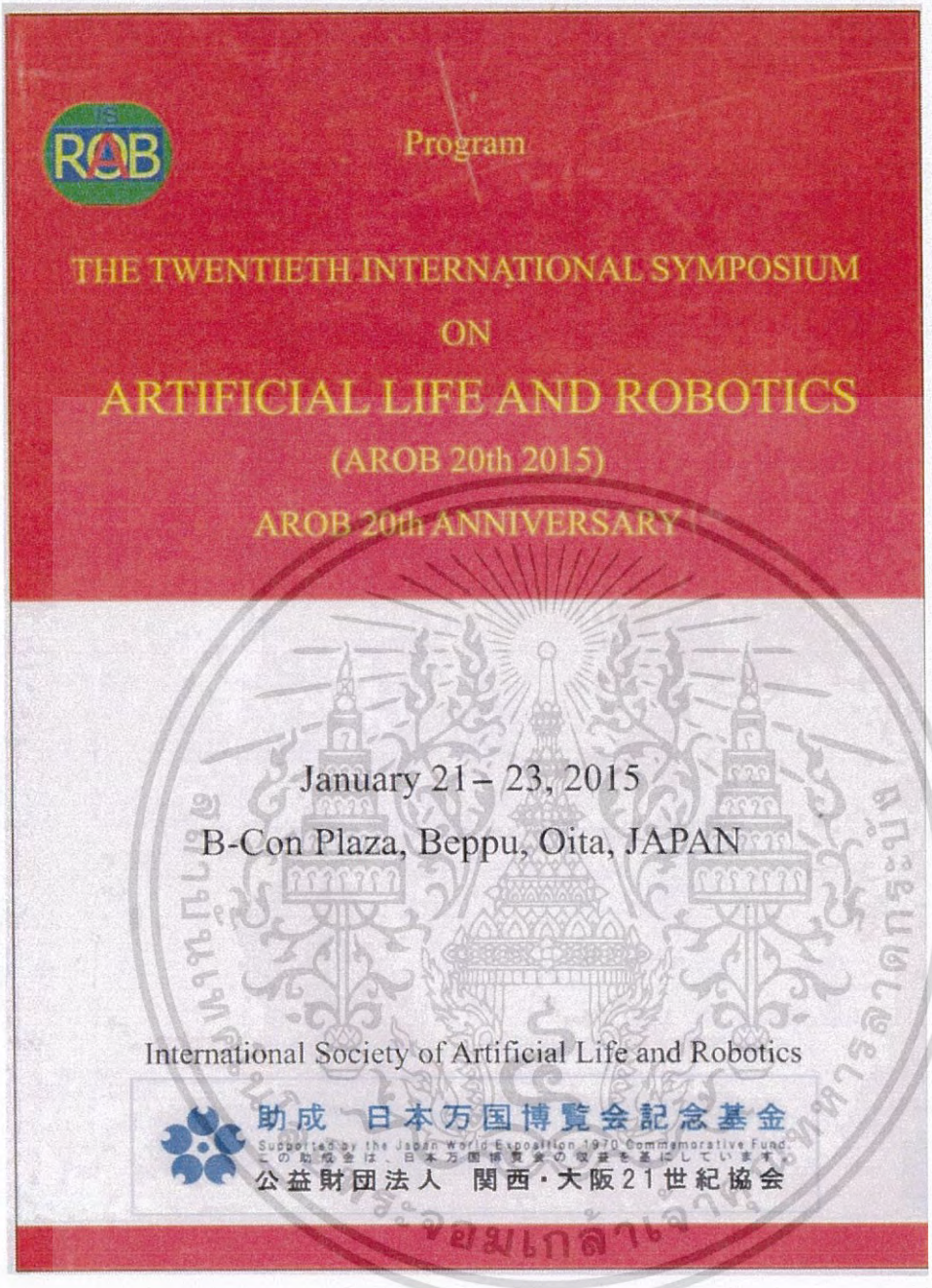
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. PannavichA. and Worapoj K.,Simulation OptimizationUsing A Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowlwdge B ase for Rice Crops,Conference of The Twentiesth International Symposium on Artificial Lifeand Robotics 2015(AROB 20TH2015),January 21-23 2015,Beppu, Oita,Japan,2015.
2. PannavichA. and Worapoj K.,Simultation Optimization Framework for Optimizing NitrogenFertilization for Rice Crop,,Conference of The Asian Conference on the Social Sciences 2013,June 6-9 2013,(ACSS2013) by IAFOR,Osaka Prefecture,Japan.,2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Twentieth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2015 (AROB 20th 2015),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 21-23, 2015

Program of the Twentieth International Symposium on

ARTIFICIAL LIFE AND ROBOTICS

(AROB 20th 2015)

AROB 20th ANNIVERSARY

January 21- 23, 2015
B-Con Plaza, Beppu, Oita, Japan

International Society of Artificial Life and Robotics

Supported by the Japan World Exposition 1970 Commemorative Fund

©ISAROB 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Twentieth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2015 (AROB 20th 2015),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 21-23, 2015

January 23 (Friday), 09:00–10:00

GS11-2 Simulation Optimization Using A Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowledge Base for Rice Crops.

Pannavich Ariyatanakatawong and Worapoj Kreesuradej
(King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand)

A nitrogen fertilizer is one of the important nutritional elements for the productivity of rice crops. Optimizing an application rate of nitrogen fertilizer is a key factor for increasing yields and reducing costs. This proposes using a genetic algorithm with a nitrogen fertilizer nutritional knowledge base for rice crops to search for an optimum application rate of nitrogen fertilizer. The proposed technique can search for an optimum application rate of a nitrogen fertilizer faster than typical genetic algorithms. In order to be profitable, farmers need to consider not only the rice crop yield but also cost of Nitrogen fertilizer and the labor cost of applying Nitrogen fertilizer. Therefore, the optimization strategy in this paper also considers the cost of nitrogen fertilizer and the labor cost of applying nitrogen fertilizer. The simulation results suggest that the purposed technique is a promising technique for optimizing an application rate of a nitrogen fertilizer.

©ISAROB 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation Optimization Using A Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowledge Base for Rice Crops

Pannavich Ariyatanakatawong[1] and Worapoj Kreesuradej[2]
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand
(Tel: +66(0) 2723 4900)

[1]apannavich@gmail.com, [2]worapoj@it.kmitl.ac.th

Abstract: A nitrogen fertilizer is one of the important nutritional elements for the productivity of rice crops. Optimizing an application rate of nitrogen fertilizer is a key factor for both increasing high yields and reducing growing costs. This research proposes simulation optimization using a genetic algorithm with a nitrogen fertilizer nutritional knowledge base for rice crops to search for an optimum application rate of nitrogen fertilizer. The proposed technique can search for an optimum application rate of a nitrogen fertilizer faster than typical genetic algorithms. In order to be profitable, farmers need to consider not only the rice crop yield but also cost of Nitrogen fertilizer and the labor cost of applying Nitrogen fertilizer. Therefore, the optimization strategy in this paper also considers the cost of nitrogen fertilizer and the labor cost of applying nitrogen fertilizer. The discovered optimum pattern from this research may useful for practice. The simulation results suggest that the purposed technique is a promising technique for optimizing an application rate of a nitrogen fertilizer.

Keywords: Genetic Simulation, Nutritional Knowledge-Based, Rice Growth Simulation, Optimization.

1 INTRODUCTION

Rice is the most important food crop. US Census Bureau forecasts that rice will be a staple food for more than 6.8 billion people as of 2016 [1]. In addition, rice will be grown in 11% of the world cultivated area [2]. This will increase fertilizer consumption to 50.2 percent [3].

Recently, several researchers of the rice crop production are focused on nitrogen fertilizer management. Nitrogen is one of the important nutritional elements for the productivity of rice crops and a major factor that limits agricultural yields. The amount of a nitrogen fertilizer needed to produce high yields depends largely on several factors such as rice varieties, soil, timing of N fertilizer application and etc. Therefore, the optimal amount of nitrogen (N) and the optimal schedules of applying nitrogen may costly and take a long time.

Here, a genetic optimization and rice growth simulation model are applied for searching optimal fertilizer schedules and an optimal amount of nitrogen (N) for rice crops. This study also proposes a novel technique to enhance a genetic algorithm in finding an optimal solution, i.e. optimal Nitrogen pattern for rice crops, more quickly than typical genetic algorithms.

The proposed technique incorporates practical rice crop nutritional recommendations and cost effectiveness of using fertilizer into the evolutionary process of a genetic algorithm. The proposed technique generates only the chromosomes i.e. nitrogen patterns for rice crops, that satisfy practical rice crop nutritional recommendations. This will reduce infeasible chromosomes, i.e. infeasible Nitrogen patterns for rice crops, in the evolutionary process of a genetic algorithm. As a result, the proposed technique can find an optimal solution more quickly than a typical genetic algorithm.

2 OPTIMIZATION OF NITROGENFERTILIZER APPLICATION

Currently, the most popular strategy of N fertilizer application is applying N fertilizer in fixed rate and timings for growing rice crops. Several traditional agricultural researches on this strategy, such as [4], [5] and [6], focus on finding the optimal pattern of nitrogen fertilizer application to improve the efficiency. The experiments of those researches are agricultural field experiments that are conducted at particular points in time and space. These experiments are time consuming and expensive.

Recently, a crop growth simulation model plays a crucial role in agricultural researches. A crop growth simulation model can contribute to a better understanding the factors that influent the performance of the crop under varying conditions. A crop growth simulation model can reduce time and cost in doing agricultural researches because researchers can study and work on some experiments with the simulation model before conducting field experiments.

Several researches has been utilized a rice crop growth simulation model to study in nitrogen fertilizer applications for rice crops. Bouman and et.,al [4] use Oryza2000 as a rice crop growth simulation model to study rice crop growth under nitrogen-limited. Bouman and et.,al [5] manually generate some patterns of Nitrogen fertilizer application. Then, Oryza2000 uses these patterns as input to estimate the yield of rice crops. Only some promising patterns of Nitrogen fertilizer application are selected to validate the results from rice crop simulation model in field experiments. Similarly, Shibu [6] also uses LINTUL 3 as a rice crop growth simulation model to study rice crop growth under nitrogen-limited. Both researches only verify that simulated results from a rice crop growth simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

model effectively represent the results from field experiments.

Cui and et.,al [7] proposed a decision support system for nitrogen fertilizer optimization using rice growth simulation model. This research is based on Nelder and Mead simplex method, i.e., an optimization method, and a rice growth simulation model to find an optimal pattern of a nitrogen fertilizer. The simulation results are verified by the results from field experiments.

The optimization strategy of their research is based on the conditions that nitrogen fertilizers are applied in four splits and the objective function focuses only on rice yields. When the optimization strategy is strict with the four splits pattern of nitrogen fertilizers, this may limit the possibility of the optimization method to discover the best application pattern of nitrogen fertilizers. In addition, the optimization strategy is a lack of considering the cost of a nitrogen fertilizer and the labor cost of applying a nitrogen fertilizer. Therefore, the discovered optimum pattern from this research may not useful for practice.

According to Pham N. and et.,al [8], Nelder and Mead simplex method can only find local optimal solution. As a result, the optimal pattern of nitrogen fertilizers obtained by using Nelder and Mead simplex method may not be a global optimum pattern of nitrogen fertilizers.

Panavich and et.,al [9] propose to utilize a genetic algorithm as an optimization method and oryza2000 as a rice growth simulation model for nitrogen fertilizer optimization. The simulation results are promising. However, this work is lack of considering the cost of a nitrogen fertilizer and the labor cost of applying a nitrogen fertilizer.

This paper is the extension of Panavich and et.,al [9]. This paper proposes to utilize a knowledge base to guide the learning process of a genetic algorithm. This technique will help a genetic algorithm to find optimal solution more quickly than typical genetic algorithms. In addition, the optimization strategy in this paper also considers the cost of a nitrogen fertilizer and the labor cost of applying a nitrogen fertilizer. Therefore, the discovered optimum pattern from this research may useful for practice.

2 SIMULATION OPTIMIZATION USING A GENETIC ALGORITHM WITH A NITROGEN FERTILIZER NUTRITIONAL KNOWLEDGE BASE FOR RICE CROPS

A flowchart of the proposed simulation-optimization is presented in Fig.1.The optimization framework consists of oryza2000 as a rice growth simulation model and a genetic algorithm with a nitrogen fertilizer nutritional knowledge to guide the learning process of a genetic algorithm. The objective function of the optimization scheme considers not only the yield of rice crops but also the cost of a nitrogen fertilizer and the labor cost of applying a nitrogen fertilizer.

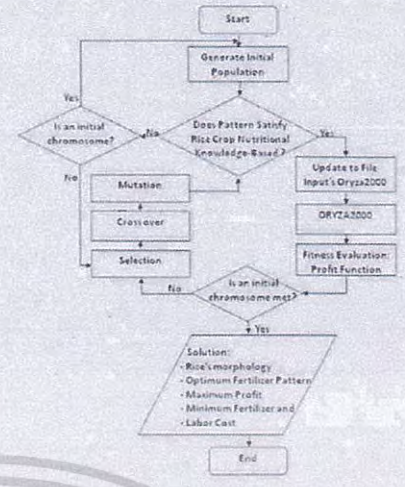


Fig. 1. Framework of Simulation Optimization Using A Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowledge Base for Rice Crops

2.1 A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowledge Base for Rice Crops

A genetic algorithm is a well-known heuristic search algorithm. The algorithm is usually applied for searching a solution in an optimization problem. For an optimization problem, the algorithm is required to represent a solution of the problem by a chromosome. Initially, a set of candidate chromosomes, i.e. called population, is randomly generated. The population of candidate solutions is evolved toward better solutions iteratively. The population in each iteration is called a generation. In each generation, the fitness of every chromosome is evaluated. The more fit chromosomes have better chance to be selected from the population. These selected chromosomes go through a combination of genetic operators, i.e. crossover and mutation, to form a new generation. The algorithm terminates when either a maximum number of generations has been produced, or a satisfactory fitness level has been reached.

In Panavich and et.,al [9], a genetic algorithm and oryza2000 are used to find an optimum nitrogen fertilizer application for rice crops. In the process of searching for the optimum solution, populations in each generation are probabilistically generated by typical genetic algorithms. Some chromosomes in each generation are not feasible to be an optimum solution. This may cause the optimization process take a longer time to reach a satisfactory fitness level.

Unlike the previous work, this paper proposed a new technique to help a genetic algorithm generate only feasibly chromosomes. The proposed technique incorporates pract

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ical rice crop nutritional recommendations. According to rice crop nutritional recommendations of Yoshida [10] and K.Datta [11], this work incorporates 5 rice crop nutritional recommendations as following:

1. Nitrogen fertilizer applications should be applied between 5^{th} to 65^{th} days after seeding.
2. It should be allowed at least 20 days between each fertilizer application.
3. The application rate for each nitrogen application should be between 15 kg./ha and 180 kg./ha.
4. The frequency of nitrogen applications should between 1 and 3.

These practical rice crop nutritional recommendations are encoded as rules. These rules are used to filter out some infeasible chromosomes. As shown in figure 1, these rules are used to filter out some infeasible chromosomes at the stage of the initial generating chromosomes and the stage of generating new chromosomes for the next generation. As a result, the proposed genetic algorithm can reach a satisfactory fitness level faster than typical genetic algorithms.

2.2 Profit Function

In order to be profitable, it is very important that farmers need to consider not only the rice crop yield but also cost of nitrogen fertilizers and the labor cost of applying nitrogen fertilizers. In Cui and et. al [7], the objective of the optimization is to find amount of nitrogen fertilizers that maximizes rice crop yields. This optimization strategy is a lack of considering the cost of nitrogen fertilizers and the labor cost of applying nitrogen fertilizers. Therefore, the discovered optimum pattern from this research may be limited in practice.

Unlike the previous works, a new objective in this work is to find amount of nitrogen fertilizers that maximizes a profit. Here, the profit is calculated by the difference between the costs of fertilizers and the returns you get from your yield. The proposed objective function is shown in (1):

$$\text{Maximize } PF = ((Y/GM)*S) - ((F*C)+(ST*SE)) \quad (1)$$

, where

PF = profit,
GM = the number of seeds per kilogram,
Y = the number of seeds per hectare,
S = price of rice per kilogram,
F = Nitrogen fertilizer application rates (Kg per hectare),
C = Nitrogen fertilizer prices per kilogram,
ST = the frequency of nitrogen fertilizer applications and
SE = the labor cost of applying nitrogen fertilizers per an application.

3 EXPERIMENT

To evaluate the proposed technique, experiments are conducted to find the optimum amount of nitrogen fertilizers for a IR72 rice variety. First, ORYZA2000 software is calibrated using phonological data of IR72 from International Rice Research Institute (IRRI). This data was collected in the 1992 wet season and from field experiments at Makati city, Philippines. Then, Genetic algorithm with the knowledge base, i.e. the proposed technique, is applied to determine the optimum amount of nitrogen fertilizers. The simulation parameters for the genetic algorithm and ORYZA2000 simulation model are shown in table 5 and table 6 respectively.

Table 1. The Genetic Algorithm Parameters

Parameter	Values
Maximum Generation	1000
Crossover Rate	0.07
Crossover Type	Single Point
Mutation Rate	0.05
Mate Pool & Replace	2
Group Of Initial pattern	10
Nitrogen Fertilizer Cost (USD/kg)	0.50
Labor Cost (USD/Time)	1.86
Lower of Fertilizer Volume (Kg/ha)	15
Upper of Fertilizer Volume (Kg/ha)	180
Frequency of Nitrogen Application	1-3
Nitrogen Applied (Days after seeding)	5^{th} -65^{th}
At least days between of each fertilizer application	20

Table 2. The Parameters of ORYZA2000 Simulation Model

Parameter Value	Detail
RICETYPE = 'LOWLAND'	Lowland rice
RUNMODE = 'EXPERIMENT'	ORYZA simulates particular experiment
PRODENV = 'POTENTIAL'	Potential production
WATBAL = 'PADDY'	PADDY water balance (for lowland soils)
NITROENV = 'NITROGEN BALANCE'	Production may be nitrogen-limited
ETMOD = 'PENMAN'	Penman-based (Van Kraalingen & Stol,1996)
CNTR = 'PHIL'	Weather station and climatic data for simulation
ESTAB='DIRECT-SEED'	Establishment data
NPLDS = '1000'	Number of plants/m2 direct-seeded
CROP	Oryza sativa cultivar IR72
CROP TYPE	Idica Rice

Fig. 2. shows the best profit in each generation of the proposed technique. For comparison purpose, an experiment is conducted by using a typical genetic algorithm to find the optimum amount of nitrogen fertilizers for the IR72 rice variety. The simulation parameters for the typical genetic algorithm and the ORYZA2000 simulation model are the same as that of the proposed technique. The best profit in each generation of the typical Genetic algorithm is shown in **Fig. 3**.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

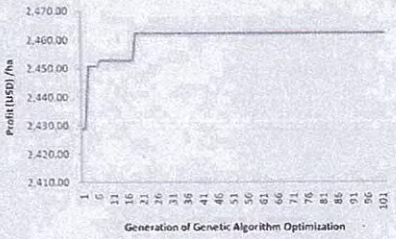


Fig. 2. the best profit in each generation of the Genetic Simulation Optimization with Rice Crop Nutritional Knowledge -Based

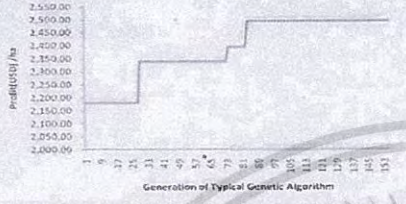


Fig. 3. the best profit in each generation of the typical genetic algorithm

According to figure 2 and 3, the typical genetic algorithm can discover the optimum profit at the 84th generation, whereas the proposed technique can discover the optimum profit at the 19th generation. Therefore, the proposed technique can discover the optimum profit faster than the typical genetic algorithm. This is the case because the knowledge base can successfully guide the evolution process of the proposed technique to find the optimum profit.

Table 3 shows Nitrogen fertilizer schedule obtained from the proposed technique, the typical Genetic algorithm and IRRI recommendation schedule. For the IR72 rice variety, IRRI recommends to applied Nitrogen fertilizer at 12th, 30th and 67th day after seeding with each 60 kg/ha. To compare with IRRI recommended schedule, the experiments also conduct simulations for the cases that nitrogen fertilizer is not applied and nitrogen fertilizer is applied with IRRI recommendation schedule. According to table 3, the nitrogen fertilizer schedule obtained from the proposed technique has the least nitrogen application rate, i.e. 84 kg/ha, and the least frequency of Nitrogen application. Grain yields and nitrogen fertilizer cost for each schedule are shown in table 4.

Table 3. Nitrogen Fertilizer Schedule Obtained from Simulation Optimization Using A Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowledge Base for Rice

Schedule Treatment	Total Nitrogen rate (Kg/ha)	Freq. of N Time	Title	Fertilizer Schedule: Timing										Profit ($)
IRRI	0	0	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	334.13
			V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	180	3	D	1	11	12	13	29	30	31	66	67	94	366.52
			V	-	-	60	-	-	60	-	-	60	-	
TGA	340	10	D	3	17	19	24	42	58	60	61	89	108	368.95
			V	6	68	11	17	12	17	65	74	28	46	
KGA	84	1	D	9	14	28	32	61	82	91	92	96	97	392.12
			V	-	-	84	-	-	-	-	-	-	-	

TGA=Typical Genetic Algorithm, KGA= Genetic Algorithm with knowledge base, D=Day, V=Volume (Kg/ha)

Table 4. Costing of Nitrogen fertilizer Schedule Obtained from Simulation Optimization Using A Genetic Algorithm With A Nitrogen Fertilizer Nutritional Knowledge Base for Rice Crops

Treatment	Nitrogen Management			Grain Yields		Profit ($)
	Kg/ha	Freq. of N	Nitrogen Cost ($)	Kg/ha	Income ($)	
IRRI	0	0	0	6,682.56	2,088.30	334.13
	180	3	95.63	7,330.30	2,290.72	366.52
TGA	340	10	188.75	7,379.16	2,305.99	368.95
KGA	84	1	43.88	7,842.30	2,450.72	392.12

TGA=Typical Genetic Algorithm, KGA= Genetic Algorithm with knowledge base, D=Day, V=Volume (Kg/ha)

4 CONCLUSION

To search for an optimum application rate of a nitrogen fertilizer, this research proposes simulation optimization using a genetic algorithm with a nitrogen fertilizer nutritional knowledge base for rice crops. According to rice crop nutritional recommendations of Yoshida [10] and K.Datta [11], this work incorporates 5 rice crop nutritional recommendations as the knowledge base. In order to be profitable, farmers need to consider not only the rice crop yield but also cost of Nitrogen fertilizer and the labor cost of applying Nitrogen fertilizer. Therefore, the optimization strategy in this paper also considers the cost of nitrogen fertilizer and the labor cost of applying nitrogen fertilizer. The experiments are conducted to find the optimum amount of a nitrogen fertilizer for an IR72 rice variety. The simulation results show that the proposed technique can discover the best profit faster than the typical genetic algorithm. In the future, this optimum application rate of a nitrogen fertilizer will be validated in field experiments.

ACKNOWLEDGMENT

We acknowledge for Information Technology Department of King Mongkut's Institute of Technology

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladkrabang, Thailand and grateful to Ph.D. Associate Professor Worapoj Kreesuradej for inspirational suggestions include of permission to use environment of education. We acknowledge for SARP(Simulation and Systems Analysis for Rice Production) team, IRRI and Wagenigen University for permission to use their data in this simulation study. And DSSAT setup of knowledge grateful to Dr.Nittaya Pagamas, and Confirm of conceptual for agricultural of technology adoption to Dr.Pitchayasinee Ariyatanakatawong.

REFERENCES

[1] Axel Tonini and et al.,2009,Opportunities for Global Rice Research in a Changing World, International Food Policy Research Institute(IFPRI),International Rice Research Institute Los Banos, Philipines.

[2] Kenneth G. Cassman and et al.,2001,Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management" (2002). Agronomy & Horticulture -Faculty Publications. Paper 356. http://digitalcommons.unl._ _edu/agronomyfacpub/356.

[3] M.A.Sutton and et.,al.,2013,Our Nutrient World, Prepared by the Global Partnership on Nutrient Management in collaboration with the International Nitrogen Initiative, Centre for Ecology and Hydrology (CEH), Edinburgh UK, on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management (GPNM) and the International Nitrogen Initiative (INI)., ISBN: 978-1-906698-40-9.

[4] Bouman B.A.M.,Kroff MJ,Toung TP, 2001, Oryza2000 Modeling Lowland Rice, Los Banos, Philippine, International Rice Research Institute(IRRI) and Wageningen University

[5] B.A.M Bouman and et.,al.,2006,Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited condition, Agricultural Systems 87 (2006) 249-273 p.

[6] M.E.Shibu,2010,LINTUL3, a simulation model for nitrogen-limited situations: Application to rice, Eur.J. Agron.(2010),doi:10.1016/j. eja.2010.01.003.

[7] Ri-Xian Cui,2011,Decision Support System for Nitrogen Fertilizer Optimization Using Rice Growth Simulation Model,School of Plant Science,Seoul National University,Suwon,Korea.

[8] Tamara G. Kolda and et. al,2003, Optimization by Direct Search: New Perspectives on Some Classical and Modern Methods, SIAM REVIEW, Vol. 45, No. 3, pp. 385–482.

[9] Pannavich Ariyatanakatawong,2013, A Simulation and Genetic Optimization Framework for Optimizing Nitrogen Fertilization for Rice Crop,The Asian Conference on the Social Sciences 2013, ACSS Interdisciplinary

[10] Shouichi Yoshida,1981,Fundamentals of Rice Crop Sciences, The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

[11] Surajit K. De Datta,1993,Principle and Practices of Rice Production. The International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, SB191. R5D38 633,1'8 80-28941 pp. 348-398.

[12] Drenth.H.,Ten Berge, H.F.M.,Riethoven,J.J.M.,1994 .ORYZA simulation modules for potential and nitrogen limited rice production, In:SARP research Proceedings, IRRI/ABDLO,Wangenimgen, Netherland, p.223.

[13] Eric J. Wailes and Eddie C. Chavez,2012, World Rice Outlook, International Rice Baseline with Deterministic and Stochastic Projections, 2012-2021. JEL Codes: C02, F01, F14, F17, Q17, Q18, R11.

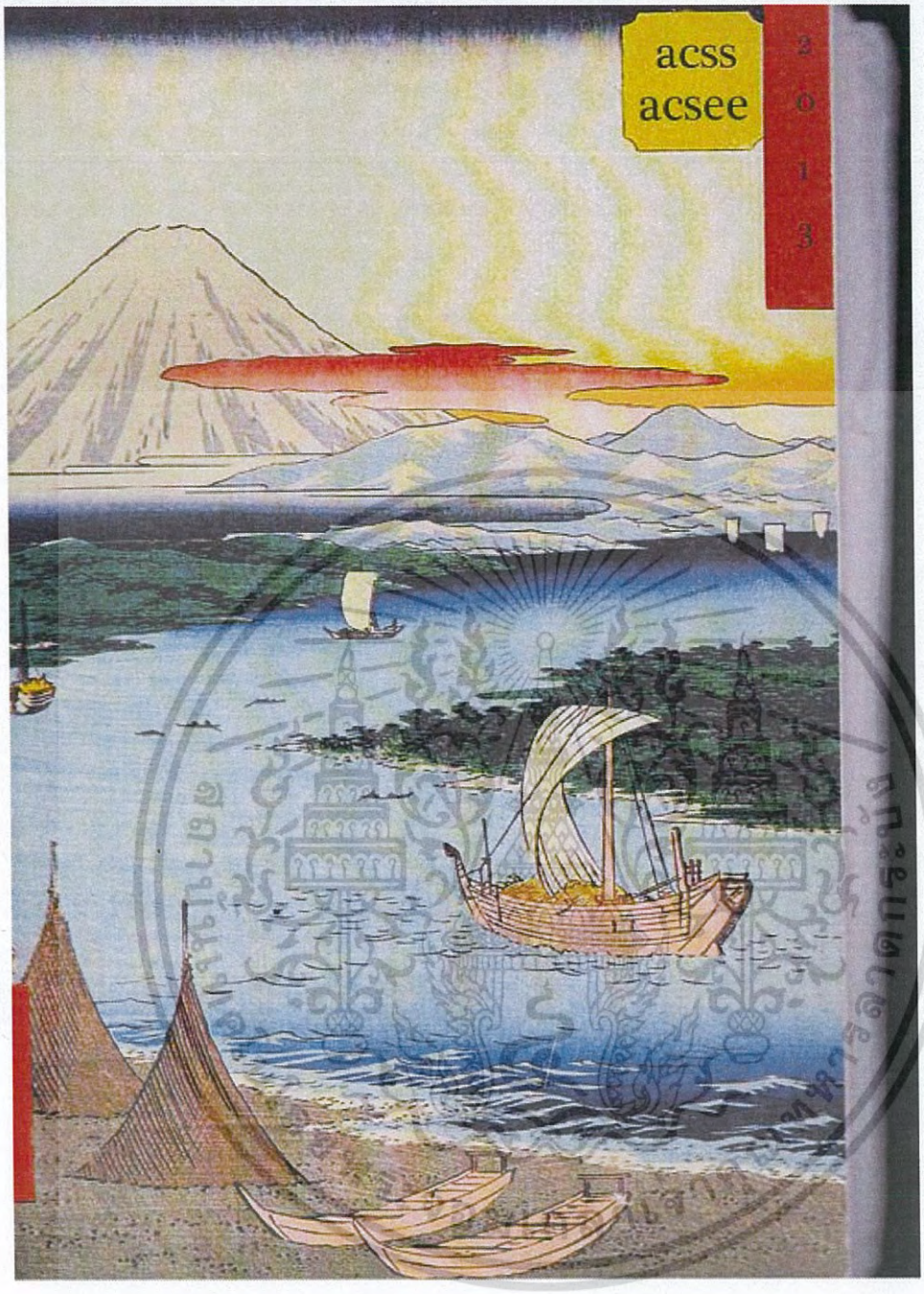
[14] C.Lin and J.J More,1999,New's method for large bound-constrained optimization problems. SIAM Journal on Optimization,1101-1127 p.

[15] Michel C.Fu, 2002, Optimization for Simulation Theory vs. Practice, Robert H.Smith School of Business and Institute for Systems Research, University of Maryland, College Park, Maryland, USA,INFORMS Journal on Computing Vol.14 ,No.3,Summer 2002.

[16] Russell R. Barton ,2009, Simulation Optimization Metamodels, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R G. Ingalls, eds.

[17] Hemant Kumar Singh and et.,al.,2009,Performance of Infeasibility Driven Evolutionary Algorithm(IDEA) on Constrained Dynamic Single Objective Optimization Problems, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2009).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Simulation and Genetic Optimization Framework for Optimizing Nitrogen Fertilization for Rice Crop

Pannavich Ariyatanakatawong [*1] *and Worapoj Kreesuradej* [*1]

0511

[*1] **Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.**

The Asian Conference on the Social Sciences 2013

ACSS: Interdisciplinary

Corresponding author: Tel.: +66 81 498 6933

E-mail address: apannavich@gmail.com, worapoj@it.kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Simulation and Genetic Optimization Framework for Optimizing Nitrogen Fertilization for Rice Crop

0511

Pannavich Ariyatanakatawong [*1] *and Worapoj Kreesuradej* [*1]

[*1] **Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.**

ABTRACT

Precision agriculture is a technique that can enhance the current agricultural production system dramatically. Optimizing Nitrogen fertilization for rice crop is one of important research issues in Precision agriculture because it can decrease the cost of rice farming, reduce environmental pollution and increase grain yield. The optimal amount of nitrogen (N) and schedules depend on several factors such as soil conditions, cultural practices, varieties of rice, and etc. For traditional approaches of fertilizer optimization, may costly and take a long time.

Therefore, a new simulation and Genetic optimization framework for searching for the optimal fertilizer schedules and the optimal amount of nitrogen (N) for rice crop are proposed. The proposed framework is based on genetic algorithm and *Oryza*2000 Model. Firstly, the *Oryza*2000 Model is calibrated and validated using field experimental data. Secondly, the calibrated *Oryza*2000 model is utilized as simulation model in searching for the optimal fertilizer allocations during the crop growing period and the optimal amount of nitrogen (N). To validate the proposed framework, field experiments are conducted in Chachoengsao Province of Thailand. From the experiments, the total yield of rice crop significantly increases after applying the optimal fertilizer schedules and the optimal amount of nitrogen (N) provided from the proposed simulation-optimization framework. The results of the study suggest that by employing a calibrated crop growth model combined with genetic algorithm can lead to achieve maximum yield.

Keywords: Nitrogen Fertilization Application Optimization, Rice growth simulation models, Genetic algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายปัณณวิชญ์ อริยธนะกตวงศ์
ที่อยู่	เลขที่ 98/20 หมู่ 5 ต.บางสมัคร อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ประวัติการทำงาน	ปัจจุบันอาจารย์พิเศษ และผู้ช่วยนักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้