

แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม



นางสาวศุภภัทรพร คำบ่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาพืชศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2556

**MUNGBEAN GROWTH AND YIELD MODELS USING
ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

Supatsorn Kumbor



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science Program in Crop Science

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร. รุจ มรกต)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. หัสไชย บุญสูง)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร. อาทิตย์ ศรีแก้ว)

กรรมการ

(ผศ. ร.อ. ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(ผศ. ดร. สุเวทย์ นิงสานนท์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ศุภภัทรพร คำป่อ : แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้

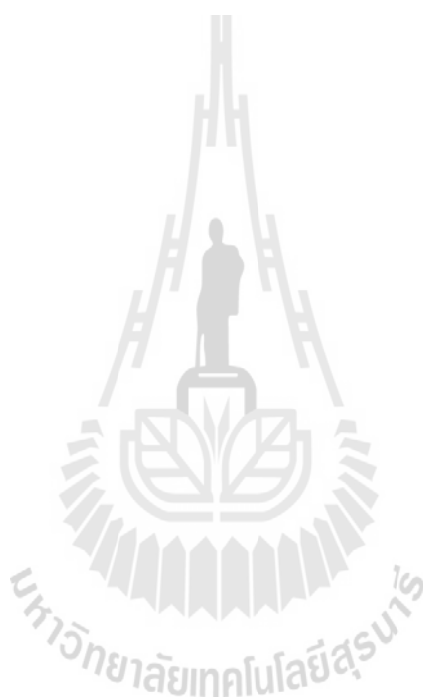
โครงข่ายประสาทเทียม (MUNGBEAN GROWTH AND YIELD MODELS USING

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ดร.หัสไชย บุญจง, 68 หน้า.

แบบจำลองพืชส่วนใหญ่เป็นแบบ mechanistic model แต่การศึกษานี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเป็นทางเลือกของการจำลอง และทำนายการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว ทำการทดลองปลูกถั่วเขียวแบบแฟกตอเรียล 2 พันธุ์ (มทส.1 และกำแพงแสน 2) x 2 ระดับการให้น้ำ (น้ำฝนและให้น้ำ) x 3 ระดับปุ๋ย (สูตร 12-24-12 อัตรา 0, 15 และ 30 กก./ไร่) วางแผนแบบ RCBD มี 4 ซ้ำ ปลูก 2 ฤดู (ฤดูแล้งให้น้ำอย่างเดียวกัน) การทำนายการเจริญเติบโตใช้ข้อมูล 840 ชุด โดยเก็บข้อมูลแต่ละแปลงย่อย จำนวน 10 ซ้ำ นำข้อมูล (เฉพาะอัตราปุ๋ย 0 และ 30 กก./ไร่) จำนวน 560 ชุด ข้อมูล เพื่อฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ข้อมูลที่เหลืออีก 280 ชุดข้อมูล (เฉพาะอัตราปุ๋ย 15 กก./ไร่) ทดสอบการทำนาย การทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล ใช้ข้อมูล 162 ชุด โดยเก็บข้อมูลแต่ละแปลงย่อย 3 ซ้ำ ใช้ข้อมูลจำนวน 108 ชุดข้อมูล เพื่อฝึกหัดโครงข่ายและข้อมูลที่เหลือจำนวน 54 ชุดข้อมูลทดสอบการทำนาย และการทำนายผลผลิตใช้ข้อมูล 72 ชุด โดยเก็บข้อมูลแต่ละแปลงย่อย 4 ซ้ำ ใช้ข้อมูลจำนวน 48 ชุดข้อมูล เพื่อฝึกหัดโครงข่ายและข้อมูลที่เหลือ 24 ชุดข้อมูล ทดสอบการทำนาย โดยตัวแปรนำเข้าประกอบด้วย พันธุ์ อัตราปุ๋ย การให้น้ำ ฤดูกาล ปลูก อุณหภูมิสะสม ปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง และจำนวนวันหลังปลูก และวัดประสิทธิภาพของการทำนาย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์กำหนด (coefficient of determination, r^2), รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE), ค่าการยอมรับได้ (agreement of index, IA), ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute percent error, MAPE), ค่าเฉลี่ยความเอนเอียง (mean bias, MB) และค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมบูรณ์ (mean absolute bias, MAB) จากการศึกษา พบว่าแบบจำลองทำนายการเจริญเติบโตของถั่วเขียว มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น ในชั้นซ่อนเป็นแบบ logsig และ tansig แต่ละชั้นมี 30 หน่วยย่อย ในชั้นข้อมูลส่งออกเป็นแบบ tansig การทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น ในชั้นซ่อนเป็นแบบ tansig และ tansig แต่ละชั้นมี 10 หน่วยย่อย ในชั้นข้อมูลส่งออกเป็นแบบ purelin ส่วนแบบจำลองทำนายผลผลิตของถั่วเขียว มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น ในชั้นซ่อนเป็นแบบ logsig และ tansig แต่ละชั้นมี 10 หน่วยย่อย ในชั้นข้อมูลส่งออกเป็นแบบ tansig มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดและมีประสิทธิภาพของการทำนายแม่นยำสูงที่สุด แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพมากในการทำนายความสูง แต่ทำนายจำนวนข้อและใบประกอบได้ต่ำกว่าค่าสังเกตเมื่อต้นถั่วเขียวยังเล็ก และทำนายได้แม่นยำมากขึ้นเมื่อถั่วเขียวอายุมากขึ้น ส่วนการทำนายจำนวน กิ่งหลักและผลผลิตค่อนข้างต่ำกว่า

คำสั่งเขต และแบบจำลองพื้นที่ใบและน้ำหนักรวมจะมีประสิทธิภาพในการทำนายต่ำกว่าการทำนายการเจริญเติบโต หากต้องการที่จะนำไปประยุกต์ใช้เพื่อทำนายการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว ควรต้องเพิ่มความแม่นยำให้กับแบบจำลองด้วยการเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลเพื่อเพิ่มการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมก่อนนำไปใช้ประโยชน์



สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

SUPATSORN KUMBOR : MUNGBEAN GROWTH AND YIELD

MODELS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. HATSACHAI BOONJUNG, Ph.D., 68 PP.

MUNGBEAN GROWTH/NEURAL NETWORK/PREDICTION

The objective of this study was to use the artificial neural network (ANN) to predict mungbean growth and yield as an alternative of mechanistic model generally used. The experiment consisted of 2 varieties (SUT1 and KPS2) x 2 water levels (rainfed and irrigation) x 3 fertilizer levels (12-24-12 rate 0, 15 and 30 kg/rai). The factorial experiment was in RCBD 4 blocks growing for 2 seasons (irrigation in the 2nd season). For growth prediction, 840 data sets were assigned. Data were collected from 10 replications in each plot. Data from 560 sets of fertilizer rate of 0 and 30 kg/rai were used to train the ANN model by back propagation algorithm. The rest of 280 sets of data (only 15 kg/rai of fertilizer) were used to validate performances of the model. For leaf area index and total dry matter prediction, 162 data sets were assigned. Data were collected for 3 replications in each plot. Data from 108 sets were used to train the ANN model. The rest of 54 sets of data were used to validate performances of the model. For production yield prediction, 72 data sets were employed. Data were collected for 4 replications in each plot. Data from 48 sets were used to train the ANN model and 24 sets of data were used to evaluate model performance. The input variables were variety, fertilizer, irrigations, seasonal, growing degree day, rainfall, solar radiation and day after planting. The performance efficiency was analyzed using coefficient of determination, root mean square error,

index of agreement, mean absolute percent error, mean bias, mean absolute bias. Results indicated that the neural network model was appropriate in the prediction of mungbean growth, leaf area index, total dry matter and yield with two hidden layers. For growth model, the hidden layers were logsig and tansig and the output layer were tansig. Each hidden layer had 30 neurons. For LAI and TDM model the hidden layers were tansig and tansig and the output layer was purelin. The hidden layer had 10 neurons. For the yield model, hidden layers were logsig and tansig and the output layer was tansig. The hidden layers had 10 neurons. The neuron network predicted mungbean's height quite accurately but the prediction of the number of nodes and compound leaves of young mungbean was under estimated. Prediction accuracy increased with mungbean's age. The prediction of main branches and yield was under estimated. The prediction of LAI and TDM was less accurate than mungbean growth. High r^2 value resulted in high IA value as well. This also caused the value of RMSE, MAPE, MB and MAB became less. The neuron network could be used to predict the growth and yield of mungbean. However, more data are needed to train the model for more accuracy.

School of Crop Production Technology

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

Co-advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัสไชย บุญจง อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ศรีแก้ว อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ทั้ง 2 ท่าน ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณนวลปรานค์ อุทัยดา คุณสมยง พิมพ์พรม คุณสหัสรัฐ นภาภาส เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ และให้คำแนะนำในการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ พร้อมทั้งคุณอุทัยพลแสงจันทร์ และเจ้าหน้าที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือ และสนับสนุนการปฏิบัติงานในแปลงทดลอง

ขอขอบคุณ พี่ น้องบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืชทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ให้การปฏิบัติงานเป็นไปได้อย่างดี ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษาระดับมหาบัณฑิต แก่ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ด้วยทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

ศุภัทธธร คำบ่อ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเขียว.....	4
2.2 การเจริญเติบโตของถั่วเขียว.....	4
2.3 กระบวนการทางสรีรวิทยาของถั่วเขียว.....	5
2.4 การตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม.....	6
2.5 การพัฒนาของระยะการเจริญเติบโต.....	8
2.6 โครงข่ายประสาทเทียม.....	9
2.6.1 การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม.....	11
2.6.2 ประเภทของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม.....	12
2.6.3 การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ.....	13
2.6.4 จุดเด่นของโครงข่ายประสาทเทียม.....	14
2.6.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม.....	16
2.6.6 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมทางการเกษตร.....	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1	การศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเขียว (ฤดูฝน).....	19
3.2	การศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเขียว (ฤดูแล้ง)	21
3.3	ทำนายการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	23
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล	
4.1	การทำนายการเจริญเติบโต.....	28
4.1.1	ความสูง	28
4.1.2	จำนวนข้อ.....	29
4.1.3	จำนวนกิ่งหลัก	30
4.1.4	จำนวนใบประกอบ.....	30
4.2	การทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล.....	31
4.2.1	พื้นที่ใบ.....	31
4.2.2	น้ำหนักชีวมวล	32
4.3	การทำนายผลผลิต	33
4.4	การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง	34
4.4.1	การเจริญเติบโต.....	34
4.4.2	พื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล	34
4.4.3	ผลผลิต.....	34
5	บทสรุป	37
	รายการอ้างอิง	38
	ภาคผนวก.....	41
	ประวัติผู้เขียน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	ระยะเวลาเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของถั่วเขียว8
2	ระยะเวลาเจริญเติบโตทางด้านระบบสืบพันธุ์ของถั่วเขียว9
3	ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงปลูกการทดลองที่ 1 ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี19
4	ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงปลูกการทดลองที่ 2 ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี21
5	ค่าความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง โครงข่ายประสาทเทียม35



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1	ส่วนประกอบและ โครงสร้างของเซลล์ประสาท10
2	ลักษณะฟังก์ชันถ่ายโอน.....11
3	ลักษณะของ โหนดใน โครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม11
4	โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ.....14
5	การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมทำนายการเจริญเติบโต.....24
6	การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล25
7	การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมทำนายผลผลิต26
8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตความสูงของถั่วเขียว.....29
9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตจำนวนข้อของถั่วเขียว29
10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตจำนวนกิ่งหลักของถั่วเขียว30
11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตจำนวนใบประกอบ ของถั่วเขียว31
12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตพื้นที่ใบของถั่วเขียว32
13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตน้ำหนักชีวมวลของถั่วเขียว32
14	แสดงความสัมพันธ์ 1 : 1 Line ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตของผลผลิต33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้นและทนแล้งได้ดี โดยผลิตผลส่วนใหญ่นำมาใช้บริโภค บางส่วนเป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เช่น วุ้นเส้น แป้งถั่วเขียว ถั่วงอก และขนมหวาน ประเทศไทยเคยเป็นประเทศส่งออกถั่วเขียวรายใหญ่ที่สุดของโลก แต่ในปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของถั่วเขียวลดลง เหลือพื้นที่เพาะปลูก 0.92 ล้านไร่ และผลผลิต 103,000 ตันในปี 2555 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ปัจจุบันความต้องการถั่วเขียวในประเทศยังคงสูง แต่ปริมาณการผลิตลดลง จึงต้องนำเข้าถั่วเขียวจากประเทศเพื่อนบ้าน สาเหตุมาจากกำลังการผลิตเมล็ดพันธุ์ไม่เพียงพอกับความต้องการของเกษตรกร (กรมส่งเสริมสหกรณ์, 2556) เนื่องจากต้นทุนการผลิตสูงขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของราคาปุ๋ยเคมี ค่าจ้างแรงงาน และการที่พืชชนิดอื่นให้ผลตอบแทนดีกว่า เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และข้าวโพด การวางแผนการผลิตถั่วเขียวอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะช่วยเพิ่มผลตอบแทนจากการปลูกถั่วเขียว การทำนายการเจริญเติบโตและผลผลิตจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนบริหารจัดการ และเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเพื่อผลิตถั่วเขียวให้คุ้มทุน ปัจจุบันมีวิธีการที่ใช้ในการทำนาย เช่น การทำนายโดยใช้วิธีทางสถิติ การใช้อัลกอริทึมพันธุกรรม (genetic algorithm) การทำนายโดยใช้แบบจำลองแบบ mechanistic และการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) โครงข่ายประสาทเทียม เป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์สำหรับการประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานในสมองมนุษย์ สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม แบ่งเป็น 4 แบบคือ โครงข่ายการส่งข้อมูลแบบไม่ย้อนกลับ (feed forward network) โครงข่ายการส่งข้อมูลแบบย้อนกลับ (feedback network) โครงข่ายประสาทเทียมอย่างง่าย (perceptrons) และโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation algorithm) โดยงานวิจัยนี้ ได้เลือกโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลที่ใช้สำหรับปัจจัยนำเข้าเป็นข้อมูลย้อนหลังที่ต้องอาศัยการเรียนรู้หลายรอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ (Patterson Dan W., 1930) สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ประกอบด้วยชั้นของข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลนำเข้า (input layer) ชั้นซ่อน (hidden layer) และชั้นส่งออก (output layer) และการปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ประกอบด้วย 3 ชั้นตอน คือ ชั้นตอนการคำนวณไปข้างหน้า (feed forward) จากชั้นนำเข้าไปยังชั้น

ช่อน และไปสู่ชั้นส่งออกตามลำดับ การคำนวณและการแทนค่ากลับของผลรวม โดยทำการเปรียบเทียบความผิดพลาดของผลลัพธ์กับค่าเป้าหมาย และทำการปรับค่าน้ำหนัก (weight) จำนวนซ้ำ ๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ (อรอนงค์ และ พุทธดี, 2556) การศึกษาเทคนิคของการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมกำลังเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม และนำไปใช้กับการทำนายในหลายด้าน เพราะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมีความผิดพลาดน้อย เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้รูปแบบของข้อมูลในอดีต และหาความสำคัญของข้อมูลปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ต้องการทำนาย เพื่อนำไปทำนายข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้เป็นอย่างดี (สิริกัทร เชี่ยวชาญวัฒนา, 2552) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนาย เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับทำนายการผลิตปอ พบว่าโครงข่ายที่มีชั้นนำเข้า 6 ตัวแปร มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น ชั้นละ 9 และ 5 หน่วยย่อย มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด (Rahman and Bala, 2010) การทำนายผลผลิตของข้าวโพดและถั่วเหลือง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมพบว่า การปรับค่าพารามิเตอร์ เช่น อัตราการเรียนรู้ จำนวนหน่วยย่อยในชั้นซ่อน มีผลต่อความแม่นยำในการทำนายผลผลิตมากขึ้น (Kaul et al., 2005) การพยากรณ์ความต้องการข้าวไทยจากต่างประเทศ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์ ทางสถิติพบว่า การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการพยากรณ์ทางสถิติ (อาทิตย์ และ คณะ, 2552) การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายการผลิตใบโหระพาพบว่า รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 7-20-20-1 มีประสิทธิภาพในการทำนายสูง (Pahlavan et al., 2012) และการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายดัชนีสิ่งแวดล้อมของการผลิตข้าวสาลีในอิหร่านพบว่า รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 12-6-6-6 มีประสิทธิภาพดีที่สุด (Khoshnevisan et al., 2013)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อประเมินผลการทำนายของการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเขียวพันธุ์มทส. 1 และกำแพงแสน 2 โดยการให้ปุ๋ย 3 แบบ คือ

1.1 ไม่ใส่ปุ๋ย

1.2 ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่

1.3 ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

2. ทำนายการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวพันธุ์มทส. 1 และกำแพงแสน 2 โดยใช้
โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำไปใช้ประเมินผลการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว เพื่อเป็นแนวทางใน
การประยุกต์ใช้วางแผนบริหารจัดการ ในการตัดสินใจเพื่อผลิตถั่วเขียวให้คุ้มทุน



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของถั่วเขียว

ถั่วเขียวเป็นพืชล้มลุก ลำต้นตรง หรือค่อนข้างเลื้อย ระบบรากเป็นแบบรากแก้ว รากของถั่วเขียวเจริญลงไปในดินได้ค่อนข้างลึก และแตกแขนงดี ความสูงของลำต้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ประมาณ 30-150 เซนติเมตร ส่วนของลำต้นเหนือใบเลี้ยงมักมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมีขนสั้น ๆ สีน้ำตาลปกคลุม ลำต้นมีการแตกกิ่งแขนง ใบของถั่วเขียวประกอบด้วยใบเลี้ยง ใบเดี่ยวคู่แรก และใบประกอบตามลำต้น ใบย่อยของถั่วเขียวมีสีเขียวเข้ม ลักษณะรูปไข่กว้าง (broadly ovate) ขนาดใบยาว 5-12 เซนติเมตร และกว้าง 2-10 เซนติเมตร ก้านใบ (petiole) ของใบประกอบยาว ที่ฐานของก้านใบมีหูใบ (stipule) 2 อัน ก้านใบย่อยสั้น ใบย่อยใบกลางมีหูใบย่อย (stipel) 2 อัน ส่วนใบย่อยริม 2 ใบมีหูย่อยข้างละอัน ใบมีขนปกคลุมทั่วไป ดอกถั่วเขียวมีลักษณะเป็นช่อ (inflorescence) เกิดตามมุมใบที่อยู่ตอนบนของลำต้น และที่ปลายยอดของลำต้นและกิ่งแขนง ช่อดอกถั่วเขียวเป็นแบบ condensed raceme คือ มีก้านดอก (peduncle) ยาว และดอกเกิดเป็นกลุ่มที่ปลายช่อดอก ความยาวก้านดอก 2-13 เซนติเมตร ดอกในช่อดอกมีประมาณ 10-25 ดอก ดอกมีสีเหลืองหรือบางพันธุ์มีสีม่วงหรือขาว ฝักจะเกิดเป็นช่อมีลักษณะคล้ายกับรัศมีของวงกลม ฝักมีรูปร่างกลมยาวส่วนปลายโค้งเล็กน้อย เมื่อฝักแก่อาจมีสีขาวนวล น้ำตาลอ่อนหรือดำ เมล็ดมีลักษณะมันหรือด้าน ด้านเว้าของเมล็ดมีสีขาวเปลือกเมล็ดมีสีเขียวหรือเหลือง (จุฑานาฎ สถาพรจนา, 2534)

2.2 การเจริญเติบโตของถั่วเขียว

การพัฒนาของพืชตั้งแต่เริ่มงอกเป็นลำต้น จนกระทั่งมีฝักและเมล็ดสุกแก่ นั้น สามารถแบ่งการเจริญเติบโตที่สำคัญได้ 2 ระยะ คือ การเจริญเติบโตทางลำต้น (vegetative) และระยะสืบพันธุ์ (reproductive) การเจริญเติบโตทางลำต้นของพืชเกิดขึ้นตั้งแต่พืชเริ่มงอก สร้างใบ ลำต้น ราก ตลอดจนกิ่งก้านและไปสิ้นสุดที่การออกดอก ส่วนระยะสืบพันธุ์หมายถึงช่วงการเจริญเติบโตตั้งแต่เริ่มออกดอก มีการผสมเกสรของดอก มีฝักและติดเมล็ด ตลอดจนการที่เมล็ดเจริญเติบโตจนกระทั่งสุกแก่เก็บเกี่ยวเป็นผลผลิตได้

การเจริญเติบโตของถั่วเขียวเป็นแบบ indeterminate คือการเจริญเติบโตทางลำต้นจะไม่สิ้นสุดลงในขณะที่พืชออกดอก การเกิดดอกเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน โดยมีช่วงระยะการออกดอก ททยอย

เป็นช่วงยาวจนกระทั่งลำต้นแก่ ในขณะที่ติดฝักและเมล็ดเริ่มสุกแก่ก็ยังคงมีการเจริญทางลำต้นสร้างใบ ช่อ และความสูงเพิ่มขึ้น การที่พืชมีการเจริญเติบโตทางลำต้นพร้อมๆ กับระยะสืบพันธุ์ ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้รับจากอาหารสำรองและการสังเคราะห์แสง ในช่วงการติดฝักและเมล็ด ต้องนำไปใช้ในการเจริญเติบโตทางลำต้นพร้อมๆ กัน ทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เมล็ดควรจะได้รับน้อยลง และทำให้มีผลกระทบต่อผลผลิต

2.3 กระบวนการทางสรีรวิทยาของถั่วเขียว

กระบวนการทางสรีรวิทยาของถั่วเขียวที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตตั้งแต่งอกจนกระทั่งพืชสุกแก่ มีดังนี้ คือ

1. ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ด (germination and seedling vigor) พิชัย (2524) ได้ศึกษาถึงการสุกแก่และพัฒนาการของเมล็ดถั่วเขียว 5 พันธุ์ พบว่า ความงอกของเมล็ดสูงสุดก่อนที่เมล็ดมีการสุกแก่ทางสรีรวิทยาประมาณ 2 วัน และถั่วเขียวต่างพันธุ์กันจะมีความแข็งแรงของเมล็ดต่างกัน บัวกัน (2533) รายงานว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 1 และ 2 ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 15-19 วัน หลังดอกบานสูงสุด มีคุณภาพเมล็ดในแง่ของความงอกและความแข็งแรงสูงสุด และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าเมล็ดที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 27, 31, 35 และ 39 วันหลังดอกบานสูงสุดโดยเมล็ดพันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 15 วันหลังดอกบานสูงสุดนั้น เป็นช่วงที่เมล็ดส่วนใหญ่อยู่ในระยะสุกแก่ทางสรีรวิทยา ในการเก็บเกี่ยวให้เลือกฝักที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือดำเท่านั้น

2. การพัฒนาของพื้นที่ใบ (leaf area development) ในระยะการเจริญเติบโตก่อนออกดอก ธรรมชาติพื้นที่ใบ (leaf area index, LAI) ของถั่วเขียวเพิ่มขึ้นช้ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับพืชอื่น ในถั่วเขียวพันธุ์อุทุมพรพิสัยนั้นธรรมชาติพื้นที่ใบค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มเจริญเติบโต และสูงสุดเมื่อถั่วเขียวเริ่มมีฝักแรกสุกแก่ (วรการ ปิ่นหย่า, 2527) จากการศึกษาของ สุรฉัตร (2529) พบว่า พื้นที่ใบและธรรมชาติพื้นที่ใบในระยะเริ่มออกดอก และระยะเริ่มสุกแก่ของถั่วเขียวพันธุ์อุทุมพรพิสัยและพันธุ์ VC 4 สายพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา พบว่าค่าธรรมชาติพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งในถั่วเขียวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราปลูกที่สูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับธรรมชาติพื้นที่ใบและน้ำหนักแห้งเป็นไปในทางบวก อย่างไรก็ตามไม่พบจุดสูงสุดของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักแห้งกับค่าธรรมชาติพื้นที่ใบในถั่วเขียว ซึ่งแตกต่างจากถั่วเหลืองที่มี LAI ประเภท critical LAI ซึ่งเมื่อค่า LAI เพิ่มขึ้นก็จะทำให้น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งค่าน้ำหนักแห้งถึงจุดสูงสุด ซึ่งต้นพืชทั้งหมดในพื้นที่ๆ กำหนดจะได้รับแสงได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ และแสงจะส่องลงไปบนพื้นดินได้เพียง 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (อภิพรพรรณ พุกพักดี, 2533)

3. อัตราการเจริญเติบโต (crop growth rate) ถั่วเขียวเป็นพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้ามากในช่วงแรก คือตั้งแต่เริ่มงอกจนกระทั่งประมาณ 35 วันหลังปลูก จากการศึกษาอัตราการเจริญ

ของถั่วเขียวพันธุ์ต่าง ๆ วิไลวรรณ และคณะ (2528) พบว่าถั่วเขียวทั้ง 5 สายพันธุ์ ในระยะแรก หลังจากงอก จนถึงระยะที่มีใบจริง 3 ใบแรก การเจริญเติบโตช้ามาก แต่หลังจากเริ่มออกดอกแล้ว จนถึงฝักแรกเริ่มแก่ เป็นระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด จากนั้นก็เริ่มช้าลง วิไลวรรณ (2533) รายงานว่าอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเขียวพันธุ์ต่าง ๆ ได้แก่ กำแพงแสน 1 กำแพงแสน 2 ชัยนาท 60 อุทอง 1 และ UT 7808 ยังคงเพิ่มขึ้นหลังจากที่ถั่วเขียวเริ่มออกดอกและสูงสุดในระยะสิ้นสุดการออกดอกชุดแรก คือ 6-12 วันหลังดอกบาน

4. การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ถั่วเขียวจัดเป็นพืชที่มีการสังเคราะห์แสงแบบพืช C_3 อัตราการสังเคราะห์แสง และปริมาณการใช้คาร์โบไฮเดรตที่ได้รับจากการสังเคราะห์แสงในถั่วเขียวนั้น การสะสมคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดมาจากการสังเคราะห์แสงในช่วงการเจริญเติบโตหลังออกดอกเป็นส่วนใหญ่ อัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net assimilation rate, NAR) ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักแห้งของพืชต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา ซึ่งในระยะออกดอกมีน้ำหนักแห้งสูงที่สุด และอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิมีค่าสัมพันธ์ใกล้ชิดกับพันธุกรรมเป็นอย่างมาก

2.4 การตอบสนองต่อสภาพแวดล้อม

ในพืชตระกูลถั่ว สภาพแวดล้อมที่มีความสำคัญต่อการปรับตัวมี 3 ประเภท ได้แก่ 1) ลมฟ้าอากาศ (climatic factor) เช่น อุณหภูมิ ช่วงแสง ความเข้มแสง ลมฟ้าอากาศ และความชื้นในอากาศ 2) ดิน (edaphic factor) เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความเป็นกรดด่าง การอุ้มน้ำของดิน 3) ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น แมลงศัตรูพืช โรคพืช และวัชพืช (อภิพรธ ฟูพักดี, 2533) แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่จัดว่ามีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของถั่วเขียวที่สำคัญมากที่สุด ได้แก่ ช่วงแสง ความเข้มแสง อุณหภูมิ และความชื้น

1. ช่วงแสง พืชตระกูลถั่วเป็นพืชที่ตอบสนองต่อช่วงแสง อุณหภูมิกลางวัน และอุณหภูมิกกลางคืน ในการพัฒนาของพืชโดยเฉพาะการออกดอก ช่วงแสงจะมีผลมาก อิทธิพลของช่วงแสงและอุณหภูมิมักจะแยกกันไม่ค่อยออก อิทธิพลของช่วงแสงต่อการออกดอกในพืชประเภทต่าง ๆ นั้น มีลักษณะต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและพันธุ์พืช สำหรับถั่วเขียวจัดเป็นพืชวันสั้นที่ตอบสนองต่อช่วงแสงแบบไม่เด่นชัดหรือเรียกว่า quantitative short day plants อภิพรธ (2533) รายงานว่า ถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์ตอบสนองต่อช่วงแสงแตกต่างกันออกไปเนื่องจากมีช่วงแสงวิกฤต critical photoperiod แตกต่างกัน การปลูกถั่วเหลืองในที่ที่มีช่วงแสงสูงกว่า critical photoperiod การออกดอกจะช้าลง และการปลูกในช่วงแสงต่ำกว่า critical photoperiod จะออกดอกคงที่ การออกดอกของถั่วเขียวจะล่าช้าไปถ้าช่วงแสงยาวขึ้น และการตอบสนองของพันธุ์ถั่วเขียวจะแตกต่างกัน ถั่วเขียวส่วนใหญ่ออกดอกเมื่อได้รับช่วงแสง 12-13 ชั่วโมง ถ้าเพิ่มช่วงแสงจาก 12 ชั่วโมง เป็น 16 ชั่วโมง พันธุ์ที่มีอายุการสุกแก่เร็ว จะออกดอกล่าช้าไปเพียง 2-3 วัน ในขณะที่พันธุ์ที่ไวแสงจะออกดอก

ล่าช้าไปถึง 30-40 และเมื่อถั่วเขียวได้รับช่วงแสงต่ำกว่า critical photoperiod อุณหภูมิจะมีบทบาทเป็นสองเท่าของช่วงแสง แต่ถ้าช่วงแสงสูงกว่า critical photoperiod ช่วงแสงจะแสดงบทบาทเป็นสองเท่าของอุณหภูมิ สำหรับถั่วเขียวพันธุ์ที่อายุการสุกแก่เร็ว จะได้รับอิทธิพลจากทั้งช่วงแสงและอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน (จุฑานาฏ สถาพรวงษา, 2534)

อิทธิพลของช่วงแสงนั้น ไม่ได้มีผลต่อการเจริญเติบโตในระยะก่อนออกดอก หรือการออกดอกเท่านั้น แต่ยังมีอิทธิพลต่อระยะเวลาสุกแก่ด้วย ในถั่วเหลืองถ้าช่วงแสงหลังออกดอกสั้นกว่าปกติ ถั่วเหลืองจะสุกแก่เร็วขึ้น เป็นผลให้ระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งในเมล็ดสั้นและทำให้ผลผลิตต่ำลง (อภิพรธม พุกพัคคี, 2533)

2. ความเข้มของแสง การกางของใบพืชจะมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสง ความเข้มของแสงที่สูงจะทำให้ใบขยายตัวได้น้อยลง (อภิพรธม และคณะ, 2529) ในการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของแสงต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียวพันธุ์อุทอง 1 นั้น วรการ (2527) ได้รายงานว่าการเพิ่มแสงโดยการใส่โลหะสะท้อนแสง มีส่วนทำให้พุ่มใบได้รับแสงมากขึ้น และช่วยในการเจริญเติบโตและสร้างฝักดีขึ้น และการลดความเข้มของแสงลง โดยการบังเงาทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการสังเคราะห์แสงในใบถั่วเขียว ทำให้การเจริญเติบโตและองค์ประกอบของผลผลิตถั่วเขียวสูงขึ้น

3. อุณหภูมิ ถั่วเขียวเป็นพืชในเขตร้อนสามารถเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 20-40°C การปลูกถั่วเขียวที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 18°C ทำให้ถั่วเขียวแคระแกร็น อุณหภูมิวิกฤตของถั่วเขียวอยู่ที่ 15°C และอุณหภูมิที่สูงกว่า 28°C ทำให้การคายน้ำและการหายใจเพิ่มขึ้นและมีผลให้การเจริญเติบโตของถั่วเขียวลดลง นอกจากนี้อุณหภูมิยังมีผลต่อระยะเวลาการเจริญเติบโตทางลำต้นและการออกดอกของถั่วเขียว อุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น ทำให้ถั่วเขียวออกดอกเร็วขึ้น แต่การออกดอกของถั่วเขียวตอบสนองต่อทั้งอุณหภูมิและช่วงแสง ถั่วเขียวพันธุ์ต่าง ๆ มีความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดแตกต่างกัน (จุฑานาฏ สถาพรวงษา, 2534)

4. ความชื้น ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตของถั่วเขียว เฉลิมพล และคณะ (2528) รายงานว่าการปลูกถั่วเขียวให้ได้ผลผลิตดีควรมีการให้น้ำอย่างน้อย 2 ครั้ง คือในตอนปลูกครั้งแรก และระยะออกดอก แต่ Panu and Singh (1988) พบว่าการให้น้ำตลอดระยะการเจริญเติบโตของถั่วเขียวทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด Sadasivam et al., (1988) รายงานว่าการขาดน้ำของถั่วเขียวทั้งในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น ระยะออกดอก และระยะที่ฝักกำลังพัฒนา มีผลทำให้การเจริญเติบโตทางลำต้น และผลผลิตของถั่วเขียวลดลง โดยการขาดน้ำในช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น ทำให้ผลผลิตลดลงมากที่สุด และยังมีผลต่อการลดลงของความสูง ความยาวราก พื้นที่ใบ จำนวนกลุ่มดอก จำนวนฝัก และการสะสมน้ำหนักแห้งของถั่วเขียว

แต่การขาดน้ำในทั้ง 3 ช่วงดังกล่าวไม่มีผลต่อจำนวนเมล็ดต่อฝักและน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดของ ถั่วเขียว นอกจากนี้ Pandey et al., (1988) ยังพบว่า การขาดน้ำของถั่วเขียวนอกจากมีผลต่อการ ลดลงของความสูงมากแล้ว ยังมีผลต่อการลดลงของจำนวนฝักต่อต้น และจำนวนเมล็ดต่อฝักของ ถั่วเขียวด้วย

2.5 การพัฒนาของระยะการเจริญเติบโต

ในการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืชตั้งแต่งอกจนกระทั่งสุกแก่พร้อมเก็บเกี่ยว นั้น นอกจากพันธุกรรมแล้ว ปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ มีอิทธิพลในแต่ละระยะการเจริญเติบโต แตกต่างกันไป

ระยะการเจริญเติบโตของถั่วเขียว

ตารางที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตทางด้านลำต้นของถั่วเขียว

ระยะการเจริญเติบโต	รายละเอียด
VE ระยะเริ่มงอก (emergence)	ใบเลี้ยงงอกโผล่พ้นดิน บางส่วนของ seedling โผล่พ้นออกจากใบเลี้ยง
VC ระยะใบเลี้ยง (cotyledon)	ใบเลี้ยงแยกออกจากกันในส่วนบน ขอบใบของใบประกอบไม่ติดกัน
V1 ระยะข้อที่ 1 (first node)	ใบประกอบแผ่นแรกที่ข้อที่ 1 ในขณะที่ใบจริงที่ 1 (first trifoliolate leaf) บนข้อถัดขึ้นไปเริ่มคลี่กางและขอบใบไม่ชิดกัน
V2 ระยะข้อที่ 2 (second node)	ใบจริงใบที่หนึ่งแผ่นกางออกที่ข้อที่ 2 ในขณะที่ใบจริงใบที่ 3 บนข้อถัดขึ้นไปเริ่มคลี่กาง
V3 ระยะข้อที่ 3 (third node)	ใบจริงใบที่สองแผ่นกางออกที่ข้อที่ 3 ในขณะที่ใบจริงใบที่ 3 บนข้อถัดขึ้นไปเริ่มคลี่กาง
V4 ระยะข้อที่ 4 (fourth node)	ใบจริงใบที่สามแผ่นกางออกที่ข้อที่ 4 ในขณะที่ใบจริงใบที่ 4 บนข้อถัดขึ้นไปเริ่มคลี่กาง
V(n) ระยะข้อที่ (n) (n-node)	(n) เท่ากับลำดับข้อบนลำต้นที่มีใบจริงคลี่กางเต็มที่

ที่มา : อภิพรธรรม และจุฑานานฎ (2531)

ตารางที่ 2 ระยะเวลาเจริญเติบโตทางด้านระบบสืบพันธุ์ของถั่วเขียว

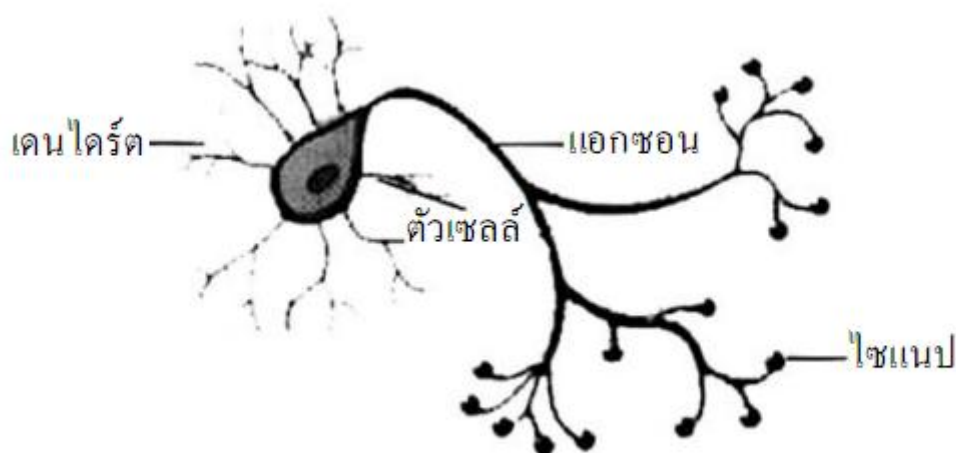
ระยะเวลาเจริญเติบโต	รายละเอียด
R1 เริ่มออกดอก (beginning bloom)	มีดอกแรกบานบนข้อใดข้อหนึ่งของลำต้นกลาง (main stem)
R2 เริ่มติดฝัก (beginning pod)	ฝักใดฝักหนึ่งที่มีขนาดยาว 1 เซนติเมตร เกิดขึ้นบนข้อใดข้อหนึ่ง ระหว่างข้อที่ 5-7 ของลำต้นกลาง
R3 เริ่มติดเมล็ด (beginning seed)	ฝักใดฝักหนึ่งมีขนาดยาว 5 เซนติเมตร เกิดขึ้นบนข้อใดข้อหนึ่ง ของสามข้อบนสุด
R4 เมล็ดพัฒนาเต็มที่ (full seed)	ฝักใดฝักหนึ่งบนข้อบนสุด 3 ข้อบนที่มีลักษณะคอด เมล็ดภายในฝัก เริ่มนูนขึ้นเห็นได้ชัด
R5 เริ่มสุกแก่ (beginning aturity)	ฝักใดฝักหนึ่งบนลำต้นเริ่มสุกแก่ โดยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สีน้ำตาลไหม้ หรือสีดำ
R6 เก็บเกี่ยวครั้งที่ 1 (first harvest)	ฝักในลำต้น 50 เปอร์เซ็นต์สุกแก่
R7 เก็บเกี่ยวครั้งที่ 2 (second harvest)	เมื่อเก็บเกี่ยวฝักที่สุกแก่ในระยะ R6 แล้ว ฝักที่เหลืออยู่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์สุกแก่

ที่มา : อภิพรธน์ และจุฑานานฎ (2531)

2.6 โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks)

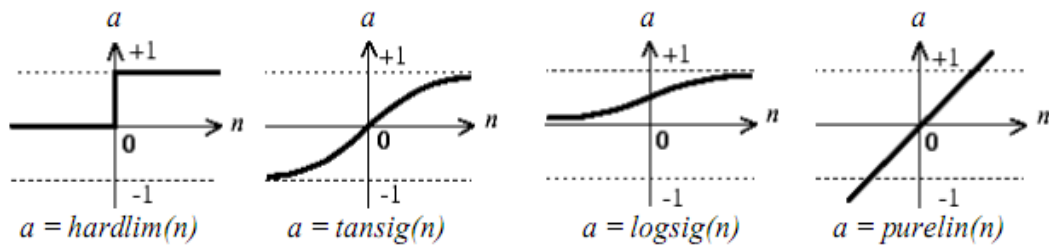
โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural networks, ANN) เป็นแขนงหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) โดยมีโครงสร้างหน้าที่และการทำงานคล้ายกับระบบประสาทของมนุษย์ แนวคิดทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม ได้นำข้อดีของระบบประสาทมาใช้ในการทำงานร่วมกับความสามารถของคอมพิวเตอร์ เช่น ความสามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ การจำแนกลักษณะสิ่งของที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกัน และการแปลความหมายของสัญลักษณ์และภาพ และอีกงานหนึ่งที่น่าโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้คือ งานด้านการพยากรณ์ เพราะโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้รูปแบบของระบบที่มีความซับซ้อนสูง และหาค่าพยากรณ์จากข้อมูลในอดีตได้ดีกว่าวิธีการพยากรณ์แบบดั้งเดิม การทำงานของเซลล์ประสาท จะเริ่มจากเซลล์นิวรอนรับอินพุต (input) จากเซลล์นิวรอนตัวอื่น ผ่านจุดเชื่อมโยงที่เรียกว่า ไชแนป จะถูกส่งผ่านเข้าทางเดนไดรต์ (dendrite) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูลอินพุตเข้าสู่ตัวเซลล์ (cell body) สัญญาณอินพุตจะถูกประมวลผลบาง

ประการตามกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ และส่งผ่านสัญญาณเอาต์พุต (output) ออกจากเซลล์ ที่เรียกว่า แอกซอน (axon) สัญญาณดังกล่าวจะผ่านข้ามไซแนปส์ ด้วยเงื่อนไขบางประการ ซึ่งเป็น ส่วนอินพุตของเซลล์ตัวอื่นต่อไป ลักษณะทั่วไปของส่วนประกอบและโครงสร้างของเซลล์ประสาทแสดงดังรูปที่ 1

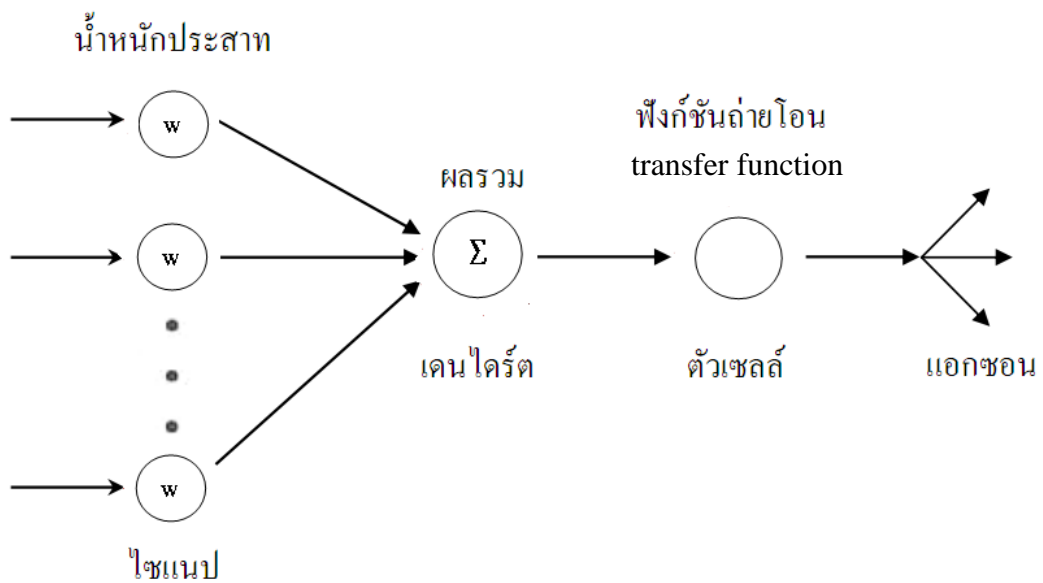


รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบและ โครงสร้างของเซลล์ประสาท

ลักษณะทั่วไปของโครงข่ายประสาทเทียม การประมวลผลต่าง ๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวล ย่อยเรียกว่า นิวรอน (neuron) ซึ่งจำลองลักษณะการทำงานมาจากตัวเซลล์ประสาท การส่งสัญญาณ ต่าง ๆ ระหว่างนิวรอนโดยส่วนที่เชื่อมต่อกัน จำลองมาจากการเชื่อมต่อกันของเดนไดรต์ โดยแต่ละ การเชื่อมต้อมีค่าน้ำหนักประสาท (weight) ที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่นิวรอนจะได้รับจาก นิวรอนอื่น ซึ่งจำลองมาจากไซแนปส์ ค่าน้ำหนักที่ได้จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนความรู้ที่รวบรวมไว้ ใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์ ซึ่งภายในจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในตัวเซลล์ ประสาท โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่สำคัญจะประกอบด้วย 4 แบบคือ hard-limited, log-sigmoid, tan-sigmoid และ pure-linear ดังรูปที่ 2 จากนั้นก็จะส่งออกไปยังนิวรอนอื่น ซึ่งเปรียบเสมือนแอกซอน ลักษณะนิวรอนภายในโครงข่ายของเซลล์ประสาทเทียม แสดงดังในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ลักษณะฟังก์ชันถ่ายโอน



รูปที่ 3 ลักษณะของโหนดในโครงสร้างของเซลล์ประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม คือ เมื่อมีข้อมูลนำเข้า (input) เข้ามายัง network ก็เอาข้อมูลนำเข้า มาคูณกับค่าน้ำหนักประสาท (weight) ของแต่ละขา ผลที่ได้จากข้อมูลนำเข้า ทุก ๆ ขาของเซลล์ประสาทจะเอามารวมกันแล้วก็เอามาเทียบกับค่า threshold ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า threshold แล้วเซลล์ประสาทก็จะส่งผลลัพธ์ออกไป ผลลัพธ์นี้ ก็จะถูกส่งไปยังข้อมูลนำเข้าของเซลล์ประสาทอื่น ๆ ที่เชื่อมกันในโครงข่ายประสาท ถ้าค่าน้อยกว่า threshold ก็จะไม่เกิดผลลัพธ์ (สัจจากจ จอม โนนเขวา, 2552)

2.6.1 การแบ่งชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม

การแบ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการฝึกสอน วิธีการเรียนรู้ การประยุกต์ใช้งาน ชนิดของอินพุต ดังนั้นจึงไม่มีวิธีที่แน่นอนในการจัดกลุ่มชนิดของโครงข่าย

ประสาทเทียม เมื่อพิจารณาสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. โครงข่ายไปข้างหน้า หรือ feed forward network โครงข่ายไปข้างหน้าที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ โครงข่ายเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (multi layer perceptron) ซึ่งมีการเชื่อมต่อระหว่างชั้นเป็นแบบทิศทางเดียว คือมีทิศทางจากอินพุตไปยังเอาต์พุต

2. โครงข่ายป้อนกลับ หรือ recurrent network โครงข่ายป้อนกลับเป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อภายในระหว่างนิวรอนในรูปแบบป้อนกลับหรือวงรอบ

2.6.2 ประเภทของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

1. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ฝึกสอน (unsupervised learning) หรือการจัดการตัวเอง (self organizing)

คุณลักษณะ

- จัดการข้อมูลอินพุตของระบบด้วยตัวเอง
- ค้นหาคุณลักษณะของตัวเองจากอินพุต

กฎการเรียนรู้

- วิธีสหสัมพันธ์ (correlation) ปรับน้ำหนักประสาทโดยใช้กฎการเรียนรู้ของเฮ็บเบียน (Hebb rule) เช่น PCA

- วิธีการเรียนรู้แบบแข่งขัน (competitive learning) นิวรอนที่เป็นเอาต์พุตแข่งขันกันเองจนกระทั่งได้ผู้ชนะ เช่น ART (adaptive resonance theory) หรือแผนผังคุณลักษณะการจัดการตัวเอง (self organizing feature map)

2. การเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (supervised learning)

คุณลักษณะ

- เรียนรู้ที่จะสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการให้ได้ตามตัวอย่างที่ได้รับ หรือตามเป้าหมายที่กำหนดให้

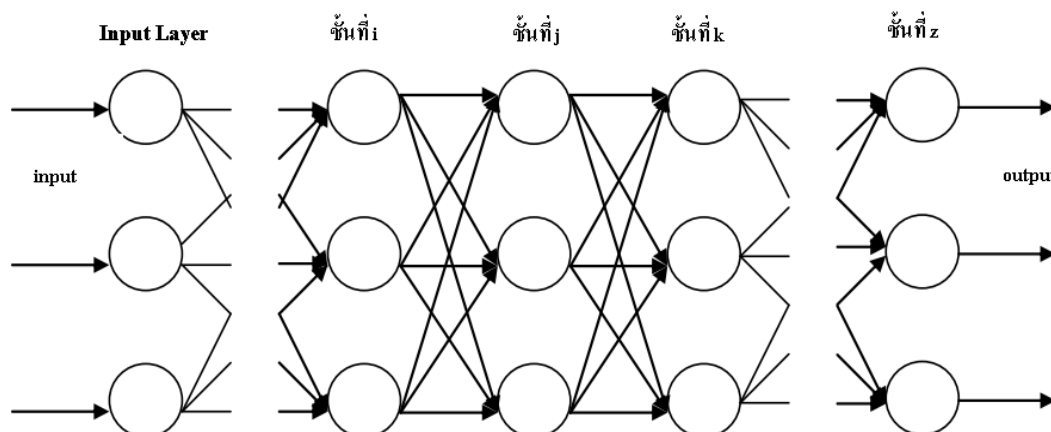
กฎการเรียนรู้

- วิธีปรับแก้ความผิดพลาด (error correction) ลดค่าความผิดพลาดของเอาต์พุตให้น้อยที่สุดโดยเทียบกับน้ำหนักประสาท เช่น เพอร์เซ็ปตรอน (perceptron) ADALINE โครงข่าย RBF (radial basis function) หรือโครงข่ายไปข้างหน้าพร้อมการเรียนรู้แบบแพร่กลับ (back propagation feed forward network)

- วิธีเทียบความคล้าย (match based) ปรับน้ำหนักประสาทตามระดับของความคล้าย (similarity) เช่น fuzzy ARTMAP หรือ LAPART

2.6.3 การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation neural network, BPN) นิยมใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีหลายชั้น เพื่อช่วยในการเรียนรู้ความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนได้ดี กลไกในการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน สำหรับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ที่ประกอบด้วยชั้นซ่อน 1 ชั้น มีคุณสมบัติ universal approximator คือสามารถจำลองความสัมพันธ์ของฟังก์ชันเชิงซ้อนได้ถูกต้องในระดับที่ต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องทราบรูปแบบความสัมพันธ์ล่วงหน้า กลไกการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1) ส่งข้อมูลให้โครงข่ายเรียนรู้และประมวลผล 2) นำผลลัพธ์จากโครงข่ายไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์เป้าหมาย เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน และส่งข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนย้อนกลับไปยังชั้นต่าง ๆ 3) การปรับน้ำหนักที่เส้นการเชื่อมโยงทั้งหมด อย่างไรก็ตามการสร้างแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพดี ขึ้นอยู่กับการเลือกโครงสร้าง ได้แก่ จำนวนชั้นซ่อนและจำนวนหน่วยซ่อน และการเลือกพารามิเตอร์ในการเรียนรู้ ได้แก่ อัตราการเรียนรู้ (learning rate) ค่าโมเมนตัม (momentum) จำนวนรอบการเรียนรู้ (iterations) รวมถึงฟังก์ชันกระตุ้น โดยอัตราการเรียนรู้ที่มีค่าน้อยจะทำให้การเรียนรู้ใช้เวลานาน ถ้ามีค่ามากจะเรียนรู้ได้เร็วแต่อาจนำไปสู่สถานะภาพที่ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ต่ำที่สุด (local minimum) การใช้โมเมนตัมจะช่วยควบคุมอัตราการเรียนรู้ และการปรับค่าน้ำหนักไปในทิศทางที่ไม่ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมตกอยู่ในสภาพ local minimum นอกจากนี้ การเลือกค่าน้ำหนักสุ่มเริ่มต้นที่แตกต่างกันจะช่วยแก้ปัญหา local minimum ได้อีกทางหนึ่ง สำหรับจำนวนรอบการเรียนรู้นั้น ถ้าให้แบบจำลองเรียนรู้นานเกินไปจะเกิดปัญหา overtraining ส่งผลให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพในการใช้งานกับข้อมูลที่ไม่ได้ใช้สร้างแบบจำลองต่ำ ซึ่งวิธีการป้องกัน คือ การแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือข้อมูลชุดเรียนรู้ (training set) และข้อมูลชุดทดสอบ (testing set) สัดส่วนข้อมูลชุดเรียนรู้นั้นอยู่ในช่วง 25-90% ของข้อมูลที่มีอยู่ จากนั้นให้แบบจำลองเรียนรู้กับชุดข้อมูลเรียนรู้ และหยุดการเรียนรู้เพื่อทดสอบกับข้อมูลชุดทดสอบเป็นช่วง ๆ และหยุดการเรียนรู้ ณ จุดที่ค่าความคลาดเคลื่อนของชุดทดสอบต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม ในการสร้าง และทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ ไม่มีข้อกำหนดตายตัว ขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหาหรืองานวิจัยที่ใช้ (problem specific)



รูปที่ 4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

จากยุคเริ่มต้น ในการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมจนมาถึงปัจจุบัน ได้มีการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้งานกับทุกสาขาวิชา ไม่ว่าจะเป็นทางด้านวิศวกรรม ฟิสิกส์ จิตวิทยา แพทยคณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เคมี หรือเศรษฐศาสตร์ การคำนวณเชิงนิเวศที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาที่ยู่ยากซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะปัญหาที่ไม่สามารถสืบ หาคำตอบได้

ในอดีตได้พัฒนาโปรแกรมที่ชาญฉลาด บนระบบที่มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมแบบ von neumann แต่โปรแกรมผลลัพธ์ที่ได้ ยังไม่ใช่โปรแกรมเอนกประสงค์ที่สามารถทำงานตามที่ต้องการได้ โครงข่ายประสาทเทียม ได้รับแรงบันดาลใจจากโครงข่ายประสาทของสิ่งมีชีวิต และเป็นระบบประมวลผลแบบขนาน ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผลง่าย ๆ จำนวนมาก เชื่อมต่อระหว่างกันอย่างมากมายและหนาแน่น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการคิดค้นพัฒนา พยายามที่จะจำลองหลักการทำงาน ให้เหมือนกับที่อยู่ในสมองของสิ่งมีชีวิต การจำลองระบบประสาทด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ช่วยเพิ่มความเข้าใจในการศึกษาการทำงานของสิ่งมีชีวิตได้ นอกจากนี้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ ทำให้การจำลองระบบประสาทเป็นไปได้จริง

2.6.4 จุดเด่นของโครงข่ายประสาทเทียม

สมองของมนุษย์มีวิวัฒนาการที่ยาวนาน ทำให้เกิดคุณลักษณะเด่นหลายประการ คุณลักษณะหลายอย่างไม่สามารถพบเห็นได้ในคอมพิวเตอร์ทั้งแบบ von neumann หรือคอมพิวเตอร์ในแบบปัจจุบัน คุณลักษณะเด่นมีดังนี้

1. การเชื่อมต่อแบบขนานเป็นจำนวนมาก (massive parallel) โครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลย่อย จำนวนมาก เชื่อมต่อกันแบบขนานหลายรูปแบบ

2. ข้อมูลและการคำนวณแบบกระจาย (distributed data and computation) หน่วยประมวลผลย่อยแต่ละหน่วยมีโครงสร้างที่ง่าย มีความสามารถไม่มาก ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมได้จากการทำงานร่วมกันแบบกระจาย ของหน่วยประมวลผลย่อยเป็นจำนวนมาก

3. ความสามารถในการเรียนรู้ (learning) คุณสมบัติที่เด่นที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียมคือความสามารถในการเรียนรู้ ทำให้การแก้ปัญหามีประสิทธิภาพ แตกต่างไปจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

4. ความสามารถในการทำให้เป็นทั่วไป (generalization) เป็นผลพลอยได้จากความสามารถในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ด้วยข้อมูลอินพุต/เอาต์พุต ตัวอย่างบางส่วน นำไปสู่ความสามารถในการตอบสนองต่อข้อมูลอินพุตทั้งหมดได้ ความสามารถในการทำให้เป็นทั่วไปขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลสำหรับฝึกสอนด้วย

5. การปรับตัว (adaptation) การเรียนรู้ของโครงข่ายนำไปสู่ความสามารถในการปรับตัวได้ คุณสมบัตินี้ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการทำงานที่น่าสนใจ ในการนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลง (dynamic) ได้เป็นอย่างดี

6. การประมวลผลข้อมูลเชิงเนื้อหา (content-based processing) รูปแบบข้อมูลของโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ในรูปเชิงเนื้อหา ไม่ใช่เชิงตัวเลขเหมือนระบบดั้งเดิมทั่วไป การประมวลผลข้อมูลเชิงเนื้อหาจึงทำให้โครงข่ายประสาทเทียม มีการทำงานใกล้เคียงกับสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ

คุณสมบัติอื่น ๆ ที่ทำให้มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น

1. ความทนทานต่อความผิดพลาด (fault tolerance) เมื่อเกิดความเสียหายขึ้นกับนิวรอนในโครงข่าย หรือแม้แต่สูญเสียการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอน ระบบโครงข่ายจะยังคงทำงานได้โดยมีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถือเป็นความทนทาน (robust) โดยธรรมชาติของระบบโครงข่ายประสาทเทียม สาเหตุที่ทำให้ระบบมีข้อดีเนื่องมาจากข้อมูลภายในโครงข่ายเป็นแบบกระจาย (distributive data) ไปทั้งโครงข่ายตามนิวรอนต่าง ๆ การจะทำให้ทั้งระบบไม่สามารถทำงานได้นั้นจะต้องทำให้เกิดความเสียหายอย่างหนักเท่านั้น

2. การปรับตัวได้ (adaptive) เป็นความสามารถในการปรับตัวของน้ำหนักประสาทภายในโครงข่าย ซึ่งทำให้สามารถโต้ตอบ (interact) และตอบสนอง (response) ต่อสภาวะแวดล้อมได้ ดังนั้นเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป ตัวโครงข่ายจะสามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงแล้วทำการฝึกฝนตัวเองให้เข้ากับสภาวะแวดล้อมใหม่ได้ และโครงข่ายบางชนิดสามารถออกแบบให้มีการปรับตัวแบบเวลาจริง (real-time adaptation) ได้

2.6.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานโครงข่ายประสาทเทียม

1. การจดจำรูปแบบ (pattern recognition) การจดจำรูปแบบคือการกำหนดหรือแปลงรูปแบบอินพุต เช่น คลื่นเสียงพูดหรือลายมือเขียนตัวอักษร ให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ลักษณะ (feature vector) ที่ใช้แทนคลาสต่าง ๆ การประยุกต์ใช้งานที่เป็นที่รู้จัก เช่น การจดจำลายมือตัวอักษร การจดจำเสียง การจำแนกรูปคลื่น EEG และ ECG การจำแนกเซลล์เม็ดเลือด และการตรวจสอบลายวงจร

2. การจับกลุ่ม (clustering/categorization) โดยปกติแล้ว ในงานการจัดกลุ่มจะไม่มีข้อมูลล่วงหน้าให้สำหรับการฝึกสอน อัลกอริทึมการจับกลุ่มจะทำการค้นหาสถานะคล้าย (similarity) ระหว่างข้อมูลรูปแบบ และทำการจับกลุ่มรูปแบบที่คล้ายกันไว้ด้วยกัน การจับกลุ่มนี้สามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่ง ว่าเป็นการจำแนกรูปแบบแบบไม่มีผู้ฝึกสอน (unsupervised pattern classification) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้การจับกลุ่ม เช่น การทำเหมืองข้อมูล (data mining) การบีบอัดข้อมูล (data compression) และการวิเคราะห์ค้นหาข้อมูล

3. การประมาณค่าฟังก์ชัน (function approximation) พิจารณาข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้ N ชุดในรูป { เวกเตอร์อินพุต, เวกเตอร์เป้าหมาย } ดังต่อไปนี้

$$\{x_1, y_1\} \{x_2, y_2\} \dots \{x_N, y_N\}$$

ในทางปฏิบัติอาจมีความยุ่งยากในการวิเคราะห์หาโครงสร้างของฟังก์ชัน และค่าของข้อมูลรูปแบบสำหรับการเรียนรู้นี้อาจจะมีสัญญาณรบกวนผสมอยู่ด้วย

4. การทำนาย (prediction/forecasting) กำหนดเซตค่าตัวอย่าง N คือค่า $\{y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_N)\}$ เป็นค่า ณ เวลา t_1, t_2, \dots, t_N ตามลำดับ การทำนายผลล่วงหน้าคือการทำนายค่าของ $y(t_{N+1})$ ซึ่งเป็นค่า ณ เวลา t_{N+1} ในอนาคต การทำนายผลนิยมนำไปใช้ในการตัดสินใจทางธุรกิจ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น การทำนายผลดัชนีตลาดหุ้น หรือพยากรณ์อากาศล่วงหน้า

5. การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ปัญหาหลาย ๆ อย่างด้านคณิตศาสตร์ สถิติ วิศวกรรม วิทยาศาสตร์ การแพทย์และเศรษฐกิจ สามารถพิจารณาเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ เป้าหมายของอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ การหาค่าตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขของค่าบังคับ และให้ค่าการประเมินจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด (สูงสุดหรือต่ำสุด)

6. หน่วยความจำอ้างอิงด้วยเนื้อหา (content addressable memory) ในคอมพิวเตอร์ประมวลผลทั่ว ๆ ไป ข้อมูลในหน่วยความจำจะถูกอ้างอิงด้วยตัวเลขที่อยู่ (address) ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับเนื้อหาของข้อมูลในหน่วยความจำ ถ้ามีการคำนวณเลขที่อยู่ผิดพลาดเพียงเล็กน้อย

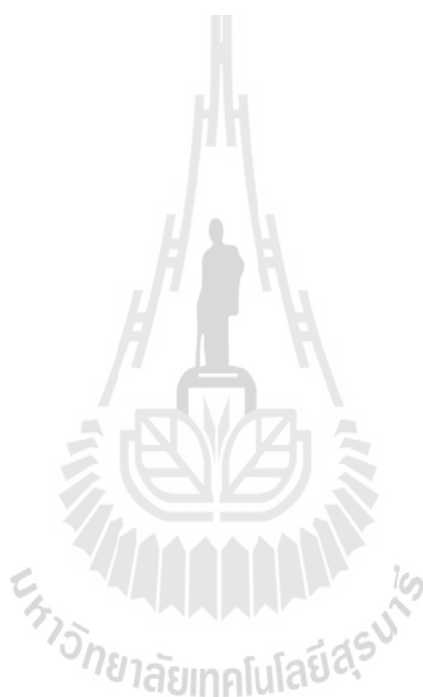
ข้อมูลที่ได้จากเลขที่อยู่จะแตกต่างไปจากข้อมูลที่ต้องการอย่างสิ้นเชิง หน่วยความจำสัมพันธ์ (associative memory) สามารถถูกอ้างอิงที่อยู่ด้วยเนื้อหาข้อมูล ถึงแม้ว่าการอ้างอิงจะใช้ข้อมูลอินพุตเพียงบางส่วน (ไม่สมบูรณ์) หรือมีความผิดเพี้ยน เนื้อหาในหน่วยความจำจะยังคงสามารถถูกเรียกใช้ได้อย่างถูกต้อง หน่วยความจำสัมพันธ์นี้มีประโยชน์มากในงานทางด้านฐานข้อมูลแบบสื่อผสม (multimedia database)

7. ระบบควบคุม (control system) เป็นงานที่นำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้งานมากที่สุดงานหนึ่ง พิจารณาระบบพลวัตที่กำหนดคู่ผลตอบสนองเป็น $\{u(t), y(t)\}$ โดยที่ $u(t)$ เป็นสัญญาณอินพุตสำหรับควบคุมระบบ และ $y(t)$ เป็นสัญญาณเอาต์พุต ที่ออกมาจากระบบ ณ เวลา t ในระบบควบคุมและปรับตัวได้ ชนิดอ้างอิงแบบจำลอง (model reference adaptive control) เป้าหมายของระบบคือสร้างสัญญาณควบคุม $u(t)$ ป้อนให้กับระบบ ซึ่งทำให้มีผลตอบสนองตามแบบจำลองที่อ้างอิง เช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์ (อาทิศย์ ศรีแก้ว, 2552)

2.6.6 การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมทางการเกษตร

พิรพงษ์ (2547) ได้ศึกษาการพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการคัดคุณภาพทางด้านรูปร่างของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมคือโครงข่ายประสาทเทียม 2 ชั้น แบบเคลื่อนที่ไปข้างหน้า มีฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ logsig โดยโครงข่ายชั้นแรกประกอบด้วย 75 หน่วยย่อย และชั้นที่สอง 50 หน่วยย่อย ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสามารถคัดคุณภาพของมะม่วงน้ำดอกไม้ได้ถูกต้องร้อยละ 83.01 นิรัทธยา (2551) ได้ศึกษาการจำแนกสายพันธุ์ข้าวจากองค์ประกอบสารระเหยในเมล็ดข้าวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้พันธุ์ข้าว 4 สายพันธุ์คือ พันธุ์ปทุมธานี 1 พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 พันธุ์พิษณุโลก 2 และพันธุ์ข้าวตาแดง ทำการสุ่มเลือกตัวอย่างข้าว 12 ตัวอย่าง จากข้าวแต่ละพันธุ์ รวมทั้งหมด 48 ตัวอย่าง จากนั้นกำหนดชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนจำนวน 24 ตัวอย่าง และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบจำนวน 24 ตัวอย่าง พบว่าการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถจำแนกพันธุ์ข้าวทั้ง 4 สายพันธุ์ได้ถูกต้องทั้งหมด อรณรงค์ (2554) ได้ศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีกระบวนการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ ได้ทำการรวบรวมปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับผลผลิตอ้อยจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลจังหวัด ปีการผลิต ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่ และพื้นที่ปลูกอ้อยเป็นข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ANN1 จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยโดยใช้ correlation และ regression พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ได้แก่ ข้อมูลจังหวัด ปีการผลิต ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่ และพื้นที่ปลูกอ้อย ซึ่งจะเป็นข้อมูลนำเข้าตัวแบบ ANN2 และใช้ราคาอ้อยเฉลี่ย ราคาขากพาราเฉลี่ย และราคามันสำปะหลังเฉลี่ย รวมกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ได้แก่ ข้อมูลจังหวัด ปีการผลิต พื้นที่ปลูกอ้อย

ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจะเป็นข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ANN3 เพื่อสร้างและเปรียบเทียบโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ชุด ซึ่งผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ ANN3 ที่มีสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ 8 : 4 : 1 ให้ผลพยากรณ์แม่นยำสูงที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9973 เมื่อเทียบกับ ANN1 ที่มีสถาปัตยกรรม 5 : 10 : 1 และ ANN2 ที่มีสถาปัตยกรรม 6 : 8 : 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9794 และ 0.9822 ตามลำดับ



3. เมื่อถั่วเขียวอายุ 25 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 ตามคำรับการทดลองที่ 2 และคำรับการทดลองที่ 3

3.1.3 การเก็บข้อมูล

1. วัดการเจริญเติบโต ได้แก่

ความสูงของต้นถั่วเขียว จำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 20, 30, 40 และ 50 วันหลังปลูก วัดความสูงจากผิวดินไปจนถึงปลายยอด จำนวน 20 ต้น/คำรับการทดลอง

จำนวนใบประกอบ จำนวน 4 ครั้ง เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 20, 30, 40 และ 50 วันหลังปลูก นับเมื่อใบประกอบเริ่มคลี่กลางบนลำต้นกลาง แต่ละครั้งเก็บข้อมูลสุ่มจาก 20 ต้น/คำรับการทดลอง

จำนวนกิ่งหลักจำนวน 4 ครั้ง เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 20, 30, 40 และ 50 วันหลังปลูก นับเมื่อจำนวนกิ่งหลักเมื่อมีใบประกอบเริ่มคลี่กลางบนกิ่ง แต่ละครั้งเก็บข้อมูลสุ่มจาก 20 ต้น/คำรับการทดลอง

จำนวนข้อจำนวน 4 ครั้ง เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 20, 30, 40 และ 50 วันหลังปลูก เริ่มนับข้อของใบเดี่ยวคู่แรกซึ่งอยู่เหนือข้อใบเลี้ยงเป็นข้อที่ 1 ข้อของใบประกอบที่ 1 เป็นข้อที่ 2 จนกระทั่งถึงข้อที่ n เมื่อมีข้อปรากฏบนต้นกลาง แต่ละครั้งเก็บข้อมูลสุ่มจาก 20 ต้น/คำรับการทดลอง

2. วัดเปอร์เซ็นต์ light interception (% LI) ของถั่วเขียวโดยใช้เครื่องมือวัดแสงได้ทรงพุ่ม (Sun Scan Canopy Analysis System Type SS1) เครื่องมือห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วัดจำนวน 2 ครั้ง คือเมื่อถั่วเขียวอายุได้ 30 และ 40 วันหลังปลูก โดยวัดเหนือต้น และได้ทรงพุ่มถั่วเขียวทำมุมเฉียง 45 องศา จำนวน 20 จุด/คำรับการทดลอง โดย 1 จุดคือ ทั้งเหนือต้น และเฉียงใต้ทรงพุ่ม

3. วัดพื้นที่ใบ เมื่อถั่วเขียวเจริญเต็มที่คือ ระยะออกดอก 50% โดยการเก็บต้นถั่วเขียวในพื้นที่ 1 ตรม. จากนั้นนำมาแยกออกเป็น 4 ส่วน 3 ส่วน แยกใบ ดอก ลำต้น จากนั้นชั่งน้ำหนักสด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชม. และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง ส่วนอีก 1 ส่วน แยกใบ ดอก ลำต้นเช่นกัน ส่วนของดอก และลำต้นชั่งน้ำหนักสด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชม. เพื่อชั่งน้ำหนักแห้ง ในส่วนของใบจะนำไปวัดพื้นที่ใบก่อน จากนั้นชั่งน้ำหนักสดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิเดียวกัน เพื่อชั่งน้ำหนักแห้ง สำหรับใช้ในการคำนวณหา leaf area index (LAI)

4. น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินโดยตัดต้นถั่วเขียวในพื้นที่ 1 ตรม. ที่ตำแหน่งผิวดิน นำส่วนเหนือดินทั้งหมด แยกใบ ดอก ลำต้น ชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชม. และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้ง (dry matter)

5. เก็บข้อมูลวันออกดอกวันแรก และวันออกดอก 50% ของถั่วเขียว โดยการสังเกตจากดอกที่ปรากฏดอกแรกในบล็อกนั้น ๆ (ถือว่าเป็นวันออกดอกแรก) และประมาณด้วยสายตา เมื่อ

ถั่วเขียวออกดอกครบ 50%

6. ผลผลิต เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อถั่วเขียวแก่ได้ 80% ในพื้นที่ 1 ตรม. บันทึกองค์ประกอบของผลผลิต ประกอบด้วย จำนวนต้น/พื้นที่ จำนวนฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ด เพื่อคำนวณผลผลิต (g m^{-2})

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาการเจริญเติบโตของถั่วเขียว (ฤดูแล้ง)

3.2.1 แผนการทดลอง

1. วางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 Factorial experiment in randomized complete block design (RCBD) จำนวน 4 ซ้ำ 3 ตำรับการทดลอง ประกอบด้วย

ตำรับการทดลองที่ 1 ไม่ใส่ปุ๋ย

ตำรับการทดลองที่ 2 ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 15 กิโลกรัมต่อไร่

ตำรับการทดลองที่ 3 ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 30 กิโลกรัมต่อไร่

3.2.2 วิธีการทดลอง

1. เก็บตัวอย่างดินในแปลงปลูกการทดลองที่ 2 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ดินในแปลงปลูกถั่วเขียว ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติ	ค่าวิเคราะห์	ค่าที่เหมาะสม
pH	6.97	6.0-7.0
EC (mS/cm)	0.29	2.0
Organic matter (%)	1.36	2.0-3.0
Available P (ppm)	29.40	35-60
Exchangeable K (ppm)	117.58	100-120
Exchangeable Ca (ppm)	412.96	800-1500
Available Na (ppm)	152.28	-

¹ ศึกษารายวิชาพฤกษศาสตร์ (2548)

2. ปลูกถั่วเขียวพันธุ์มทส. 1 และกำแพงแสน 2 ในแปลงขนาด 7*12 เมตร รวมพันธุ์ละ 12 แปลง ปลูกเป็นแถวระยะปลูก 50*20 เซนติเมตร อัตรา 5 กิโลกรัมต่อไร่

3. เมื่อถั่วเขียวอายุ 25 วัน ใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 ตามตำรับการทดลองที่ 2 และตำรับการทดลองที่ 3

3.2.3 การเก็บข้อมูล

1. วัดการเจริญเติบโต ได้แก่

ความสูงของต้นถั่วเขียว จำนวน 6 ครั้ง ได้แก่ เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 วันหลังปลูก วัดความสูงจากผิวดินไปจนถึงปลายยอด จำนวน 20 ต้น/ตำรับการทดลอง

จำนวนใบประกอบ จำนวน 6 ครั้ง เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 วันหลังปลูก นับเมื่อใบประกอบเริ่มคลี่กลางบนลำต้นกลาง แต่แต่ละครั้งเก็บข้อมูลสุ่มจาก 20 ต้น/ตำรับการทดลอง

จำนวนกิ่งหลักจำนวน 4 ครั้ง เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 วันหลังปลูก นับเมื่อจำนวนกิ่งหลักเมื่อมีใบประกอบเริ่มคลี่กลางบนกิ่ง แต่แต่ละครั้งเก็บข้อมูลสุ่มจาก 20 ต้น/ตำรับการทดลอง

จำนวนข้อจำนวน 6 ครั้ง เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 วันหลังปลูก เริ่มนับข้อของใบเด็วคู่แรกซึ่งอยู่เหนือข้อใบเลี้ยงเป็นข้อที่ 1 ข้อของใบประกอบที่ 1 เป็นข้อที่ 2 จนกระทั่งถึงข้อที่ n เมื่อมีข้อปรากฏบนต้นกลาง แต่แต่ละครั้งเก็บข้อมูลสุ่มจาก 20 ต้น/ตำรับการทดลอง

2. วัดเปอร์เซ็นต์ light interception (% LI) ของถั่วเขียวโดยใช้เครื่องมือวัดแสงได้ทรงพุ่ม (Sun Scan Canopy Analysis System Type SS1) เครื่องมือห้องปฏิบัติการสรีรวิทยา ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วัดจำนวน 6 ครั้ง คือ เมื่อถั่วเขียวอายุได้ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 วันหลังปลูก โดยวัดเหนือต้น และได้ทรงพุ่มถั่วเขียวทำมุมเงย 45 องศา จำนวน 20 จุด/ตำรับการทดลอง โดย 1 จุดคือ ทั้งเหนือต้น และเงยได้ทรงพุ่ม

3. วัดพื้นที่ใบ เมื่อถั่วเขียวเจริญเต็มที่คือ ระยะออกดอก 50% โดยการเก็บต้นถั่วเขียวในพื้นที่ 1 ตรม. จากนั้นนำมาแยกออกเป็น 4 ส่วน 3 ส่วน แยกใบ ดอก ลำต้น จากนั้นชั่งน้ำหนักสดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชม. และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง ส่วนอีก 1 ส่วน แยกใบ ดอก ลำต้นเช่นกัน ส่วนของดอก และลำต้นชั่งน้ำหนักสด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชม. เพื่อชั่งน้ำหนักแห้ง ในส่วนของใบจะนำไปวัดพื้นที่ใบก่อน จากนั้นชั่งน้ำหนักสดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิเดียวกัน เพื่อชั่งน้ำหนักแห้ง สำหรับใช้ในการคำนวณหา leaf area index (LAI)

4. น้ำหนักแห้งส่วนเหนือดินโดยตัดต้นถั่วเขียวในพื้นที่ 1 ตรม. ที่ตำแหน่งผิวดิน นำส่วนเหนือดินทั้งหมด แยกใบ ดอก ลำต้น ชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C นาน 48 ชม. และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง เพื่อเก็บข้อมูลน้ำหนักแห้ง (dry matter)

5. เก็บข้อมูลวันออกดอกวันแรก และวันออกดอก 50% ของถั่วเขียว โดยการสังเกตจากดอกที่ปรากฏดอกแรกในบล็อกนั้น ๆ (ถือว่าเป็นวันออกดอกแรก) และประมาณด้วยสายตาเมื่อถั่วเขียวออกดอกครบ 50%

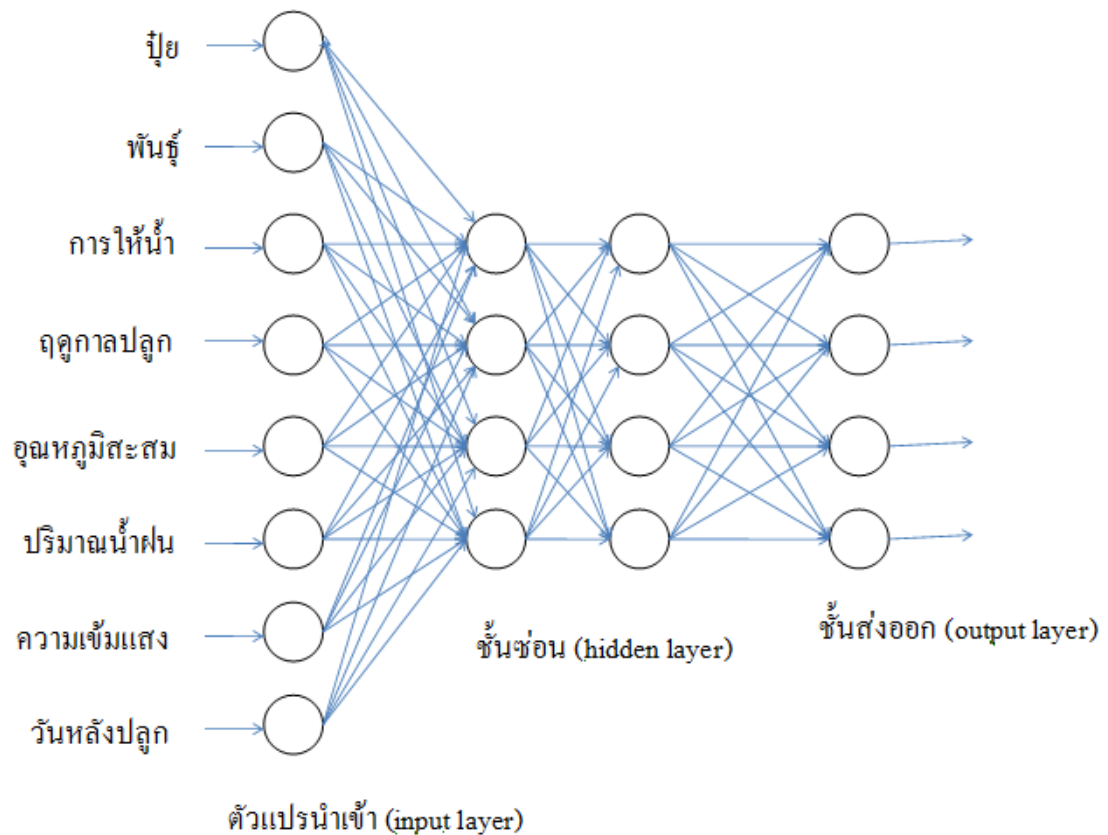
6. ผลผลิต เก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อถั่วเขียวแก่ได้ 80% ในพื้นที่ 1 ตรม. บันทึกองค์ประกอบของผลผลิต ประกอบด้วย จำนวนต้น/พื้นที่ จำนวนฝัก/ต้น จำนวนเมล็ด/ฝัก น้ำหนัก 100 เมล็ด เพื่อคำนวณผลผลิต (g m^{-2})

3.3 การทดลองที่ 3 ทำนายการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

3.3.1 การสร้างแบบจำลองการทำนายโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

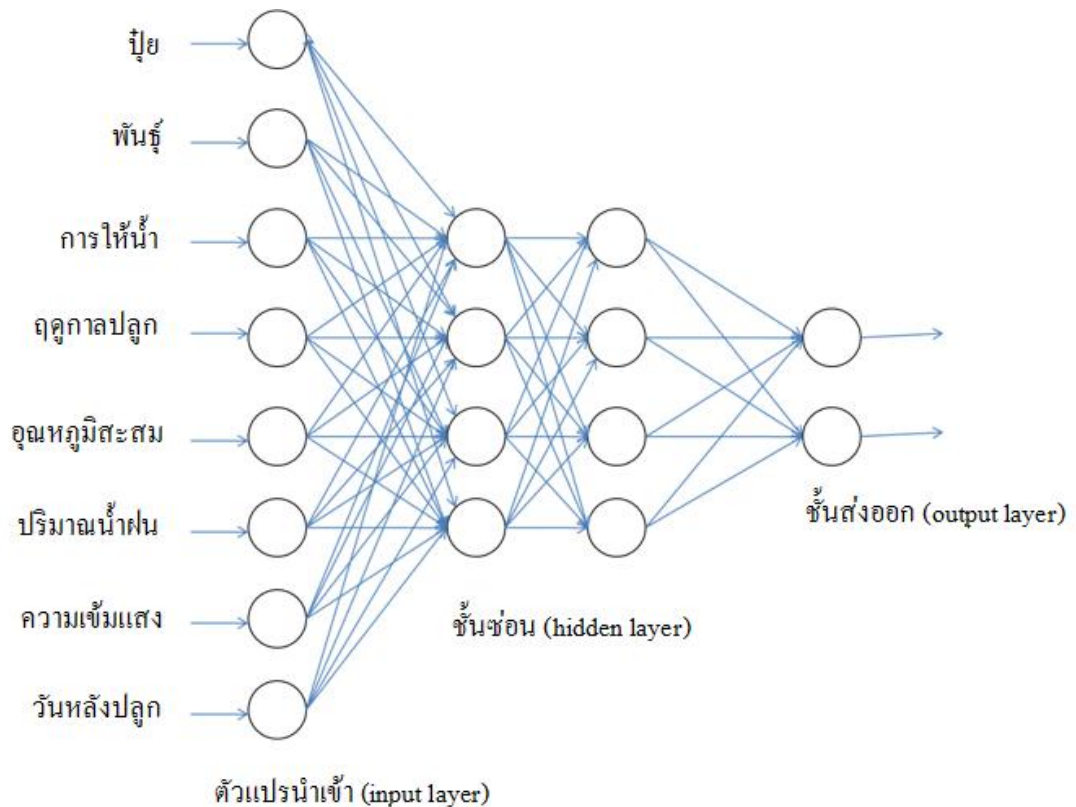
ออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) โดยใช้กล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (neural network toolbox) ของโปรแกรม MATLAB version 6

1. ทำนายการเจริญเติบโตของถั่วเขียว ได้แก่ ความสูง จำนวนข้อ จำนวนกิ่งหลัก และจำนวนใบประกอบ โดยใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตจากแต่ละแปลงย่อย จำนวนแปลงละ 10 ซ้ำ ของทั้ง 2 ฤดูปลูก รวมทั้งหมด 840 ชุดข้อมูล จากนั้นแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำข้อมูลการใส่ปุ๋ย 0 และ 30 กก./ไร่ จำนวน 560 ชุดข้อมูล เพื่อฝึกหัด (training) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และส่วนที่สองใช้ข้อมูลการใส่ปุ๋ย 15 กก./ไร่ จำนวน 280 ชุดข้อมูล เพื่อทดสอบ (testing) การทำนาย มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กำหนดชั้นซ่อน 20, 30, 40 และ 50 หน่วยย่อย (node) และกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function) ในชั้นซ่อน และชั้นส่งออก คือ sigmoid transfer function (logsig), linear transfer function (purelin) และ hyperbolic tangent transfer function (tansig) โดยเรียงสับเปลี่ยน 27 รูปแบบ



รูปที่ 5 การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมทำนายการเจริญเติบโต

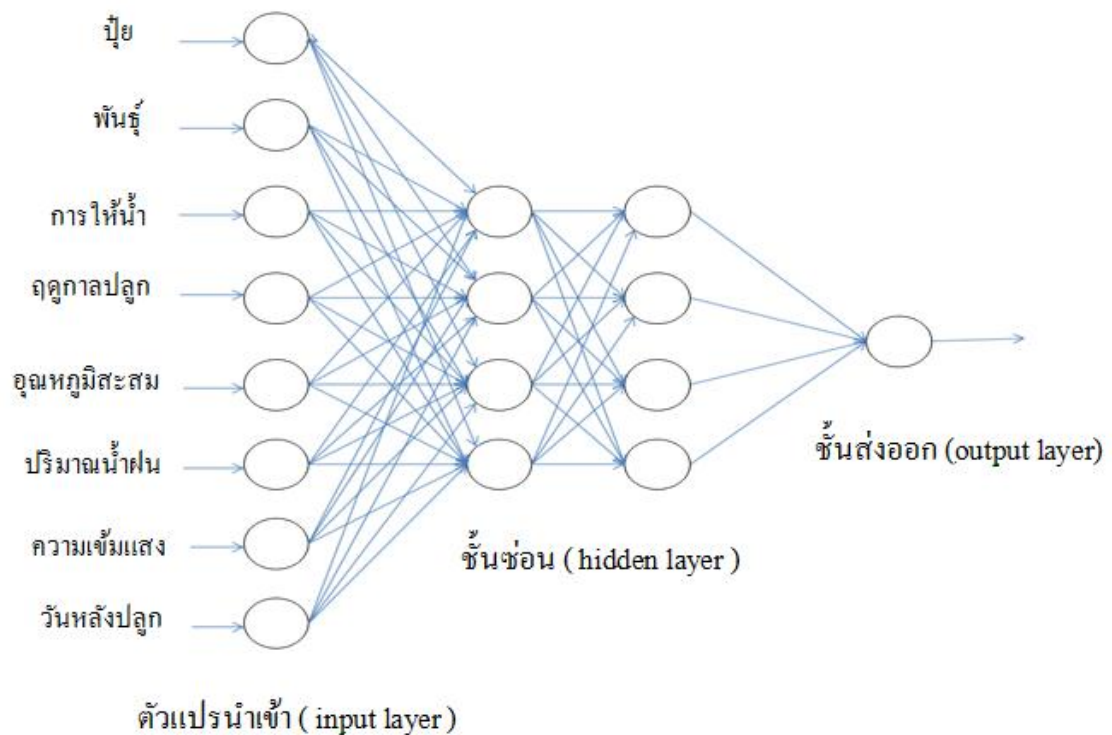
2. ทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล ใช้ข้อมูลจากแปลงย่อย จำนวนแปลงละ 3 ไร่ รวมทั้งหมด 162 ชุดข้อมูล แบ่งข้อมูลเป็นสองส่วนเช่นเดียวกับการทำนายการเจริญเติบโต โดยใช้ข้อมูลจำนวน 108 ชุดข้อมูล เพื่อฝึกหัดโครงข่าย และข้อมูลจำนวน 54 ชุดข้อมูล เพื่อทดสอบการทำนาย มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กำหนดชั้นซ่อน 10, 20, 30 และ 40 หน่วยย่อย ตามลำดับ และกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอน ในชั้นซ่อน และชั้นส่งออก คือ sigmoid transfer function (logsig), linear transfer function (purelin) และ hyperbolic tangent transfer function (tansig) โดยเรียงสับเปลี่ยน 27 รูปแบบ



รูปที่ 6 การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมทำนายพื้นที่ไอบและน้ำหนักชีวมวล

3. ทำนายผลผลิต ใช้ข้อมูลจากแปลงย่อย จำนวนแปลงละ 4 ซ้ำ รวมทั้งหมด 72 ชุดข้อมูล แบ่งข้อมูลเป็นสองส่วนเช่นเดียวกับการทำนายการเจริญเติบโต โดยใช้ข้อมูลจำนวน 48 ชุดข้อมูล เพื่อฝึกหัดโครงข่าย และข้อมูลจำนวน 24 ชุดข้อมูล เพื่อทดสอบการทำนาย มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กำหนดชั้นซ่อน 10, 20, 30 และ 40 หน่วยย่อย ตามลำดับ และกำหนดฟังก์ชันการถ่ายโอน ในชั้นซ่อน และชั้นส่งออก คือ sigmoid transfer function (logsig), linear transfer function (purelin) และ hyperbolic tangent transfer function (tansig) โดยเรียงสับเปลี่ยน 27 รูปแบบ

มีตัวแปรชั้นนำเข้า 8 ตัวแปรคือ ปุ๋ย พันธุ์ถั่วเขียว ชนิดการให้น้ำ ฤดูกาลปลูก อุณหภูมิสะสม ปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง และจำนวนวันหลังปลูก สำหรับข้อมูลการนำเข้ามีความแตกต่างกันในเรื่องของชนิดข้อมูล หน่วยนับ และช่วงของข้อมูล ดังนั้นก่อนนำข้อมูลนำเข้าสร้างแบบจำลอง ต้องมีการจัดรูปแบบของข้อมูล โดยให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 เพื่อให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน



รูปที่ 7 การออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมทำนายผลผลิต

3.3.2 วัดประสิทธิภาพของการทำนาย

วิธีการทำนายที่ดีจำเป็นต้องมีดัชนีชี้วัด การสร้างดัชนีชี้วัดเพื่อนำมาเปรียบเทียบมีอยู่หลายวิธี ซึ่งในการทดลองนี้ใช้วิธีดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์กำหนด (coefficient of determination, r^2) หากมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง ข้อมูลที่ทำนาย มีทิศทางไปในแนวเดียวกับค่าจริง ค่า r^2 ควรมีค่ามากกว่า 0.60 (สถาบันพัฒนาการชลประทาน, 2551)

2. รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง หากมีค่าน้อยแสดงว่า แบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้นหากมีค่าเท่ากับศูนย์หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (s-o)^2}{N}} \quad (3.1)$$

3. ค่าการยอมรับได้ (index of agreement, IA) คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้ จากแบบจำลอง หากมีค่าเข้าใกล้ 1 แบบจำลองมีค่าการยอมรับได้สูง สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$IA = 1 - \frac{\sum(S-O)^2}{\sum(S-\hat{O})^2} \quad (3.2)$$

4. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (mean absolute percent error, MAPE) คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง หากมีค่าน้อยแสดงว่า แบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum \left(\frac{|S-O|}{O} \times 100 \right) \quad (3.3)$$

5. ค่าเฉลี่ยความเอนเอียง (mean bias, MB) คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง หากมีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$MB = \frac{\sum(S-O)}{N} \quad (3.4)$$

6. ค่าเฉลี่ยความเอนเอียงสัมบูรณ์ (mean absolute bias, MAB) คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง หากมีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$MAB = \frac{\sum|S-O|}{N} \quad (3.5)$$

เมื่อ

S = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

\bar{S} = ค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง

O = ค่าสังเกตจากแปลงทดลอง

$\hat{S} = |S - \bar{S}|$

$\hat{O} = O - \bar{S}$

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และการอภิปรายผล

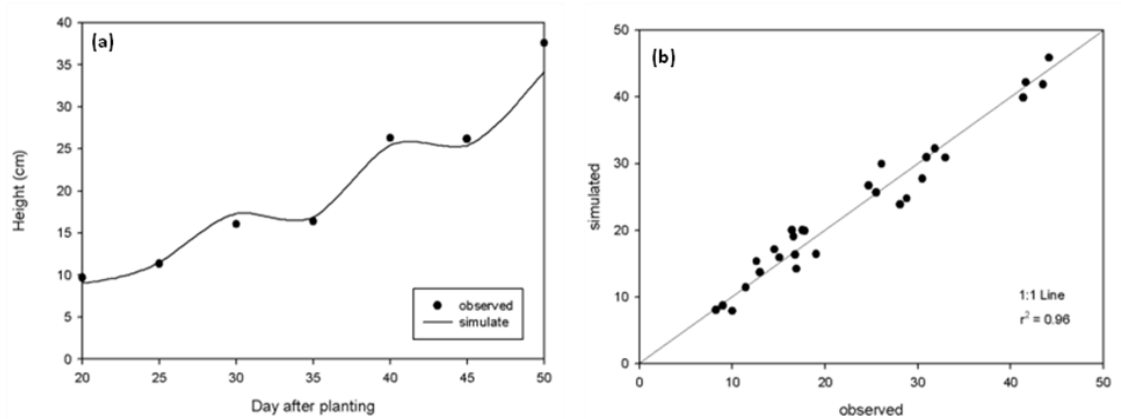
4.1 การทำนายการเจริญเติบโตของถั่วเขียว

จำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (back propagation) โดยใช้กล่องเครื่องมือโครงข่ายประสาทเทียม (neural network toolbox) ของโปรแกรม MATLAB version 6 โดยเรียงฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) สับเปลี่ยน 27 รูปแบบ มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กำหนดชั้นซ่อน 20, 30, 40 และ 50 หน่วยย่อย และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean squared error, MSE) และค่าความสัมพันธ์ (regression all) เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เกิดจากการฝึกสอนโครงข่าย (ตารางภาคผนวกที่ 1-4) ผลที่ได้จากการฝึกสอน (training) ของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเจริญเติบโต พบว่า มีสถาปัตยกรรมโครงข่ายเป็นแบบ 8-30-30-4 คือ มี input 8 มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น มีจำนวนหน่วยย่อย ในชั้นซ่อน 30 หน่วยย่อย และมี output 4 output โดยภายในโครงสร้างประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน ในชั้นซ่อนที่ 1 เป็นแบบ sigmoid transfer function (logsig), ชั้นซ่อนที่ 2 เป็น hyperbolic tangent transfer function (tansig) และชั้นส่งออก เป็นแบบ hyperbolic tangent transfer function (tansig) มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ มีค่า regression all มากที่สุด เท่ากับ 0.97836 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย คือ 3.48

การทำนายการเจริญเติบโต พบว่าการจำลองการเจริญเติบโตของถั่วเขียว ความสูง (รูปที่ 8a และรูปที่ 8b) จำนวนข้อ (รูปที่ 9a และรูปที่ 9b) จำนวนกิ่งหลัก (รูปที่ 10a และรูปที่ 10b) และจำนวนใบประกอบ (รูปที่ 11a และรูปที่ 11b) มีฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ในชั้นซ่อนเป็นแบบ logsig และ tansig แต่ละชั้นมี 30 หน่วยย่อย ในชั้นข้อมูลส่งออกเป็นแบบ tansig มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และมีประสิทธิภาพของการทำนายแม่นยำสูง

4.1.1 ความสูง

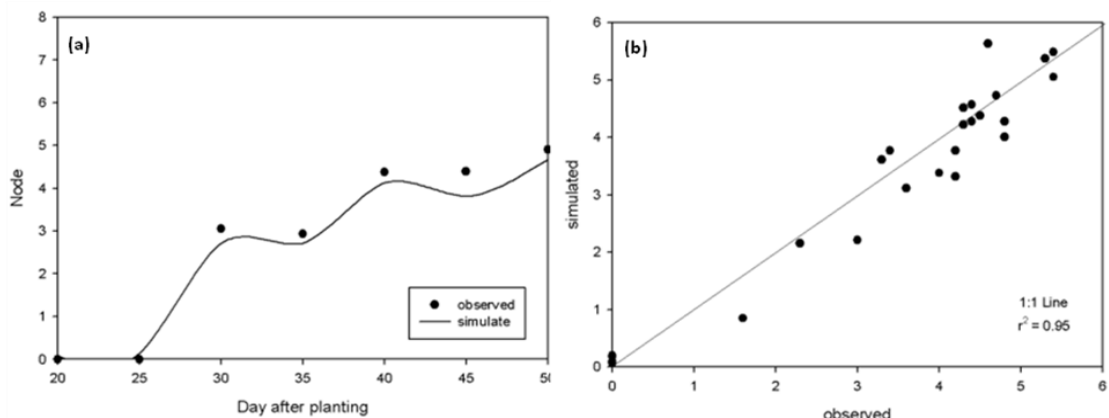
จากการทำนายความสูงของถั่วเขียว พบว่าการพัฒนาความสูงในช่วงแรกค่อนข้างเป็นไปได้ช้า โดยความสูงเมื่ออายุ 20-35 วันหลังปลูก มีความสูงประมาณ 15-20 เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 35-40 วันหลังปลูก (รูปที่ 8a) ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของความสูงมีค่า $r^2 = 0.96$, RMSE = 0.33, MAPE = 9.04%, MB = 0.06, MAB = 1.81 และ IA = 0.99 แบบจำลองทำนายความสูงได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยที่ค่าทำนายกระจายอยู่รอบเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 8b)



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตความสูงของถั่วเขียว (ชม.)

4.1.2 จำนวนข้อ

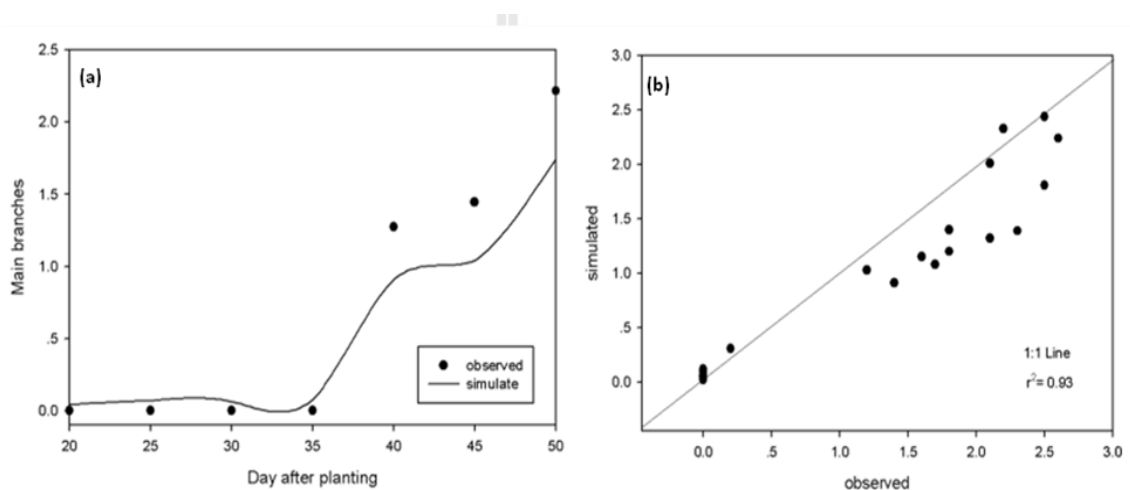
จากการทำนายจำนวนข้อของถั่วเขียว พบว่าจำนวนข้อต่อต้นของถั่วเขียวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5-6 ข้อต่อต้น เมื่อถั่วเขียวอายุ 20-25 วันหลังปลูก การพัฒนาของข้อก่อนข้างคงที่ และเพิ่มขึ้นเมื่ออายุ 25-30 วันหลังปลูก (รูปที่ 9a) ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของจำนวนข้อมีค่า $r^2 = 0.95$, RMSE = 0.41, MAPE = 8.53%, MB = -0.09, MAB = 0.34 และ IA = 0.91 เมื่อต้นถั่วเขียวยังเล็ก แบบจำลองสามารถทำนายจำนวนข้อของถั่วเขียวได้ต่ำกว่าค่าสังเกต และเมื่อถั่วเขียวอายุมากขึ้นแบบจำลองสามารถทำนายจำนวนข้อของถั่วเขียวได้แม่นยำมากขึ้น โดยที่ค่าทำนายกระจายอยู่รอบเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 9b)



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตจำนวนข้อของถั่วเขียว

4.1.3 จำนวนกิ่งหลัก

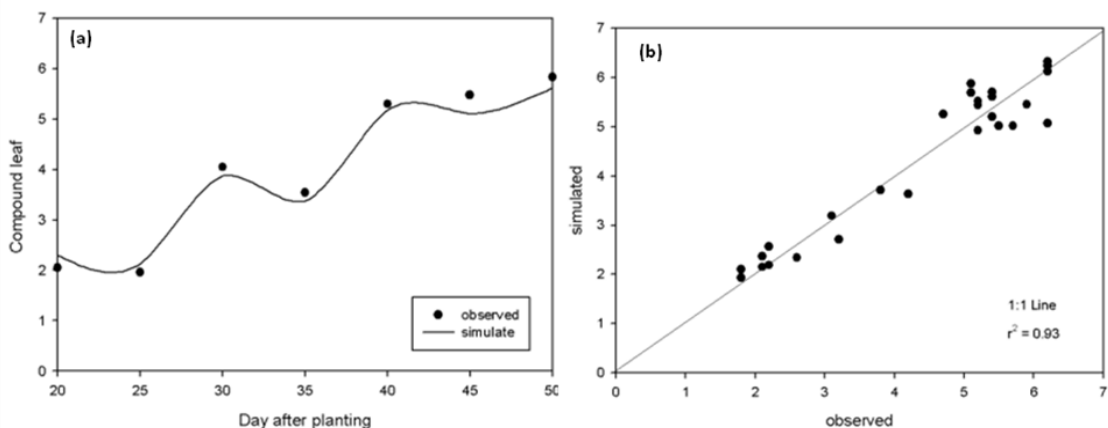
จากการทำนายจำนวนกิ่งหลักของถั่วเขียว พบว่าจำนวนกิ่งหลักต่อต้นของถั่วเขียวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2-3 กิ่งต่อต้น เมื่ออายุ 20-35 วันหลังปลูก การพัฒนาของกิ่งหลักก่อนข้างคงที่ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 35-40 วันหลังปลูก (รูปที่ 10a) ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของจำนวนกิ่งหลักมีค่า $r^2 = 0.93$, RMSE = 0.04 MAPE = 12.43%, MB = -0.15, MAB = 0.24 และ IA = 0.87 แบบจำลองทำนายจำนวนกิ่งหลักได้ค่อนข้างต่ำกว่าค่าสังเกต โดยค่ากระจายต่ำกว่าเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 10b)



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตจำนวนกิ่งหลักของถั่วเขียว

4.1.4 จำนวนใบประกอบ

จากการทำนายจำนวนใบประกอบของถั่วเขียว พบว่าจำนวนใบประกอบต่อต้นของถั่วเขียวมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5-6 ใบต่อต้น เมื่ออายุ 20-25 วันหลังปลูก การพัฒนาของกิ่งหลักก่อนข้างคงที่ และเพิ่มขึ้นเมื่ออายุ 25-30 วันหลังปลูก (รูปที่ 11a) ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของจำนวนใบประกอบมีค่า $r^2 = 0.93$, RMSE = 0.06, MAPE = 7.66%, MB = -0.01, MAB = 0.32 และ IA = 0.99 เมื่อต้นถั่วเขียวยังเล็ก แบบจำลองสามารถทำนายจำนวนใบประกอบได้ต่ำกว่าค่าสังเกต และเมื่อถั่วเขียวอายุมากขึ้น แบบจำลองสามารถทำนายจำนวนใบประกอบได้แม่นยำมากขึ้น โดยที่ค่าทำนายกระจายอยู่รอบเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 11b)



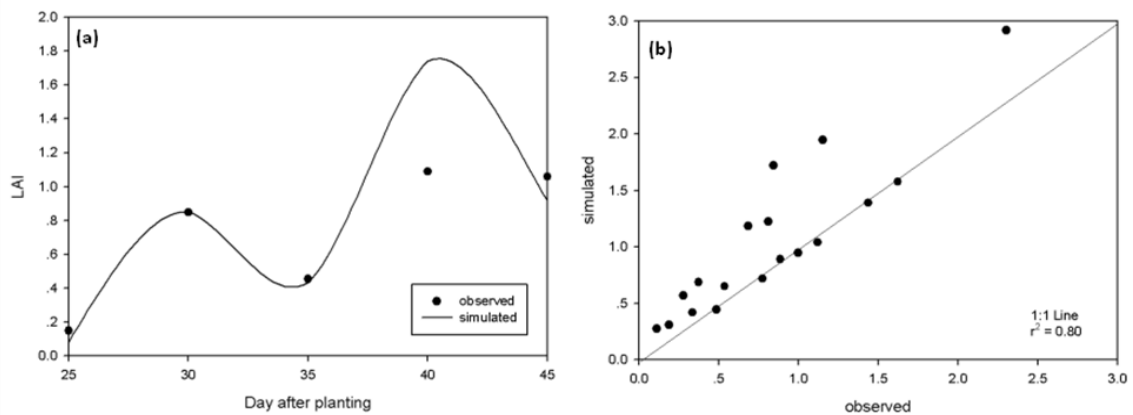
รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตจำนวนใบประกอบของถั่วเขียว

4.2 การทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมของพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล โดยเรียงฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) สลับเปลี่ยน 27 รูปแบบ มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กำหนดชั้นซ่อน 10, 20, 30 และ 40 หน่วยย่อย และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean squared error, MSE) และค่าความสัมพันธ์ (regression all) เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เกิดจากการฝึกสอนโครงข่าย (ตารางภาคผนวกที่ 5-8) ผลที่ได้จากการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียม พบว่ามีสถาปัตยกรรมโครงข่ายเป็นแบบ 8-10-10-2 คือ มี input 8 มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น มีจำนวนหน่วยย่อย (node) ในชั้นซ่อน 10 หน่วยย่อย และมี output 2 output โดยภายในโครงสร้างประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ในชั้นซ่อนที่ 1 เป็นแบบ hyperbolic tangent transfer function (tansig), ชั้นซ่อนที่ 2 เป็น hyperbolic tangent transfer function (tansig) และชั้นส่งออก เป็นแบบ linear transfer function (purelin) มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด คือ มีค่า regression all มากที่สุด เท่ากับ 0.94283 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย คือ $1.03E+02$

4.2.1 พื้นที่ใบ

จากการทำนายพื้นที่ใบของถั่วเขียว พบว่าระยะแรกของการเจริญเติบโตพื้นที่ใบมีน้อย และเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถั่วเขียวเจริญเติบโตเต็มที่ พื้นที่ใบจะถูกใช้เป็นดัชนีที่บ่งบอกความสามารถในการรับแสงและการสังเคราะห์แสง ค่าดัชนีพื้นที่ใบในถั่วเขียวจะเพิ่มในอัตราที่ช้า เมื่ออายุ 25-35 วัน หลังปลูก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 35-40 วันหลังปลูก จากนั้นดัชนีพื้นที่ใบของถั่วเขียวก็จะลดลงเมื่ออายุ 45 วันหลังปลูก (รูปที่ 12a) ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของพื้นที่ใบมีค่า $r^2 = 0.80$, RMSE = 0.93, MAPE = 28.70%, MB = -0.22, MAB = 0.22 และ IA = 0.84 แบบจำลองทำนายพื้นที่ใบได้ค่อนข้างสูงกว่าค่าสังเกต โดยค่ากระจายสูงกว่าเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 12b)

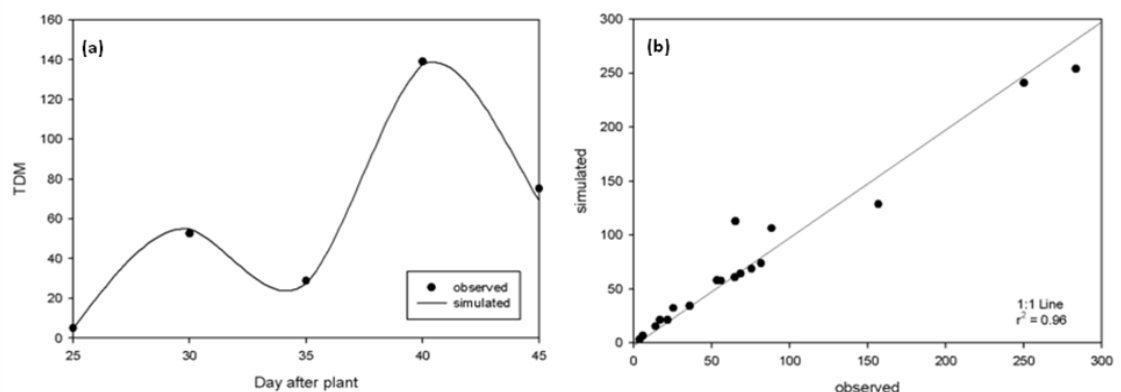


รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตพื้นที่ใบของถั่วเขียว

4.2.2 น้ำหนักชีวมวล

จากการทำนายน้ำหนักชีวมวลของถั่วเขียว พบว่าในช่วงแรกค่าน้ำหนักชีวมวลของถั่วเขียวเพิ่มในอัตราที่ช้า เมื่ออายุ 25-35 วันหลังปลูก และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่ออายุ 35-40 วันหลังปลูก การสะสมน้ำหนักแห้งจะเคลื่อนย้ายจากใบและลำต้น ไปสู่ฝักและเมล็ด คาร์โบไฮเดรตที่พืชผลิตขึ้น จะถูกนำไปใช้ในการเจริญเติบโตทางใบ การสร้างส่วนต่างๆ และการหายใจของพืช (รูปที่ 13a)

ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของน้ำหนักชีวมวลมีค่า $r^2 = 0.96$, RMSE = 0.86, MAPE = 9.67%, MB = -0.20, MAB = 0.20 และ IA = 0.99 แบบจำลองทำนายน้ำหนักชีวมวลได้ค่อนข้างแม่นยำ โดยที่ค่าทำนายกระจายอยู่รอบเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 13b)

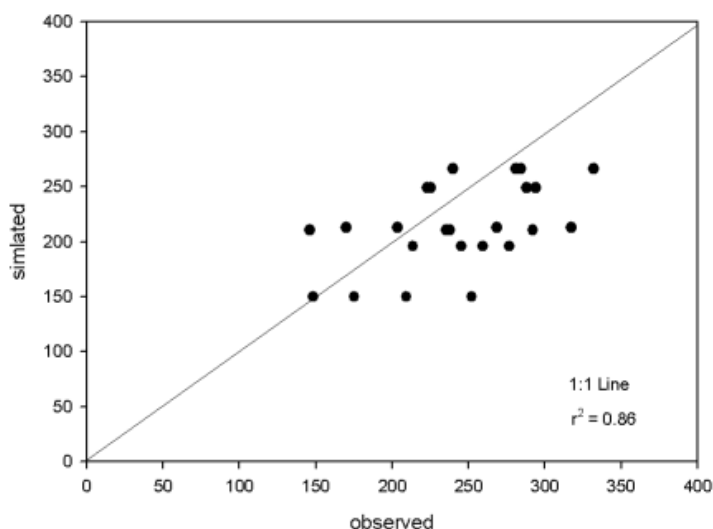


รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตน้ำหนักชีวมวลของถั่วเขียว (กรัม)

4.3 การทำนายผลผลิต

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมของผลผลิตถั่วเขียว โดยเรียงฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) สลับเปลี่ยน 27 รูปแบบ มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น กำหนดชั้นซ่อน 10, 20, 30 และ 40 หน่วยย่อย และใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean squared error, MSE) และค่าความสัมพันธ์ (regression all) เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เกิดจากการฝึกสอนโครงข่าย (ตารางภาคผนวกที่ 9-12) ผลที่ได้จากการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมพบว่า มีสถาปัตยกรรมโครงข่ายเป็น แบบ 8-10-10-1 คือ มี input 8 มีจำนวนชั้นซ่อน 2 ชั้น มีจำนวนหน่วยย่อย (node) ในชั้นซ่อน 10 หน่วยย่อย และมี output 1 output โดยภายในโครงสร้างประกอบด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ในชั้นซ่อนที่ 1 เป็นแบบ sigmoid transfer function (logsig), ชั้นซ่อนที่ 2 เป็นแบบ hyperbolic tangent transfer function (tansig) และชั้นส่งออก เป็นแบบ hyperbolic tangent transfer function (tansig) มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด คือ มีค่า regression all มากที่สุด เท่ากับ 0.97615 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย คือ $1.49E+02$

ค่าแบบจำลองและค่าสังเกตของผลผลิตมีค่า $r^2 = 0.86$, RMSE = 9.09, MAPE = 11.74%, MB = -28.34, MAB = 28.34 และ IA = 0.88 แบบจำลองทำนายผลผลิตได้ค่อนข้างต่ำกว่าค่าสังเกต และค่าทำนายกระจายค่อนข้างห่างจากเส้น 1 : 1 line (รูปที่ 14) โดยผลผลิตของถั่วเขียวประกอบไปด้วย จำนวนฝักต่อต้น จำนวนเมล็ดต่อฝัก และน้ำหนักเมล็ด ซึ่งองค์ประกอบผลผลิตของถั่วเขียวมีความสัมพันธ์กับผลผลิต



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ 1 : 1 Line ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าสังเกตของผลผลิต (กก./ไร่)

4.4 การเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลอง

4.4.1 การเจริญเติบโต

จากตารางที่ 5 พบว่าการทำนายการเจริญเติบโตของถั่วเขียวมีประสิทธิภาพการทำนายที่แตกต่างกันไม่มาก โดยที่ค่า r^2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.93-0.96 ซึ่งแบบจำลองทำนายความสูงมีค่า r^2 เข้าใกล้ 1 มากที่สุด รองลงมาคือ การทำนายจำนวนข้อ จำนวนกิ่งหลัก และจำนวนใบประกอบ ตามลำดับ ค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 0.04-0.41 โดยที่การทำนายจำนวนกิ่งหลักมีค่าน้อยที่สุด เข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด รองลงมาคือ การทำนายจำนวนใบประกอบ ความสูง และจำนวนข้อ ตามลำดับ ค่า MAPE มีค่าอยู่ระหว่าง 7.66%-12.43% โดยที่การทำนายจำนวนใบประกอบมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ การทำนายจำนวนข้อ ความสูง และจำนวนกิ่งหลัก ตามลำดับ ค่า MB มีค่าอยู่ระหว่าง -0.15-0.06 โดยที่การทำนายจำนวนกิ่งหลักมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ การทำนายจำนวนข้อ จำนวนใบประกอบ และความสูง ตามลำดับ ค่า MAB มีค่าอยู่ระหว่าง 0.24-1.81 โดยที่การทำนายจำนวนกิ่งหลักมีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ การทำนายจำนวนข้อ จำนวนใบประกอบ และความสูงตามลำดับ ค่า IA มีค่าอยู่ระหว่าง 0.87-0.99 โดยที่การทำนายความสูงและการทำนายจำนวนใบประกอบมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ การทำนายจำนวนข้อ และจำนวนกิ่งหลัก ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่า r^2 และ IA มีทิศทางไปในแนวเดียวกัน คือ เมื่อค่า r^2 มีค่าสูง ค่า IA จะมีค่าสูงตามไปด้วย จากนั้นมีผลทำให้ค่า RMSE, MAPE, MB และ MAB มีค่าน้อยลงด้วย

4.4.2 พื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล

การทำนายพื้นที่ใบของถั่วเขียว มีค่า $r^2 = 0.80$, RMSE = 0.93, MAPE = 28.70%, MB = -0.22, MAB = 0.22 และ IA = 0.84 แบบจำลองทำนายพื้นที่ใบมีความแม่นยำน้อยกว่าแบบจำลองอื่น โดยสังเกตได้จากมีค่า r^2 และ IA น้อยที่สุด เนื่องจากข้อมูลของทั้ง 2 ถั่วปลูก (ถั่วฝักและถั่วแฉะ) มีความแตกต่างกันในเรื่องอุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้น และปริมาณน้ำฝน จึงทำให้มีดัชนีพื้นที่ใบแตกต่างกันมาก ซึ่งในถั่วแฉะมีอุณหภูมิต่ำจึงทำให้พื้นที่ใบมีพัฒนาการที่ช้า และใบจะทำหน้าที่ในการรับแสงสำหรับการสังเคราะห์แสง พื้นที่ใบจะเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งถั่วเขียวเจริญเติบโตเต็มที่ แต่ในถั่วแฉะถั่วเขียวมีพัฒนาการช้า มีใบน้อยรับแสงได้ไม่มาก ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลพื้นที่ใบของทั้ง 2 ถั่วปลูก ที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างมาสร้างแบบจำลอง จึงทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนและมีประสิทธิภาพในการทำนายน้อยลง

การทำนายน้ำหนักชีวมวลมีค่า $r^2 = 0.96$, RMSE = 0.86, MAPE = 9.67%, MB = -0.20, MAB = 0.20 และ IA = 0.99 แบบจำลองทำนายน้ำหนักชีวมวลได้ค่อนข้างแม่นยำ

4.4.3 ผลผลิต

การทำนายผลผลิตมีค่า $r^2 = 0.86$, RMSE = 9.09, MAPE = 11.74%, MB = -28.34, MAB = 28.34 และ IA = 0.88 แบบจำลองทำนายผลผลิตได้ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากผลผลิตของถั่วเขียวมีปัจจัย

หลายอย่างเป็นตัวกำหนด เพราะในระหว่างการเจริญเติบโตของถั่วเขียวทั้ง 2 ถั่วปลูก มีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยถั่วแดงมีความเข้มแสงมาก เนื่องจากไม่มีเมฆมาบังแสงแดดแสงจึงส่องผ่านได้ดี ทำให้เมื่อมีความเข้มแสงมากก็มีการสังเคราะห์แสงได้มาก และการสังเคราะห์แสงที่ดีจะทำให้สามารถผลิตอาหารได้ดี สร้างฝักได้ดีขึ้น และมีการสะสมอาหารได้มากตามไปด้วย และในทางตรงข้ามถั่วเขียวที่ปลูกในฤดูฝนมีเมฆมากการส่องผ่านของแสงจึงมีน้อย เนื่องจากมีเมฆมาบังแสงแดดทำให้ถั่วเขียวสังเคราะห์แสงได้น้อยการสะสมอาหารก็จะน้อยตามไปด้วย นอกจากความเข้มแสงแล้วยังมีอีกหลายปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดองค์ประกอบของผลผลิต และผลผลิตของถั่วเขียวดังนั้นตัวแปรนำเข้าไปในการสร้างแบบจำลองอาจจะไม่เพียงพอสำหรับทำนายผลผลิต และจำนวนชุดข้อมูลการเรียนรู้ในการสร้างแบบจำลองทำนายผลผลิตมีน้อย จึงมีผลทำให้แบบจำลองมีความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ชนิดของความคลาดเคลื่อน	การเจริญเติบโต				พื้นที่ใบ	น้ำหนักชีวมวล	ผลผลิต (กก./ไร่)
	ความสูง (ซม.)	จำนวนข้อ	จำนวนกิ่งหลัก	จำนวนใบประกอบ			
r^2	0.96	0.95	0.93	0.93	0.80	0.96	0.86
RMSE	0.33	0.41	0.04	0.06	0.93	0.86	9.09
MAPE	9.04%	8.53%	12.43%	7.66%	28.70%	9.67%	11.74%
MB	0.06	-0.09	-0.15	-0.01	0.22	-0.20	-28.34
MAB	1.81	0.34	0.24	0.32	0.22	0.20	28.34
IA	0.99	0.91	0.87	0.99	0.84	0.99	0.88

โดยรวมแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิดมีผู้ฝึกสอน (supervised learning) แบบแพร่ย้อนกลับในการทำนายการเจริญเติบโต มีสถาปัตยกรรมโครงข่ายเป็นแบบ 8-30-30-4 การทำนายพื้นที่ใบและน้ำหนักชีวมวล มีสถาปัตยกรรมโครงข่ายเป็นแบบ 8-10-10-2 และการทำนายผลผลิต มีสถาปัตยกรรมโครงข่ายเป็นแบบ 8-10-10-1 แตกต่างจากการทดลองทำนายผลผลิตของใบ โหระพาเป็นแบบ 7-20-20-1 (Pahlavan et al., 2012) และแตกต่างจากการทำนายผลผลิตของข้าวสาลีที่ใช้โครงข่ายแบบ 6-8-8-1 (Taki et al., 2012) พบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายการเจริญเติบโตที่มีประสิทธิภาพในการทำนายสูง สามารถ

ทำนายผลการเจริญเติบโตของถั่วเขียวได้ค่อนข้างแม่นยำ เนื่องจากชุดการเรียนรู้แบบจำลอง
โครงข่ายประสาทเทียมมีจำนวนมากที่สุด ดังนั้นหากต้องการเพิ่มความแม่นยำให้กับแบบจำลอง
ควรเพิ่มจำนวนชุดข้อมูล เพื่อเพิ่มการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ก่อนนำไปใช้
ประโยชน์ต่อไป



บทที่ 5

บทสรุป

จากการศึกษาการประเมินผลการทำนายของการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้การเรียนรู้ของโครงข่ายชนิดมีการสอน (supervised learning) แบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward) ด้วยเทคนิควิธีการแพร่ย้อนกลับ (back propagation) สามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการทำนายข้อมูลที่มีค่าปัจจัยหรือตัวแปรจำนวนมากได้ดี และประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพในการทำนายการเจริญเติบโตของถั่วเขียว เนื่องจากผลที่ได้จากการทำนายส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนน้อย และมีประสิทธิภาพสูง
2. แบบจำลองทำนายพื้นที่ใบได้ค่อนข้างสูงกว่าสังเกต แต่สามารถทำนายน้ำหนักชีวมวลได้ค่อนข้างแม่นยำ
3. แบบจำลองทำนายผลผลิตได้ค่อนข้างต่ำกว่าค่าสังเกต และมีประสิทธิภาพในการทำนายต่ำกว่าการทำนายการเจริญเติบโต ผลที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนบริหารจัดการและเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเพื่อผลิตถั่วเขียวได้

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืชมีปัจจัยหลายอย่างเป็นตัวกำหนด ดังนั้นการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตไม่ควรจะเว้นระยะการเก็บข้อมูลห่างกันมาก ซึ่งจะช่วยให้มองเห็นแนวโน้มของการเจริญเติบโตได้ดีกว่า เมื่อนำข้อมูลมาสร้างสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม โครงข่ายจะจดจำรูปแบบได้ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้มีความผิดพลาดน้อยลง
2. การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะช่วยเพิ่มความแม่นยำได้มากขึ้น ไม่ควรใช้ค่าเฉลี่ย แต่ควรใช้ค่าจริงเพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนชุดของการฝึกสอนโครงข่าย
3. การสร้างแบบจำลองสามารถปรับเปลี่ยนได้ เพราะแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

รายการอ้างอิง

กรมส่งเสริมสหกรณ์. (2556). การส่งเสริมการปลูกถั่วเขียว [ออนไลน์]. ได้จาก :

<http://www.cpd.go.th/cpd/cpdinter/index.html>.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

จุฑานาฏ สถาพรวงษา. (2534). การศึกษาระยะการเจริญเติบโตของถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง, อุทัย อารมณรัตน์, สุนันท์ กะตะโท และบุญเลิศ คันธอุลิส. (2528). อิทธิพลของการให้น้ำในช่วงต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของถั่วเขียว. ใน **รายงานผลงานวิจัยปี 2528** (หน้า 151-155). ศูนย์วิจัยพืชไร่ชยันต. กรมวิชาการเกษตร.

นิรัตติยา ใจเสียง. (2551). การจำแนกสายพันธุ์ข้าวจากองค์ประกอบสารระเหยในเมล็ดข้าวโดยใช้โครมาทอกราฟี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บัวกัน วาจาสิทธิ์. (2533). ผลของอายุการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 1 กำแพงแสน 2. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชัย รักรักษ์ชูชีพ. (2524). การสุกแก่และการพัฒนาของเมล็ดถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิรพงษ์ ไพสิฐกุลวิวัฒน์. (2547). การพัฒนาโครมาทอกราฟีเพื่อใช้ในการคัดคุณภาพทางด้านรูปร่างของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรการ ปิ่นหย่า. (2527). การศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตก่อนออกดอกในถั่วเขียวพันธุ์อุ้มทอง 1 และความสัมพันธ์ต่อผลผลิตในสภาพที่ได้รับปัจจัยทางเขตกรรมต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไลวรรณ ทองศรี, อำนาจ ชินเชษฐ, เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และนิรัตน์ วานิชวัฒนารัตติก. (2528). การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเขียวพันธุ์ต่าง ๆ. ใน **รายงานผลงานวิจัยปี 2528** (หน้า 97-107). ศูนย์วิจัยพืชไร่ชยันต. กรมวิชาการเกษตร.

วิไลวรรณ พรหมคำ. (2533). อิทธิพลของพันธุ์และวันปลูกต่ออัตราและระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สถาบันพัฒนาการชลประทาน. (2551). การประยุกต์ใช้ Artificial Neural Network [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://www.kmcenter.rid.go.th/kmc17>.
- สัจจากาจ จอมโนนเขวา. (2552). การพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางและแบบจำลองระยะทางการเดินทาง ภายในเขตเทศบาลนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา. (2552). รายงานประสาทเทียม [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://202.28.94.51/web/sirapat/322441/1-Intro-ANN.pdf>.
- สุรฉัตร สนทอง. (2529). อิทธิพลของสารชะลอการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. (2555). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555. สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. นนทบุรี. 199 หน้า.
- อภิพรรณ พุกพักดี. (2533). ความสำคัญของสรีรวิทยาการผลิตพืชและแนวทางที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์. วารสารเกษตรก้าว. 5(2): 17-44.
- อภิพรรณ พุกพักดี และจุฑานาฎ ช่วงพีชจินดา. (2531). การกำหนดระยะการเจริญเติบโตของถั่วเขียว. ใน รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี 2528 (หน้า 45-55). ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท. กรมวิชาการเกษตร.
- อภิพรรณ พุกพักดี, ไสว พงษ์เก่า และวิจารณ์ วิชชุกิจ. (2529). สรีรวิทยาของการผลิตพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 302 หน้า.
- อรนงค์ บุญเกิด. (2554). แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อรนงค์ บุญเกิด และพฤษดี ศิริแสงตระกูล. (2556). แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทย. มข. 41(1): 21 -25.
- อาทิตย์ อภิโชติชนกุล, ศุภชัย ปทุมนากุล และกัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม. (2552). การพยากรณ์ความต้องการข้าวไทยจากต่างประเทศโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิศวกรรมสาร มข. 36(1): 17-25.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2552). ปัญญาเชิงคำนวณ. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 528 หน้า.
- Kaul, M., Hill, R.L. and Walthall, C. (2005). Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems* 85: 1-18.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M. and Yousefi, M. (2013). Prediction of environmental

- indices of Iran wheat production using artificial neural networks. **Energy and Environmental**. 4: 339-348.
- Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. (2012). Energy input-output analysis and application of artificial neural Networks for predicting greenhouse basil production. **Energy** 37: 171-176.
- Pandy, R.K., Herrera, W.T. and Villeges, A.N. (1988). Drought response of mungbean genotypes under a sprinkler irrigation gradient system. **In Mungbean Proceedings of the second International**. Bangkok. Thailand.
- Pannu, R.K. and Singh, D.P. (1988). Influence of water deficits on morpho-physiological and yield behavior of mungbean. **In Mungbean Proceedings of the second International**. Bangkok. Thailand.
- Patterson, Dan W. (1930). Artificial neural networks theory and application [On-line]. Available: <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/Book25/chapter/t25-5m.htm>.
- Rahman, M.M. and Bala, B.K. (2010). Modelling of jute production using artificial neural networks. **Biosystems Engineering**. 105: 350-356.
- Taki, M., Ajabshirchi, Y. and Mahmoudi, A. (2012). Prediction of output energy for wheat production using artificial neural networks in Esfahan of Iran. **Agricultural Technology**. 8(4): 1229-1242.

รายการอ้างอิง

กรมส่งเสริมสหกรณ์. (2556). การส่งเสริมการปลูกถั่วเขียว [ออนไลน์]. ได้จาก :

<http://www.cpd.go.th/cpd/cpdinter/index.html>.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 547 หน้า.

จุฑานาฏ สถาพรวงษา. (2534). การศึกษาระยะการเจริญเติบโตของถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง, อุทัย อารมณรัตน์, สุนันท์ กะตะโท และบุญเลิศ คันธอุลิส. (2528). อิทธิพลของการให้น้ำในช่วงต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของถั่วเขียว. ใน **รายงานผลงานวิจัยปี 2528** (หน้า 151-155). ศูนย์วิจัยพืชไร่ชยันต. กรมวิชาการเกษตร.

นิรัตติยา ใจเสียง. (2551). การจำแนกสายพันธุ์ข้าวจากองค์ประกอบสารระเหยในเมล็ดข้าวโดยใช้โครมาทอกราฟี. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บัวกัน วาจาสิทธิ์. (2533). ผลของอายุการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษาต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 1 กำแพงแสน 2. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชัย รักรักษ์ชูชีพ. (2524). การสุกแก่และการพัฒนาของเมล็ดถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิรพงษ์ ไพสิฐกุลวิวัฒน์. (2547). การพัฒนาโครมาทอกราฟีเพื่อใช้ในการคัดคุณภาพทางด้านรูปร่างของมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรการ ปิ่นหย่า. (2527). การศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโตก่อนออกดอกในถั่วเขียวพันธุ์อุ้มทอง 1 และความสัมพันธ์ต่อผลผลิตในสภาพที่ได้รับปัจจัยทางเขตกรรมต่าง ๆ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิไลวรรณ ทองศรี, อำนาจ ชินเชษฐ, เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง และนิรัตน์ วานิชวัฒนารัตติก. (2528). การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของถั่วเขียวพันธุ์ต่าง ๆ. ใน **รายงานผลงานวิจัยปี 2528** (หน้า 97-107). ศูนย์วิจัยพืชไร่ชยันต. กรมวิชาการเกษตร.

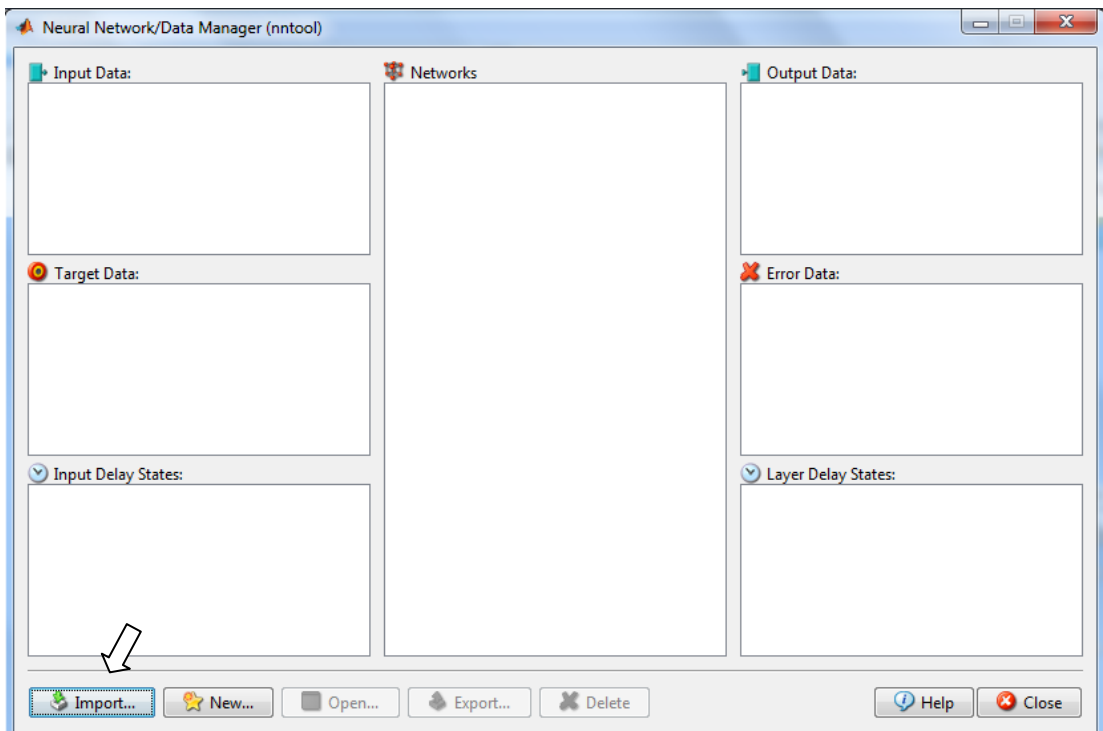
วิไลวรรณ พรหมคำ. (2533). อิทธิพลของพันธุ์และวันปลูกต่ออัตราและระยะเวลาการสะสมน้ำหนักแห้งของเมล็ดถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สถาบันพัฒนาการชลประทาน. (2551). การประยุกต์ใช้ Artificial Neural Network [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://www.kmcenter.rid.go.th/kmc17>.
- สัจจากาจ จอมโนนเขวา. (2552). การพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางและแบบจำลองระยะทางการเดินทาง ภายในเขตเทศบาลนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา. (2552). รายงานประสาทเทียม [ออนไลน์]. ได้จาก : <http://202.28.94.51/web/sirapat/322441/1-Intro-ANN.pdf>.
- สุรฉัตร สนทอง. (2529). อิทธิพลของสารชะลอการเจริญเติบโตต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. (2555). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555. สำนักพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. นนทบุรี. 199 หน้า.
- อภิพรรณ พุกพักดี. (2533). ความสำคัญของสารชีววิทยาการผลิตพืชและแนวทางที่จะนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์. วารสารเกษตรก้าว. 5(2): 17-44.
- อภิพรรณ พุกพักดี และจุฑานาฎ ช่วงพีชจินดา. (2531). การกำหนดระยะการเจริญเติบโตของถั่วเขียว. ใน รายงานค้นคว้าวิจัยประจำปี 2528 (หน้า 45-55). ศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท. กรมวิชาการเกษตร.
- อภิพรรณ พุกพักดี, ไสว พงษ์เก่า และวิจารณ์ วิชชุกิจ. (2529). สารชีววิทยาของการผลิตพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 302 หน้า.
- อรนงค์ บุญเกิด. (2554). แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- อรนงค์ บุญเกิด และพฤษดี ศิริแสงตระกูล. (2556). แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิทย. มข. 41(1): 21 -25.
- อาทิตย์ อภิโชติชนกุล, ศุภชัย ปทุมนากุล และกัลปพฤกษ์ ผิวทองงาม. (2552). การพยากรณ์ความต้องการข้าวไทยจากต่างประเทศโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วิศวกรรมสาร มข. 36(1): 17-25.
- อาทิตย์ ศรีแก้ว. (2552). ปัญญาเชิงคำนวณ. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 528 หน้า.
- Kaul, M., Hill, R.L. and Walthall, C. (2005). Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Agricultural Systems* 85: 1-18.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M. and Yousefi, M. (2013). Prediction of environmental

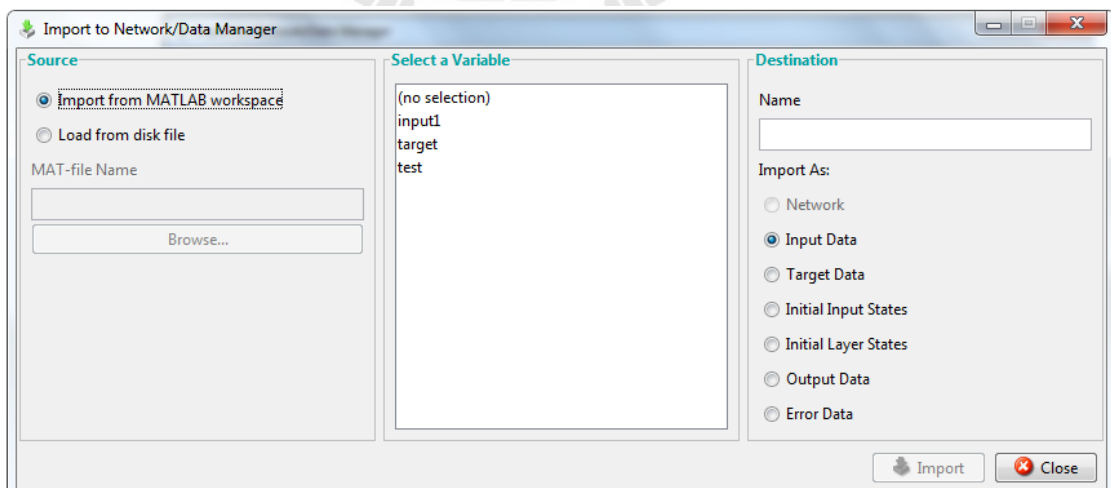
- indices of Iran wheat production using artificial neural networks. **Energy and Environmental**. 4: 339-348.
- Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. (2012). Energy input-output analysis and application of artificial neural Networks for predicting greenhouse basil production. **Energy** 37: 171-176.
- Pandy, R.K., Herrera, W.T. and Villeges, A.N. (1988). Drought response of mungbean genotypes under a sprinkler irrigation gradient system. **In Mungbean Proceedings of the second International**. Bangkok. Thailand.
- Pannu, R.K. and Singh, D.P. (1988). Influence of water deficits on morpho-physiological and yield behavior of mungbean. **In Mungbean Proceedings of the second International**. Bangkok. Thailand.
- Patterson, Dan W. (1930). Artificial neural networks theory and application [On-line]. Available: <http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/Book25/chapter/t25-5m.htm>.
- Rahman, M.M. and Bala, B.K. (2010). Modelling of jute production using artificial neural networks. **Biosystems Engineering**. 105: 350-356.
- Taki, M., Ajabshirchi, Y. and Mahmoudi, A. (2012). Prediction of output energy for wheat production using artificial neural networks in Esfahan of Iran. **Agricultural Technology**. 8(4): 1229-1242.



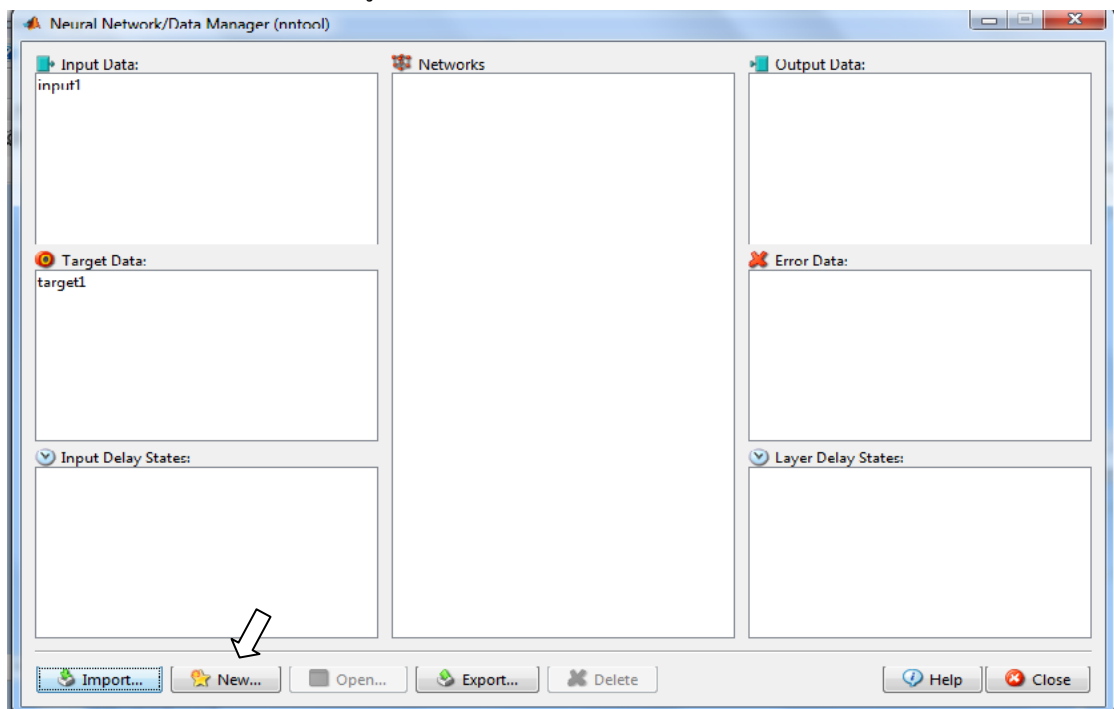
6. เรียกตาราง Neural Network/ Data Manager (nntool) จากนั้นคลิกที่ import



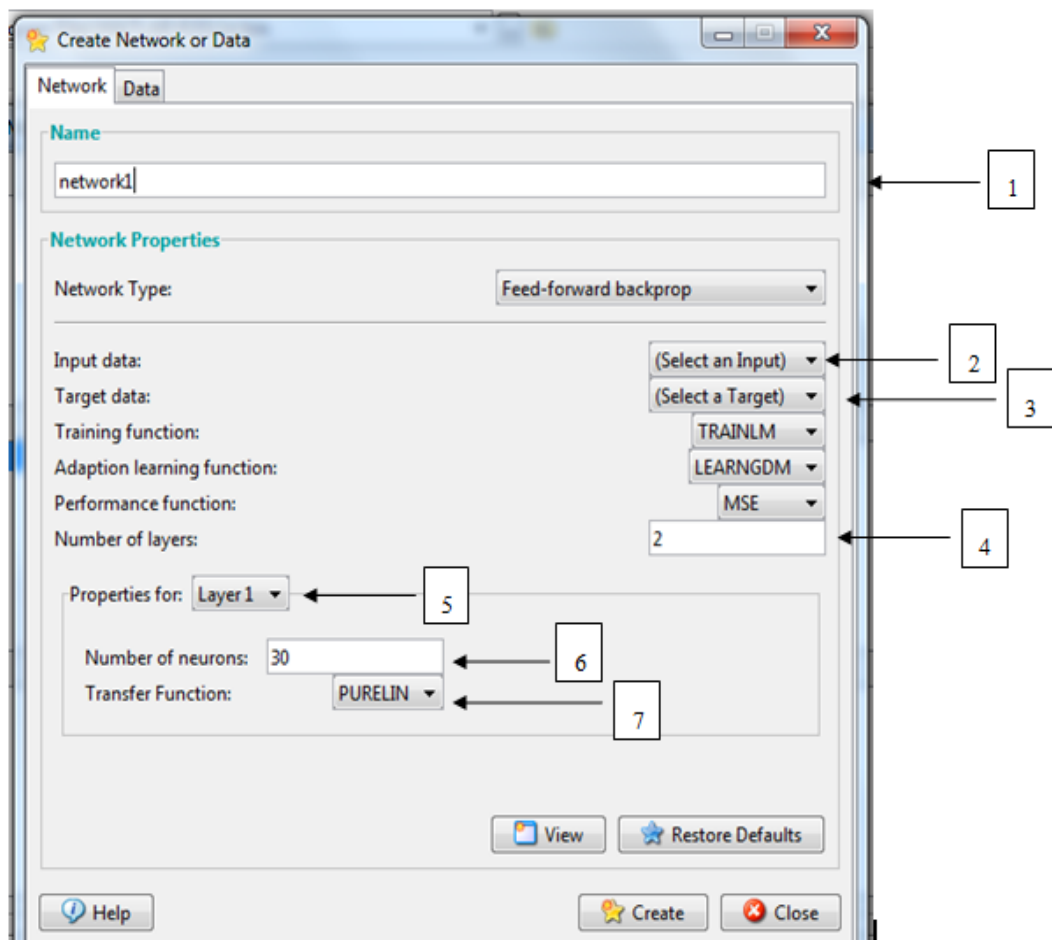
7. นำข้อมูล input ที่กรอกไว้ใน ข้อ 3, ข้อ 4 และข้อ 5 เข้ามาในช่อง input data และ target data ตามลำดับ



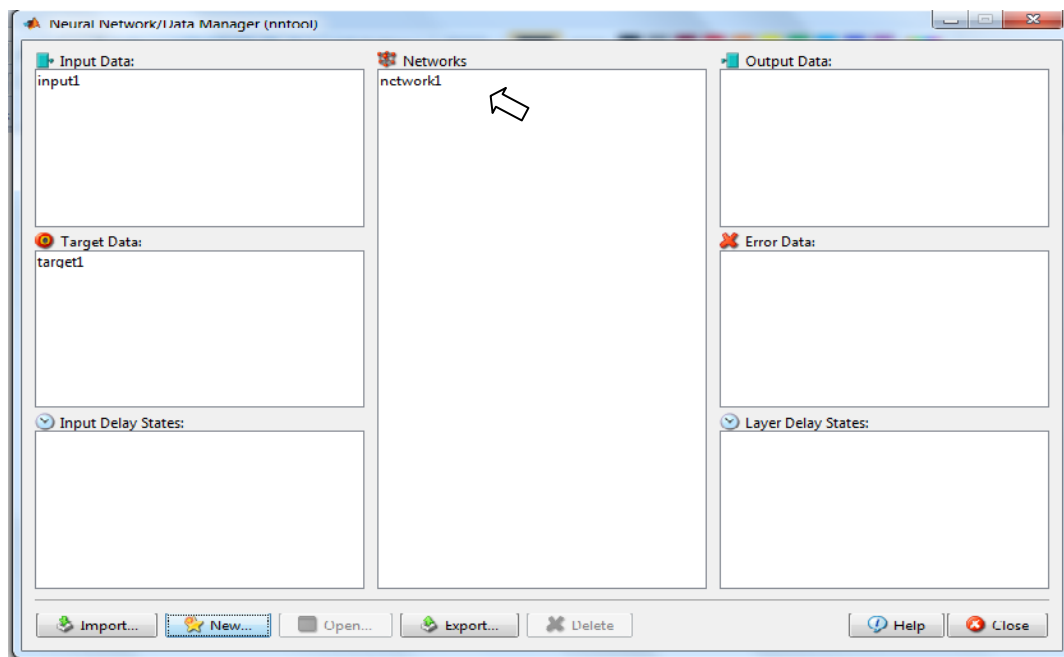
8. หน้าต่างหลังจาก import ข้อมูล จากนั้นคลิกที่ new



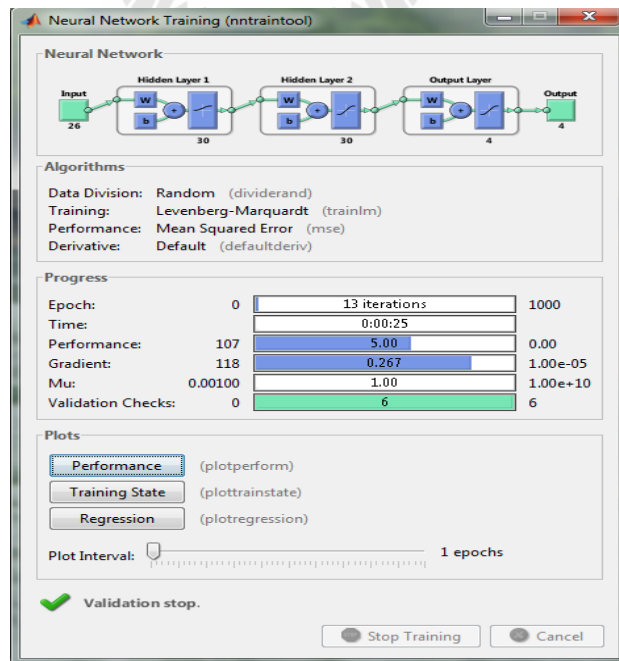
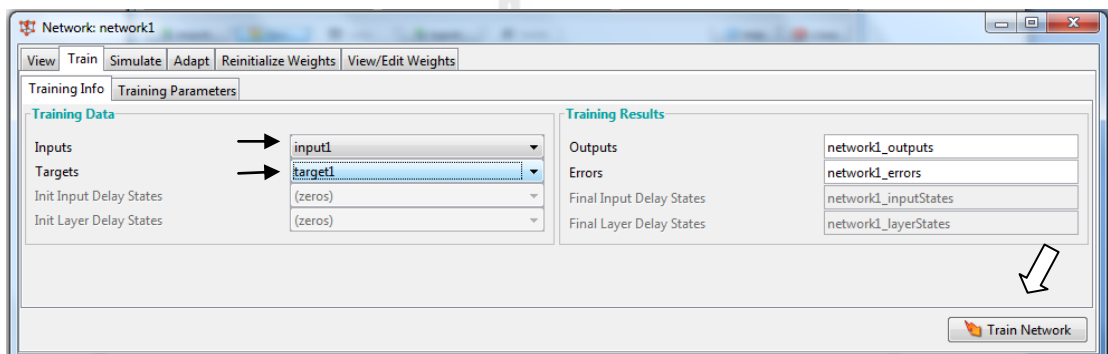
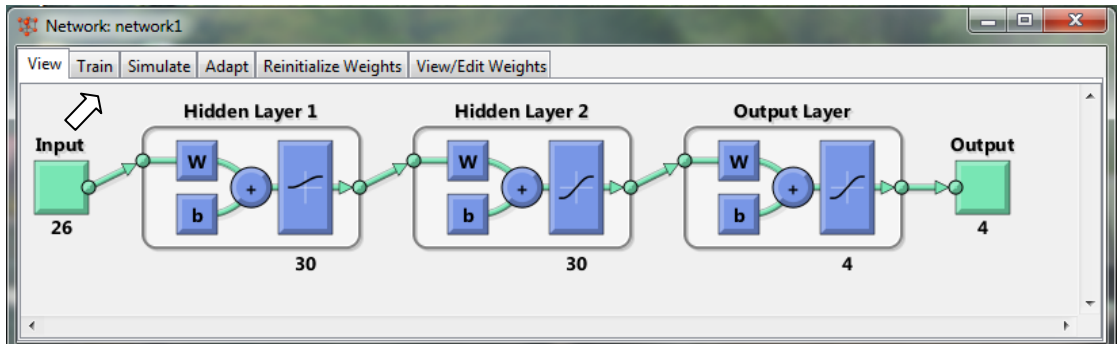
9. สร้าง network โดย (1) ตั้งชื่อ network, (2) คลิกเลือก input ในช่อง input data, (3) คลิกเลือก target ในช่อง target data, (4) เลือกจำนวน number of layer ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชุดข้อมูลในแต่ละการทดลอง (5-6) เลือกแต่ละ layer เพื่อใส่จำนวน neuron ในชั้น hidden layer ซึ่งจำนวนของ neuron ขึ้นอยู่กับข้อมูล input ถ้าแต่ละชุดข้อมูล input มีจำนวนมาก ก็ควรจะเพิ่มจำนวนของ neuron ให้เหมาะสม (7) คลิก properties for layer ซึ่งมีให้เลือก 3 แบบ คือ sigmoid transfer function (logsig) เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีค่า 0 ถึง 1, hyperbolic tangent transfer function (tansig) เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีค่า -1 ถึง 1 และ linear transfer function (purelin) เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีค่า -1 ถึง 1 จากนั้นคลิก create



10. double คลิกที่ network เพื่อ train network ในขั้นต่อไป



11. คลิก train เลือก input และ target จากนั้น คลิก train network



ตารางภาคผนวกที่ 1 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของการเจริญเติบโตแบบ 20 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function Hidden Layer 1	Transfer Function Hidden Layer 2	Transfer Function Output Layer	Regression	
					All	MSE
20 node	1	logsig	logsig	logsig	0.82569	6.15E+01
	2	purelin	logsig	logsig	0.82499	5.59E+01
	3	tansig	logsig	logsig	0.82585	5.17E+01
	4	logsig	purelin	logsig	0.80639	7.37E+01
	5	purelin	purelin	logsig	0.81002	1.92E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.87843	5.15E+01
	7	logsig	tansig	logsig	0.82981	5.38E+01
	8	purelin	tansig	logsig	0.83486	5.78E+01
	9	tansig	tansig	logsig	0.87399	5.32E+01
	10	logsig	logsig	purelin	0.97762	7.44E+00
	11	purelin	logsig	purelin	0.95154	1.13E+01
	12	tansig	logsig	purelin	0.97765	5.22E+00
	13	logsig	purelin	purelin	0.9781	4.59E+00
	14	purelin	purelin	purelin	0.97337	5.76E+00
	15	tansig	purelin	purelin	0.97739	7.34E+00
	16	logsig	tansig	purelin	0.97695	8.33E+00
	17	purelin	tansig	purelin	0.96528	7.14E+00
	18	tansig	tansig	purelin	0.97786	6.42E+00
	19	logsig	logsig	tansig	0.97728	4.02E+00
	20	purelin	logsig	tansig	0.97782	5.89E+00
	21	tansig	logsig	tansig	0.68511	1.49E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.72395	2.62E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.54982	1.53E+02
	24	tansig	purelin	tansig	0.97697	4.92E+00
	25	logsig	tansig	tansig	0.48993	1.15E+02
	26	purelin	tansig	tansig	0.67466	2.48E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.70826	2.08E+02

ตารางภาคผนวกที่ 2 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของการเจริญเติบโตแบบ 30 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function	Transfer Function	Transfer Function	Regression	
		Hidden Layer 1	Hidden Layer 2	Output Layer	All	MSE
30 node	1	logsig	logsig	logsig	0.82569	6.09E+01
	2	purelin	logsig	logsig	0.87498	5.12E+01
	3	tansig	logsig	logsig	0.81115	6.14E+01
	4	logsig	purelin	logsig	0.6751	2.11E+02
	5	purelin	purelin	logsig	0.83029	1.70E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.88001	5.78E+01
	7	logsig	tansig	logsig	0.82591	5.84E+01
	8	purelin	tansig	logsig	0.86415	7.17E+01
	9	tansig	tansig	logsig	0.7835	2.11E+02
	10	logsig	logsig	purelin	0.97783	5.07E+00
	11	purelin	logsig	purelin	0.97797	5.60E+00
	12	tansig	logsig	purelin	0.97795	7.19E+00
	13	logsig	purelin	purelin	0.97812	6.35E+00
	14	purelin	purelin	purelin	0.97335	6.05E+00
	15	tansig	purelin	purelin	0.97803	8.19E+00
	16	logsig	tansig	purelin	0.978	8.27E+00
	17	purelin	tansig	purelin	0.97686	7.48E+00
	18	tansig	tansig	purelin	0.97757	6.15E+00
	19	logsig	logsig	tansig	0.97744	5.41E+00
	20	purelin	logsig	tansig	0.97568	4.47E+00
	21	tansig	logsig	tansig	0.32565	1.69E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.97611	6.08E+00
	23	purelin	purelin	tansig	0.58712	2.07E+02
	24	tansig	purelin	tansig	0.6428	1.80E+02
	25	logsig	tansig	tansig	0.97836	3.48E+00
	26	purelin	tansig	tansig	0.51866	2.11E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.65032	1.53E+02

ตารางภาคผนวกที่ 3 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของการเจริญเติบโตแบบ 40 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function Hidden Layer 1	Transfer Function Hidden Layer 2	Transfer Function Output Layer	Regression	
					All	MSE
40 node	1	logsig	logsig	logsig	0.87427	5.15E+01
	2	purelin	logsig	logsig	0.82673	5.99E+01
	3	tansig	logsig	logsig	0.82578	5.48E+01
	4	logsig	purelin	logsig	0.8309	5.27E+01
	5	purelin	purelin	logsig	0.79593	1.24E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.83891	1.63E+02
	7	logsig	tansig	logsig	0.81928	5.63E+01
	8	purelin	tansig	logsig	0.80455	1.41E+02
	9	tansig	tansig	logsig	0.8757	5.37E+01
	10	logsig	logsig	purelin	0.9777	4.83E+00
	11	purelin	logsig	purelin	0.9782	4.84E+00
	12	tansig	logsig	purelin	0.978	5.89E+00
	13	logsig	purelin	purelin	0.97798	7.89E+00
	14	purelin	purelin	purelin	0.97318	7.51E+00
	15	tansig	purelin	purelin	0.9783	5.76E+00
	16	logsig	tansig	purelin	0.97781	5.38E+00
	17	purelin	tansig	purelin	0.97806	4.64E+00
	18	tansig	tansig	purelin	0.97815	6.15E+00
	19	logsig	logsig	tansig	0.97796	5.46E+00
	20	purelin	logsig	tansig	0.97797	6.50E+00
	21	tansig	logsig	tansig	0.97781	3.96E+00
	22	logsig	purelin	tansig	0.69707	1.74E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.52669	1.97E+02
	24	tansig	purelin	tansig	0.6816	2.06E+02
	25	logsig	tansig	tansig	0.97725	6.52E+00
	26	purelin	tansig	tansig	0.97797	4.66E+00
	27	tansig	tansig	tansig	0.84787	6.98E+01

ตารางภาคผนวกที่ 4 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของการเจริญเติบโตแบบ 50 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function	Transfer Function	Transfer Function	Regression	
		Hidden Layer 1	Hidden Layer 2	Output Layer	All	MSE
50 node	1	logsig	logsig	logsig	0.82569	5.25E+01
	2	purelin	logsig	logsig	0.82598	6.04E+01
	3	tansig	logsig	logsig	0.87392	5.40E+01
	4	logsig	purelin	logsig	0.82828	5.22E+01
	5	purelin	purelin	logsig	0.78155	1.59E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.87147	5.04E+01
	7	logsig	tansig	logsig	0.87565	5.99E+01
	8	purelin	tansig	logsig	0.86429	5.81E+01
	9	tansig	tansig	logsig	0.87427	5.63E+01
	10	logsig	logsig	purelin	0.97693	5.29E+00
	11	purelin	logsig	purelin	0.97805	6.71E+00
	12	tansig	logsig	purelin	0.97474	6.27E+00
	13	logsig	purelin	purelin	0.97744	5.70E+00
	14	purelin	purelin	purelin	0.97318	7.67E+00
	15	tansig	purelin	purelin	0.97762	5.75E+00
	16	logsig	tansig	purelin	0.97709	5.35E+00
	17	purelin	tansig	purelin	0.97834	5.56E+00
	18	tansig	tansig	purelin	0.97812	4.88E+00
	19	logsig	logsig	tansig	0.97138	7.99E+00
	20	purelin	logsig	tansig	0.9779	4.70E+00
	21	tansig	logsig	tansig	0.37973	2.11E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.97736	6.74E+00
	23	purelin	purelin	tansig	0.80454	6.97E+01
	24	tansig	purelin	tansig	0.97798	5.61E+00
	25	logsig	tansig	tansig	0.28282	1.08E+02
	26	purelin	tansig	tansig	0.97815	4.44E+00
	27	tansig	tansig	tansig	0.97789	6.33E+00

ตารางภาคผนวกที่ 5 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมพื้นที่โบบและน้ำหนักชีวมวล
แบบ 10 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function	Transfer Function	Transfer Function	Regression	
		Hidden Layer 1	Hidden Layer 2	Output Layer	All	MSE
10 node	1	logsig	logsig	logsig	0.53167	1.35E+04
	2	purelin	logsig	logsig	0.53167	1.09E+04
	3	tansig	logsig	logsig	0.53167	1.18E+04
	4	logsig	purelin	logsig	0.42469	5.73E+04
	5	purelin	purelin	logsig	0.63143	1.40E+04
	6	tansig	purelin	logsig	0.37039	2.70E+04
	7	logsig	tansig	logsig	0.53167	1.01E+04
	8	purelin	tansig	logsig	0.70353	1.73E+04
	9	tansig	tansig	logsig	0.53167	1.12E+04
	10	logsig	logsig	purelin	0.90585	1.05E+03
	11	purelin	logsig	purelin	0.72473	1.85E+03
	12	tansig	logsig	purelin	0.88904	2.17E+03
	13	logsig	purelin	purelin	0.9039	4.03E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.8616	8.36E+02
	15	tansig	purelin	purelin	0.93902	8.70E+02
	16	logsig	tansig	purelin	0.91308	1.07E+03
	17	purelin	tansig	purelin	0.8892	1.88E+03
	18	tansig	tansig	purelin	0.94283	1.03E+02
	19	logsig	logsig	tansig	0.53167	6.15E+03
	20	purelin	logsig	tansig	0.85095	9.78E+02
	21	tansig	logsig	tansig	0.93836	3.70E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.51915	5.13E+04
	23	purelin	purelin	tansig	0.52407	3.75E+04
	24	tansig	purelin	tansig	0.93441	1.80E+03
	25	logsig	tansig	tansig	0.93348	1.42E+03
	26	purelin	tansig	tansig	0.38871	3.37E+04
	27	tansig	tansig	tansig	0.94078	1.75E+02

ตารางภาคผนวกที่ 6 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมพื้นที่โบบและน้ำหนักชีวมวล
แบบ 20 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function	Transfer Function	Transfer Function	Regression	
		Hidden Layer 1	Hidden Layer 2	Output Layer	All	MSE
20 node	1	logsig	logsig	logsig	0.53167	1.05E+04
	2	purelin	logsig	logsig	0.53167	9.44E+03
	3	tansig	logsig	logsig	0.53167	1.15E+04
	4	logsig	purelin	logsig	0.60056	9.89E+03
	5	purelin	purelin	logsig	0.72118	1.98E+04
	6	tansig	purelin	logsig	0.53191	1.25E+04
	7	logsig	tansig	logsig	0.53086	1.40E+04
	8	purelin	tansig	logsig	0.57557	1.72E+04
	9	tansig	tansig	logsig	0.53173	1.05E+04
	10	logsig	logsig	purelin	0.92564	1.72E+02
	11	purelin	logsig	purelin	0.93018	6.36E+02
	12	tansig	logsig	purelin	0.90672	6.33E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.93736	3.78E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.86658	2.00E+03
	15	tansig	purelin	purelin	0.90153	1.77E+03
	16	logsig	tansig	purelin	0.91863	8.63E+01
	17	purelin	tansig	purelin	0.8968	3.51E+03
	18	tansig	tansig	purelin	0.9388	3.04E+02
	19	logsig	logsig	tansig	0.93133	1.22E+03
	20	purelin	logsig	tansig	0.17921	4.34E+03
	21	tansig	logsig	tansig	0.93931	1.88E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.93766	3.59E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.75418	1.91E+03
	24	tansig	purelin	tansig	0.68826	8.76E+02
	25	logsig	tansig	tansig	0.23073	6.89E+03
	26	purelin	tansig	tansig	0.92685	7.23E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.92954	5.86E+02

ตารางภาคผนวกที่ 7 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมพื้นที่โบบและน้ำหนักชีวมวล
แบบ 30 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function	Transfer Function	Transfer Function	Regression	
		Hidden Layer 1	Hidden Layer 2	Output Layer	All	MSE
30 node	1	logsig	logsig	logsig	0.53167	1.38E+04
	2	purelin	logsig	logsig	0.53168	1.09E+04
	3	tansig	logsig	logsig	0.53167	1.24E+04
	4	logsig	purelin	logsig	0.53167	9.48E+03
	5	purelin	purelin	logsig	0.65275	2.51E+04
	6	tansig	purelin	logsig	0.53167	1.15E+04
	7	logsig	tansig	logsig	0.60742	1.38E+04
	8	purelin	tansig	logsig	0.36571	2.58E+04
	9	tansig	tansig	logsig	0.53151	1.05E+04
	10	logsig	logsig	purelin	0.92153	2.87E+03
	11	purelin	logsig	purelin	0.87106	3.89E+03
	12	tansig	logsig	purelin	0.9332	8.04E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.92685	8.02E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.86497	8.94E+02
	15	tansig	purelin	purelin	0.93723	5.55E+02
	16	logsig	tansig	purelin	0.93394	2.05E+02
	17	purelin	tansig	purelin	0.91393	1.19E+03
	18	tansig	tansig	purelin	0.92084	1.78E+03
	19	logsig	logsig	tansig	0.53167	1.21E+04
	20	purelin	logsig	tansig	0.0206	1.31E+04
	21	tansig	logsig	tansig	0.16099	6.95E+03
	22	logsig	purelin	tansig	0.93299	7.69E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.14572	2.67E+04
	24	tansig	purelin	tansig	0.6854	2.07E+04
	25	logsig	tansig	tansig	0.939	7.65E+02
	26	purelin	tansig	tansig	0.86494	1.93E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.93583	3.11E+02

ตารางภาคผนวกที่ 8 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมพื้นที่โบบและน้ำหนักชีวมวลแบบ 40 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function	Transfer Function	Transfer Function	Regression	
		Hidden Layer 1	Hidden Layer 2	Output Layer	All	MSE
40 node	1	logsig	logsig	logsig	0.53167	1.17E+04
	2	purelin	logsig	logsig	0.53167	1.12E+04
	3	tansig	logsig	logsig	0.53167	1.25E+04
	4	logsig	purelin	logsig	0.54604	1.04E+04
	5	purelin	purelin	logsig	0.39965	2.53E+04
	6	tansig	purelin	logsig	0.53167	1.25E+04
	7	logsig	tansig	logsig	0.53167	1.19E+04
	8	purelin	tansig	logsig	0.53165	1.00E+05
	9	tansig	tansig	logsig	0.65262	1.17E+04
	10	logsig	logsig	purelin	0.94015	4.50E+02
	11	purelin	logsig	purelin	0.91917	3.96E+02
	12	tansig	logsig	purelin	0.93928	7.48E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.91606	3.31E+03
	14	purelin	purelin	purelin	0.86328	1.33E+03
	15	tansig	purelin	purelin	0.93544	1.45E+03
	16	logsig	tansig	purelin	0.93447	4.90E+02
	17	purelin	tansig	purelin	0.9262	2.03E+03
	18	tansig	tansig	purelin	0.85172	2.58E+03
	19	logsig	logsig	tansig	0.93659	1.89E+02
	20	purelin	logsig	tansig	0.9356	9.57E+01
	21	tansig	logsig	tansig	0.92989	1.12E+03
	22	logsig	purelin	tansig	0.89374	1.63E+03
	23	purelin	purelin	tansig	0.84559	1.89E+03
	24	tansig	purelin	tansig	0.73061	9.61E+03
	25	logsig	tansig	tansig	0.68407	1.02E+03
	26	purelin	tansig	tansig	0.88899	4.93E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.92855	3.10E+02

ตารางภาคผนวกที่ 9 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของผลผลิตแบบ 10 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function Hidden Layer 1	Transfer Function Hidden Layer 2	Transfer Function Output Layer	Regression	
					All	MSE
10 node	1	logsig	logsig	logsig	0.96524	3.47E+02
	2	purelin	logsig	logsig	0.97278	2.23E+02
	3	tansig	logsig	logsig	0.97015	5.53E+02
	4	logsig	purelin	logsig	0.97016	2.52E+02
	5	purelin	purelin	logsig	0.97083	4.54E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.94956	1.63E+03
	7	logsig	tansig	logsig	0.96982	6.55E+02
	8	purelin	tansig	logsig	0.97019	5.87E+02
	9	tansig	tansig	logsig	0.96651	2.28E+02
	10	logsig	logsig	purelin	0.95012	8.46E+02
	11	purelin	logsig	purelin	0.97101	7.16E+02
	12	tansig	logsig	purelin	0.97569	6.58E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.9685	4.52E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.95928	3.19E+02
	15	tansig	purelin	purelin	0.971	7.05E+02
	16	logsig	tansig	purelin	0.97548	3.01E+02
	17	purelin	tansig	purelin	0.97297	6.22E+02
	18	tansig	tansig	purelin	0.97375	7.20E+02
	19	logsig	logsig	tansig	0.84973	1.89E+03
	20	purelin	logsig	tansig	0.97323	5.57E+02
	21	tansig	logsig	tansig	0.87389	2.27E+03
	22	logsig	purelin	tansig	0.97589	3.77E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.97159	3.08E+02
	24	tansig	purelin	tansig	0.97117	4.59E+02
	25	logsig	tansig	tansig	0.97615	1.49E+02
	26	purelin	tansig	tansig	0.94049	4.67E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.96934	1.90E+03

ตารางภาคผนวกที่ 10 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของผลผลิตแบบ 20 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function Hidden Layer 1	Transfer Function Hidden Layer 2	Transfer Function Output Layer	Regression	
					All	MSE
20 node	1	logsig	logsig	logsig	0.96996	6.35E+02
	2	purelin	logsig	logsig	0.97018	6.86E+02
	3	tansig	logsig	logsig	0.972	7.97E+02
	4	logsig	purelin	logsig	0.97277	9.64E+02
	5	purelin	purelin	logsig	0.95219	1.45E+03
	6	tansig	purelin	logsig	0.97072	3.95E+02
	7	logsig	tansig	logsig	0.97021	2.64E+02
	8	purelin	tansig	logsig	0.94884	1.28E+03
	9	tansig	tansig	logsig	0.97293	5.98E+02
	10	logsig	logsig	purelin	0.96695	7.97E+02
	11	purelin	logsig	purelin	0.97442	7.31E+02
	12	tansig	logsig	purelin	0.97356	7.71E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.97639	4.65E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.96979	4.37E+02
	15	tansig	purelin	purelin	0.97407	4.41E+02
	16	logsig	tansig	purelin	0.97555	1.76E+02
	17	purelin	tansig	purelin	0.9733	1.32E+03
	18	tansig	tansig	purelin	0.97294	7.66E+02
	19	logsig	logsig	tansig	0.96285	7.53E+02
	20	purelin	logsig	tansig	0.97533	5.61E+02
	21	tansig	logsig	tansig	0.97247	6.67E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.97189	5.80E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.97124	4.13E+02
	24	tansig	purelin	tansig	0.96966	2.22E+03
	25	logsig	tansig	tansig	0.9199	1.62E+03
	26	purelin	tansig	tansig	0.93184	5.29E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.95709	6.76E+02

ตารางภาคผนวกที่ 11 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของผลผลิตแบบ 30 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function Hidden Layer 1	Transfer Function Hidden Layer 2	Transfer Function Output Layer	Regression	
					All	MSE
30 node	1	logsig	logsig	logsig	0.97015	5.35E+02
	2	purelin	logsig	logsig	0.97018	5.49E+02
	3	tansig	logsig	logsig	0.97019	5.95E+02
	4	logsig	purelin	logsig	0.96887	6.25E+02
	5	purelin	purelin	logsig	0.97031	2.89E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.95191	1.60E+03
	7	logsig	tansig	logsig	0.95227	3.34E+02
	8	purelin	tansig	logsig	0.95377	5.71E+02
	9	tansig	tansig	logsig	0.97155	3.15E+02
	10	logsig	logsig	purelin	0.97612	4.01E+02
	11	purelin	logsig	purelin	0.96807	3.94E+02
	12	tansig	logsig	purelin	0.97375	5.41E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.97461	4.76E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.97134	6.40E+02
	15	tansig	purelin	purelin	0.93613	7.45E+02
	16	logsig	tansig	purelin	0.90642	9.37E+03
	17	purelin	tansig	purelin	0.97332	6.26E+02
	18	tansig	tansig	purelin	0.97081	1.45E+03
	19	logsig	logsig	tansig	0.96992	2.30E+03
	20	purelin	logsig	tansig	0.97593	6.64E+02
	21	tansig	logsig	tansig	0.95154	3.13E+02
	22	logsig	purelin	tansig	0.97407	4.20E+02
	23	purelin	purelin	tansig	0.9679	3.84E+02
	24	tansig	purelin	tansig	0.93035	1.17E+03
	25	logsig	tansig	tansig	0.95128	1.81E+03
	26	purelin	tansig	tansig	0.97042	8.43E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.96772	1.22E+03

ตารางภาคผนวกที่ 12 การฝึกสอน (training) โครงข่ายประสาทเทียมของผลผลิตแบบ 40 หน่วยย่อย

Network		Transfer Function Hidden Layer 1	Transfer Function Hidden Layer 2	Transfer Function Output Layer	Regression	
					All	MSE
40 node	1	logsig	logsig	logsig	0.97015	5.23E+02
	2	purelin	logsig	logsig	0.97018	3.74E+02
	3	tansig	logsig	logsig	0.96985	4.03E+02
	4	logsig	purelin	logsig	0.94804	8.68E+02
	5	purelin	purelin	logsig	0.97025	2.92E+02
	6	tansig	purelin	logsig	0.97127	9.30E+02
	7	logsig	tansig	logsig	0.97185	3.65E+02
	8	purelin	tansig	logsig	0.95537	5.35E+02
	9	tansig	tansig	logsig	0.97301	2.15E+02
	10	logsig	logsig	purelin	0.9762	7.55E+02
	11	purelin	logsig	purelin	0.96934	9.49E+02
	12	tansig	logsig	purelin	0.97187	6.99E+02
	13	logsig	purelin	purelin	0.97214	5.54E+02
	14	purelin	purelin	purelin	0.97192	1.01E+03
	15	tansig	purelin	purelin	0.97352	5.92E+02
	16	logsig	tansig	purelin	0.9743	6.56E+02
	17	purelin	tansig	purelin	0.9729	4.16E+02
	18	tansig	tansig	purelin	0.96949	8.41E+02
	19	logsig	logsig	tansig	0.97539	5.12E+02
	20	purelin	logsig	tansig	0.9433	1.32E+03
	21	tansig	logsig	tansig	0.96954	1.72E+03
	22	logsig	purelin	tansig	0.94921	1.11E+03
	23	purelin	purelin	tansig	0.88046	1.81E+03
	24	tansig	purelin	tansig	0.86135	2.28E+03
	25	logsig	tansig	tansig	0.967.38	4.99E+02
	26	purelin	tansig	tansig	0.97344	5.36E+02
	27	tansig	tansig	tansig	0.97626	4.23E+02

ตารางภาคผนวกที่ 13 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนกรกฎาคม 2555

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal./cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	–	228.26	33.80	25.20	29.50
2	0.2	226.00	35.60	24.40	30.00
3	–	169.50	34.30	25.30	29.80
4	30.9	226.00	34.40	23.80	29.10
5	1	226.00	32.80	24.10	28.45
6	–	207.92	32.30	23.70	28.00
7	–	345.78	34.40	24.10	29.25
8	5.5	293.80	32.20	23.90	28.05
9	0.7	271.20	33.00	24.40	28.70
10	1.4	316.40	34.60	23.90	29.25
11	26.5	221.48	34.90	23.90	29.40
12	1.2	273.46	34.20	23.70	28.95
13	15.7	266.68	32.20	24.00	28.10
14	–	339.00	33.60	23.50	28.55
15	–	361.60	34.50	23.60	29.05
16	–	397.76	34.70	24.90	29.80
17	–	273.46	34.00	25.00	29.50
18	–	226.00	31.00	24.50	27.75
19	–	259.90	32.00	23.20	27.60
20	–	293.80	34.60	23.70	29.15
21	–	320.92	35.00	25.10	30.05
22	–	248.60	33.90	26.00	29.95
23	–	203.40	33.60	26.10	29.85
24	–	169.50	30.50	24.70	27.60
25	–	146.90	30.60	24.50	27.55
26	–	244.08	35.10	23.20	29.15
27	–	273.46	34.10	23.80	28.95
28	0.4	271.20	34.10	24.50	29.30
29	8.60	271.20	33.40	22.40	27.90
30	0.9	226.00	31.40	22.20	26.80
31	–	203.40	32.30	24.50	28.40

ตารางภาคผนวกที่ 14 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนสิงหาคม 2555

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal/cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	-	307.36	33.40	25.80	29.60
2	1.00	183.06	31.50	24.20	27.85
3	0.50	203.40	32.20	24.00	28.10
4	-	205.66	32.10	25.00	28.55
5	-	275.72	35.70	25.50	30.60
6	-	259.90	33.70	25.00	29.35
7	-	207.92	32.70	25.20	28.95
8	1.40	183.06	30.50	23.10	26.80
9	1.70	176.28	29.90	23.20	26.55
10	1.50	180.80	31.40	23.20	27.30
11	-	241.82	32.20	24.90	28.55
12	-	212.44	32.90	24.50	28.70
13	-	205.66	33.10	22.90	28.00
14	-	293.80	34.20	23.40	28.80
15	-	275.72	34.70	24.30	29.50
16	1.70	221.48	33.80	24.60	29.20
17	-	250.86	33.40	25.70	29.55
18	-	248.60	35.40	23.40	29.40
19	7.50	268.94	35.90	23.50	29.70
20	-	257.64	34.40	23.90	29.15
21	-	305.10	34.90	24.80	29.85
22	25.00	239.56	36.00	23.80	29.90
23	1.90	185.32	32.90	24.00	28.45
24	22.80	284.76	32.00	23.40	27.70
25	4.20	228.26	32.80	23.00	27.90
26	-	271.20	31.50	23.70	27.60
27	-	289.28	32.60	24.50	28.55
28	1.80	203.40	31.60	24.50	28.05
29	9.90	158.20	30.40	24.00	27.20
30	-	255.38	33.20	23.70	28.45
31	-	226.00	31.00	23.40	27.20

ตารางภาคผนวกที่ 15 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนกันยายน 2555

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal./cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	-	198.88	31.70	22.90	27.30
2	10.00	180.80	31.70	23.30	27.50
3	25.40	72.32	28.30	23.50	25.90
4	41.80	271.20	31.70	23.40	27.55
5	10.20	133.34	27.30	23.60	25.45
6	5.50	81.36	27.60	23.30	25.45
7	1.30	226.00	30.40	23.70	27.05
8	0.50	250.86	31.30	23.70	27.50
9	0.50	241.82	31.70	23.70	27.70
10	-	237.30	32.80	23.30	28.05
11	25.80	250.86	33.40	23.60	28.50
12	2.80	228.26	32.90	23.90	28.40
13	0.30	282.50	32.90	23.80	28.35
14	0.30	162.72	29.40	22.30	25.85
15	5.90	160.46	29.00	23.50	26.25
16	18.80	158.20	29.20	23.50	26.35
17	4.40	250.86	30.30	23.80	27.05
18	-	248.60	30.70	24.10	27.40
19	0.20	250.86	32.30	24.60	28.45
20	3.30	226.00	32.60	24.00	28.30
21	0.10	198.88	31.00	24.20	27.60
22	0.90	201.14	33.00	24.10	28.55
23	44.10	198.88	33.30	23.30	28.30
24	10.50	334.48	33.80	22.30	28.05
25	0.30	135.60	29.60	22.60	26.10
26	13.60	198.88	32.50	23.50	28.00
27	2.00	203.40	29.90	23.90	26.90
28	15.00	205.66	29.50	24.00	26.75
29	-	223.74	30.30	23.50	26.90
30	-	318.66	30.30	22.90	26.60

ตารางภาคผนวกที่ 16 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนธันวาคม 2555

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal/cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	—	226.00	32.80	21.20	27.00
2	—	268.94	32.60	21.00	26.80
3	—	250.86	32.80	21.80	27.30
4	—	203.40	32.20	22.60	27.40
5	2.60	192.10	32.10	21.70	26.90
6	—	271.20	29.80	20.60	25.20
7	—	273.46	31.20	20.80	26.00
8	—	239.56	31.00	20.40	25.70
9	—	253.12	30.30	21.00	25.65
10	—	207.92	31.90	21.40	26.65
11	—	237.30	31.90	21.40	26.65
12	—	275.72	29.90	19.60	24.75
13	—	248.60	30.60	19.30	24.95
14	—	259.90	31.60	19.10	25.35
15	—	230.52	32.40	20.50	26.45
16	—	273.46	33.70	20.40	27.05
17	—	271.20	33.30	20.00	26.65
18	—	207.92	33.50	19.90	26.70
19	—	226.00	31.10	19.20	25.15
20	—	289.28	32.20	18.50	25.35
21	—	271.20	33.10	18.40	25.75
22	—	214.70	31.40	19.00	25.20
23	—	203.40	29.20	17.50	23.35
24	—	244.08	25.90	16.30	21.10
25	—	273.46	28.00	16.50	22.25
26	—	230.52	29.30	19.00	24.15
27	—	250.86	32.00	19.00	25.50
28	—	226.00	31.70	19.00	25.35
29	—	214.70	33.00	19.20	26.10
30	—	282.50	30.80	15.90	23.35
31	—	246.34	30.90	16.00	23.45

ตารางภาคผนวกที่ 17 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนมกราคม 2556

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal./cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	—	226.00	26.90	15.00	0.00
2	—	250.86	30.30	15.00	22.65
3	—	244.08	31.10	16.40	23.75
4	—	226.00	27.40	15.70	21.55
5	—	273.46	29.30	16.20	22.75
6	—	248.60	29.20	16.20	22.70
7	—	259.90	30.20	17.50	23.85
8	—	271.20	32.50	17.70	25.10
9	—	282.50	33.90	18.60	26.25
10	—	282.50	29.40	18.70	24.05
11	—	253.12	30.90	18.50	24.70
12	—	226.00	30.30	17.70	24.00
13	—	250.86	29.30	17.70	23.50
14	—	248.60	31.00	17.70	24.35
15	—	207.92	31.10	20.50	25.80
16	—	248.60	31.00	16.40	23.70
17	—	271.20	29.50	16.40	22.95
18	—	296.06	28.90	14.90	21.90
19	—	250.86	27.80	14.00	20.90
20	—	275.72	30.20	14.60	22.40
21	—	291.54	32.40	16.00	24.20
22	—	302.84	32.80	17.60	25.20
23	—	282.50	32.60	19.10	25.85
24	—	214.70	33.80	19.30	26.55
25	0.30	235.04	32.70	20.80	26.75
26	—	0.00	30.80	21.40	26.10
27	7.10	205.66	32.30	20.40	26.35
28	—	124.30	22.90	19.90	21.40
29	—	151.42	27.10	20.30	23.70
30	—	203.40	28.20	20.10	24.15
31	—	264.42	30.70	18.70	24.70

ตารางภาคผนวกที่ 18 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนกุมภาพันธ์ 2556

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal/cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	—	275.72	31.00	18.90	24.95
2	—	185.32	28.40	21.20	24.80
3	—	187.58	28.80	20.90	24.85
4	—	271.20	33.10	20.30	26.70
5	—	316.40	34.20	20.50	27.35
6	—	320.92	36.50	20.90	28.70
7	—	273.46	37.30	21.60	29.45
8	2.10	271.20	36.50	21.80	29.15
9	—	131.08	28.50	20.80	24.65
10	—	271.20	32.00	19.80	25.90
11	—	271.20	33.30	19.30	26.30
12	—	293.80	34.30	19.60	26.95
13	—	314.14	31.20	18.80	25.00
14	—	282.50	33.90	18.80	26.35
15	—	316.40	35.40	18.90	27.15
16	—	291.54	33.00	21.90	27.45
17	—	282.50	35.40	21.40	28.40
18	—	244.08	35.20	21.50	28.35
19	—	282.50	36.20	22.40	29.30
20	—	273.46	35.70	22.40	29.05
21	—	289.28	32.00	21.30	26.65
22	—	293.80	31.60	19.60	25.60
23	—	282.50	30.20	19.70	24.95
24	—	266.68	30.70	20.60	25.65
25	—	316.40	34.30	21.50	27.90
26	—	327.70	36.50	21.90	29.20
27	—	305.10	37.70	23.50	30.60
28	19.50	334.48	38.20	23.50	30.85

ตารางภาคผนวกที่ 19 ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีชลประทานที่ 3 เดือนมีนาคม 2556

วันที่	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความเข้มแสง (Cal/cm ² /day)	อุณหภูมิ (°C)		
			สูง	ต่ำ	เฉลี่ย
1	—	291.54	37.40	23.50	30.45
2	11.70	280.24	37.80	22.80	30.30
3	—	117.52	28.70	20.50	24.60
4	—	110.74	22.80	19.70	21.25
5	—	207.92	27.20	20.00	23.60
6	—	361.60	29.80	19.80	24.80
7	—	339.00	32.40	19.80	26.10
8	—	273.46	32.90	19.60	26.25
9	0.40	228.26	35.30	21.00	28.15
10	—	271.20	35.40	22.80	29.10
11	—	296.06	36.00	23.00	29.50
12	1.70	124.30	34.60	22.10	28.35
13	—	259.90	35.30	22.90	29.10
14	7.30	316.40	36.80	22.90	29.85
15	1.70	94.92	27.30	23.20	25.25
16	—	226.00	34.70	23.00	28.85
17	—	293.80	36.50	24.00	30.25
18	—	226.00	36.10	23.60	29.85
19	—	357.08	36.60	22.30	29.45
20	—	305.10	38.20	23.20	30.70
21	—	318.66	37.70	23.50	30.60
22	—	325.44	37.20	24.00	30.60
23	—	334.48	37.80	23.40	30.60
24	—	339.00	39.30	23.90	31.60
25	—	339.00	39.60	23.50	31.55
26	—	316.40	38.90	21.50	30.20
27	—	341.26	39.90	21.80	30.85
28	—	336.74	39.90	23.00	31.45
29	—	318.66	40.30	24.10	32.20
30	—	327.70	40.60	24.00	32.30
31	—	363.86	40.00	25.60	32.80

ประวัติผู้เขียน

นางสาวศุภภัทรพร คำบ่อ เกิดเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2528 ณ บ้านไชยสอ ตำบลไชยสอ อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ได้เข้าศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบ้านหนองคะเน และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนชุมแพศึกษา จังหวัดขอนแก่น และในปี พ.ศ. 2550 ได้สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยีการผลิตพืช) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

ในปี พ.ศ. 2553 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะที่ศึกษาอยู่ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา และทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยวิจัย จำนวน 3 รายวิชา ได้แก่ วิชาสถิติเบื้องต้น สถิติสำหรับการทดลอง และโปรแกรมสถิติเพื่อการวิจัย ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัย ได้เข้าเข้าร่วมประชุมและเสนอผลงานทางวิชาการ ภาคบรรยาย เรื่องแบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการประชุมวิชาการ การเกษตรครั้งที่ 15 ระหว่างวันที่ 27-28 มกราคม 2557 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น