

การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม Selection of the Appropriate Agricultural Yield Forecasting Models

นรวัฒน์ เหลืองทอง และนันทชัย กานตานันทะ*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

Norawat Luangtong and Nantachai Kantanantha*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University,

Ladyao, Chatuchak, Bangkok 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรด ในจังหวัดที่มีผลผลิตสูงสุด 3 อันดับแรกของประเทศ และเลือกวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ของวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ 3 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ความแม่นยำของการพยากรณ์จะถูกเปรียบเทียบโดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย จากนั้นนำผลการพยากรณ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ของศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด จากผลการศึกษาพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดในพืชทุกชนิด โดยข้าวนาปีมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.07 ถึง 8.56 เปอร์เซ็นต์ ข้าวนาปรังมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.51 ถึง 9.30 เปอร์เซ็นต์ มันสำปะหลังมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.46 ถึง 9.57 เปอร์เซ็นต์ และสับปะรดมีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.91 ถึง 8.67 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การพยากรณ์; ผลผลิตการเกษตร; วิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ

Abstract

This research's objective is to study the forecasting methods for the agricultural yields of four crops including in-season rice, off-season rice, cassava and pineapple in the provinces with the three highest yields of the country. Then the appropriate forecasting methods are selected by

*ผู้รับผิดชอบบทความ : nantachai.k@ku.ac.th

comparing the forecasting results from three causal methods including linear regression analysis, genetic algorithm-linear regression analysis hybrid system and artificial neural network. The forecast accuracies are compared by mean absolute percentage error (MAPE). After that the forecasting results are compared with the forecasts from the Center of Agricultural Information, Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives, in order to select the most accurate forecasting models. The results of the study show that the artificial neural network method provides the lowest MAPE in all crops such that the MAPEs of in-season rice ranged from 4.07 to 8.56 percent, the MAPEs of off-season rice ranged from 6.51 to 9.30 percent, the MAPEs of cassava ranged from 4.46 to 9.57 percent and the MAPEs of pineapple ranged from 6.91 to 8.67 percent.

Keywords: forecasting; agricultural yield; causal method

1. บทนำ

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม เนื่องจากเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของคนไทยมาช้านาน แม้ว่าในปัจจุบัน ประเทศไทยจะหันไปมุ่งเน้นทางอุตสาหกรรมมากขึ้น แต่ภาคการเกษตรก็ยังมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศ จะเห็นได้จาก ในปี พ.ศ. 2554 ประชากรกว่า 24.1 ล้านคน เป็นประชากรภาคเกษตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 41.1 ของประชากรทั้งประเทศ [1] และประเทศไทยยังมีพื้นที่ถือครองทางการเกษตรมากถึง 151.9 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.37 ของพื้นที่ทั้งประเทศ [2] นอกจากนี้มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ในปี พ.ศ. 2553 จากภาคการเกษตรมีมูลค่าสูงถึง 1,255,189 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 12.42 ของมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศโดยรวม [3] จากที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าภาคการเกษตรมีความสำคัญต่อประเทศไทยมากเพียงใด การที่จะพัฒนาภาคการเกษตรของประเทศไทยให้เจริญก้าวหน้า สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการมีข้อมูลที่ถูกต้องและทันต่อเวลาเพื่อช่วยในการบริหารจัดการต่าง ๆ เป็นไปในทิศทางที่ถูกต้องเหมาะสม และทันต่อสถานการณ์ ข้อมูลที่สำคัญอย่าง

หนึ่งสำหรับเกษตรกรและผู้เกี่ยวข้องคือปริมาณผลผลิตการเกษตร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้ภาครัฐสามารถวางนโยบายที่เหมาะสม ช่วยเกษตรกรในการวางแผนการเพาะปลูก ส่วนผู้ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร เช่น ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้ผลิตสินค้าสินค้าเกษตร ก็สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการบริหารจัดการได้ การพยากรณ์เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้ข้อมูลมาใช้ตัดสินใจสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งถ้าค่าพยากรณ์มีความแม่นยำต่ำจะส่งผลให้ภาครัฐวางนโยบายการเพาะปลูกในปีนั้น ๆ ผิดพลาด อาจก่อให้เกิดภาวะผลผลิตล้นตลาดหรือขาดตลาดได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคายาผลผลิตและการส่งออกผลผลิตในตลาดโลก หน่วยงานราชการที่ทำหน้าที่ในการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรคือศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ซึ่งจากการสอบถามพบว่าปัจจุบันใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยในการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร ในปัจจุบันเทคนิคการพยากรณ์ได้มีการพัฒนาให้มีความแม่นยำมากขึ้น สามารถรองรับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนได้มากขึ้น เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) ซึ่งเป็นระบบที่มีความ

สามารถในการเรียนรู้และคิดเหมือนกับมนุษย์ และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรม พลังงาน การแพทย์ การผลิต รวมถึงด้านการเกษตรด้วย นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลก็มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าในอดีตอย่างมากจึงสามารถใช้ประมวลผลปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรและใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัย Kandianan และคณะ ใช้การวิเคราะห์การถดถอยในการพยากรณ์ผลผลิตของขมิ้น ตัวแปรอิสระที่ใช้คือปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น และอัตราการระเหย [4] Freckleton และคณะ พยากรณ์ผลผลิตของหัวบีทจากอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และระยะเวลาในการปลูก [5] และอีกหลายงานวิจัยมีการใช้ตัวแบบการถดถอยในการพยากรณ์ผลผลิตข้าวสาลี โดยศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตข้าวสาลี เช่น การศึกษาผลกระทบของภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าตัวแบบที่ใช้ให้ผลการพยากรณ์ที่ดี [6-9]

ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (genetic algorithm, GA) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในด้านการพยากรณ์ นักวิจัยนิยมนำ GA ไปรวมกับวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ เพื่อหาโครงสร้างหรือค่าพารามิเตอร์ของวิธีการพยากรณ์นั้น ๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ดีขึ้น [10] ในด้านการเกษตรมีการใช้ GA ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในตัวแบบการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร และเลือกตัวแบบที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย [11] และมีการใช้การผสม SVR (support vector regression) กับ GA สำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ [12]

การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network, ANN) ในการพยากรณ์ผลผลิตเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากสามารถรองรับความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ Co และ Boosarawongse ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์การส่งออกข้าวจากประเทศไทยของวิธี ANN วิธีโฮลท์และวินเทอร์ และวิธีตัวแบบ ARIMA ผลที่ได้พบว่าวิธีโฮลท์และวินเทอร์ และตัวแบบ ARIMA ให้ค่า GOF (goodness of fit) ที่น่าพอใจ แต่ด้อยประสิทธิภาพในการคาดการณ์ค่าที่ยังไม่เกิดขึ้น ในขณะที่วิธี ANN ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าซึ่งสามารถติดตามแนวโน้มและฤดูกาลที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี [13] การพยากรณ์ผลผลิตมันฝรั่ง [14] และข้าวโพด [15] โดยใช้วิธี ANN และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย ผลที่ได้พบว่าวิธี ANN ให้ผลที่แม่นยำกว่าการวิเคราะห์การถดถอย นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยจะนิยมนำมาพยากรณ์ผลผลิตข้าวสาลีดั้งที่กล่าวมาแล้ว วิธี ANN ก็มีการนิยมนำมาใช้เช่นกัน เช่น Alvarez พยากรณ์ผลผลิตข้าวสาลีด้วยวิธี ANN [16] และ Zou และคณะ เปรียบเทียบตัวแบบ ARIMA กับวิธี ANN และตัวแบบผสมเชิงเส้น ในการพยากรณ์ราคาข้าวสาลีในตลาดจีน ผลปรากฏว่าในภาพรวมวิธี ANN เหมาะสมที่สุดที่จะใช้เป็นตัวแบบในการพยากรณ์ราคาข้าวสาลี [17] นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้วิธี ANN ในการพยากรณ์การเจริญเติบโตของถั่วเขียว [18] การพยากรณ์ราคามะเขือเทศ [19] การพยากรณ์ราคาน้ำมันปาล์ม [20] และการพยากรณ์ราคายางพารา [21-22]

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสมกับพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มัน

สำปะหลัง และสับปะรด และนำผลการพยากรณ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ของศูนย์สารสนเทศการเกษตร เพื่อคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด โดยใช้วิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ 3 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากศูนย์สารสนเทศการเกษตร โดยใช้ข้อมูลผลผลิตรายปีของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรด ของจังหวัดที่มีผลผลิตสูงสุด 3 อันดับแรกของประเทศ โดยข้าวนาปีใช้ข้อมูลของจังหวัด นครสวรรค์ อุบลราชธานี และนครราชสีมา ข้าวนาปรังใช้ข้อมูลผลผลิตของจังหวัดสุพรรณบุรี พิจิตร และนครสวรรค์ มันสำปะหลังใช้ข้อมูลผลผลิตของจังหวัด นครราชสีมา ชลบุรี และชัยภูมิ สับปะรดใช้ข้อมูลผลผลิตของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระยอง และชลบุรี ส่วนข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณผลผลิต ได้แก่ จำนวนพื้นที่เพาะปลูก ราคาขายพืชของพืชที่ศึกษา ราคาขายของพืชแข่งขัน ราคาน้ำมันดีเซล และปริมาณน้ำฝน โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึง 2556 ใน การวิจัย

3.2 วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (linear regression analysis, LRA) เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคทางสถิติในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีการกำหนดค่าที่แน่นอนไว้ล่วงหน้า และตัวแปรตามซึ่งเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรอิสระ และมีความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในสมการการถดถอยเป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งมีรูปแบบสมการ

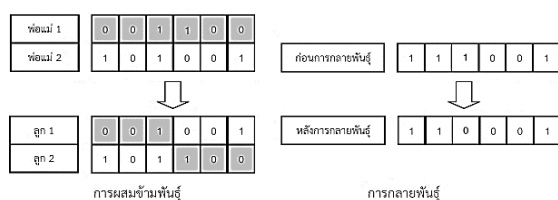
คือ $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$ โดยที่ y คือ ตัวแปรตาม $x_1, x_2, \dots, x_n$ คือ ตัวแปรอิสระ $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ คือ สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย และ ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าจึงต้องทำการประมาณค่า ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่าคือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares method)

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลที่เป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรตามตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึง 2550 ในการสร้างตัวแบบโดยใช้ตัวแปรอิสระชุดเดียวกับที่ศูนย์สารสนเทศการเกษตรใช้ในการพยากรณ์ ตัวแปรอิสระ ได้แก่ จำนวนพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณน้ำฝน ราคาน้ำมันดีเซล ราคาขายของพืชที่ศึกษา นอกจากนี้ในตัวแบบของมันสำปะหลังมีตัวแปรอิสระเพิ่มเติม ได้แก่ ราคาขายอ้อย และข้าวโพด ซึ่งเป็นพืชแข่งขันของมันสำปะหลัง ตัวแปรตามคือปริมาณผลผลิตของพืชแต่ละชนิด โดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได (stepwise regression) ในการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม แล้วนำสมการถดถอยที่ได้ไปคำนวณค่าพยากรณ์ของปี พ.ศ. 2551 จากนั้นนำค่าจริงที่ได้จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2551 ใช้เป็นข้อมูลในการสร้างตัวแบบร่วมกับข้อมูลเดิม (ปี พ.ศ. 2538 ถึง 2550) เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ใหม่และคำนวณค่าพยากรณ์ปีถัดไป ทำซ้ำเช่นนี้จนถึงปี พ.ศ. 2556

3.3 วิธีระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

ระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (hybrid system of genetic algorithm and linear regression analysis, GA-LRA) เป็นการนำหลักการของ GA มาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่สุ่มมาได้ (search space) ที่เรียกว่า โครโมโซม (chromosome)

และคำนวณค่าความเหมาะสม (fitness value) ของแต่ละโครโมโซมจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) โดยกลุ่มคำตอบเหล่านี้จะต้องผ่านตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (genetic operator) เพื่อให้เกิดการปรับเปลี่ยนคำตอบซึ่งมีอยู่ 3 วิธี ได้แก่ การคัดเลือก (selection) การผสมข้ามพันธุ์ (crossover) และการกลายพันธุ์ (mutation) ดังรูปที่ 1 ในด้านการพยากรณ์มักเป็นการนำ GA ไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย โดยกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของค่าสัมประสิทธิ์แต่ละตัว และใช้ GA หาค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดที่จะทำให้ความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยที่สุด



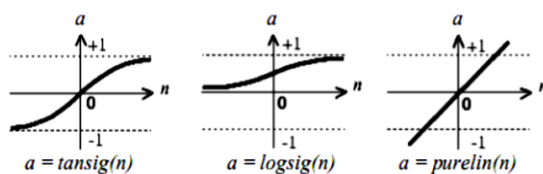
รูปที่ 1 ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม [10]

ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์จะใช้ตัวแบบเดียวกับที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การถดถอย และนำ GA มาปรับปรุงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยใช้โปรแกรม Evolver เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute percentage error) ต่ำที่สุด โดยกำหนดค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ จำนวนรอบทำซ้ำ (replication) เท่ากับ 10,000 รอบ ขนาดประชากร (population size) เท่ากับ 100 อัตราการผสมข้ามพันธุ์ (crossover rate) เท่ากับ 0.5 และ อัตราการกลายพันธุ์ (mutation rate) เท่ากับ 0.1 หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์ใหม่แล้วจะสามารถคำนวณค่าพยากรณ์ของปี พ.ศ. 2551 ได้ จากนั้นนำค่าจริงที่ได้จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2551 มาปรับค่าพยากรณ์เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์

การถดถอยเชิงเส้น เพื่อคำนวณค่าพยากรณ์ปีถัดไป ทำซ้ำเช่นนี้จนถึงปี พ.ศ. 2556

3.4 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

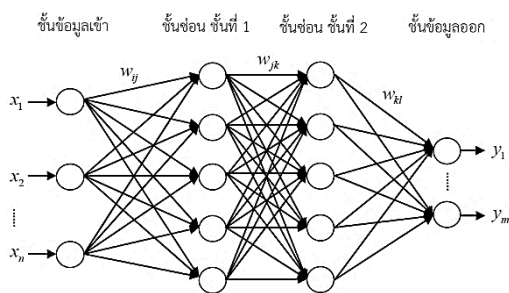
โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network, ANN) เป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลข้อมูลแบบเชื่อมต่อ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ โดยจะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบและการสร้างความรู้ใหม่เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ โดยทั่วไปการทำงานของ ANN ถูกจำลองโดยเมื่อมีข้อมูลนำเข้าส่งเข้ามาก็จะคูณกับค่าน้ำหนัก ซึ่งแทนความสำคัญที่ให้กับข้อมูลนำเข้าแต่ละตัว ผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักที่เกิดจากผลคูณของข้อมูลนำเข้าและค่าน้ำหนักจะถูกนำไปวิเคราะห์ตีความโดยฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในตัวเซลล์ประสาท เกิดเป็นผลลัพธ์ โดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่สำคัญ ได้แก่ tan-sigmoid (tansig) log-sigmoid (logsig) และ pure-linear (purelin) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะกราฟของฟังก์ชันถ่ายโอน [23]

โครงสร้างที่นิยมใช้ในการพยากรณ์นั้นคือโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multi-layer perceptron) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบป้อนไปข้างหน้า โครงสร้างนี้จะประกอบไปด้วย 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลเข้า (input layer) ชั้นซ่อน (hidden layer) และชั้นข้อมูลออก (output layer) ซึ่งแต่ละชั้นจะมีโหนดหรือเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์หรือมากกว่านั้น และข้อมูลจะ

ถูกส่งจากชั้นข้อมูลเข้าไปถึงชั้นข้อมูลออกโดยไม่มีการส่งย้อนกลับ แม้โหนดในชั้นเดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 และใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบมีการสอนชนิดแพร่กลับ (back propagation) ซึ่งเป็นวิธีที่ปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสมโดยพิจารณาจากผลต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์ที่ต้องการ



รูปที่ 3 โครงข่ายประสาทเทียมชนิด 2 ชั้นซ่อน [10]

ในการสร้างตัวแบบการพยากรณ์จะใช้ข้อมูลป้อนเข้าเช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึง 2550 เป็นชุดข้อมูลในการเรียนรู้ (training set) เพื่อให้ตัวแบบได้เรียนรู้จากข้อมูลจริง และใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง 2556 เป็นชุดข้อมูลในการทดสอบ (test set) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแต่ละตัวแบบ งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างตัวแบบ โดยการใช้การเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับ จำนวน 2 ชั้นซ่อน โดยกำหนดชั้นซ่อนละ 10 โหนด ตามค่าเริ่มต้นของ Neural Network Toolbox ในโปรแกรม MATLAB และกำหนดฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นซ่อนทั้งสองชั้นและชั้นข้อมูลออก โดยดูจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรข้อมูลเข้าและตัวแปรข้อมูลออก ซึ่งถ้าไม่ทราบฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ สามารถทำการทดลองโดยการใส่ฟังก์ชันถ่ายโอนที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วศึกษาผลลัพธ์ที่ได้เพื่อทำการหาฟังก์ชันถ่ายโอนที่ให้ค่าคลาดเคลื่อน

ของการพยากรณ์ต่ำที่สุด ซึ่งแต่ละชั้นข้อมูลสามารถกำหนดฟังก์ชันได้ 3 รูปแบบ คือ tansig logsig และ purelin ทำให้มีรูปแบบโครงข่ายทั้งหมด 27 รูปแบบ หลังจากได้ค่าพยากรณ์ของปี พ.ศ. 2551 และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว จากนั้นนำค่าจริงที่ได้จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2551 มาปรับค่าพยากรณ์ใหม่ ทำซ้ำเช่นนี้จนถึงปี พ.ศ. 2556 จากนั้นเลือกตัวแบบโครงข่ายที่มีค่า MAPE ต่ำที่สุด มาทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการทดลองสร้างโครงข่าย 15 และ 20 โหนด เพื่อเปรียบเทียบว่าสามารถให้ค่าความแม่นยำมากกว่าโครงข่าย 10 โหนดหรือไม่

3.5 การตรวจสอบความแม่นยำ

การตรวจสอบความแม่นยำเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างค่าพยากรณ์และค่าจริงที่ได้จากการสำรวจ เพื่อพิจารณาว่าค่าพยากรณ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากน้อยเพียงใด โดยพิจารณาจากค่าสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำคือ ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (mean absolute percentage error, MAPE) เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนของค่าพยากรณ์เทียบกับค่าจริงที่แสดงในรูปร้อยละ ทำให้เข้าใจได้ง่ายว่าค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด โดยสูตรของค่า MAPE คือ $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - F_i|}{A_i} \times 100$ โดยที่ A_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการสำรวจ F_i คือ ค่าพยากรณ์ และ n คือ จำนวนข้อมูล โดยคำนวณความแม่นยำของการพยากรณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง 2556 ดังแสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 1

3.6 การเปรียบเทียบค่าพยากรณ์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมและมีความแม่นยำมากที่สุดในผลผลิตการเกษตรแต่ละชนิด ผู้วิจัยจึงนำผลการพยากรณ์ที่ได้จากทั้ง 3 วิธีของงานวิจัยนี้ไป

เปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ของศูนย์สารสนเทศการเกษตรซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยในการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร โดยทางศูนย์สารสนเทศการเกษตรจะพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรทุก ๆ ไตรมาส คือ เดือนมีนาคม เดือนมิถุนายน เดือนกันยายน

และเดือนธันวาคม ซึ่งหลังจากพยากรณ์ครั้งแรกในเดือนมีนาคมแล้ว การพยากรณ์ครั้งถัดไปจะเป็นการนำผลการสำรวจเบื้องต้นมาปรับค่าพยากรณ์เพื่อให้มีความแม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 1 การพยากรณ์ข้าวนาปี จังหวัดนครสวรรค์ โดยวิธี ANN-10 โหนด

ปี (พ.ศ.)	ค่าจริง (ตัน)	ค่าพยากรณ์ (ตัน)	คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
2551	1,273,679	1,191,746	6.43
2552	1,221,459	1,270,149	3.99
2553	1,116,980	1,160,355	3.88
2554	894,002	838,901	6.16
2555	1,405,702	1,399,647	0.43
2556	1,388,572	1,339,456	3.54
MAPE			4.07

ในการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับทางศูนย์สารสนเทศการเกษตร ผู้วิจัยจะเลือกใช้ข้อมูลการพยากรณ์ครั้งแรกเป็นค่าเปรียบเทียบ เช่น ข้าวนาปี จะเพาะปลูกช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมและเก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ ดังนั้นการ

พยากรณ์ครั้งแรกจะเริ่มที่เดือนมีนาคม ซึ่งสามารถตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ของศูนย์สารสนเทศการเกษตร โดยคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2556 ดังแสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การพยากรณ์ข้าวนาปี จังหวัดนครสวรรค์ ของศูนย์สารสนเทศการเกษตร

ปี (พ.ศ.)	ค่าจริง (ตัน)	ค่าพยากรณ์ (ตัน)	คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
2551	1,273,679	1,221,321	4.11
2552	1,221,459	1,306,757	6.98
2553	1,116,980	1,206,029	7.97
2554	894,002	1,213,808	35.77
2555	1,405,702	1,195,040	14.99
2556	1,388,572	1,226,934	11.64
MAPE			13.58

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการพยากรณ์ผลผลิตข้าวนาปี

จากการเปรียบเทียบค่า MAPE ของการพยากรณ์ข้าวนาปี ในตารางที่ 3 พบว่าวิธี ANN-10 โหนด ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดในทุกจังหวัด โดยจังหวัดนครสวรรค์มีฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อนที่ 1

ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นข้อมูลออก ได้แก่ purelin tansig และ purelin ตามลำดับ จังหวัดอุบลราชธานีมีฟังก์ชันถ่ายโอน ได้แก่ logsig purelin และ purelin ตามลำดับ และจังหวัดนครราชสีมาฟังก์ชันถ่ายโอน ได้แก่ logsig tansig และ purelin ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการพยากรณ์ผลผลิตข้าวนาปี

ตัวแบบพยากรณ์	MAPE (%)		
	นครสวรรค์	อุบลราชธานี	นครราชสีมา
LRA	20.26	7.73	11.36
GA-LRA	37.25	6.62	11.89
ANN-10	4.07	6.27	8.56
ANN-15	19.96	10.25	33.54
ANN-20	12.35	9.84	11.11
ศูนย์ฯ	13.58	12.54	13.13

4.2 ผลการพยากรณ์ผลผลิตข้าวนาปรัง

จากการเปรียบเทียบค่า MAPE ของการพยากรณ์ข้าวนาปรัง ในตารางที่ 4 พบว่า วิธี ANN-10 โหนด ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดในทุกจังหวัด โดยจังหวัดสุพรรณบุรีและจังหวัดนครสวรรค์มีรูปแบบ

ฟังก์ชันถ่ายโอนเหมือนกันทั้งสามชั้นคือ purelin ส่วนจังหวัดพิจิตรมีฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นข้อมูลออก ได้แก่ purelin tansig และ purelin ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการพยากรณ์ผลผลิตข้าวนาปรัง

ตัวแบบพยากรณ์	MAPE (%)		
	สุพรรณบุรี	พิจิตร	นครสวรรค์
LRA	19.04	13.28	11.82
GA-LRA	19.60	12.89	10.01
ANN-10	6.51	7.71	9.30
ANN-15	6.86	13.39	20.18
ANN-20	8.19	8.62	24.29
ศูนย์ฯ	15.27	14.30	13.33

4.3 ผลการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง

จากการเปรียบเทียบค่า MAPE ของการพยากรณ์มันสำปะหลัง ในตารางที่ 5 พบว่าวิธี ANN-10 โหนด ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดในทุกจังหวัด โดยจังหวัดนครราชสีมาและจังหวัดชลบุรีให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำกว่าวิธีอื่นมาก ส่วนจังหวัดชัยภูมิมีวิธี LRA และ GA-LRA ที่ให้ค่าคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน ซึ่งวิธี

ANN ของจังหวัดนครราชสีมา มีฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้นซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นข้อมูลออก ได้แก่ purelin tansig และ tansig ตามลำดับ จังหวัดชลบุรี มีฟังก์ชันถ่ายโอน ได้แก่ purelin tansig และ purelin ตามลำดับ และจังหวัดชัยภูมิมีฟังก์ชันถ่ายโอน ได้แก่ logsig logsig และ purelin ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลัง

ตัวแบบพยากรณ์	MAPE (%)		
	นครราชสีมา	ชลบุรี	ชัยภูมิ
LRA	17.93	8.19	8.15
GA-LRA	19.56	10.50	8.07
ANN-10	9.57	4.46	7.76
ANN-15	11.07	14.48	16.94
ANN-20	11.68	10.07	16.29
ศูนย์ฯ	15.10	12.02	13.50

4.4 ผลการพยากรณ์ผลผลิตสับปะรด

จากการเปรียบเทียบค่า MAPE ของการพยากรณ์มันสำปะหลัง ในตารางที่ 6 พบว่าวิธี ANN-10 โหนด ให้ค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดในทุกจังหวัด โดยจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีฟังก์ชันถ่ายโอนของชั้น

ซ่อนที่ 1 ชั้นซ่อนที่ 2 และชั้นข้อมูลออก ได้แก่ tansig logsig และ tansig ตามลำดับ จังหวัดระยองมีฟังก์ชันถ่ายโอน ได้แก่ purelin logsig และ purelin ตามลำดับ และจังหวัดชลบุรีมีฟังก์ชันถ่ายโอน ได้แก่ logsig purelin และ tansig ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการพยากรณ์ผลผลิตสับปะรด

ตัวแบบพยากรณ์	MAPE (%)		
	ประจวบคีรีขันธ์	ระยอง	ชลบุรี
LRA	16.10	12.92	8.37
GA-LRA	17.08	13.63	8.39
ANN-10	8.67	8.22	6.91
ANN-15	16.65	9.54	16.38
ANN-20	14.70	15.06	8.96
ศูนย์ฯ	15.22	8.45	10.58

5. วิจารณ์

5.1 การพยากรณ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้โดยง่าย และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ได้หลากหลาย ได้แก่ MS-Excel SPSS และ Minitab เป็นต้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและให้ผลลัพธ์ในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระที่เลือกเข้ามาในสมการ

5.2 วิธีระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นวิธีที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ผู้วิเคราะห์ต้องเข้าใจหลักการของวิธีทางพันธุกรรม และสามารถใช้โปรแกรมในการหาค่าที่เหมาะสมได้ ได้แก่ Evolver และ Solver เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ นำ GA มาหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น โดยพบทั้งกรณีแม่นยำมากกว่าและแม่นยำน้อยกว่า แต่อยู่ในระดับที่ไม่แตกต่างกันมาก

5.3 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม เป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ที่มีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องเข้าใจหลักการของโครงข่ายประสาทเทียมและการใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ เช่น MATLAB ทั้งจากกล่องเครื่องมือสำเร็จรูป หรือการเขียนคำสั่งขึ้นมาเอง ซึ่งทำให้สามารถพัฒนาการสร้างโครงข่ายได้หลากหลายรูปแบบ โดยผลจากการวิจัยนี้พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ความแม่นยำสูงที่สุดในพืชทุกชนิด

6. สรุป

การพยากรณ์เป็นการคาดการณ์ถึงสิ่งหนึ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งค่าพยากรณ์สามารถนำมาใช้ในการวางแผนและการตัดสินใจในสถานการณ์ที่ยังไม่เกิดขึ้นได้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการพยากรณ์

ผลผลิตการเกษตร และเลือกวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด เพื่อคัดเลือกตัวแบบการพยากรณ์ที่แม่นยำที่สุด โดยความแม่นยำของการพยากรณ์จะถูกเปรียบเทียบโดยใช้ค่า MAPE จากการศึกษางานวิจัยนี้พบว่า การพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ประสิทธิภาพสูงสุดในด้านความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยค่าความแม่นยำ MAPE อยู่ในช่วง 4.07 ถึง 8.56 เปอร์เซ็นต์ ค่าความแปรปรวน MAPE อยู่ในช่วง 6.51 ถึง 9.30 เปอร์เซ็นต์ มันวัดค่า MAPE อยู่ในช่วง 4.46 ถึง 9.57 เปอร์เซ็นต์ และค่า MAPE อยู่ในช่วง 6.91 ถึง 8.67 เปอร์เซ็นต์

งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืชชนิดอื่น ๆ และองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อภาครัฐ เกษตรกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการนำค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นไปใช้ในการบริหารจัดการการวางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การพยากรณ์ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยในขั้นตอนการเลือกตัวแปรอิสระ ผู้วิจัยเลือกใช้เฉพาะวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดเท่านั้น ซึ่งมีอีกหลายวิธีที่น่าสนใจ ได้แก่ วิธี Best-Subset เป็นต้น

7.2 การพยากรณ์ด้วยวิธี GA-LRA นอกจากการนำ GA มาประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยแล้ว อาจนำไปใช้เพื่อคัดเลือกตัวแปรอิสระแทนวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดได้

7.3 การพยากรณ์ด้วยวิธี ANN ผู้วิจัยกำหนดตัวแบบด้วยโครงข่ายชนิด 2 ชั้นซ่อน ชั้นซ่อนละ 10 15 และ 20 โหนด ซึ่งอาจไม่ใช่ว่าจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนโหนดที่ทำให้ค่าพยากรณ์มีความแม่นยำสูงสุด ฉะนั้นถ้าสามารถกำหนดจำนวนชั้นซ่อนและจำนวน

โหนดที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละชั้นได้ อาจทำให้ค่าพยากรณ์มีค่าคลาดเคลื่อนต่ำลงได้อีก ทั้งนี้ข้อเสนอแนะดังกล่าวต้องอาศัยความชำนาญในการเขียนโปรแกรมของผู้วิเคราะห์

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. ศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สัญญาเลขที่ 78/2555 รหัสโครงการ SCH-NR2012-115

9. รายการอ้างอิง

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ทิศทางการทำงานของแรงงานไทย, แหล่งที่มา : http://service.nso.go.th/nso/nsopublish/citizen/news/news_lfsdirect.jsp, 20 มกราคม 2558.
- [2] ญัตติพงษ์ ฉายแสงประทีป, 2557, รูปแบบและกระบวนการดำเนินธุรกิจการท่องเที่ยวเชิงเกษตร, ว.วิชาการ Veridian E-Journal 7(3): 310-321.
- [3] สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2553, รายงานสถานการณ์วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ปี 2553 และแนวโน้ม ปี 2554, กรุงเทพฯ, 66 น.
- [4] Kandianan, K., Chandaragiri, K.K., Sankaran, N., Balasubramanian, T.N. and Kailasam, C., 2002, Crop-weather model for turmeric yield forecasting for Coimbatore district, Tamil Nadu, India, Agric. For. Meteorol. 112: 133-137.
- [5] Freckleton, R.P., Watkinson, A.R., Webb, D.J. and Thomas, T.H., 1999, Yield of sugar beet in relation to weather and nutrients, Agric. For. Meteorol. 93: 39-51.
- [6] Qian, B., Jong, R.D., Warren, R., Chipanshi, A. and Hill, H., 2009, Statistical spring wheat yield forecasting for the Canadian Prairie Provinces, Agric. For. Meteorol. 149: 1022-1031.
- [7] Lee, B.H., Kenkel, P. and Broren, B.W., 2013, Pre-harvest forecasting of county wheat yield and wheat quality using weather information, Agric. For. Meteorol. 168: 26-35.
- [8] Griffiths, W.E., Newton, L.S. and O'Donnell, C.J., 2010, Predictive densities for models with stochastic regressors and inequality constraints: Forecasting local-area wheat yield, Int. J. Forecast. 26: 397-412.
- [9] Balaghi, R., Tychon, B., Erens, H. and Jlibene, M., 2008, Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco, Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 10: 438-452.
- [10] นันทชัย กานตานันทะ, 2555, การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ, ว.วิศวกรรมศาสตร์ 4(1): 35-48.
- [11] Ou, S.L., 2012, Forecasting agricultural output with an improved grey forecasting model based on the genetic algorithm, Comput. Electron. Agric. 85: 33-39.
- [12] Liu, S., Tai, H., Ding, Q., Li, D., Xu, L. and Wei, Y., 2013, A hybrid approach of

- support vector regression with genetic algorithm optimization for aquaculture water quality prediction, *Math. Comput. Modell.* 58: 458-465.
- [13] Co, H.C. and Boosarawongse, R., 2007, Forecasting Thailand's rice export: Statistical techniques vs. artificial neural networks, *Comput. Ind. Eng.* 53: 610-627.
- [14] Fortin, J., Anctilb, F., Parent, L.E. and Bolinsier, M.A., 2010, A neural network experiment on the site-specific simulation of potato tuber growth in Eastern Canada, *Comput. Electron. Agric.* 73: 126-132.
- [15] Uno, Y., Prasher, S.O., Lacroix R., Goel, P.K., Karimi, Y., Viauc, A. and Patel, R.M., 2005, Artificial neural networks to predict corn yield from Compact Airborne Spectrographic Imager data, *Comput. Electron. Agric.* 47: 149-167.
- [16] Alvarez, R., 2009, Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach, *Eur. J. Agron.* 30: 70-77.
- [17] Zou, H.F., Xia, G.P., Yang, F.T. and Wang, H.Y., 2007, An investigation and comparison of artificial neural network and time series models for Chinese food grain price forecasting, *Neurocomputing* 70: 2913-2923.
- [18] Higgins, A., Prestwidge, D., Stirling, D. and Yost, J., 2010, Forecasting maturity of green peas: An application of neural networks, *Comput. Electron. Agric.* 70: 151-156.
- [19] Li, G., Xu, S. and Li, Z., 2010, Short-term price forecasting for agro-products using artificial neural network, *Agric. Sci. Procedia* 1: 278-287.
- [20] เพ็ญณา สุนทรดิกุล และ ญัฐวี อุตกฤษฎ์, 2554, ระบบการพยากรณ์ราคาผลปาล์มน้ำมันทั้งทะลายโดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม, การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ 8: 231-237.
- [21] จันทรา ช่วยนคร และ มณฑิรา รัตนศิริวงศ์วุฒิ, 2552, ระบบการพยากรณ์ราคายางพาราโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมกรณีศึกษาสถาบันวิจัยยาง, การประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ 5: 845-850.
- [22] ศิดา จาริก, 2555, การพยากรณ์ราคายางพาราโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม, ปัญหาพิเศษปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 67 น.
- [23] ศุภักษร คำบ่อ, 2556, แบบจำลองการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 68 น.