

การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาหมูบดรายวัน

A Comparison of Forecasting Models

for Price of Daily Ground Pork

วารางคณา เรียนสุทธิ์*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

Warangkhan Riansut*

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Phatthalung 93210

Received 28 July 2022; Received in revised 16 November 2022; Accepted 22 May 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ โดยใช้อุณหภูมิเวลาราคาหมูบดรายวันจากเว็บไซต์เกษตรโพธิ์ ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 จำนวน 365 วัน ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 จำนวน 355 วัน ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 25 มิถุนายน 2565 สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 จำนวน 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายนถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และเกณฑ์รากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์เป็น

$$\hat{Y}_{t+m} = 173.09568 + 0.90609 \sum_{i=1}^m (0.57306)^i$$

เมื่อ $m = 1$ แทนวันที่ 26 มิถุนายน 2565 สำหรับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีค่า MAPE และ RMSE สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์แสดงตามลำดับดังนี้

$$\hat{Y}_t = 0.62208Y_{t-1} + 0.37792Y_{t-2} + 0.13418(Y_{t-5} - Y_{t-6}) + 0.15094(Y_{t-11} - Y_{t-12}) + 0.11168(Y_{t-14} - Y_{t-15})$$

เมื่อ Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t - j$

$$\hat{Y}_{t+m} = 173.5434 + 0.17413(m)$$

เมื่อ $m = 1$ แทนวันที่ 26 มิถุนายน 2565 อย่างไรก็ตาม ค่าพยากรณ์โดยเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นผู้ที่ต้องการนำตัวแบบพยากรณ์ไปใช้งานสามารถใช้ตัวแบบใดก็ได้ในการพยากรณ์ราคาหมูบตรายวันในอนาคต

คำสำคัญ: เนื้อหมู; ตัวแบบพยากรณ์; บ็อกซ์-เจนกินส์; การทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง; SPSS

Abstract

The aim of this research is to compare the forecasting models for the price of daily ground pork with 4 statistical methods, namely, the Box-Jenkins method, Holt’s exponential smoothing method, Brown’s exponential smoothing method, and the damped trend exponential smoothing method. The time series for the price of daily ground pork were gathered from the website of Kasetprice from July 6, 2021 to July 5, 2022 (365 days) which was divided into 2 datasets. The first dataset from July 6, 2021, to June 25, 2022 (355 days) was used for constructing the forecasting models. The set of the last 10-day from June 26 to July 5, 2022, was used to evaluate the accuracy of the forecasting models via the use of the lowest mean absolute percentage error (MAPE) and root mean squared error (RMSE). The results showed that the damped trend exponential smoothing method had the lowest MAPE and RMSE values and had a forecast model as following.

$$\hat{Y}_{t+m} = 173.09568 + 0.90609 \sum_{i=1}^m (0.57306)^i$$

Where $m = 1$ represents June 26, 2022. For the Box-Jenkins method and Holt's exponent smoothing method, there were slightly higher MAPE and RMSE values. The forecast models were shown in the following order:

$$\hat{Y}_t = 0.62208Y_{t-1} + 0.37792Y_{t-2} + 0.13418(Y_{t-5} - Y_{t-6}) + 0.15094(Y_{t-11} - Y_{t-12}) + 0.11168(Y_{t-14} - Y_{t-15})$$

Where Y_{t-j} represents the time series at time $t - j$,

$$\hat{Y}_{t+m} = 173.5434 + 0.17413(m)$$

Where $m = 1$ represents June 26, 2022. However, the average forecast values of the three methods were not different at 0.05 significance level. Therefore, the users can use any model to forecast the future price of daily ground pork.

Keywords: Pork; Forecasting model; Box-Jenkins; Exponential smoothing; SPSS

1. บทนำ

เนื้อสัตว์ (Meat) ที่มนุษย์สามารถนำมาบริโภค แบ่งตามลักษณะและแหล่งที่มาได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ เนื้อแดง (Red Meat) เนื้อสัตว์ปีก (Poultry Meat) เนื้อสัตว์ป่า (Game Meat) และเนื้อสัตว์น้ำ (Aquatic Meat) ซึ่งเนื้อแดงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคคนไทย มากที่สุด [1] ในปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์สำหรับการบริโภค มักใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ให้ได้เนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพดี และมีผลผลิตสูงขึ้น รวมทั้งมีการปรับปรุงการจัดการหลังการฆ่าให้มีมาตรฐานเดียวกัน ทำให้การจำหน่ายเนื้อสัตว์มีมาตรฐาน ผู้บริโภค ได้รับความยุติธรรมและได้เนื้อสัตว์ที่มีความสะอาด ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ราคาขายปรับตัวสูงขึ้น กว่าในอดีต โดยเฉพาะเนื้อหมู [2] ปัจจุบันราคาเนื้อหมู ปรับตัวขึ้นสูงมาก โดยจากรายงานข่าวในวันที่ 23 มกราคม 2565 พบว่า ราคาหมูมีชีวิตหน้าฟาร์มกิโลกรัมละ 110 บาท ขณะที่ราคาหมูสดหน้าเขียงที่ตลาดสดกิโลกรัมละ 250 บาท ซึ่งเป็นราคาที่สูงที่สุดในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา อีกทั้งยังเป็นราคาที่สูงกว่าทวีปแอฟริกาใต้ 3 เท่าและสูงกว่า ทวีปยุโรป 5 เท่า สำหรับราคาหมูที่ปรับตัวสูงขึ้น คาดว่ามีสาเหตุจากหลายประการ เช่น 1) การระบาดของ โรคอหิวาต์แอฟริกาในหมู (African Swine Fever: ASF) ทำให้มีหมูตายจำนวนมาก โดยประเทศไทยพบ การระบาดตั้งแต่ปี 2562 ที่ จ.ราชบุรี มีหมูตายไป 2 ล้านตัว แต่รัฐบาลยังไม่มีการประกาศการระบาดให้ชัดเจน ไม่มีการดำเนินการแก้ปัญหาให้เป็นรูปธรรม ไม่มีการ คำนวณสำหรับการกำจัดหมูติดเชื้อ ไม่มีการชดเชย ค่าเสียหาย เกษตรกรจึงเร่งขายหมูที่เป็นโรคทำให้เกิด การระบาดหนักขึ้นและแพร่กระจายในวงกว้าง 2) เกษตรกรรายย่อยหายไปจากตลาดร้อยละ 80 – 90 เพราะแบกรับต้นทุนไม่ไหว ทั้งค่าอาหารที่แพงขึ้นและมี หมูล้มตายเพราะโรคระบาด ASF 3) มีการส่งออกเพิ่ม ขึ้นเป็น 2.7 ล้านตัว (จากปกติมีการส่งออกเพียง 500,000 – 700,000 ตัว) เนื่องจาก 2 – 3 ปีที่ผ่านมา หลายประเทศในแถบเอเชียพบการระบาดของโรค ASF

ประเทศไทยจึงอาศัยจังหวะนี้เร่งส่งออก ทำให้หมู ในประเทศมีไม่เพียงพอ [3] หากพิจารณาราคาหมูสด รายวันจากเว็บไซต์เกษตรโพธิ์ [4] ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 จำนวน 365 วัน พบว่า ราคาหมูสดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อย่างชัดเจน โดยมีราคาต่ำสุดอยู่ที่ 100 บาท/กิโลกรัม และราคาสูงสุดอยู่ที่ 182.50 บาท/กิโลกรัม อีกทั้งยังมีความผันผวนของราคาสูง ซึ่งไม่ใช่ความผันผวนที่ เกิดตามฤดูกาล ทำให้เกษตรกรรอจาดการณ์ไม่ได้ ว่าราคาเนื้อหมูควรจะเป็นเท่าไรในอนาคต ดังนั้นการใช้ กระบวนการทางสถิติจะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยใน การทำนายราคาเนื้อหมูในอนาคตได้ ซึ่งมีการศึกษา ของนักวิจัยหลายท่านเกี่ยวกับการใช้กระบวนการ ทางสถิติในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคาหมูดังนี้ Chalermwong [5] ได้พยากรณ์ราคาสุกรชำแหละ เนื้อแดง สะโพกแบบรายเดือนด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมีนาคม 2556 ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม สำหรับข้อมูลชุดนี้คือ ตัวแบบ ARIMA(1, 1, 2) Keerativibool [1] ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ ระหว่างวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการปรับเรียบด้วย เส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ สำหรับการพยากรณ์ราคา ขายปลีกสุกรชำแหละ เนื้อแดง สะโพกแบบรายเดือน โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม 2547 ถึงเดือนมิถุนายน 2556 ผลการศึกษาพบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้ง เลขชี้กำลังของโฮลต์มีความเหมาะสมมากกว่าวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ Sittisorn and Mekpanyup [6] ได้พยากรณ์ ราคาสุกรพันธุ์ลูกผสมแบบรายเดือนด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยใช้ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม 2549 ถึงเดือน พฤษภาคม 2560 ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดคือ ตัวแบบ SARIMA(1, 0, 1)(1, 1, 1)₆ ไม่มีพจน์ค่าคงตัว Riansut [2] ได้พยากรณ์ ราคาสุกรมีชีวิตแบบรายเดือนด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้ เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบ

ด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแคมป์ โดยใช้ข้อมูล ช่วงเดือนมกราคม 2548 ถึงเดือนมกราคม 2561 ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมมากที่สุด และ Thonglor *et al.* [7] ได้พยากรณ์ ราคาสุกรพันธุ์ลูกผสมแบบรายเดือนของประเทศไทย ด้วยวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบวง วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวมทั้งรวม ค่าพยากรณ์ระหว่าง 2 วิธีการดังกล่าว โดยใช้ข้อมูล ช่วงเดือนมกราคม 2551 ถึงเดือนธันวาคม 2562 ผลการศึกษาพบว่า วิธีการพยากรณ์รวมมีความเหมาะสมมากที่สุด

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบเพียงการพยากรณ์ ราคาหมูโดยใช้อุณหภูมิรายเดือน แต่ยังไม่พบ การพยากรณ์ในรูปแบบรายวันของหมูบด ซึ่งข้อมูล ผลการพยากรณ์รายวันจะมีประโยชน์ในการนำไป ใช้งานได้ง่ายกว่า แต่อาจจะมีข้อเสียในด้านการไม่สามารถ ตรวจสอบส่วนประกอบของฤดูกาลได้ ซึ่งราคาหมูมีขึ้น และมิลลงเป็นไปตามกลไกตลาดอยู่แล้ว [8] ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาคั้งนี้คือ เพื่อเปรียบเทียบ ตัวแบบพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วย เลขชี้กำลังของโฮลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง ของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มี แนวโน้มแบบแคมป์ เนื่องจากทั้ง 4 วิธีการพยากรณ์นี้ เหมาะสมกับข้อมูลที่มีเพียงแนวโน้มเท่านั้น ผลการศึกษา ที่ได้จะทำให้ทราบถึงสถานการณ์และแนวโน้มของ ราคาหมูบดรายวัน จึงนับเป็นอีกหนึ่งมาตรการที่ ช่วยเกษตรกรเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของการวางแผนการเลี้ยง สุกรและเป็นแนวทางที่ช่วยคาดการณ์ความผันผวน ของราคาหมูบดในอนาคต อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ ต่อรัฐบาลในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ทั้งด้านการค้า ในอนาคตต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการสร้างตัวแบบพยากรณ์

โดยใช้อุณหภูมิรายราคาหมูบด (บาท/กิโลกรัม) จาก เว็บไซต์เกษตรโพธิ์ [4] ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 จำนวน 365 วัน ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 25 มิถุนายน 2565 จำนวน 355 วัน ใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลด์ วิธีการ ทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้ เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแคมป์ เนื่องจากวิธี การพยากรณ์ทั้ง 4 วิธีนี้มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลา ชุดนี้ซึ่งมีเพียงแนวโน้ม แต่ไม่มีความผันแปรตามฤดูกาล สำหรับข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายน ถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 จำนวน 10 วัน ใช้ใน การเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วย เกณฑ์ร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และ เกณฑ์รากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด ขั้นตอน การสร้างตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 4 วิธีที่จะศึกษาโดย ใช้โปรแกรม SPSS version 17 มีรายละเอียดคร่าว ๆ ดังนี้

1) ใช้คำสั่ง Analyze → Forecasting → Create Models...

2) ใน Tab Variables นำตัวแปรราคาหมูบด ใส่ในช่อง Dependent Variables: และเลือกวิธีที่จะสร้างตัวแบบพยากรณ์ในช่อง Method: โดยเลือกระหว่าง Exponential Smoothing (การทำให้เรียบด้วย เลขชี้กำลัง) หรือ ARIMA (บ็อกซ์-เจนกินส์) จากนั้นระบุ Criteria... การศึกษาคั้งนี้คือเลือก Method: เป็น Exponential Smoothing และระบุ Criteria... เป็น Holt's linear trend คือ วิธีการทำให้เรียบด้วย เลขชี้กำลังของโฮลด์ Brown's linear trend คือ วิธีการ ทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ Damped trend คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้ม

แบบเต็มรูปแบบ และเลือก Method: เป็น ARIMA ระบุ Criteria... เป็นตัวแบบเริ่มต้น ในส่วน Nonseasonal หมายถึง ค่า p, d, q และใน ส่วน Seasonal หมายถึง ค่า P, D, Q

3) ใน Tab Statistics เลือก Parameter estimates เพื่อเก็บค่าประมาณพารามิเตอร์

4) ใน Tab Save ระบุที่อยู่ที่จะบันทึกค่าประมาณพารามิเตอร์ในช่อง Export Model File

5) ใน Tab Options ระบุเวลาสุดท้ายที่ต้องการให้โปรแกรมพยากรณ์ไปถึงในช่อง Forecast Period สำหรับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ขั้นตอนการพิจารณาตัวแบบพยากรณ์ดังนี้

1) พิจารณาอนุกรมเวลาว่ามีลักษณะคงที่หรือไม่ โดยพิจารณาจากกราฟของอนุกรมเวลาเทียบกับเวลา (Y_t, t) กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัว (Autocorrelation Function: ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวบางส่วน (Partial Autocorrelation Function: PACF) หากพบว่าอนุกรมเวลาไม่คงที่ (Non-Stationary) ต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ก่อนที่จะทำขั้นตอนต่อไป เช่น การแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างหรือผลต่างฤดูกาล (Difference or Seasonal Difference) การแปลงข้อมูลด้วยลอการิทึมสามัญหรือลอการิทึมธรรมชาติ (Common Logarithm or Natural Logarithm) การแปลงข้อมูลด้วยเลขยกกำลัง เช่น ยกกำลัง 0.5 (Square Root Transformation) หรือยกกำลัง 2 (Square Transformation) เป็นต้น [12]

2) กำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้จากกราฟ ACF และ PACF ของอนุกรมเวลาที่มีลักษณะคงที่

นั่นคือ กำหนดค่า p, q, P และ Q พร้อมทั้งประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ โดยค่าของ q และ Q จะพิจารณาจากกราฟ ACF และค่าของ p และ P จะพิจารณาจากกราฟ PACF ซึ่งค่าของ p และ q คือ จำนวนแท่งสัมพันธ์สหสัมพันธ์แท่งแรก ๆ ที่มีค่าเกินจากขอบเขตที่กำหนด ขณะที่ค่าของ P และ Q คือ จำนวนแท่งสัมพันธ์สหสัมพันธ์ตามฤดูกาลที่มีค่าเกินจากขอบเขตที่กำหนด สำหรับการศึกษาครั้งนี้ พบว่า อนุกรมเวลาราคาหมูบดรายวันไม่มีฤดูกาล จึงพิจารณาเพียงค่าของ p และ q เท่านั้น

3) ตัดพารามิเตอร์ที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากตัวแบบพยากรณ์ครั้งละ 1 ตัว จากนั้นจึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์และประมาณค่าพารามิเตอร์ใหม่จนกว่าจะได้ตัวแบบพยากรณ์ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทั้งหมด

4) คัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และตรวจสอบอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน (e_t) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน โดยพิจารณาจากกราฟการเคลื่อนไหวของ e_t เทียบกับเวลา

5) พยากรณ์อนุกรมเวลาราคาหมูบดตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคมถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2565 โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดจากขั้นตอนที่ 4 สมการของตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 4 วิธีที่ศึกษาแสดงดังใน Table 1

Table 1 Forecast model

No.	Forecasting methods	Forecast models
1	Box-Jenkins	ARIMA(p, d, q) $\hat{\phi}_p(B)(1-B)^d \hat{Y}_t = \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)e_t$ [9]
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m)$ where $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$ [10]
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m-1) + \frac{1}{\alpha} \right]$ where $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1}$, $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1}$ [10]
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i$ where $a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$, $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$ [11]

ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ใน Table 1 แสดงดังนี้
 \hat{Y}_t และ \hat{Y}_{t+m} แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และ เวลา t + m ตามลำดับ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

e_t แทนความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ ณ เวลา t

$\hat{\delta} = \hat{\mu} \hat{\phi}_p(B)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดย ที่ $\hat{\mu}$ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

$\hat{\phi}_p(B) = 1 - \hat{\phi}_1 B - \hat{\phi}_2 B^2 - \dots - \hat{\phi}_p B^p$ แทนตัว ดำเนินการถดถอยในตัวอันดับที่ p กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Autoregressive Operator of Order p: AR(p))

$\hat{\theta}_q(B) = 1 - \hat{\theta}_1 B - \hat{\theta}_2 B^2 - \dots - \hat{\theta}_q B^q$ แทนตัว ดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q กรณีไม่มีฤดูกาล (Non-Seasonal Moving Average Operator of Order q: MA(q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ($n_1 = 355$)

d แทนลำดับที่ของการหาผลต่าง

B แทนตัวดำเนินการถอยหลัง (Backward

Operator) โดยที่ $B^s Y_t = Y_{t-s}$

a_t และ b_t แทนค่าประมาณระยะตัดแกน Y และความชันของแนวโน้ม ณ เวลา t ตามลำดับ

α, γ และ ϕ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1, 0 < \gamma < 1$ และ $0 < \phi < 1$

ตรวจสอบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยการเปรียบเทียบราคาหมูบตรายวันชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายนถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 ($n_2 = 10$) กับ ค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า MAPE และ RMSE โดย ตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากให้ ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด สูตร MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ [10]

$$MAPE = \frac{100}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \left| \frac{e_t}{Y_t} \right| \text{ และ } RMSE = \sqrt{\frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} e_t^2}$$

เมื่อ $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$ แทนความคลาดเคลื่อนจาก การพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t และ \hat{Y}_t แทนอนุกรมเวลาและค่า พยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

นอกเหนือจากการพิจารณาความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ MAPE และ RMSE แล้ว การศึกษาครั้งนี้ยังพิจารณาความแม่นยำด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพยากรณ์โดยเฉลี่ยในการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 ด้วยการทดสอบต้นเนทท์ที่สาม (Dunnett's T3 Test) [13] ถ้าพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ใดที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำ และมีค่าพยากรณ์โดยเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน จัดเป็นวิธีที่มีความแม่นยำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาราคาหมูบตรายวัน ชุดที่ 1 จำนวน 355 วัน ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 25 มิถุนายน 2565 พบว่า ราคาหมูบตรายวันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($t = 20.424, p < 0.0001$) แต่ไม่มีการเคลื่อนไหวตามฤดูกาล (Figure 1) ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d = 1$) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้กราฟ ACF และกราฟ PACF

ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว พบว่า อนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ โดยกราฟ ACF พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เกินขอบเขตที่กำหนดในแง่ที่ 1, 2, 6 และ 11 จึงกำหนดเป็นค่า $q = 1, 2, 6, 11$ และกราฟ PACF มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เกินขอบเขตที่กำหนดในแง่ที่ 1, 5, 11 และ 14 จึงกำหนดเป็นค่า $p = 1, 5, 11, 14$ (Figure 2) ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้นคือ ตัวแบบ AR(1, 5, 11, 14) I(1) MA(1, 2, 6, 11) จากการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม (Ljung-Box Q = 15.603, p-value = 0.338) คือ ตัวแบบ AR(1, 5, 11, 14) I(1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว (Table 2) เมื่อแทนค่าประมาณพารามิเตอร์จะได้ตัวแบบพยากรณ์ของแต่ละวิธีการพยากรณ์ (Table 3) ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีการพยากรณ์พบว่า ความคลาดเคลื่อนทุกวิธีการพยากรณ์มีความเป็นอิสระกัน หมายความว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นทั้ง 4 วิธีมีความเหมาะสม (Figure 3-6)

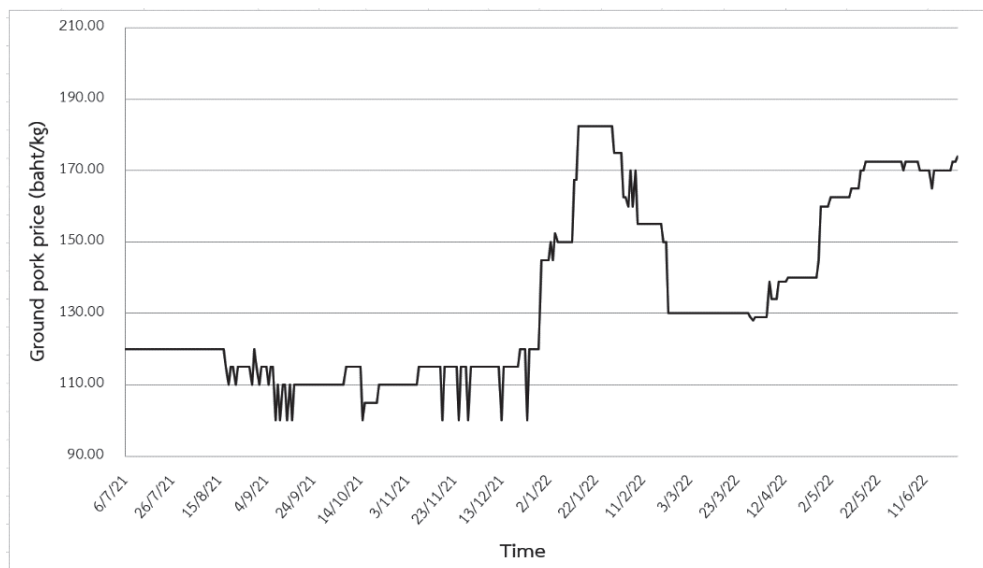


Figure 1 Run plot of the ground pork price from July 6, 2021, to June 25, 2022

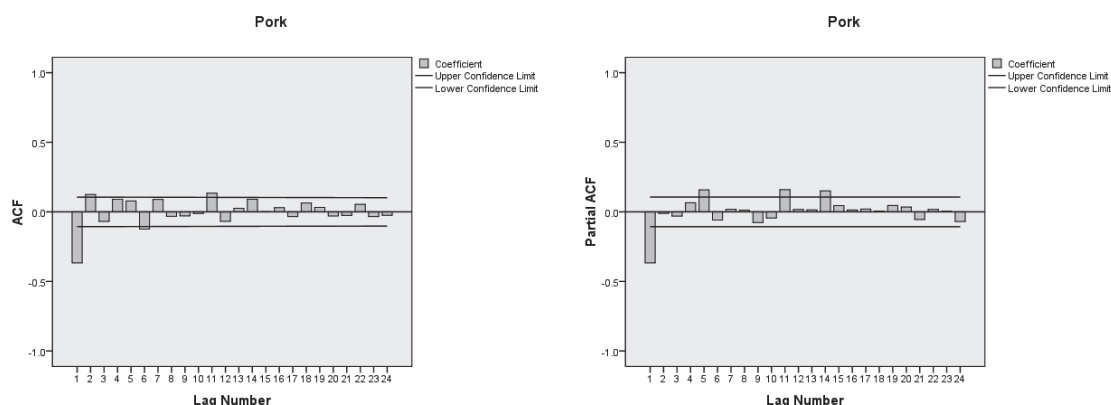


Figure 2 ACF and PACF of the first difference, $d = 1$, of the ground pork price

Table 2 Parameter estimates of the AR (1, 5, 11, 14) I(1) model with no constant

Parameters	ϕ_1	ϕ_5	ϕ_{11}	ϕ_{14}
Estimates	-0.37792	0.13418	0.15094	0.11168
t	-7.777	2.739	3.082	2.292
p-values	< 0.0001	0.006	0.002	0.022

Table 3 Forecast modeling results

No.	Forecasting methods	Forecast models
1	Box-Jenkins: AR(1, 5, 11, 14) I(1) with no constant	$\hat{Y}_t = 0.62208Y_{t-1} + 0.37792Y_{t-2} + 0.13418(Y_{t-5} - Y_{t-6}) + 0.15094(Y_{t-11} - Y_{t-12}) + 0.11168(Y_{t-14} - Y_{t-15})$
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = 173.5434 + 0.17413(m)$
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = 172.1615 + 0.52538 \left[(m-1) + \frac{1}{0.31753} \right]$
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = 173.09568 + 0.90609 \sum_{i=1}^m (0.57306)^i$

where Y_{t-j} represents the time series at time $t - j$ and $m = 1$ represents June 26, 2022

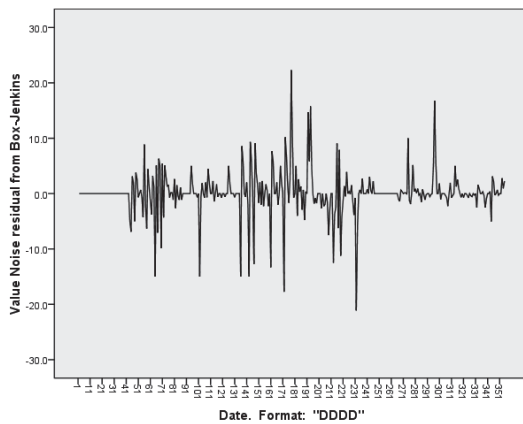


Figure 3 Errors from Box-Jenkins method

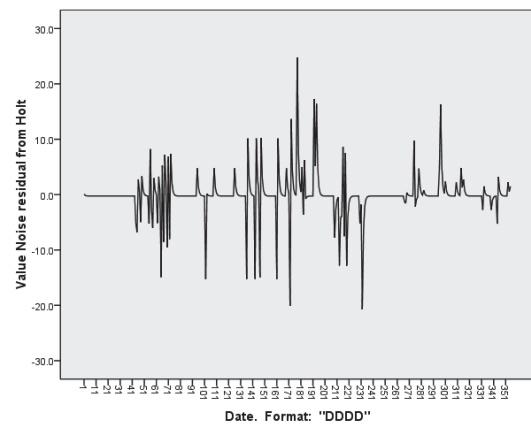


Figure 4 Errors from Holt's exponential smoothing method

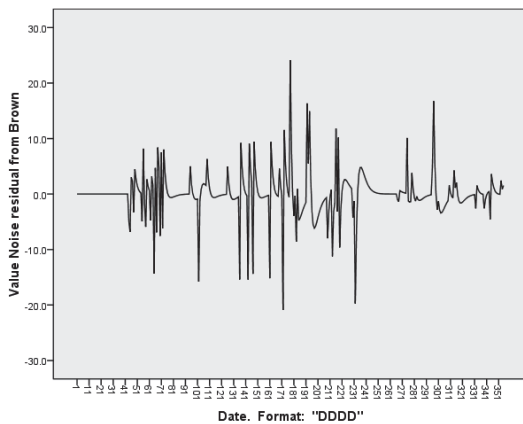


Figure 5 Errors from Brown's exponential smoothing method

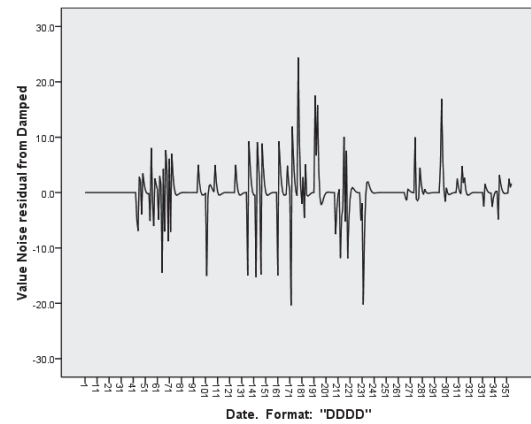


Figure 6 Errors from damped trend exponential

เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้น (Table 3) ในการพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันชุดที่ 1 จำนวน 355 วัน ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 25 มิถุนายน 2565 พบว่า ค่าพยากรณ์จากทุกวิธีการพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก (Figure 7) แต่เมื่อใช้ในการพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันชุดที่ 2 จำนวน 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายนถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 พบว่า ค่าพยากรณ์แตกต่างจากค่าจริงเล็กน้อย (Figure 8) เมื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์โดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE พบว่าวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมพ์

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากมีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด โดยมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันร้อยละ 0.14 (MAPE = 0.1437) หรือมีความผิดพลาดในการพยากรณ์ 0.27 บาท/กิโลกรัม (RMSE = 0.2665) สำหรับวิธีที่มีความแม่นยำรองลงมา คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (MAPE = 0.2816 และ RMSE = 0.5630) และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ (MAPE = 0.3333 และ RMSE = 0.7085) ตามลำดับ (Table 4) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าพยากรณ์โดยเฉลี่ยในการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 ของวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลัง

ที่มีแนวโน้มแบบแคมป์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 3 วิธีนี้สามารถถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันในอนาคตได้ (Table 5) หากพิจารณาค่าพยากรณ์ของทั้ง 4 วิธีที่ศึกษา พบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าข้อมูลจริง โดยข้อมูลจริงชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ยราคาหมูบดเท่ากับ 174 บาท/กิโลกรัม ขณะที่วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแคมป์

วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ให้ค่าพยากรณ์สูงกว่าข้อมูลจริงเพียงเล็กน้อย ประมาณ 0.15 – 0.50 บาท/กิโลกรัม (ค่าพยากรณ์โดยเฉลี่ยของราคาหมูบดเท่ากับ 174.15, 174.47 และ 174.50 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ) แต่วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ให้ค่าพยากรณ์สูงกว่าข้อมูลจริงมาก สูงกว่าประมาณ 2.17 บาท/กิโลกรัม (ค่าพยากรณ์โดยเฉลี่ยของราคาหมูบดเท่ากับ 176.17 บาท/กิโลกรัม) (Figure 8 และ Table 5)

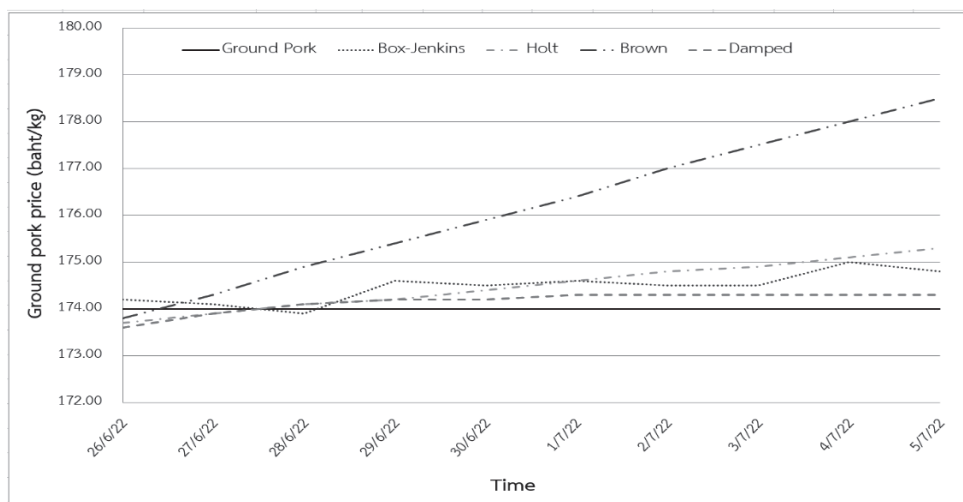


Figure 7 Comparison of the first dataset of daily ground pork price with forecast values

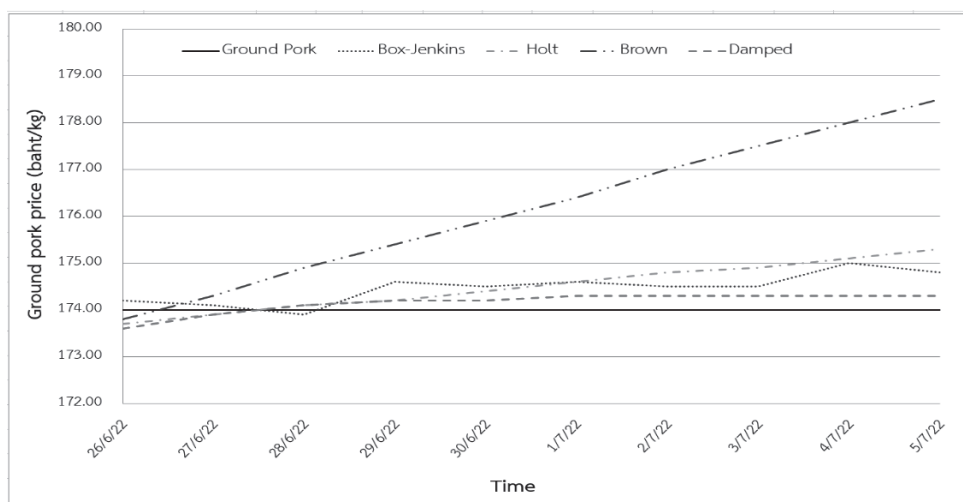


Figure 8 Comparison of the second dataset of daily ground pork price with forecast values

Table 4 MAPE and RMSE of the second dataset

Forecasting methods	MAPE	RMSE
Box-Jenkins	0.2816	0.5630
Holt	0.3333	0.7085
Brown	1.2701	2.6414
Damped	0.1437	0.2665

Table 5 Average ground pork price forecast (baht/kg) of the second dataset

Forecasting methods	Average forecast
Box-Jenkins	174.47 ^a
Holt	174.50 ^a
Brown	176.17
Damped	174.15 ^a

The mean values with the same superscript letters “a” were not different at 0.05 significance level when compared with Dunnett’s T3 test.

การศึกษาค้นคว้าพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์มีค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 2 ต่ำที่สุด ขณะที่วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์มีค่า MAPE และ RMSE สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งการศึกษาในอดีตส่วนใหญ่ไม่ได้ศึกษาวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ เช่น การศึกษาของ Chalermwong [5] และ Sittisoron and Mekpanyup [6] ที่ศึกษาเพียงวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์เท่านั้นในการพยากรณ์ราคาสุกรฆ่าแต่ละเนื้อแดงสะโพกและราคาสุกรพันธุ์ลูกผสม ตามลำดับ และการศึกษาของ Keerativibool [1] ที่เปรียบเทียบเพียงวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์เท่านั้นในการพยากรณ์ราคาขายปลีกสุกรฆ่าแต่ละเนื้อแดง สะโพก แต่การศึกษาของ Riansut [2]

ได้เปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ 4 วิธี คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ เหมือนกับการศึกษาค้นคว้านี้ โดยพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ราคาสุกรมีชีวิตมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาค้นคว้านี้ ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความเหมาะสมเป็นอันดับที่ 2 แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ และการศึกษาของ Thonglor et al. [7] ได้พยากรณ์ราคาสุกรพันธุ์ลูกผสมรายเดือนของประเทศไทยด้วยวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีการพยากรณ์รวม โดยพบว่า วิธีการพยากรณ์รวมมีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งการศึกษา

ครั้งนี้ได้พิจารณาวิธีการพยากรณ์รวมแล้ว แต่พบว่ามีความแม่นยำกว่าทั้ง 4 วิธีพยากรณ์ที่ศึกษา

ผลการพยากรณ์ราคาหมูบดตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคมถึงวันที่ 31 สิงหาคม 2565 โดยใช้ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ให้ค่าพยากรณ์ราคาหมูบดอยู่ในช่วง 175.10-175.80 บาท/กิโลกรัม วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ให้ค่าพยากรณ์ราคาหมูบดอยู่ในช่วง 175.50

-185.20 บาท/กิโลกรัม และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ให้ค่าพยากรณ์เป็นค่าคงที่เพียงค่าเดียว คือ ราคาหมูบดเท่ากับ 174.30 บาท/กิโลกรัม เนื่องจากผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ พบว่า ความชันของแนวโน้ม ($b_1 = 0.90609$) และค่าคงตัวการทำให้เรียบ ($\phi = 0.57306$) เมื่อ m มีค่ามากขึ้นจะทำให้พจน์ $b_1 \sum_{i=1}^m \phi^i$ มีค่าเข้าใกล้ 0 จึงทำให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าประมาณระยะตัดแกน $Y (a_1 = 173.09568)$ (Table 3 และ Figure 9)

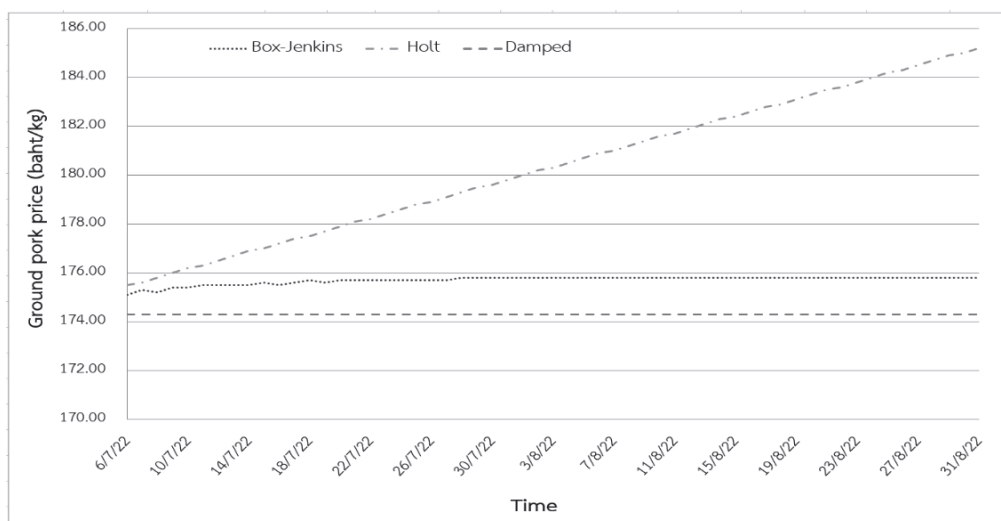


Figure 9 Daily ground pork price forecast from Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method and damped trend exponential smoothing method

4. สรุป

การศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างและเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาราคาหมูบดรายวันด้วยวิธีการทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์ โดยใช้อุณหภูมิเวลาราคาหมูบดจากเว็บไซต์เกษตรไพรซ์ ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565

จำนวน 365 วัน แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2564 ถึงวันที่ 25 มิถุนายน 2565 จำนวน 355 วัน สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และชุดที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายนถึงวันที่ 5 กรกฎาคม 2565 จำนวน 10 วัน สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดมป์มีค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุดมีตัวแบบพยากรณ์เป็น

$$\hat{Y}_{t+m} = 173.09568 + 0.90609 \sum_{i=1}^m (0.57306)^i \quad [3]$$

เมื่อ $m = 1$ แทนวันที่ 26 มิถุนายน 2565 สำหรับวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์มีค่า MAPE และ RMSE สูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์แสดงตามลำดับดังนี้

$$\hat{Y}_t = 0.62208Y_{t-1} + 0.37792Y_{t-2} + 0.13418(Y_{t-5} - Y_{t-6}) + 0.15094(Y_{t-11} - Y_{t-12}) + 0.11168(Y_{t-14} - Y_{t-15}) \quad [4]$$

เมื่อ Y_{t-j} แทนอนุกรมเวลา ณ เวลา $t - j$

$$\hat{Y}_{t+m} = 173.54340 + 0.17413(m) \quad [5]$$

เมื่อ $m = 1$ แทนวันที่ 26 มิถุนายน 2565 อย่างไรก็ตาม ค่าพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 โดยเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถใช้ตัวแบบใดก็ได้ในการพยากรณ์ราคาหมูบดรายวันในอนาคต สำหรับการศึกษารั้งต่อไป ควรประยุกต์ใช้วิธีการพยากรณ์วิธีอื่น ๆ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) รวมทั้งควรเพิ่มเติมข้อมูลราคาหมูบดรายวันให้เป็นปัจจุบันเพื่อปรับปรุงตัวแบบพยากรณ์ที่ได้ให้มีความเหมาะสมและมีค่าพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

5. References

- [1] Keerativibool, W., 2014, A comparison of forecasting methods between Box-Jenkins and Holt's exponential smoothing methods for predicting the retail prices of hip meat, *KKU Sci. J.*, 42(3): 532-543. (in Thai)
- [2] Riansut, W., 2019, A comparison of forecasting models of live swine price, *RMUTSV Research J.*, 11(2): 349-365. (in Thai)
- [3] Springnews, Why is Thai pork expensive? farmers can solve the problem with pit pigs, Available Source: <https://www.springnews.co.th/blogs/program/820259>, July 11, 2022. (in Thai)
- [4] Kasetprice, Daily price of ground pork, Available Source: <https://www.kasetprice.com/ราคา/เนื้อหมู20201119-20201204>, July 5, 2022. (in Thai)
- [5] Chalermwong, K., 2013, The forecast of hip meat price by Box-Jenkins method, B.Sc. Special Project, Burapha University, Chonburi, 25 p. (in Thai)
- [6] Sittisorn, P. and Mekpariyup, M., 2017, Forecasting of crossbred pig price with Box-Jenkins method, *Sci. Technol. RMUTT J.*, 7(2): 206-217. (in Thai)
- [7] Thonglor, O., Sannork, J., Thanprasertkul, N., Jiwmongkhochai, P. and Jitranon, Ch., 2021, Application of time series analysis to forecast crossbred swine price in Thailand, *J. of Srinakharinwirot Univ.*, 13(26): 121-133. (in Thai)
- [8] Siripat, Ch., 2019, Pork Prices... Up and Down, Available Source: <https://www.thairath.co.th/news/local/1542728>, July 19, 2022. (in Thai)
- [9] Box, G.E.P., Jenkins, G.M. and Reinsel, G.C., Ljung, G.M., 2015, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 5th Ed., Prentice Hall, New Jersey, 712 p.

- [10] Ket-iam, S., 2003, Forecasting Technique, 2nd Ed., Thaksin University, Songkhla, 295 p. (in Thai)
- [11] Manmin, M., 2006, Time Series and Forecasting, Foreprinting, Bangkok, 448 p. (in Thai)
- [12] Bowerman, B.L. and O'Connell, R.T., 2000, Forecasting and Time Series: An Applied Approach, 3rd Ed., Duxbury Press, California, 726 p.
- [13] Riansut, W., 2016, Experimental Designs, Thaksin University Book Center, Songkhla, 495 p. (in Thai)