

การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทย Forecasting of Pepper Export Value

วรangkanา เรียนสุทธิ

Warangkhan Riansut

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, Thaksin University, Pattalung, Thailand 93210

Corresponding orther: warang27@gmail.com

Received: January 11, 2021

Revised: April 09, 2022

Accepted: August 22, 2022

Abstract

The objective of this study is to construct the models for forecasting the value of pepper exports using statistical methods. The monthly average data, which were gathered from the website of the Office of Agricultural Economics during January 2011 to October 2020 of 118 months were divided into 2 datasets. The first dataset, which consisted of 108 months from January 2011 to December 2019 was used for constructing the forecasting models via the use of 7 statistical methods, namely, Box-Jenkins method, Holt's exponential smoothing method, Brown's exponential smoothing method, damped trend exponential smoothing method, simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method. The second dataset, which consisted of 10 months from January to October 2020 was used for comparing the accuracy of the forecasting model via the lowest mean absolute percentage error and root mean square error. The results indicated that the most accurate method was the Box-Jenkins method with the model

$$\hat{Y}_t = 1.40384Y_{t-1} - 0.40384Y_{t-2} - 0.88690e_{t-1}.$$

Keywords: pepper export value, statistical model

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยด้วยวิธีการทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 118 เดือน ผู้วิจัยได้แบ่ง

ข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 108 เดือน สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 7 วิธี ได้แก่ 1) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ 2) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ 3) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ 4) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแตรม 5) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลข

ซีกาลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย 6) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขซีกาลังของวินเทอร์แบบบวก และ 7) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขซีกาลังของวินเทอร์แบบคูณ ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 10 เดือนนำมาใช้สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยและเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบเป็น

$$\hat{Y}_t = 1.40384Y_{t-1} - 0.40384Y_{t-2} - 0.88690e_{t-1}$$

คำสำคัญ: มูลค่าการส่งออกพริกไทย แบบจำลองทางสถิติ

คำนำ

พริกไทยเป็น สมุนไพรที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ผลของพริกไทยมีรสเผ็ดร้อน นิยมใช้ปรุงอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติและใช้เป็นยาสมุนไพรรักษาโรค (Khoka, 2017) แหล่งผลิตที่สำคัญของพริกไทยอยู่ในจังหวัดทางภาคตะวันออกและภาคใต้ ซึ่งเมื่อพิจารณาสภาพการผลิตโดยทั่วไปของพื้นที่ในภาคอื่น ๆ พบว่ามีข้อจำกัดในด้านการผลิต ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพของดิน ความชื้นในอากาศและในดิน อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ดังนั้นพริกไทยจึงไม่สามารถปลูกได้ดีในทุกภาคของประเทศ อย่างไรก็ตาม ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยทำให้ผลผลิตพริกไทยที่ได้มีคุณภาพและมีปริมาณเพิ่มขึ้นขณะที่ปริมาณความต้องการใช้พริกไทยเพื่อการบริโภคภายในประเทศและการส่งออกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ประกอบกับราคาพริกไทยในตลาดโลกมีแนวโน้มลดลงทำให้ราคาพริกไทยภายในประเทศลดลง เกษตรกรผู้ปลูกพริกไทยได้รับความเดือดร้อน (Inkhong, 2005)

ดังนั้น การวางแผนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยในอนาคตจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อเกษตรกรในการวางแผนการ

เพาะปลูก และเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเพื่อปลูกพริกไทยให้คุ้มทุน อีกทั้งยังช่วยให้ภาครัฐสามารถวางนโยบายที่เหมาะสม ส่วนผู้ที่เกี่ยวข้องกับการเกษตร เช่น ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้ผลิตสินค้าเกษตร ก็สามารถนำผลการพยากรณ์ไปใช้ในการบริหารจัดการได้ การพยากรณ์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้นำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต โดยถ้าค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนสูงจะส่งผลกระทบต่อหลาย ๆ ฝ่าย เช่น ส่งผลให้ภาครัฐวางนโยบายการเพาะปลูกในปีนั้น ๆ ผิดพลาด อาจก่อให้เกิดภาวะผลผลิตล้นตลาดหรือขาดตลาดได้ (Luangtong and Kantanantha, 2016) ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงเป็นที่น่าสนใจที่ควรมีการศึกษาการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยจะให้ความสนใจกับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทย จึงเริ่มต้นที่การทบทวนวรรณกรรมพบว่า Riansut (2019) ได้ศึกษาการสร้างตัวแบบพยากรณ์ราคาพริกไทยดำ โดยวิธีการทางสถิติทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขซีกาลังของโบลด์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขซีกาลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขซีกาลังที่มีแนวโน้มแบบแตร ผลการศึกษาพบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขซีกาลังที่มีแนวโน้มแบบแตร (MAPE=6.5773, RMSE=10.3775) และ Inkhong (2005) ได้ศึกษาการวิเคราะห์การส่งผ่านราคาและความเร็วในการปรับตัวเข้าสู่ดุลยภาพของราคาพริกไทย พบว่าราคาที่เกษตรกรได้รับมีความสัมพันธ์เชิงดุลยภาพในระยะยาวกับราคาขายส่ง โดยความยืดหยุ่นของการส่งผ่านราคาจากราคาที่เกษตรกรได้รับไปสู่ราคาขายส่งเท่ากับ 0.998 และค่าความเร็วในการปรับตัวจากการเบี่ยงเบนออกจากดุลยภาพในช่วงเวลาที่ผ่านมา เข้าสู่ดุลยภาพของราคาขายส่งเท่ากับ 0.002

จากการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทย ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยด้วยวิธีการ

ทางสถิติทั้งหมด 7 วิธี ได้แก่ 1) วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ 2) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ 3) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ 4) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก 5) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย 6) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และ 7) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ จากนั้นคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด 1 ตัวแบบ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ที่ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์สำหรับใช้ในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยในอนาคตต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

สร้างตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทย (บาท) โดยใช้ข้อมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือนจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (Office of Agricultural Economics, 2020) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 118 เดือน ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 108 เดือน สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 10 เดือน สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่ต่ำที่สุด

ตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยชุดที่ 1 ดังนี้ ถ้าอนุกรมเวลามีการแจกแจงปกติ (ตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยการทดสอบชาฟิโร-วิลค์: Shapiro-Wilk test เนื่องจากข้อมูลในแต่ละกลุ่มที่จะตรวจสอบมีจำนวนไม่เกิน 50 ค่า) และมีความแปรปรวนเท่ากัน (ตรวจสอบ

ความแปรปรวนเท่ากันด้วยการทดสอบของเลวินภายใต้การใช้มัธยฐาน: Levene's Test Based on Median) จะใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) แต่ถ้าอนุกรมเวลาไม่มีการแจกแจงปกติหรือมีความแปรปรวนไม่เท่ากัน จะใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Nonparametric statistics) คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของครัสคาล-วอลลิส (Kruskal-Wallis's One-Way Analysis of Variance by Rank) ถ้าผลการตรวจสอบพบว่า อนุกรมเวลามีเฉพาะการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average: ARIMA (p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก อนุกรมเวลามีเฉพาะอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และอนุกรมเวลามีทั้งการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average: SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Ket-iam, 2005; Manmin, 2006) จากผลการตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลในผลการวิจัยแสดงว่า มูลค่าการส่งออกพริกไทยมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล จึงควรใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA (p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก ในการพยากรณ์

อย่างไรก็ตามการศึกษารั้งนี้จะพิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการพยากรณ์ทางสถิติที่มี

ความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาทุกรูปแบบ ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด (Riansut, 2018) ตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี (Table 1) มีความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

$\hat{Y}_t$ และ $\hat{Y}_{t+m}$ แทนค่าพยากรณ์ ณ เวลา t และเวลา $t + m$ ตามลำดับ โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

$\hat{\phi} = \mu \hat{\phi}_p(B) \hat{\phi}_p(B^s)$ แทนค่าคงตัว (Constant) โดยที่ μ แทนค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่คงที่ (Stationary)

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

$\hat{\phi}_p(B^s) = 1 - \hat{\phi}_1 B^s - \hat{\phi}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\phi}_p B^{ps}$ แทนตัวดำเนินการสหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ P กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Autoregressive Operator of Order P : SAR(P))

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

$\hat{\theta}_Q(B^s) = 1 - \hat{\theta}_1 B^s - \hat{\theta}_2 B^{2s} - \dots - \hat{\theta}_Q B^{Qs}$ แทนตัวดำเนินการเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ Q กรณีมีฤดูกาล (Seasonal Moving Average Operator of Order Q : SMA(Q))

t แทนช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทนจำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ($n_1=108$)

s แทนจำนวนฤดูกาล ซึ่งอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยเป็นข้อมูลรายเดือน ดังนั้น $s=12$

d และ D แทนลำดับที่ของการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ตามลำดับ

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 , ϕ และ δ แทนค่าคงตัวการทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$, $0 < \phi < 1$ และ $0 < \delta < 1$

พิจารณาความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์ทั้ง 7 วิธีที่ศึกษาด้วยเกณฑ์ MAPE และ RMSE ที่คำนวณจากข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 108 เดือน ($n=108$) โดยค่า MAPE และ RMSE ที่คำนวณได้ไม่ควรมีค่าสูงมากจนเกินไป สูตร MAPE และ RMSE แสดงดังนี้ (Ket-iam, 2005)

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

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

Y_t และ $\hat{Y}_t$ แทนอนุกรมเวลาและค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ตามลำดับ

ตรวจสอบข้อสมมุติ (Assumption) ของตัวแบบพยากรณ์ คือ ค่าสถิติ Ljung-Box Q ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมิร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov's Test: KS test) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบรันส์ (Runs test) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-Test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวีนาภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene's Test Based on Median) หากพบว่าข้อสมมุติข้อใดข้อหนึ่งไม่เป็นจริงจะสรุปว่าตัวแบบพยากรณ์ไม่เหมาะสมและไม่สมควรรนำไปใช้ในการพยากรณ์ต่อไป

เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยการเปรียบเทียบมูลค่าการส่งออกพริกไทยของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 10 เดือน (n=10) กับค่าพยากรณ์ เพื่อคำนวณค่า

MAPE และ RMSE โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำที่สุด จัดเป็นตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากให้ค่าพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกับข้อมูลจริงน้อยที่สุด

Table 1 Forecasting model

No.	Forecasting methods	Forecasting model	Time series characteristics
1	Box-Jenkins	$\text{SARIMA}(p, d, q)(P, D, Q)_s :$ $\hat{\phi}_p(B)\hat{\phi}_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D \hat{Y}_t = \hat{\delta} + \hat{\theta}_q(B)\hat{\theta}_q(B^s)e_t$ (Box <i>et al.</i> , 1994)	Trend and Seasonal
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \text{ where } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \text{ (Manmin, 2006)}$	Trend
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \left[(m-1) + \frac{1}{\alpha} \right] \text{ where } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)a_{t-1},$ $b_t = \alpha(a_t - a_{t-1}) + (1-\alpha)b_{t-1} \text{ (Ket-iam, 2005)}$	Trend
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^m \phi^i \text{ where } a_t = \alpha Y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1} \text{ (Manmin, 2006)}$	Trend
5	Simple seasonal	$\hat{Y}_t = a_t + \hat{S}_t \text{ where } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)a_{t-1},$ $\hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s} \text{ (Ket-iam, 2005)}$	Seasonal
6	Winters' additive	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m) + \hat{S}_t \text{ where } a_t = \alpha(Y_t - \hat{S}_{t-s}) + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}, \hat{S}_t = \delta(Y_t - a_t) + (1-\delta)\hat{S}_{t-s} \text{ (Ket-iam, 2005)}$	Trend and Seasonal
7	Winters' multiplicative	$\hat{Y}_{t+m} = (a_t + b_t m)\hat{S}_t \text{ where } a_t = \alpha \frac{Y_t}{\hat{S}_{t-s}} + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}),$ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}, \hat{S}_t = \delta \frac{Y_t}{a_t} + (1-\delta)\hat{S}_{t-s} \text{ (Ket-iam, 2005)}$	Trend and Seasonal

ผลการวิจัย

จากการพิจารณาลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จำนวน 108 เดือน พบว่า มูลค่าการส่งออกพริกไทยมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มทั้งในทิศทางคงที่และเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 มีแนวโน้มคงที่ หลังจากนั้นในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 แนวโน้มเป็นไปในลักษณะเพิ่มขึ้น โดยมีความผันผวนของมูลค่าการส่งออกพริกไทย แต่ไม่ได้เป็นความผันผวนที่สม่ำเสมอตามฤดูกาล (Figure 1)

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยในแต่ละปีไม่มีการแจกแจงปกติและความแปรปรวนไม่เท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของคริสต์ศตวรรษ-วอลลิสในการตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม พบว่าอนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละปีแตกต่างกัน ($\chi^2 = 32.554$, $p\text{-value} < 0.0001$) นั่นคือ อนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม และอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยในแต่ละเดือนไม่มีการแจกแจงปกติ แต่มีความแปรปรวนเท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวโดยลำดับที่ของคริสต์ศตวรรษ-วอลลิส

ในการตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าอนุกรมเวลามีค่ามัธยฐานในแต่ละเดือนไม่แตกต่างกัน ($\chi^2 = 13.738$, $p\text{-value} = 0.248$) นั่นคือ อนุกรมเวลาไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล เนื่องจากอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA (p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่า MAPE และ RMSE ของข้อมูลชุดที่ 1 พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีค่า RMSE ต่ำกว่าอีก 3 วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเฉพาะแนวโน้ม และมีค่า MAPE ต่ำที่สุด (MAPE=46.3230) ขณะที่วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก ซึ่งเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล มีค่า RMSE ต่ำที่สุด (RMSE=3,463,715) รองลงมาคือวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย (RMSE=3,473,008) ซึ่งเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงอิทธิพลของฤดูกาลเท่านั้น (Table 2) ดังนั้นการศึกษาค้างนี้จะพิจารณาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีเพียงอิทธิพลของฤดูกาล และอนุกรมเวลาที่มีทั้งการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลรวมอยู่ด้วย เพื่อให้ครอบคลุมตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด

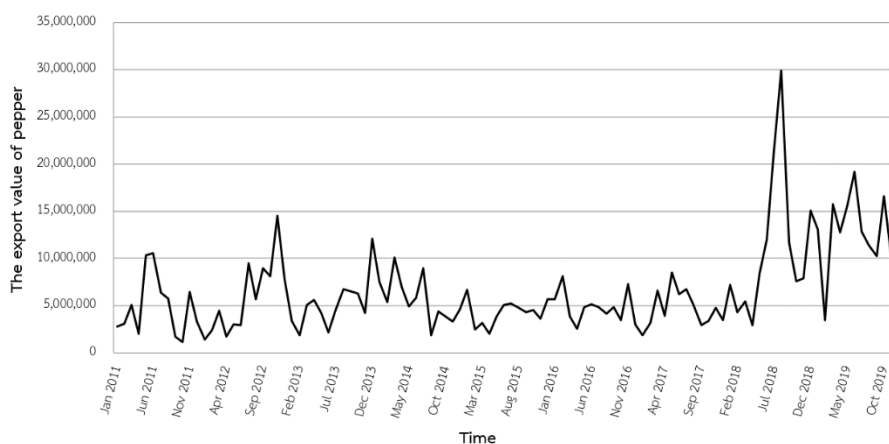


Figure 1 Run plot for the export value of pepper during January 2011 to December 2019

Table 2 MAPE and RMSE of the first dataset

Forecasting methods	MAPE	RMSE	Forecasting methods	MAPE	RMSE
Box-Jenkins	46.3230	3,582,280	Simple seasonal	46.9229	3,473,008
Holt	52.0509	3,750,805	Winters' additive	48.0656	3,463,715
Brown	52.8226	3,855,827	Winters' multiplicative	51.1755	3,889,921
Damped	51.9009	3,752,759			

เนื่องจากอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทย มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยการหาผลต่างลำดับที่ 1 ($d=1$) เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ ได้กราฟ Autocorrelation Function (ACF) และกราฟ Partial Autocorrelation Function (PACF) ของอนุกรมเวลาที่แปลงข้อมูลแล้ว แสดงใน Figure 2(a) และ 2(b) ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอนุกรมเวลามีลักษณะคงที่ เพราะค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองจากกราฟ ACF Figure 2(a)

และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนจากกราฟ PACF Figure 2(b) ตกอยู่ภายในขอบเขตความเชื่อมั่นที่กำหนด ($\pm 2/\sqrt{n_1}$) ยกเว้นเฉพาะ Lag ที่ 1 ของกราฟ ACF Figure 2(a) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองเกินขอบเขต จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้นมีค่า $q=1$ และ Lag ที่ 1, 2, 3 ของกราฟ PACF Figure 2(b) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนเกินขอบเขต จึงกำหนดตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้เริ่มต้นมีค่า $p=3$ ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์เริ่มต้น คือ ตัวแบบ ARIMA (3, 1, 1)

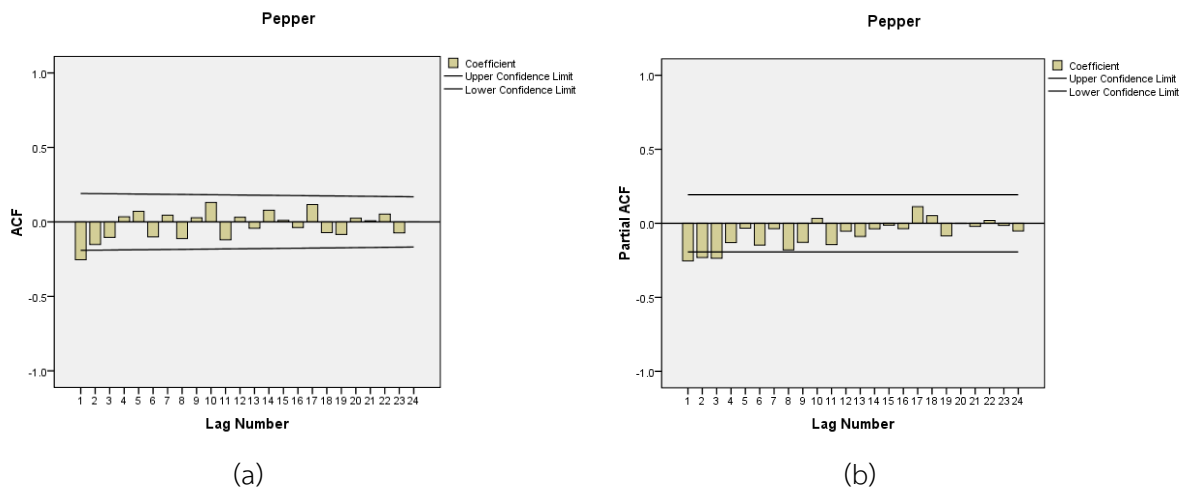


Figure 2 ACF and PACF of the first difference, $d=1$, of the export value of pepper

จากการคัดเลือกตัวแบบให้เหลือเฉพาะพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบว่า ตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสม คือ ตัวแบบ ARIMA (1, 1, 1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว ซึ่งสามารถเขียนเป็นตัวแทนของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ได้ดังนี้

$$(1 - \phi_1 B)(1 - B)Y_t = (1 - \theta_1 B)\varepsilon_t$$

$$(1 - B - \phi_1 B + \phi_1 B^2)Y_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

$$Y_t = (1 + \phi_1)Y_{t-1} - \phi_1 Y_{t-2} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

จากการแทนค่าประมาณพารามิเตอร์จะได้ตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี (Table 3) และค่าดัชนีฤดูกาลจากวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ (Table 4) ซึ่งพบว่า วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่ายและวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของ

วินเทอร์แบบบวก แสดงว่ามูลค่าการส่งออกพริกไทยในช่วงเดือนมีนาคม พฤษภาคมถึงสิงหาคม และพฤศจิกายนถึงธันวาคมมีค่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากดัชนีฤดูกาลมีค่ามากกว่า 0 และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ แสดงว่ามูลค่าการส่งออกพริกไทยในช่วงเดือนกรกฎาคมมีค่าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากดัชนีฤดูกาลมีค่ามากกว่า 1 ผลการตรวจสอบข้อสมมุติของตัวแบบพยากรณ์ พบว่าตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้นทั้ง 7 วิธี มีข้อสมมุติเป็นจริงทุกข้อที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ มีค่าสถิติ Ljung-Box Q ที่ไม่มีนัยสำคัญ และอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีการแจกแจงปกติ เคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา (Table 5)

Table 3 Results of the forecasting model

No.	Forecasting methods	Forecasting model
1	Box-Jenkins	ARIMA(1, 1, 1): $\hat{Y}_t = 1.40384Y_{t-1} - 0.40384Y_{t-2} - 0.88690e_{t-1}$ where Y_{t-j} represents the time series at time $t - j$ and e_{t-j} represents the error at time $t - j$
2	Holt	$\hat{Y}_{t+m} = 11,460,582.80067 + 63,893.50510(m)$ where $m = 1$ represents January 2020
3	Brown	$\hat{Y}_{t+m} = 11,575,170.14509 + 182,542.99490 \left[(m-1) + \frac{1}{0.09021} \right]$ where $m = 1$ represents January 2020
4	Damped	$\hat{Y}_{t+m} = 11,452,229.77162 + 54,630.58116 \sum_{i=1}^m (0.99917)^i$ where $m = 1$ represents January 2020
5	Simple Seasonal	where $\hat{S}_t$ are shown in Table 4
6	Winters' Additive	$\hat{Y}_{t+m} = (11,309,044.65961 + 62,226.92372m) + \hat{S}_t$ where $m = 1$ represents January 2020 and $\hat{S}_t$ are shown in Table 4
7	Winters' Multiplicative	$\hat{Y}_{t+m} = (15,836,737.29702 + 62,246.09113m)\hat{S}_t$ where $m = 1$ represents January 2020 and $\hat{S}_t$ are shown in Table 4

Table 4 Seasonal index from simple seasonal exponential smoothing method, Winters' additive exponential smoothing method, and Winters' multiplicative exponential smoothing method

Month	$\hat{S}_t$ from Simple seasonal	$\hat{S}_t$ from Winters' additive	$\hat{S}_t$ from Winters' multiplicative
JAN	-1,060,666	-718,397	0.73464
FEB	-2,777,536	-2,497,492	0.50286
MAR	34,064	251,879	0.84302
APR	-2,065,315	-1,909,731	0.51896
MAY	501,127	594,479	0.86433
JUN	1,105,242	1,136,361	0.88724

Table 4 (Continue)

Month	$\hat{S}_t$ from Simple seasonal	$\hat{S}_t$ from Winters' additive	$\hat{S}_t$ from Winters' multiplicative
JUL	2,354,565	2,323,453	1.01828
AUG	1,800,873	1,707,532	0.84315
SEP	-389,619	-545,187	0.67081
OCT	-467,109	-684,899	0.64477
NOV	357,307	77,304	0.78368
DEC	607,079	264,877	0.80676

Table 5 The results of checking the assumptions of the forecasting models

No.	Forecasting Methods	Ljung-Box Q	<i>p</i> -value	KS test	<i>p</i> -value	Runs test	<i>p</i> -value	t-test	<i>p</i> -value	Levene statistic	<i>p</i> -value
1	Box-Jenkins	8.877	0.918	1.301	0.068	1.069	0.285	1.129	0.262	0.442	0.933
2	Holt	17.616	0.347	0.942	0.338	-0.387	0.699	0.057	0.955	0.426	0.941
3	Brown	22.799	0.156	0.798	0.547	-1.547	0.122	0.456	0.650	0.534	0.876
4	Damped	17.624	0.283	0.936	0.344	-0.387	0.699	0.116	0.908	0.428	0.940
5	Simple seasonal	24.457	0.080	0.737	0.650	-1.547	0.122	0.413	0.681	0.422	0.943
6	Winters' additive	24.848	0.052	0.753	0.622	-1.160	0.246	0.001	0.999	0.422	0.943
7	Winters' multiplicative	24.416	0.058	0.695	0.720	-1.934	0.053	-0.377	0.707	0.520	0.885

เมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์ที่สร้างขึ้น (Table 3) สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 จากนั้นเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงโดยการคำนวณค่า MAPE และ RMSE พบว่าตัวแบบพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความแม่นยำมากที่สุดในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทย โดยมีความผิดพลาดจากการ

พยากรณ์ร้อยละ 37.5661 (MAPE=37.5661) หรือมีความผิดพลาดจากการพยากรณ์ 5,466,138 บาท (RMSE =5,466,138) (Table 6) ซึ่งทั้ง 2 เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความถูกต้องของตัวแบบพยากรณ์ให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้น่าเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้นว่าตัวแบบดังกล่าวมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด

Table 6 MAPE and RMSE of the second dataset

Forecasting methods	MAPE	RMSE	Forecasting methods	MAPE	RMSE
Box-Jenkins	37.5661	5,466,138	Simple seasonal	41.5127	5,968,671
Holt	38.5674	5,491,536	Winters' additive	42.7488	5,819,869
Brown	56.1100	5,904,820	Winters' multiplicative	47.1831	5,794,094
Damped	38.1491	5,491,688			

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการตรวจสอบแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาลของอนุกรมเวลามูลค่าการส่งออกพริกไทยชุดที่ 1 ที่พบว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มโดยไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมควรจะเป็นวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA (p, d, q) วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Ket-iam, 2005; Manmin, 2006) สอดคล้องกับผลการศึกษาค้างนี้ที่พบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ที่มีตัวแบบ ARIMA (1, 1, 1) ไม่มีพจน์ค่าคงตัว ให้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาค้างนี้ พบว่า วิธีการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุดกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลคือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ แตกต่างจากการศึกษาของ Riansut (2019) ที่พบว่า วิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม อาจเนื่องมาจากข้อมูลที่น่ามาศึกษาเป็นคนละประเภทและคนละช่วงเวลา จึงมีการเคลื่อนไหวที่ต่างกันไป ถึงแม้ว่าจะเป็นข้อมูลที่มีแนวโน้มเหมือนกัน แต่แนวโน้มที่พบเป็นคนละลักษณะกัน เมื่อใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 พบว่า มูลค่าการ

ส่งออกพริกไทยยังคงมีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มในลักษณะคงที่ (Table 7 และ Figure 3) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาที่ Figure 3 พบว่าค่าพยากรณ์ของวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความแตกต่างจากข้อมูลจริงอยู่บ้างทั้งในข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 อาจเนื่องมาจากมูลค่าการส่งออกมีค่าอยู่ในช่วงหลักล้านถึงหลักสิบล้าน ทำให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง เช่น มูลค่าการส่งออกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2563 เท่ากับ 11,256,048 บาท ค่าพยากรณ์เท่ากับ 10,910,535 บาท ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 345,513 บาท เมื่อนำมาคำนวณค่า MAPE และ RMSE จึงทำให้มีค่าค่อนข้างสูง อีกทั้งข้อมูลชุดที่ 1 ในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีความผันผวนสูงกว่าข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2561 ที่มีแนวโน้มคงที่ เมื่อนำมาสร้างตัวแบบพยากรณ์อาจส่งผลให้ความถูกต้องของตัวแบบลดลงได้ นอกจากนี้การศึกษาค้างนี้ได้พิจารณาเพียงปัจจัยเวลาเท่านั้นในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งมูลค่าการส่งออกพริกไทยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการเปลี่ยนแปลงอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ นอกเหนือจากปัจจัยเวลา ดังนั้น เมื่อมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าการส่งออกพริกไทยหรือมีข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากขึ้น ผู้วิจัยควรมานำปรับปรุงตัวแบบเพื่อให้ได้ตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น สำหรับใช้ในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกพริกไทยในอนาคตต่อไป

Table 7 Forecast values of the export value of pepper

Time	Forecast values	Time	Forecast values	Time	Forecast values	Time	Forecast values
NOV 2020	11,758,937	MAR 2021	11,759,032	JUL 2021	11,759,035	NOV 2021	11,759,035
DEC 2020	11,758,995	APR 2021	11,759,034	AUG 2021	11,759,035	DEC 2021	11,759,035
JAN 2021	11,759,019	MAY 2021	11,759,034	SEP 2021	11,759,035		
FEB 2021	11,759,028	JUN 2021	11,759,035	OCT 2021	11,759,035		

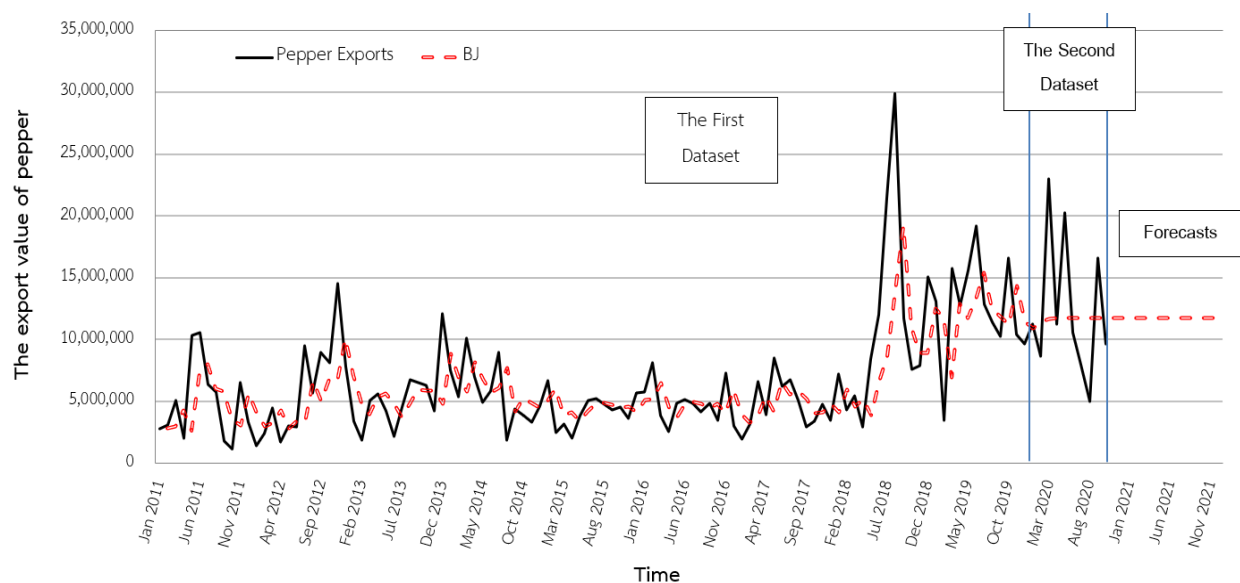


Figure 3 Comparison between the export value of pepper and its forecasts from Box-Jenkins method (ARIMA (1, 1, 1) with no constant)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าได้นำเสนอวิธีการสร้างและคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลา มูลค่าการส่งออกพริกไทยด้วยวิธีการทางสถิติ 7 วิธี ได้แก่ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของบราวน์ วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแฉก วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังที่มีฤดูกาลอย่างง่าย วิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบบวก และวิธีการทำให้เรียบด้วยเลขชี้กำลังของวินเทอร์แบบคูณ ผลการศึกษาพบว่า วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์มีความแม่นยำมากที่สุด ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์ คือ

$$\hat{Y}_t = 1.40384Y_{t-1} - 0.40384Y_{t-2} - 0.88690e_{t-1}$$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลการส่งออกพริกไทย

เอกสารอ้างอิง

- Box, G.E.P., G.M. Jenkins and G.C. Reinsel. 1994. **Time Series Analysis: Forecasting and Control**. 3rd Ed. New Jersey: Prentice Hall. 438 p.
- Inkhong, P. 2005. **An Analysis of Price Transmission and Speed of Price Adjustment of Thai Pepper**. Master Thesis. Kasetsart University. 113 p. [in Thai]
- Ket-iam, S. 2005. **Forecasting Technique**. 2nd Ed. Songkhla: Thaksin University. 328 p. [in Thai]
- Khoka, A. 2017. Phytochemicals from *Piper Nigrum* and their pharmacological effects. **PKRU SciTech Journal** 1(2): 28-39. [in Thai]
- Luangtong, N. and N. Kantananttha. 2016. Selection of the appropriate agricultural yield forecasting models. **Thai Science and Technology Journal** 24(3): 370-381. [in Thai]
- Manmin, M. 2006. **Time Series and Forecasting**. Bangkok: Foreprinting. 448 p. [in Thai]
- Office of Agricultural Economics. 2020. **Export statistics of black or white pepper from 2011 to 2020**. [Online]. Available http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2554&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5251&PRODUCT_ID=3826&wf_search=&WF_SEARCH=Y#export (15 December 2020).
- Riansut, W. 2018. Comparison of tangerine prices forecast model by exponential smoothing methods. **Thai Journal of Science and Technology** 7(Suppl.5): 460-470. [in Thai]
- _____. 2019. Forecasting the prices of black pepper. **RMUTP Research Journal** 13(2): 93-105. [in Thai]