

การทำนายปริมาณสารไลโคปีนในฟักข้าว ด้วยการวิเคราะห์ภาพสี RGB ร่วมกับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม Forecasting Lycopene in Gac-Fruit Using Coupled RGB Images Analysis and Artificial Neural Network Method

ศุขมา โชคเพิ่มพูน*

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

ตำบลเชิงศรี อำเภอมือง จังหวัดสกลนคร 47000

เตือนใจ น้อยพา และกนกทิพย์ โคตรสำราญ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ตำบลเชิงศรี อำเภอมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Susama Chokphoemphun*

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Science and Engineering,

Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus,

Chiangkrua, Muang, Sakon Nakhon 47000

Tuanjai Noipa and Kanoktip Kotsamran

Department of General Science, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University,

Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, Chiangkrua, Muang, Sakon Nakhon 47000

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการทำนายปริมาณสารไลโคปีนในผลฟักข้าวด้วยการประมวลผลวิเคราะห์ภาพสี RGB ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีการถ่ายภาพผลฟักข้าวจำนวนทั้งหมด 75 ลูก และนำภาพถ่ายนี้ไปวิเคราะห์แยกค่าสี RGB เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลเข้าของแบบจำลองการทำนาย ดำเนินการทดสอบหาปริมาณสารไลโคปีนการผลฟักข้าวแต่ละลูกด้วยวิธีการสเปกโตรโฟโตเมตรี-อัลตราไวโอเลต เพื่อใช้เป็นข้อมูลออกของขั้นตอนการเรียนรู้และการทดสอบแบบจำลองการทำนาย โครงข่ายประสาทเทียมแบบ 3 ชั้น ซึ่งมีจำนวนโหนดในชั้นซ่อน (2-12) จำนวนรอบในการฝึกสอน (300-1,500) อัตราการเรียนรู้ (0.1-0.4) และโมเมนตัม (0.1-0.4) ที่แตกต่างกัน ซึ่งได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการทดสอบ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดที่มีค่าพารามิเตอร์ k แตกต่างกัน (2-10) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์จากการทำนายที่ดีที่สุดได้มาจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า ชั้นซ่อน และชั้นข้อมูลออก 3, 3 และ 1 โหนด ตามลำดับ ผลลัพธ์แสดงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) 1.7252 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 0.9867

คำสำคัญ : ฟักข้าว; สารไลโคปีน; โครงข่ายประสาทเทียม; การประมวลผลภาพ; การวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

*ผู้รับผิดชอบบทความ : big_susama2203@hotmail.com

Abstract

This work presents a method to predict the lycopene quantity in the gac-fruit using coupled RGB images analysis and artificial neural network (ANN). 75 gac-fruits were photographed and the photos were analyzed to separate the RGB extraction, later the data were used in the prediction model. Each gac-fruit was tested to search for lycopene using UV-spectrophotometric and was used as the output data for the training and testing process of the model. The 3 layers ANN models with different numbers of hidden node (2-12), epoch number (300-1,500), learning rate (0.1-0.4) and different momentum (0.1-0.4) were developed and examined. In addition, the k-nearest neighbor (KNN) with different k parameters (2-10) was developed to compare with prediction from the ANN model. The best prediction results are obtained from the ANN model with the number of nodes in the input layer, hidden layer and output layer are 3, 3 and 1 respectively. The results showed that the mean squared error (MSE) was 1.7252 and the regression coefficient of determination (R^2) was 0.9867.

Keywords: gac-fruit; lycopene; artificial neural network; image processing; k-nearest neighbor

1. บทนำ

ฟักข้าว (Gac) เป็นไม้เลื้อยจัดอยู่ในวงศ์แตงกวามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Momordica Cochinchinensis* Spreng. พบมากในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และบางส่วนทางตอนเหนือของออสเตรเลีย ฟักข้าวเป็นพืชที่มีคุณประโยชน์หลากหลายและมีสมบัติเป็นยา เช่น ช่วยลดสภาวะโรคหลอดเลือดสมองและการป้องกันการขาดวิตามินเอ [1] ช่วยบำรุงสายตา เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ นอกจากนี้มีผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าเมล็ดของผลฟักข้าวมีฤทธิ์ต้านการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งปอดของมนุษย์ [2] รวมทั้งสามารถช่วยรักษาแผลภายในกระเพาะอาหารของหนูที่เกิดจากกรดอะซิติคได้ [3] สารองค์ประกอบสำคัญของฟักข้าวคือ สารไลโคปีนและเบต้าแคโรทีน ซึ่งปริมาณสารทั้ง 2 ชนิด นี้ขึ้นอยู่กับช่วงระยะเวลาของผลฟักข้าว [4] ปกติการทดสอบหาปริมาณของสารไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนมักทำภายในห้องปฏิบัติการที่ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติการที่มีความเชี่ยวชาญ และใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง

โดยดำเนินการภายใต้กระบวนการที่ยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เกิดแนวคิดในการลดขั้นตอนและความยุ่งยากของการทดสอบหาปริมาณของสารองค์ประกอบบลงด้วยการอาศัยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารองค์ประกอบกับผลการประมาณวิเคราะห์ค่าสีจากลักษณะสีภายนอกของผลฟักข้าวร่วมกับการอาศัยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้สำหรับทำนายปริมาณสารองค์ประกอบจากข้อมูลความสัมพันธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพ เนื่องจากเทคโนโลยีทั้งสองนี้นับเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ดังเห็นได้จากการประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวนี้ในงานวิจัยจำนวนมาก โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับอาหาร [5] เช่น การประยุกต์ใช้หลักการประเมินค่าสีของกล้วยในการจำแนกความสุกของกล้วย [6] การพัฒนาระบบการคัดแยกสตอเบอร์รี่แบบอัตโนมัติโดยอาศัยการประมวลผลภาพ [7] การวิเคราะห์ภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประเมินความเขียวของผัก [8] การประยุกต์ใช้ระบบประมวล

ภาพรวมกับการทำนายแบบโครงข่ายประสาทเทียม สำหรับการออกแบบและควบคุมระบบสำหรับการอบแห้งเมล็ดองุ่น [9] และการอบแห้งชิ้นแอปเปิ้ล [10]

งานวิจัยนี้ได้แสดงถึงการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาประยุกต์ใช้สำหรับการประมาณวิเคราะห์ค่าสีจากภาพถ่ายดิจิทัลของผลฟักข้าว และนำข้อมูลนี้ไปหาความสัมพันธ์กับปริมาณสารองค์ประกอบของฟักข้าวที่ได้มาจากการทดสอบด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี-อัลตราไวโอเลต ซึ่งได้กำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะปริมาณสารไลโคปีนเท่านั้น โดยการอาศัยแบบจำลองการทำนายโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนโหนดในชั้นซ่อน จำนวนรอบในการฝึกสอน อัตราการเรียนรู้และโมเมนตัม เพื่อให้ได้แบบจำลองการทำนายที่มีค่าความแม่นยำสูงสำหรับใช้ในการทำนายปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าวจากข้อมูลผลการประมาณวิเคราะห์ค่าสี และเปรียบเทียบผลการทำนายกับวิธีการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดที่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ k

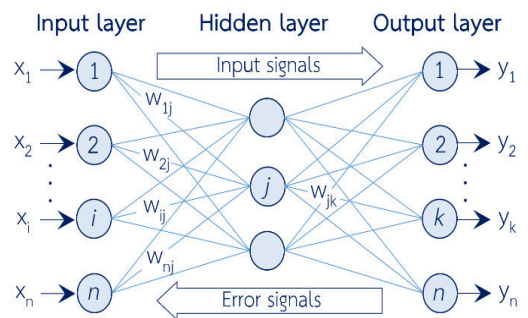
2. ทฤษฎี

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (multilayer neural network) คือ โครงข่ายประสาทรูปแบบหนึ่งซึ่งประกอบด้วยชั้นข้อมูลเข้า (input layer) ชั้นซ่อน (hidden layer) ที่อาจมีจำนวนหนึ่งชั้น หรืออาจมีจำนวนมากกว่าหนึ่งชั้น และชั้นข้อมูลออก (output layer) โดยใช้อัลกอริทึมการแพร่แบบย้อนกลับ (back-propagation algorithm) สำหรับกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่าย [11] โดยลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นแสดงในรูปที่ 1

ในแต่ละชั้นประกอบด้วยหน่วยย่อย (unit) หรือที่เรียกว่าโหนด (node) โดยข้อมูลเข้าถูกป้อนเข้าสู่โหนดของชั้นข้อมูลเข้า ข้อมูลเข้าถูกส่งผ่านชั้นข้อมูล

เข้าพร้อมกับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักจากนั้นส่งข้อมูลออกไปยังชั้นถัดไปซึ่งคือชั้นซ่อน ข้อมูลออกจากชั้นซ่อนนี้ถูกใช้เป็นข้อมูลเข้าของชั้นซ่อนชั้นถัดไปพร้อมกับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ข้อมูลที่ผ่านการถ่วงน้ำหนักจากชั้นซ่อนชั้นสุดท้ายจะใช้เป็นข้อมูลเข้าของชั้นข้อมูลออกซึ่งเป็นชั้นสุดท้ายของโครงข่าย โดยข้อมูลที่ออกจากชั้นข้อมูลออกนั้นใช้สำหรับการทำนายผลลัพธ์การทำนายที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย จากนั้นอาศัยกระบวนการรู้เรียนด้วยการแพร่แบบย้อนกลับส่งข้อมูลความผิดพลาดย้อนกลับไปยังชั้นซ่อนก่อนหน้า และปรับค่าถ่วงน้ำหนักจนกระทั่งถึงการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักเริ่มแรกก่อนเข้าสู่ชั้นซ่อนชั้นแรก เพื่อลดความผิดพลาดการทำนายที่เกิดขึ้น กระบวนการเรียนรู้เกิดขึ้นในลักษณะการวนซ้ำเช่นนี้ จนกระทั่งค่าความผิดพลาดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หรือครบจำนวนรอบการเรียนรู้ที่กำหนดไว้



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

2.2 การวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

การวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (k-nearest neighbor, KNN) [11] เป็นวิธีการหนึ่งในการจัดแบ่งกลุ่มข้อมูล ซึ่งหลักการของวิธีการนี้ คือ การจำแนกข้อมูลโดยอาศัยข้อมูลแวดล้อมที่มีสมบัติใกล้เคียงกับข้อมูลที่ต้องการจำแนก ในการกำหนดจำนวนข้อมูลแวดล้อมที่พิจารณาถึงการมีสมบัติ

ใกล้เคียงในรูปของพารามิเตอร์ k โดยความใกล้เคียงนี้อาศัยจากการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างข้อมูลที่ต้องการจำแนกกับข้อมูลแวดล้อมจำนวน k ตัวที่นำมาพิจารณาความใกล้เคียงของ จำนวนพารามิเตอร์ k ที่เหมาะสมที่สุดสามารถหาได้จากการทดลองที่ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

2.3 การวิเคราะห์สีภาพถ่ายของอาหาร

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ค่าสีของพื้นผิวอาหารจากภาพถ่ายต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างกล้องดิจิทัล คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ด้านกราฟิก [12] ซึ่งบางครั้งลักษณะสีที่ปรากฏบนพื้นผิวของอาหารนั้นสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์กับสมบัติอื่น ๆ ภายในของอาหารได้ ได้แก่ ช่วงระยะเวลาอายุ ชนิดสายพันธุ์ หรือปริมาณสารสำคัญ เป็นต้น

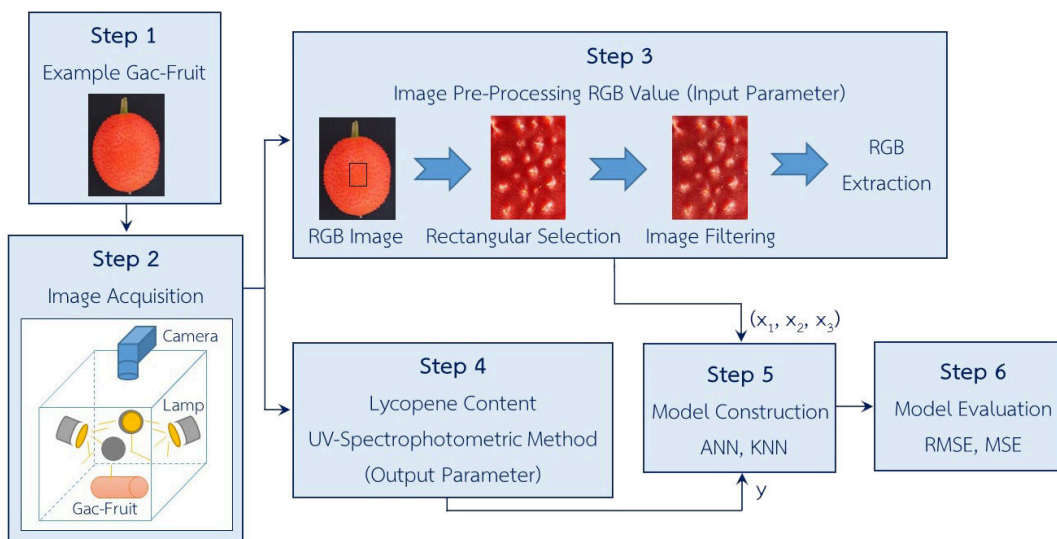
ระบบสีหรือแบบจำลองสีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์มีหลายระบบ เช่น ระบบสีแบบ RGB (สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน) ระบบสีแบบ CMYK (สีฟ้า สีม่วงแดง

สีเหลือง สีดำ) ระบบสีแบบ $L^*a^*b^*$ (ครอบคลุมระบบสีแบบ RGB และ CMYK) ระบบสีแบบ HSV ระบบสีแบบ HIS สำหรับขอบเขตของการวิจัยนี้ใช้ระบบสีแบบ RGB ซึ่งเป็นแบบจำลองสีที่ใช้สำหรับแสดงผลบนหน้าจอโดยอาศัยแหล่งกำเนิดพื้นฐานจากสี จำนวน 3 สี ได้แก่ สีแดง (red) สีเขียว (green) และสีน้ำเงิน (blue) สำหรับการระบุสีในระบบสีแบบ RGB นั้นแสดงในรูปสัดส่วนความเข้มของค่าสีพื้นฐานทั้งสามที่แตกต่างกัน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัยถึงการทำนายปริมาณสารไลโคปีนในฟักข้าวด้วยการวิเคราะห์ภาพสีแบบ RGB ร่วมกับวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังที่แสดงในรูปที่ 2

3.1 การจัดเตรียมผลฟักข้าว



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ผลฟักข้าวที่ใช้สำหรับการศึกษามาจากผลฟักข้าวที่มีจำหน่ายในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร

ฟักข้าวที่ใช้มีขนาดใกล้เคียงกัน จำนวน 75 ผล โดยระยะเวลาอายุของผลฟักข้าวที่นำมาศึกษาครอบคลุมตั้งแต่

ระยะผลเปลี่ยนสี จนกระทั่งมีระยะผลสุกเต็มที่ ซึ่งอาศัยการสังเกตจากลักษณะทางกายภาพของผลฟักข้าว

3.2 การดึงข้อมูลภาพ

การดึงข้อมูลภาพของผลฟักข้าวเริ่มต้นจากการจัดเตรียมอุปกรณ์ การถ่ายภาพผลฟักข้าว และการส่งภาพต้นฉบับเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยผลฟักข้าวครึ่งละหนึ่งตัวอย่างถูกนำไปวางภายในกล่องสำหรับถ่ายภาพที่สามารถควบคุมปริมาณและทิศทางของแสงได้ จากนั้นถ่ายภาพผลฟักข้าวด้วยกล้องดิจิทัล Olympus PEN E-P5 จนกระทั่งครบทุกตัวอย่าง ซึ่งภาพต้นฉบับที่ได้มีขนาด 8 บิต ความละเอียด 4608 x 3456 พิกเซล

3.3 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

ก่อนการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อวิเคราะห์แยกสี RGB นั้น ได้มีการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Image-J ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการลดขนาดภาพถ่ายด้วยการใช้เครื่องมือในการเลือกพื้นที่ด้วยภาพสี่เหลี่ยม (rectangular selection) ให้เหลือขนาด 100 x 100 พิกเซล โดยเลือกจากตำแหน่งกึ่งกลางภาพถ่ายเนื่องจากผลฟักข้าวในที่คัดเลือกมาศึกษาในแต่ละระยะนั้นมีลักษณะโทนสีกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอทั้งลูก ขั้นตอนการกรองสัญญาณภาพเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน ด้วยฟังก์ชันตัวกรองมาตรฐานแบบปรับเปลี่ยนได้ในพื้นที่ (adaptive median filter) โดยค่าเฉลี่ยสีในแกนสีแดง (R) แกนสีเขียว (G) และแกนสีน้ำเงิน (B) ที่ได้จากการวิเคราะห์แยกภาพสี RGB ใช้เป็นข้อมูลเข้าสำหรับโมเดลการทำนาย

3.4 การหาปริมาณสารไลโคปีนจากผลฟักข้าว

ผลฟักข้าวที่ผ่านการถ่ายภาพทั้งหมดถูกนำมาผ่าเอาเยื่อหุ้มเมล็ดผลฟักข้าวของแต่ละตัวอย่างเพื่อ

นำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารไลโคปีนตามวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี-อัลตราไวโอเลต (UV-spectrophotometric) ด้วยเครื่องทดสอบ Perkin Elmer Lambda 35 UV/VIS spectrometer สำหรับเป็นข้อมูลออกของแบบจำลองการทำนายในขั้นตอนการเรียนรู้และการทดสอบ

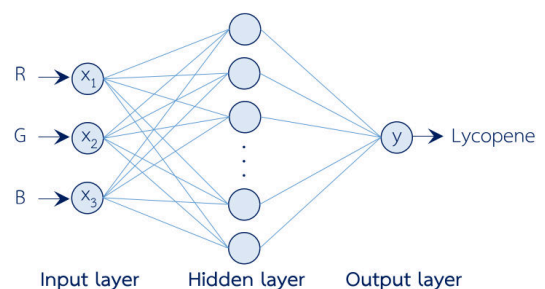
3.5 แบบจำลองในการทำนาย

การทำนายปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าวจากข้อมูลการวิเคราะห์แยกสี RGB นั้นสามารถแบ่งแบบจำลองออกได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ (1) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งใช้เป็นแบบจำลองหลักในการศึกษาเพื่อการทำนาย และ (2) แบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าวถูกพัฒนาด้วยโปรแกรม Rapid Miner Studio 7 โครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นมาเป็นแบบหลายชั้น โดยใช้อัลกอริทึมการแพร่แบบย้อนกลับและฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยชั้นทั้งหมด 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นข้อมูลเข้า ชั้นซ่อน และชั้นข้อมูลออก ดังที่นำเสนอในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบจำลองการทำนายโดยโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้น

- ชั้นข้อมูลเข้าเป็นชั้นที่นำเข้าข้อมูลค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์แยกสี ประกอบด้วยโหนด 3 โหนด สำหรับแกนสีแดง (R) แกนสีเขียว (G) และแกนสีน้ำเงิน (B) โดยนำเสนอในรูปแบบตัวแปร x_1, x_2 และ x_3 ตามลำดับ

- ชั้นซ่อนเป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นข้อมูลเข้าและชั้นข้อมูลออก ในการศึกษานี้มีการปรับหาจำนวนโหนดชั้นซ่อนที่เหมาะสม โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1 [13] เพื่อกำหนดขอบเขตของจำนวนโหนดชั้นซ่อนที่ใช้ศึกษา

$$h = (m + n)^{1/2} + a \tag{1}$$

เมื่อ h คือ จำนวนโหนดในชั้นซ่อน, m คือ จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลออก, n คือ จำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า, a คือ ค่าความเป็นสมาชิก มีค่าระหว่าง 0-10

- ชั้นข้อมูลออกประกอบด้วยโหนดจำนวน 1 โหนด โดยเป็นชั้นที่แสดงข้อมูลผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียม ได้แก่ ค่าปริมาณสารไลโคปีนในผลฟักข้าว โดยนำเสนอในรูปแบบตัวแปร y

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

รายการ	กำหนดค่า
จำนวนโหนดในชั้นซ่อน (hidden node)	2-12
จำนวนรอบในการฝึกสอน (training cycle)	300-1,500
อัตราการเรียนรู้ (learning rate)	0.1-0.4
โมเมนตัม (momentum)	0.1-0.4

3.5.2 แบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดสำหรับการทำนายปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าวอาศัยโปรแกรม

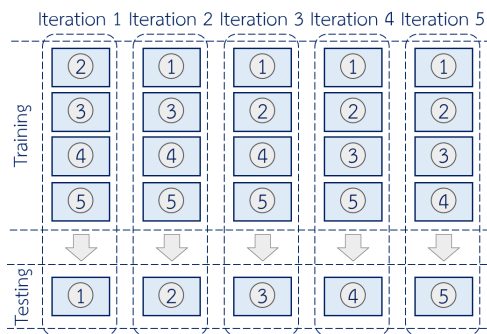
Rapid Miner Studio 7 เช่นเดียวกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยโครงสร้างของแบบจำลองการพยากรณ์นี้กำหนดค่า measure type เป็นแบบ numerical measure (euclidean distance) และการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ k ให้มีค่าอยู่ภายในช่วงระหว่าง 2-10

3.6 การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

3.6.1 การแบ่งชุดข้อมูล

ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์แยกสี RGB กับปริมาณสารไลโคปีนในผลฟักข้าวถูกแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (training data) และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (testing data) ด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไขว้ (cross-variation) โดยแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 5 กลุ่ม ประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ 4 กลุ่ม และกลุ่มข้อมูลสำหรับการทดสอบ 1 กลุ่ม ในแต่ละรอบการประเมินจนกระทั่งครบรอบการประเมิน ดังแสดงในรูปที่ 4

วิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด



รูปที่ 4 การแบ่งข้อมูลแบบด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไขว้ 5 กลุ่ม

3.6.2 การทดสอบประสิทธิภาพ

การประเมินความแม่นยำในการทำนายปริมาณสารไลโคปีนในผลฟักข้าวจากข้อมูล

ค่าเฉลี่ยการวิเคราะห์แยกสี RGB เพื่อการคัดเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดของทั้งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดนั้นพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด (mean square error, MSE) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (regression coefficient of determination, R^2) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{d,i} - y_i)^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{d,i} - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

เมื่อ $y_{d,i}$ คือ ปริมาณสารไลโคปีนของตัวอย่างที่ i จากการทำนาย, y_i คือ ปริมาณสารไลโคปีนของตัวอย่างที่ i จากการทดลอง, \bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารไลโคปีนจากการทดลอง, n คือ จำนวนตัวอย่าง

4. ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 การคัดเลือกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การคัดเลือกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการทำนายปริมาณสารไลโคปีนในผลผักข้าวจากข้อมูลการวิเคราะห์แยกค่าสี RGB เริ่มต้นด้วยการศึกษาผลกระทบของขนาดโมเมนตัม 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 และอัตราการเรียนรู้ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ที่จำนวนรอบการทดสอบ 1,000 รอบ และจำนวนโหนดในชั้นซ่อน 6 โหนด โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 2 พบว่าขนาดโมเมนตัม 0.1 และอัตราการเรียนรู้ 0.2 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด มีค่า 1.8708 ดังนั้นจึงกำหนดขนาดโมเมนตัม 0.1 และอัตราการเรียนรู้ 0.2 ในการทดสอบอิทธิพลของจำนวนรอบการทดสอบและจำนวนโหนดในชั้นซ่อนต่อไป

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ตามขนาดโมเมนตัมและอัตราการเรียนรู้

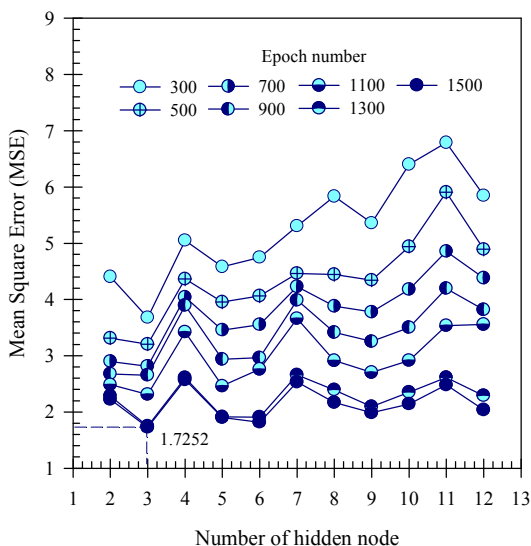
Momentum	Learning rate	MSE	Momentum	Learning rate	MSE
0.1	0.1	3.3287	0.3	0.1	2.7484
	0.2	1.8708		0.2	2.3711
	0.3	2.0379		0.3	2.3909
	0.4	2.0601		0.4	2.3032
0.2	0.1	2.9931	0.4	0.1	2.5584
	0.2	2.1629		0.2	2.6571
	0.3	2.1931		0.3	2.6936
	0.4	2.1564		0.4	2.5215

* จำนวนรอบในการทดสอบ 1,000 รอบ และจำนวนโหนดในชั้นซ่อน 6 โหนด

สำหรับการทดสอบอิทธิพลของจำนวนรอบการทดสอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้น จะดำเนินการปรับจำนวนรอบเพิ่มขึ้นครั้งละ 200 รอบ โดยเริ่มต้นตั้งแต่ 300 รอบ จนกระทั่งถึง 1,500 รอบ

ในขณะที่จำนวนโหนดในชั้นซ่อนนั้นจะดำเนินการปรับอยู่ภายในช่วง 2-12 โหนด โดยปรับขึ้นเพิ่มครั้งละ 1 โหนด ตามที่นำเสนอในรูปที่ 5 ผลการศึกษาพบว่าจำนวนรอบการทดสอบ 1,500 รอบ ที่จำนวนโหนดใน

ชั้นซ่อน 3 โหนด ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดมีค่า 1.7252 นอกจากนี้จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวนรอบในการทดสอบ 1,300 และ 1,500 รอบให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มการลดลงของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยลดน้อยลงด้วยเหตุนี้จึงหยุดการทดสอบไว้ที่จำนวนรอบในการทดสอบ 1,500 รอบ ดังนั้นจึงได้ลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า ชั้นซ่อนและชั้นข้อมูลออก 3, 3 และ 1 ตามลำดับ ที่อัตราการเรียนรู้ 0.2 และขนาดโมเมนตัม 0.1 สำหรับเป็นแบบจำลองในการทำนายปริมาณสารไลโคปีน



รูปที่ 5 อิทธิพลของจำนวนรอบการทดสอบและโหนดในชั้นซ่อนต่อความแม่นยำในการทำนาย

4.2 การคัดเลือกแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

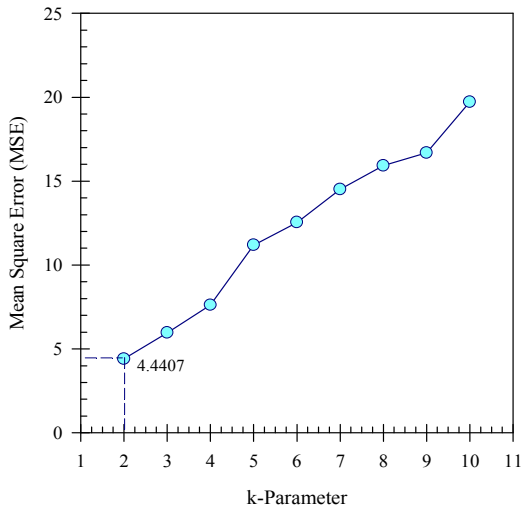
การคัดเลือกแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดที่ใช้สำหรับการทำนายปริมาณสารไลโคปีนในผลฟักข้าวข้อมูลการวิเคราะห์

แยกค่าสี RGB นั้นพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ k อยู่ภายในช่วง 2-10 พบว่าเมื่อพารามิเตอร์ 2 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดโดยมีค่า 4.4007 โดยผลลัพธ์ที่เกิดจากค่าพารามิเตอร์ k ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 6 ซึ่งจากรูปพบว่าค่าพารามิเตอร์ k ที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งแสดงแนวโน้มของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามพารามิเตอร์ k เนื่องจากข้อมูลปริมาณสารไลโคปีนที่ทดสอบได้ซึ่งถูกใช้เป็นพารามิเตอร์เพื่อหาความใกล้เคียงมีลักษณะกระจายตัวจึงส่งผลให้เกิดระยะห่างระหว่างพารามิเตอร์ที่เพิ่มสูงขึ้นในการวิเคราะห์หาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดทำให้เกิดความคลื่อนในการทำนายที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้การพยากรณ์โดยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดที่มีค่าพารามิเตอร์ k เป็น 2

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ตามค่าพารามิเตอร์ k

k-Parameter	MSE
2	4.4007
3	5.9589
4	7.6073
5	11.1799
6	12.5300
7	14.5120
8	15.9159
9	16.6809
10	19.7121

4.3 ความสัมพันธ์ของค่าสี RGB กับปริมาณสารไลโคปีน



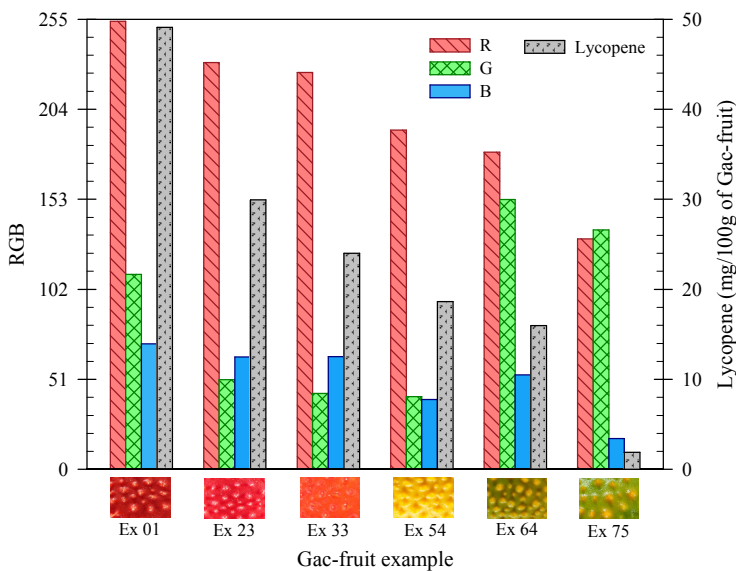
รูปที่ 6 อิทธิพลของพารามิเตอร์ k ต่อความแม่นยำในการทำงาน

นำผลฟักข้าว 75 ลูก มาถ่ายภาพภายในกล่องสำหรับถ่ายภาพ โดยภาพถ่ายของผลฟักข้าวแต่ละลูกนำมาวิเคราะห์แยกค่าสี RGB ออกมาเป็นค่าเฉลี่ยสีในแกนสีแดง (R) แกนสีเขียว (G) และแกนสีน้ำเงิน (B) สำหรับใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองการทำนายขณะที่เยื่อหุ้มเมล็ดผลฟักข้าวนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารไลโคปีนตามวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรี-อัลตราไวโอ-

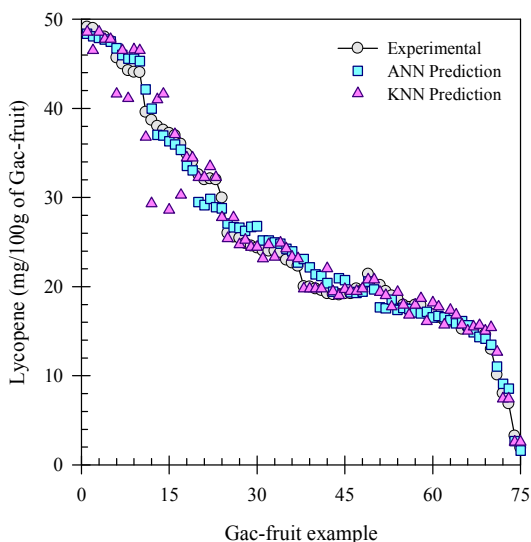
เลตสำหรับเป็นข้อมูลออกของแบบจำลองการทำนายรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยสีที่ได้จากวิเคราะห์แยกค่าสี RGB และปริมาณสารไลโคปีนของตัวอย่างผลฟักข้าว 6 ตัวอย่าง ประกอบผลฟักข้าวในระยะเวลาต่าง ๆ โดยสังเกตจากภายนอกของผลฟักข้าว ได้แก่ สีแดงเข้ม (ตัวอย่างที่ 1) สีแดง (ตัวอย่างที่ 23) สีส้ม (ตัวอย่างที่ 33) สีเหลือง (ตัวอย่างที่ 54) สีเขียวอมเหลือง (ตัวอย่างที่ 64) และสีเขียวปนเหลือง (ตัวอย่างที่ 75) พบว่าปริมาณสารไลโคปีนในผลฟักข้าวมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยสีของแกนสีแดง (R)

4.4 การทำนายปริมาณสารไลโคปีน

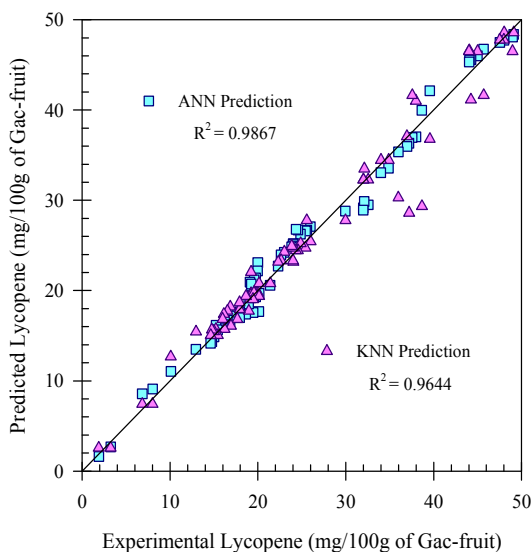
ปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าวทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานสเปกโทรโฟโตเมตรี-อัลตราไวโอเลต รวมทั้งจากการทำนายด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุด นำเสนอในรูปที่ 8 ในขณะที่ผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าวที่ได้จากการทดสอบกับผลการทำนายด้วยแบบจำลองแต่ละรูปแบบนำเสนอในรูปที่ 9 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของค่าสี RGB กับ ปริมาณสารไลโคปีนของผลฟักข้าว บางตัวอย่าง



รูปที่ 8 ปริมาณสารไลโคปีนของผลฟิกข้าวจากการทดสอบและการทำนาย



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบปริมาณสารไลโคปีนของผลฟิกข้าวจากการทดสอบและการทำนาย

และแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดมีค่า 0.9867 และ 0.9644 ตามลำดับ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีค่าร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ย 5.08 ในขณะที่แบบจำลองการพยากรณ์

ด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดมีค่าร้อยละความผิดพลาดเฉลี่ย 5.55

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาและพัฒนาวิธีการทำนายปริมาณสารไลโคปีนของผลฟิกข้าวด้วยแบบจำลองการทำนายซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสีภายนอกของผลฟิกข้าวที่ได้จากกระบวนการประมวลวิเคราะห์ภาพสี RGB ของภาพถ่ายผลฟิกข้าวและปริมาณสารไลโคปีนที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการสเปกโทรโฟโตเมตรี-อัลตราไวโอเล็ต โดยขอบเขตของการศึกษานั้นเลือกใช้ผลฟิกข้าวที่มีในอำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร ซึ่งน้ำหนักใกล้เคียงกัน จำนวน 75 ลูก โดยระยะอายุของผลฟิกข้าวครอบคลุมตั้งแต่ระยะผลเปลี่ยนสี (สีเขียวปนเหลือง) จนกระทั่งระยะผลสุกเต็มที่ (สีแดงเข้ม) แบบจำลองสำหรับการทำนายประกอบด้วย (1) โครงข่ายประสาทเทียมที่มีการปรับเปลี่ยนจำนวนโหนดในชั้นซ่อน จำนวนรอบในการฝึกสอน อัตราการเรียนรู้และโมเมนตัม และ (2) การวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ k ผลการศึกษาพบว่ามีลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลเข้า ชั้นซ่อน และชั้นข้อมูลออก 3, 3 และ 1 ตามลำดับ ที่อัตราการเรียนรู้ 0.2 และขนาดโมเมนตัม 0.1 ให้ผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำที่สุดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) 1.7252 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 0.9867 ในขณะที่การทำนายด้วยการวิเคราะห์เพื่อนบ้านใกล้ที่สุดให้ผลลัพธ์การทำนายที่แม่นยำที่สุดโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) 4.4007 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) 0.9644 สำหรับกรณีที่ค่าพารามิเตอร์ k เป็น 2

6. รายการอ้างอิง

- [1] Vuong, L.T., 2000, Underutilized β -carotene-rich crops of Vietnam, Food Nutr. Bull. 21: 173-181.
- [2] Yua, J.S., Roh, H.S., Lee, S., Jung, K., Baek, K.H. and Kim, K.H., 2017, Antiproliferative effect of *Momordica cochinchinensis* seeds on human lung cancer cells and isolation of the major constituents, Rev Bras Farmacogn. 27: 329-333
- [3] Kang, J.M., Kim, N., Kim, B., Kim, J.H., Lee, B.Y., Park, J.H., Lee, M.K., Lee, H.S., Kim, J.S., Jung, H.C. and Song, I.S., 2010, Enhancement of gastric ulcer healing and angio-genesis by *Cochinchina Momordica* seed extract in rats, J. Korean Med. Sci. 25: 875-881.
- [4] Bhumsaidon, A. and Chamchong, M., 2016, Variation of lycopene and beta-carotene contents after harvesting of gac fruit and its prediction, ANRES 50: 257-263.
- [5] Liu, Y., Pu, H. and Sun, D.W., 2017, Hyperspectral imaging technique for evaluating food quality and safety during various processes: A review of recent applications, Trends Food Sci. Tech. 69: 25-35.
- [6] Gomes, J.F.S, Vieira, R.R. and Leta, F.R., 2013, Colorimetric indicator for classification of bananas during ripening, Sci. Hort. 150: 201-205.
- [7] Liming, X. and Yanchao, Z., 2010, Automated strawberry grading system based on image processing, Comput. Electron. Agr. 71S: S32-S39.
- [8] Manninen, H., Paakki, M., Hopia, A. and Franzen, R., 2015, Measuring the green color of vegetables from digital images using image analysis, LWT Food Sci. Technol. 63: 1184-1190.
- [9] Khazaei, N.B., Tavakoli, T., Ghassemian, H., Khoshtaghaza, M.H. and Banakar, A., 2013, Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process, Comput. Electron. Agr. 98: 205-213.
- [10] Nadian, M.H., Rafiee, S., Aghbashlo, M., Hosseinpour, S. and Mohtasebi, S.S., 2015, Continuous real-time monitoring and neural network modeling of apple slices color changes during hot air drying, Food Bioprod. Process. 94: 263-274.
- [11] Han, J., Kamber, M. and Pei, J., Data Mining Concepts and Techniques, 3rd Ed., Elsevier, Inc., Massachusetts, 398 p.
- [12] Yam, L.K. and Papadakis, E.S., 2004, A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces, J. Food Eng. 61: 137-142.
- [13] Chen, X., Xun, Y., Lia, W. and Zhang, J., 2010, Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification, Comput. Electron. Agr. 71S: S48-S53.