หัวข้อดุษฎีนิพนธ์	ผลของการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเบบี้คอส และการทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิแบบสุญญากาศโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
ผู้เขียน	นางปรัศนีย์ กองวงค์
ปริญญา	วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)
คณะกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญา พูลลาภ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ศาสตราจารย์ ดร.ดนัย บุณยเกียรติ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดามร บัณฑุรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Prof. Dr. Matteo Scampicchio อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

การลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นกระบวนการที่สามารถลดอุณหภูมิผลิตผลได้อย่างรวดเร็วซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตผลทางการเกษตรที่มีปริมาณน้ำสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตผลพืชผักที่มีโครงสร้างซับซ้อน เบบี้คอส เป็นผักสลัดบริโภคสดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นผักที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ และมีปริมาณน้ำค่อนข้างสูง ในการทดลองนี้ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดอุณหภูมิเบบี้คอสด้วยระบบสุญญากาศ จากนั้นศึกษาผลของการลดอุณหภูมิด้วยวิธีต่างๆต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และโครงสร้างภายในเซลล์ของเบบี้คอส โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ กับการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็น และการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ พบว่าการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศโดยใช้ความดันสุดท้าย 6.0 มิลลิบาร์ และระยะเวลาที่ผลิตผลอยู่ภายใต้สภาวะความดันต่ำ 25 นาที มีอัตราเร็วในการลดอุณหภูมิ 0.458 องศาเซลเซียส/นาที ซึ่งเร็วกว่าอัตราการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็น 14.58 เท่า (0.177 องศาเซลเซียส/นาที) และเร็วกว่าการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เย็นแบบบังคับ 3.33 เท่า (0.038 องศาเซลเซียส/นาที) ตามลำดับ นอกจากนั้นการลดอุณหภูมิด้วยระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สุญญากาศสามารถลดต้นทุนในการใช้ไฟฟ้าได้ดีกว่าการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น และการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อกระบวนการ 3.40, 33.20 และ 44.28 กิโลวัตต์ชั่วโมง ตามลำดับ

เบบี้คอสที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยวิธีแบบต่างๆจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนด แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เบบี้คอสที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยผ่านอากาศเย็น และการผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และมีคุณภาพโดยรวมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในวันที่13 ของการเก็บรักษา ในขณะที่เบบี้คอสที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศสามารถรักษาคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส ปริมาณวิตามินซี กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอล ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของวิธีการลดอุณหภูมิต่อโครงสร้างภายในเซลล์ของเบบี้คอส ซึ่งศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า หลังจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 13 วัน เบบี้คอสที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็นแบบบังคับแสดงลักษณะของเซลล์ที่มีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ (plasmolysis) และพบลักษณะการเสื่อมสลายของคลอโร-พลาสต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนัก และการสูญเสียปริมาณคลอโรฟิลล์ ในขณะที่เบบี้คอสที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ แสดงให้เห็นถึงเซลล์ที่ยังคงสามารถรักษาความสมบูรณ์ของเซลล์ และคลอโรพลาสต์ เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 13 วัน กระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศเป็นวิธีการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเบบี้คอส โดยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ได้นาน 16 วัน ซึ่งมากกว่าการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็นแบบบังคับ (forced-air cooling) และการลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น (room cooling) ที่มีอายุการเก็บรักษา 13 วัน และชุดควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 9 วัน

การศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าโดยใช้การเรียนรู้แบบแพร่ค่าย้อนกลับ (feed-forward back propagation) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำนายพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศของเบบี้คอส โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด 52 ชุด แบ่งออกเป็น ชุดข้อมูลการเรียนรู้ 70 % (36 ชุด) ชุดข้อมูลทดสอบ 15 % (8 ชุด) และชุดข้อมูลตรวจสอบ 15% (8 ชุด) จากการทดลองพบว่า โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายผลของการลดอุณหภูมิเบบี้คอสด้วยระบบสุญญากาศ ได้แก่ อุณหภูมิสุดท้าย และ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับการทำนายโดยใช้สมการเชิงเส้น (multiple linear regression) โดยแสดงประสิทธิภาพการทำนายอุณหภูมิสุดท้ายด้วยค่าสัมประสิทธิ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การพยากรณ์เมื่อปรับแล้ว (Adjusted R Square: R^2_{adjust}) 0.890 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) 0.076 ร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Mean Relative Error: MRE) 10.28 % และ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Error: MAE) 0.504 ซึ่งแสดงค่าความแม่นยำของการทำนายสูงเช่นเดียวกับการทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก โดยมีประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ ดังนี้ R^2_{adjust} (0.903), RMSE (0.078), MRE (7.68 %) และ MAE (0.133) ตามลำดับ

การศึกษาวิธีการประเมินกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอย่างรวดเร็วโดยใช้ ลิ้นอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic tongue) ระบบ flow injection ด้วยการตรวจวัดของ Coularray detector ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าจำนวน 16 ช่อง ที่มีค่าความต่างศักดิ์ไฟฟ้าตั้งแต่ +100 ถึง +850 มิลลิโวลล์ พบว่า การเตรียมตัวอย่างโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และสกัดด้วยเมทานอล 100 % ให้ค่าการตอบสนองต่อความต่างศักดิ์ไฟฟ้าดีที่สุด และแสดงค่าความสัมพันธ์ที่สูงกับวิธีการทดสอบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยสารละลาย DPPH (R^2=0.98) นอกจากนั้น เมื่อนำไปทดสอบวัดกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระในผักสลัดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม และการลดอุณหภูมิโดยใช้อากาศเย็น พบว่า Coularray detector สามารถแยกความแตกต่างของกิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของผักสลัดได้ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าผักสลัดที่ผ่านการลดอุณหภูมิด้วยระบบสุญญากาศแสดงกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าชุดควบคุมและผักสลัดที่ผ่านการลดอุณหภูมิโดยการผ่านอากาศเย็น แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Dissertation Title	The Effect of Vacuum Cooling on Physico-chemical Qualities and Bioactive Compounds of Baby Cos Lettuce and the Prediction of Vacuum Cooling Optimum Parameters Using an Artificial Neural Network
Author	Mrs. Pratsanee Kongwong
Degree	Doctor of Philosophy (Food Science and Technology)
Advisory Committee	Asst. Prof. Dr. Pichaya Poonlarp — Advisor Prof. Dr. Danai Boonyakiat — Co-advisor Asst. Prof. Dr. Damorn Bundhurat — Co-advisor Prof. Dr. Matteo Scampicchio — Co-advisor

ABSTRACT

Vacuum cooling is an established technique for rapid cooling processing which can be applied to any porous produces that contain free water especially complex structure vegetable. Baby cos lettuce is one of the most popular vegetables for fresh salad due attributed to a large supply of antioxidant compounds with high water content. In this study, the optimum parameters of vacuum cooling process were investigated and subsequently, the effect of precooling methods on physico-chemical properties and ultrastructure of baby cos lettuce using vacuum cooling were compared with room cooling and forced-air cooling. The rate of cooling using vacuum cooling at 6.0 mbar with 25 minutes reserving time was 0.458 ºC/min, which was 14.58 and 3.33 times faster than room cooling (0.177 ºC/min) and forced-air cooling (0.038 ºC/min), respectively. In term of energy consumption, vacuum cooling used 3.40 kWh which is less than forced-air cooling (33.20 kWh) and room cooling (44.20 kWh) Therefor, vacuum cooling represented the cost effective method.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

During the storage period at 4 °C with 85% RH, room cooling and forced-air cooling exhibited higher weight loss percentage than vacuum cooling. Non-precooled samples (control) indicated the overall visual quality below the limit of trained panelist acceptability after 9 days of storage as well as samples precooled by forced-air cooling and room cooling indicated the overall visual quality below the limit of trained panelist acceptability after 13 days of storage, whereas vacuum cooling appeared to remain the better qualities and bioactive compounds including crispiness coefficient (CC), ascorbic acid, chlorophyll content, antioxidant activity and total phenolic content which presented the significant difference ($p \leq 0.05$). The results of ultrastructure detected by transmission electron microscope (TEM) also supported the loss qualities of control and forced-air cooling which exhibited the plasmolysis due to the loss water of the cells. Moreover, after 13 days of storage control and forced-air cooling samples exhibited the degradation of chloroplast which related to the reduction of chlorophyll content. On the other hand, sample from vacuum cooling remained the intact and integrity of cell after 13 days of storage. Vacuum cooling is the best precooling methods for prolonging shelf life of baby cos lettuce to 16 days at 4 ºC with 85% RH which longer than forced-air cooling, room cooling and control which had shelf life of 13,13 and 9 days, respectively.

Artificial Neural Networks (ANNs) based on feed-forward back propagation was used as a tool to predict cooling parameters for vacuum cooled baby cos lettuce. The experiment data was trained by Levenberg-Marquardt algorithm which divided into training set 70% (36 data records), testing set 15% (8 data records) and validation set 15% (8 data records). Artificial Neural Networks showed its potential and ability to predict the output of vacuum cooling process such as final temperature and weight loss percentage. ANNs demonstrated that the network effectively generated sensitive results and had a sufficient accuracy and reliability rate in modeling final temperature according to higher performance than MLR in all criteria, namely R^2_{adjust}, RMSE, MRE and MAE of 0.890, 0.076, 10.28% and 0.504, respectively. Moreover, the predicted values of weight loss percentage obtained by ANNs model were found in a very good with actual values with the goodness of fit namely R^2_{adjust}, RMSE, MRE and MAE of 0.903, 0.078, 7.68% and 0.133, respectively.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Electronic tongue based on flow injection system with Coularray detector was used for rapid determination of antioxidant capacity in fresh lettuce extracts. Coularray detector consisted of 16 channels poised at a potentials from +100 to +850 mV with 50 mV increment. Lettuce extracts were prepared with the following drying methods: 1) drying with liquid nitrogen 2) lyophilization at two different temperatures (35°C and 40°C). After drying the antioxidants were extracted with methanol, ethanol and acetonitrile. The samples after freeze drying at 35°C, followed by methanol extraction had the highest peak height measured by Coularray detector. Flow injection method with Coularray detector showed high correlation with antioxidant capacity by DPPH scavenging method (R^2=0.98). Then, the developed method was applied to evaluate the antioxidant capacity of the lettuce samples prepared with different precooling techniques included vacuum cooling, fast cooling and room cooling. Lettuce samples after fast cooling and vacuum cooling showed higher antioxidant capacity after seven days of storage at 4±1°C, compared to the non-treated control and the room cooling treatment ($p \leq 0.05$). In summary, the flow injection system with Coularray detector is a rapid and sensitive technique for determination of the antioxidant capacity in fresh lettuce samples.

Keywords: vacuum cooling, baby cos lettuce, artificial neural networks, coularray

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved