



The Production and Effect of Apple Coating from Cellulose of Corn Cob

¹Patraporn Sukkhown & ^{1*}Kungsadarn Mupattararot

¹Faculty of Food Business Management, Panyapiwat Institute of Management

*Corresponding author: kuagsadarnmup@pim.ac.th

Received	Reviewed	Revised	Accepted
01/02/2024	21/04/2024	15/05/2024	22/05/2024

Abstract

This research aimed to produce the edible film from cellulose of 3 cultivars of corn cob, i.e., white sweet corn, yellow sweet corn, and purple sweet corn (KPSC 903), The experiment was study the most appropriate cultivars of corn cob to produce the edible film for coating apples with different ratios of 1:1 and 2:1. The results indicated that the purple sweet corn cob was the most appropriate with the highest sensory scores of 6.90. The study of the appropriate quantity of cellulose to protect apple with different percentage at 0, 5 and 10 respectively, were storage at 4°C and 30°C. It was found that the coated apples with 5 percent of cellulose got the highest overall liking score at 7.50. The shelf-life of coated apples with 3 ratios of cellulose were also studied during storage for 3 weeks. It showed that the coated apples with 5 percent of cellulose at 4°C could maintain the nutrition of apple by measuring the Total Soluble Solid (TSS) it got the highest value at 17.97 °Brix; and either protected color which had the highest a^* value of 22.25. Moreover, it reduced dehydration during storage with the highest firmness value of 7.47 Kg (peeled apple) at 4°C, and 7.33 Kg (unpeeled apple) at 30°C. which was caused the coated apple got lowest weight loss at 0.17 g and obtained the highest sensory score at 8.

Keywords: Corn Cob; Edible Coating; Cellulose



การผลิตและผลของสารเคลือบผิวแอปเปิ้ลที่ได้จากการสกัดเซลลูโลสของซังข้าวโพด

¹ภัทรภรณ์ สุขขาว และ^{1*} กังสดาล หมุ่มภักตร์โรจน์

¹คณะกรรมการจัดการธุรกิจอาหาร สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

*ผู้นิพนธ์หลัก: kuagsadarnmup@pim.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตฟิล์มเคลือบกินได้จากเซลลูโลสของซังข้าวโพดที่แตกต่างกัน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวโพดสีเหลือง ขาว และ ม่วง (KPSC 903) โดยศึกษาสายพันธุ์ซังข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบแอปเปิ้ลในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 พบว่าแอปเปิ้ลที่เคลือบฟิล์มซังข้าวโพดพันธุ์สีม่วงเหมาะสมที่สุด ด้วยผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสโดยรวมสูงที่สุดคือ 6.90 จากนั้นศึกษาปริมาณเซลลูโลสของซังข้าวโพดที่เหมาะสมต่อการปกป้องแอปเปิ้ลที่ระดับ 0% 5% และ 10% โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C และอุณหภูมิห้อง 30°C ผลการศึกษาพบว่าระดับสารเคลือบเซลลูโลสที่สกัดจากซังข้าวโพดสีม่วงที่ความเข้มข้นที่ 5% ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดคือ 7.50 และศึกษาอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูโลส โดยนำแอปเปิ้ลที่เคลือบสารเคลือบเซลลูโลสทั้ง 3 ระดับ มาเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ จากผลการวิจัยพบว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่ระดับ 5% ที่ถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ช่วยคงคุณค่าทางสารอาหารไว้ได้ โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) สูงสุดที่ 17.97 °Brix และช่วยปกป้องสีของแอปเปิ้ลไว้ได้โดยมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) มากที่สุด คือ 22.25 นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียเนื้อระหว่างเก็บรักษาไว้ได้ ทำให้มีเนื้อสัมผัสความแน่นเนื้อ (Firmness) สูงสุดที่ 7.47 Kg (ปอกเปลือก) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และ 7.33 Kg (ไม่ปอกเปลือก) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ทำให้มีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุด คือ 0.17 กรัม คิดเป็นร้อยละ 0.10 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และมีผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสโดยรวมสูงที่สุด คือ 8

คำสำคัญ: ซังข้าวโพด; สารเคลือบกินได้; เซลลูโลส



บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกข้าวโพดที่สำคัญของโลก (Jit-uea, K., 2021) จากการรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตรพบว่า ผลผลิตข้าวโพดในประเทศไทยมีมากถึง 501,242 ตันต่อปีในปี 2562 ทำให้ข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์หลังการเก็บเกี่ยว แต่มีคุณค่าทางโภชนาการ เช่น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย และแคลเซียม เป็นต้น ซึ่งข้าวโพดยังมีส่วนประกอบของเส้นใยประเภทเซลลูโลสอยู่ถึง 38-40% (Ratanakamnuan, U., 2015) ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์มีคุณสมบัติเป็นฟิล์มที่สามารถสกัดออกมาทำเป็นสารเคลือบผลไม้ได้

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เป็นอนุพันธ์ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในวงกว้าง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร เกษษกรรม เครื่องสำอาง เป็นต้น เซลลูโลสเป็นแหล่งอาหารที่ไม่ให้พลังงานและไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น จึงถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ลดความอ้วน (Thongyong, S. & Dejamhaeng, P., 1987) อีกทั้งยังช่วยป้องกันมะเร็ง ทำให้ลำไส้มีสุขภาพดี มีคุณสมบัติการอุ้มน้ำได้ดี และเพิ่มปริมาณกากอาหาร (Chunhasawatdikun, B. & Sakkathamnu, P., 1996) ช่วยลดระดับน้ำตาล ไขมัน และคอเลสเตอรอลในเลือดทำให้ควบคุมโรคเบาหวานได้ และช่วยลดการเกิดนิ่วในถุงน้ำดีได้อีกด้วย (Ratnapanon, N., 1994)

สารเคลือบผิวหรือฟิล์มเคลือบผิว เป็นสารประกอบชั้นบางๆที่ใช้ในการเคลือบผิวด้านนอกของผักผลไม้ เพื่อควบคุมความชื้น รักษาความสด ลดการแพร่ของก๊าซที่ส่งผลต่อคุณภาพของผักผลไม้ เนื่องจากผักผลไม้มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก สารเคลือบจึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และป้องกันความเสียหายระหว่างขนส่งได้ ซึ่งสารเคลือบมี 2 กลุ่ม คือ สารเคลือบที่บริโภคไม่ได้ เป็นสารสังเคราะห์ทางเคมีของไฮพอสซิลและการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (Muchlisyam, U. et al., 2013) สารเคลือบอีกกลุ่มหนึ่งคือสารเคลือบที่บริโภคได้ ไม่เป็นอันตรายสกัดจากธรรมชาติ เช่น สารเคลือบกลุ่มโพลีแซ็กคาไรด์ เป็นไฮโดรคอลลอยด์กลุ่มไบโอโพลิเมอร์ แหล่งที่พบ เช่น พืช กุ้ง เซลลูโลส แอลจิเนต (Kocira, A. et al., 2021) ให้ความเงาน้อยกว่าสารเคลือบทางเคมีแต่ยืดอายุการเก็บรักษาได้นานกว่า ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซและไอน้ำ (water vapor transmission rate, WVTR) ได้ ช่วยรักษาคุณภาพของผักผลไม้สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40°C เคลือบแล้วแห้งง่าย มีลักษณะใสไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพและคุณค่าทางอาหาร (Muchlisyam, U. et al., 2013)

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากชังข้าวโพด โดยใช้เฮกเซนและสารละลายเอทานอล 95% ในการสกัดไขมัน ด้วยระยะเวลา 4, 8 และ 12 ชั่วโมง จากนั้นสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10, 15 และ 20% เป็นระยะเวลา 15, 30 และ 45 นาที แล้วนำไปพอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 10, 15 และ 20% เป็น



ระยะเวลา 1.5, 3.0 และ 4.5 ชั่วโมง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสให้ได้ 76.90% (น้ำหนักแห้ง) คือสภาวะที่สกัดไขมันด้วยสารละลายเอทานอล 95% เป็นเวลา 8 ชั่วโมง สกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15% เป็นเวลา 30 นาที และฟอกสีด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 10% เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง (Pongnoree, J. et al., 2003) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตฟิล์มเคลือบกินได้จากเซลลูโลสของซังข้าวโพด โดยการศึกษาสายพันธุ์ซังข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบแอปเปิ้ลในอัตราส่วนต่างๆ ศึกษาปริมาณเซลลูโลสของซังข้าวโพดที่เหมาะสมต่อการปกป้องกันแอปเปิ้ลที่สภาวะการเก็บต่างๆ และศึกษาอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูโลส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สารเคลือบใหม่ที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ ดึงดูดสุขภาพและสร้างทางเลือกใหม่ให้แก่ผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลพลอยได้ทางการเกษตรลดการนำเข้าสารเคลือบจากต่างประเทศเพื่อส่งเสริมทางด้านเศรษฐกิจให้แก่ประเทศอีกด้วย

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

1. ศึกษาหาสายพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดในเคลือบแอปเปิ้ลในอัตราส่วนต่างๆ

ในขั้นตอนนี้เป็นการคัดเลือกสายพันธุ์ซังข้าวโพด เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการทดลองผลิตฟิล์มเคลือบกินได้จากเซลลูโลสของซังข้าวโพดในขั้นต่อไป โดยการศึกษาซังข้าวโพดหวานชื่อวิทยาศาสตร์ *Zea mays L. saccharata* 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีเหลือง (SSWI 114) สีขาว (KSei 14018) และสีม่วงสายพันธุ์ (KPSC 903) มาทำความสะอาด และอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำมาบดหยาบ จากนั้นนำซังข้าวโพดมาอย่างละ 100 กรัม ใส่ในสารละลายปริมาตร 1,000 มล. ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.03 M และเอทานอล 70% (v/v) กวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60°C ด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนหรือ Hot Plate Stirrer (HTS-1003 LMS, Japan) เพื่อละลายลิกนิน รอให้เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้องและกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 (No.1004 090 Whatman, England) จากนั้นตกตะกอนเพิ่มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.2 M ปริมาตร 500 มล. กวนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนหรือ Hot Plate Stirrer (HTS-1003 LMS, Japan) เพื่อสกัดเซลลูโลส และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 (No.1004 090 Whatman, England) จากนั้นฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เข้มข้น 3% (w/v) ปริมาตร 600 มล. กวนเป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 65°C ด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนหรือ Hot Plate Stirrer (HTS-1003 LMS, Japan) จนกว่าจะได้สารละลายที่เป็นสีของข้าวโพดแต่ละสายพันธุ์ จากนั้นเติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 10% (v/v) ในสารละลายเอทานอล 95% (v/v) ในอัตราส่วนของสารละลายกรดอะซิติกต่อสารละลาย



เอทานอลเป็น 1:4 ที่อุณหภูมิห้อง กวนต่อเป็นเวลา 7 ชั่วโมง ด้วยเครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อนหรือ Hot Plate Stirrer (HTS-1003 LMS, Japan) จนกระทั่งเกิดการตกตะกอน จากนั้นนำส่วนผสมไปหมุนเหวี่ยงที่อัตรา 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (CN-10001 Hsiangtai, China) กรองและล้างตะกอนด้วยสารละลายเอทานอล 95% และนำเซลล์ูโลสที่ได้ไปอบแห้งในเครื่องอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และบดเป็นผงด้วยเครื่องบดละเอียดขนาด 300 กรัม (PG300 Spring Green Evolution, Thailand) และร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 80 mesh จะได้เป็นผงเซลล์ูโลสออกมา (ดัดแปลงวิธีการสกัดจาก Klinasoda, J., 2016) จากนั้นนำแอปเปิ้ลสดสีแดงผลสมบูรณ์สายพันธุ์ Envy คุณภาพเกรดชั้นหนึ่ง (Class I) มาล้างให้สะอาดล้างให้แห้ง แล้วนำมาเคลือบโดยใช้ผงรุ่มสารละลายเซลล์ูโลสเคลือบผิวแอปเปิ้ลโดยเคลือบทีละครึ่งผล รอให้แห้งแล้วหาอีกครั้งผลที่เหลือ ล้างให้แห้ง โดยแอปเปิ้ลแต่ละผลจะใช้สารเคลือบ 0.50 g เคลือบแอปเปิ้ลที่มีขนาดใกล้เคียงกัน นำแอปเปิ้ลไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และนำผงเซลล์ูโลสที่สกัดได้จากซังข้าวโพดทั้ง 3 สายพันธุ์ มาผสมกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 (ดัดแปลงวิธีการจาก Hagenmaier, R.D., 2000) เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารยึดเกาะของฟิล์มเคลือบเซลล์ูโลสบนผิวแอปเปิ้ลและช่วยลดการแพร่กระจายของน้ำเข้าสู่แอปเปิ้ล

จากนั้นคัดเลือกสิ่งทดลองของสายพันธุ์ซังข้าวโพดที่ดีที่สุดที่เหมาะสมต่อการเคลือบแอปเปิ้ลจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก In-house panels (Watts, B.M. et al., 1989) ด้วยการให้คะแนนความชอบ (9-point hedonic scale) (Davis et al., 2003) กลุ่มตัวอย่างคือผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายที่รักสุขภาพชอบซื้อผลไม้รับประทานรวมถึงผู้ประกอบการที่จำหน่ายผลไม้ อายุ 18-60 ปี จำนวน 50 คน หากสายพันธุ์ไหนที่ได้รับคะแนนมากที่สุดแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการเคลือบของซังข้าวโพดสายพันธุ์นั้นว่าสามารถคงความสดของแอปเปิ้ลไว้ได้จนเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่เหมาะสมต่อการเคลือบที่จะทำการศึกษาในหัวข้อถัดไป โดยทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นโดยรวม กลิ่นรสแอปเปิ้ล รสหวาน เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม โดยให้สิ่งทดลองที่ 1 (A1) คือแอปเปิ้ลที่เคลือบสารสกัดเซลล์ูโลสจากซังข้าวโพดสีขาว สิ่งทดลองที่ 2 (A2) คือแอปเปิ้ลที่เคลือบสารสกัดเซลล์ูโลสจากซังข้าวโพดสีเหลือง สิ่งทดลองที่ 3 (A3) คือแอปเปิ้ลที่เคลือบสารสกัดเซลล์ูโลสจากซังข้าวโพดสีม่วง รวมทั้งหมดเป็น 3 สิ่งทดลอง โดยจะเปรียบเทียบกับสิ่งทดลองที่ 4 (A4) คือ แอปเปิ้ลสดที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารสกัดเซลล์ูโลสจากซังข้าวโพด



2. ศึกษาปริมาณเซลล์ลอสของซังข้าวโพดที่เหมาะสมต่อการปกป้องแอปเปิ้ลที่สภาวะการเก็บต่างๆ

นำเซลล์ลอสของซังข้าวโพดสีม่วงสายพันธุ์ KPSC 903 ที่คัดเลือกได้มาทดสอบผลของการเคลือบแอปเปิ้ล โดยตัวแปรต้นคือปริมาณเซลล์ลอส 3 ระดับ ได้แก่ระดับ 0% 5% และ 10% และอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 4°C และ 30°C ตัวแปรควบคุมคือ แอปเปิ้ลสดสีแดงผลสมบูรณ์สายพันธุ์ Envy คุณภาพเกรดชั้นหนึ่ง (Class I) และวิธีการเคลือบ ตัวแปรตามคือ คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยแอปเปิ้ลเคลือบปริมาณเซลล์ลอสที่ระดับ 0% คือตัวอย่างแอปเปิ้ลควบคุม T1, 5% คือตัวอย่างแอปเปิ้ล T2, 10% คือตัวอย่างแอปเปิ้ล T3 มาผสมกับสารละลายกลีเซอรอลในอัตราส่วน 1:1 (ปริมาณการเคลือบนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันการซึมผ่านของอากาศที่ผิวของผลไม้) โดยก่อนเคลือบผิว นำผลไม้ที่จะเคลือบมาทำความสะอาดโดยล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้งบนตะแกรง จากนั้นจึงนำมาเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวโดยใช้แปรงทาที่ละครั้งผล รอให้แห้งแล้วทาอีกครั้งผลที่เหลือ ผึ่งลมให้แห้งแล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C และอุณหภูมิห้อง 30°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์

จากนั้นนำมาวัดคุณภาพทางประสาทสัมผัสจากการวางแผนการทดลองโดยใช้ผู้บริโภคร่วมเป้าหมายที่รักสุขภาพชอบรับประทานแอปเปิ้ลรวมถึงผู้ประกอบการที่ทำนายผลไม้อายุ 18-60 ปี ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน โดยใช้วิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA®) นำข้อมูลจากการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ของข้อมูลและทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 12 (Version 12, SPSS Inc., USA). ทำการประเมินคุณลักษณะด้านสี, กลิ่น, กลิ่นรส, รสหวาน, เนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) และความชอบโดยรวมเนื่องจากปัจจัยด้านประสาทสัมผัสเป็นการอธิบายถึงปัจจัยหลักที่ส่งผลกับความชอบของผู้บริโภค เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม ทำให้ได้ระดับปริมาณที่เหมาะสมต่อการเคลือบแอปเปิ้ล เพื่อนำไปศึกษาคุณภาพด้านอื่นในหัวข้อต่อไป

3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ลอส

จากการทดลองในข้อ 2 เมื่อได้ปริมาณสารเคลือบที่เหมาะสมที่สุด จึงนำมาศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยตัวแปรต้นคือ ปริมาณเซลล์ลอส และอุณหภูมิการเก็บรักษา ตัวแปรควบคุมคือ ชนิดของแอปเปิ้ลและระยะเวลาการเก็บรักษา ตัวแปรตามคือคุณภาพทางเคมี กายภาพ ชีวภาพ และประสาทสัมผัส โดยนำแอปเปิ้ลที่เคลือบสารเคลือบเซลล์ลอสที่ระดับ 0%, 5%, 10% เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C และ 30°C เป็นระยะเวลานาน 3 สัปดาห์ จากนั้นวิเคราะห์ค่าคุณภาพต่างๆดังนี้



วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี โดยการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ด้วย Hand Refractometer (0-32 °Brix, ยี่ห้อ ATAGO, ประเทศญี่ปุ่น) (ตามวิธีการของ AOAC, 2000)

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ โดยการวิเคราะห์ค่าสีโดยวัดค่าสีในระบบ CLE ($L^*a^*b^*$) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Minolta รุ่น CM-3500d แหล่งกำเนิดแสง D65 ค่าที่รายงานผลได้แก่ค่าสี L^* (ค่าความสว่าง มีค่า 0 - 100), a^* (+ หมายถึง สีแดง, - หมายถึง สีเขียว) และ b^* (+ หมายถึง สีเหลือง, - หมายถึง สีน้ำเงิน) มุมผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน 10 องศา วัดค่าสีตัวอย่างละ 5 ซ้ำต่อ 1 ลูก (ตามวิธีการของ Davis, et al., 2003) โดยนำแอปเปิ้ลที่ติดเปลือกออกมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และใส่ลงไปในถ้วยโดยหั่นด้านที่เป็นเปลือกไปด้านที่ตรงจับสี

วิเคราะห์เนื้อสัมผัสจากค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลเพื่อคุ้ดการการสุกด้วยเครื่อง Fruit Pressure Tester (Pamalyne, รุ่น FT-327, ประเทศอิตาลี) รายงานผลค่า Firmness ของผลไม้ก่อนและหลังการเคลือบ โดยเลือกใช้หัววัดแบบทรงกระบอก วัดผลละ 2 จุด ซึ่งแต่ละจุดอยู่ตรงข้ามกัน ปอกเปลือกบริเวณที่จะวัดออกกว้างประมาณ 3/4 นิ้ว กดให้หัววัดรับแรงกดจมลง ในเนื้อของแอปเปิ้ลลึกประมาณ 1 ซม. (จากวิธีการวัดของ Noijinda, S., 2006) และวิเคราะห์ผลต่างของน้ำหนักที่สูญเสียไป

วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ (Total Plate Count, Yeast/Mold) (BAM, 2001)

วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี In-house panels (Watts, B.M. et al, 1989) โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก เพื่อศึกษาความชอบของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจำนวน 50 คน

วิเคราะห์ผลทางสถิติตามที่ได้กล่าวไว้ในการศึกษาหัวข้อที่ 2

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ศึกษาสายพันธุ์ซึ่งข้าวโพดที่เหมาะสมที่สุดในเคลือบแอปเปิ้ลในอัตราส่วนต่างๆ

จากผลการทดลองนำผงเซลลูโลสจากซังข้าวโพดทั้ง 3 สายพันธุ์ มาผสมกับกลีเซอรอล ในอัตราส่วน 1:1 และ 2:1 เนื่องจากการศึกษา Preliminary study เบื้องต้นแล้วพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:1 ผงเซลลูโลสสามารถเกาะบนผิวแอปเปิ้ลได้ดี ส่วนปริมาณ 2:1 พบว่าผิวสัมผัสของแอปเปิ้ลมีการเคลือบที่หนาแน่นเกินไปทำให้ผิวสัมผัสของแอปเปิ้ลมีความหนืดของสารละลายสูง ผิวสัมผัสแห้งช้า และมีประสิทธิภาพของการเคลือบไม่ดีเท่า 1:1 สังเกตได้จากอัตราการสูญเสียน้ำหนัก จึงเลือกใช้อัตราส่วน 1:1 มาทดสอบในขั้นต่อไปเพื่อศึกษาความชอบของผู้บริโภคในเบื้องต้นหลังจากนั้นจึงนำไปศึกษาคุณสมบัติอื่นๆต่อไป (อ้างอิงจาก Chansuk, T. et al, 2019) จาตาราง Table 1 การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสตัวอย่างแอปเปิ้ลที่เคลือบสารเคลือบเซลลูโลสเทียบกับตัวอย่างควบคุมหรือ



0% สารเคลือบ พบว่าสิ่งทดลองที่ 3 (A3) ซึ่งเป็นสารเคลือบที่สกัดมาจากซังข้าวโพดพันธุ์สีม่วงได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ (6.94), สี (6.88), กลิ่น (6.42), กลิ่นรส (6.62), รสหวาน (7.10), เนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) (7.04) และความชอบโดยรวม (6.90) สูงที่สุด ทั้งนี้ สิ่งทดลองที่ 4 (A4) คือตัวอย่างควบคุม เป็นแอปเปิ้ลสดที่ไม่ผ่านการเคลือบ ได้คะแนนความชอบด้านคุณลักษณะต่างๆต่ำที่สุด โดยเฉพาะคะแนนด้านเนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) (5.16) ซึ่งผู้ทดสอบให้ข้อเสนอแนะว่าสิ่งทดลองนี้แอปเปิ้ลมีเนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) น้อยกว่าตัวอย่างอื่น เนื้อสัมผัสนุ่มกว่าตัวอย่างอื่นๆ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการใช้สารเคลือบเซลลูโลสจากซังข้าวโพดสามารถยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิ้ลและสามารถรักษาคุณภาพของแอปเปิ้ลไว้ได้ดีมากกว่าแอปเปิ้ลสดที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบ จึงได้คัดเลือกสิ่งทดลองที่ 3 (A3) มาศึกษาต่อเนื่องจากได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น กลิ่นรส และความหวานสูงที่สุดโดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับสิ่งทดลองอื่น แสดงให้เห็นว่าสายพันธุ์ของซังข้าวโพดมีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบแอปเปิ้ลทำให้คุณสมบัติของแอปเปิ้ลแตกต่างกัน โดยแปรผันตามคุณภาพทางประสาทสัมผัสจาก Figure 1 แสดงลักษณะผงสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ผ่านกระบวนการสกัดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 80 mesh

Table 1 The sensory score of edible film

Sample	Sensory Score						
	Appearance	Color	Odor	Flavor	Sweetness	Texture (Firmness)	Overall
A1	6.14±1.87 ^b	6.22±1.98 ^a	5.96±1.67 ^{ab}	6.08±1.52 ^{ab}	6.08±1.99 ^b	6.84±1.83 ^a	6.26±2.16 ^a
A2	6.40±1.65 ^{ab}	6.34±1.71 ^a	5.58±1.80 ^{bc}	5.90±1.59 ^b	6.44±1.79 ^{ab}	6.90±1.85 ^a	6.52±2.08 ^a
A3	6.94±1.46 ^a	6.88±1.52 ^a	6.42±1.75 ^a	6.62±1.60 ^a	7.10±1.34 ^a	7.04±1.74 ^a	6.90±1.87 ^a
A4	5.12±1.89 ^c	5.06±1.92 ^b	4.84±1.75 ^c	4.92±1.90 ^c	4.50±2.02 ^c	5.16±2.07 ^b	4.74±2.09 ^b

Data are shown as average ± standard deviation for 3 replications

^{a,b,c} The means followed by the same letter are not significantly different in the same column ($p < 0.05$)

Note: A1 = coated apple with white cultivar, A2 = coated apple with yellow cultivar, A3 = coated apple with purple cultivar, A4 = coated apple with 0% edible coating

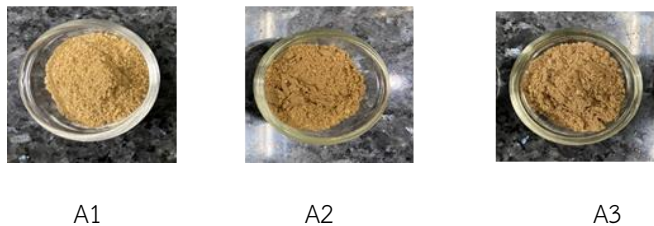


Figure 1 Cellulose extraction powder from different of corn cob type A1 = white sweet corn cultivar, A2 = yellow sweet corn cultivar, A3 = purple sweet corn cultivar

2. ศึกษาปริมาณเซลลูโลสของซังข้าวโพดที่เหมาะสมต่อการปกป้องแอปเปิ้ลที่สภาวะการเก็บต่างๆ

จากการคัดเลือกสิ่งทดลองสารเคลือบที่ดีที่สุด คือ A3 ในการทดลองข้อที่ 1 จึงนำมาศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของสารเคลือบเซลลูโลสจากซังข้าวโพด โดยใช้เซลลูโลสที่สัดส่วน 0% (ตัวอย่างแอปเปิ้ล T1), 5% (ตัวอย่างแอปเปิ้ล T2), 10% (ตัวอย่างแอปเปิ้ล T3) ผสมกับกลีเซอรอลที่อัตราส่วน 1:1 นำมาเคลือบแอปเปิ้ล จากนั้นเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง 30°C เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA®) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน ทำการประเมินคุณลักษณะด้านสี, กลิ่น, กลิ่นรส, รสหวาน, เนื้อสัมผัส (ความแน่นเนื้อ) และความชอบโดยรวม พบว่าระดับสารเคลือบเซลลูโลสที่สกัดจากซังข้าวโพดสีม่วงที่ความเข้มข้นที่ 5% ให้ผลคะแนนคุณลักษณะด้านสี (8.00), กลิ่น (7.30), กลิ่นรส (7.20), รสหวาน (8.10), เนื้อสัมผัส (7.06) และความชอบโดยรวม (7.50) สูงที่สุด ดังแสดงใน Figure 2 แสดงว่าระดับของเซลลูโลสจากซังข้าวโพดสีม่วงที่ 5% เป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการปกป้องความสดของแอปเปิ้ลที่อุณหภูมิ 30°C เนื่องจากช่วยปกป้องสี และกลิ่นของแอปเปิ้ล ป้องกันการซึมผ่านของน้ำในแอปเปิ้ลทำให้รักษาเนื้อสัมผัสโดยคงความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลไว้ได้ ทำให้แอปเปิ้ลยังคงคงความหวานและกลิ่นรสไว้ได้ดีกว่าที่ระดับ 0% ไม่มีฟิล์มเซลลูโลสเคลือบไว้ทำให้แอปเปิ้ลเกิดการสูญเสียคุณสมบัติต่างๆตามธรรมชาติเมื่อตั้งทิ้งไว้ และจะทำให้เกิดกลิ่นรสเปลี่ยนไปหากใส่มากเกินไป

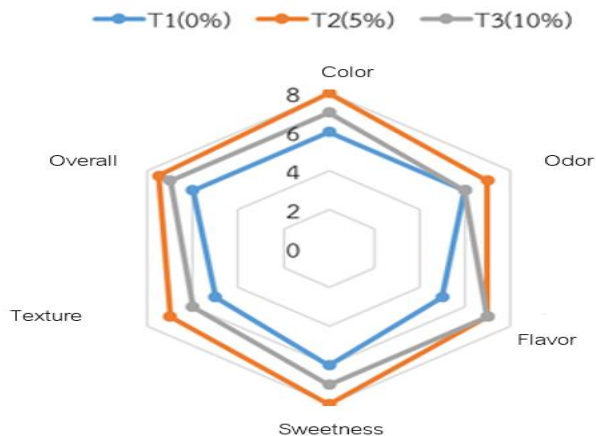


Figure 2 Sensory results for 3 ratio of coated apple by Quantitative Descriptive Analysis

เมื่อนำแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบทั้ง 3 ระดับ มาเก็บรักษาไว้ใน 2 สภาวะ คือที่อุณหภูมิ 4°C และ 30°C เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Quantitative Descriptive Analysis (QDA®) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 8 คน โดยการคัดเลือกผู้ที่ชื่นชอบหรือสามารถรับประทานแอปเปิ้ลได้ ฝึกด้วยการอธิบายวัตถุประสงค์ของโครงการ ขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์ที่กลิ่นรสของอาหาร อธิบายการให้คะแนนในการทดสอบด้วยตัวอย่าง ให้ผู้ทดสอบทำการทดลองจริงและให้คำแนะนำหลังการทดลอง เมื่อมั่นใจในผลการทดลองจึงทำการทดสอบประสาทสัมผัสจริง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาแอปเปิ้ลเคลือบเทียบกับตัวอย่างควบคุมคือแอปเปิ้ลที่ไม่มีการเคลือบสารเคลือบเซลลูโลส (Control) พบว่าตัวอย่างแอปเปิ้ลที่เคลือบสารเคลือบที่ระดับ 5% เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C (Coating 5%EC 4°C) หรือกราฟเส้นสีเหลืองได้รับคะแนนสี กลิ่น กลิ่นรส และความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบสูงที่สุดคือที่ระดับ 8 และมีคะแนนใกล้เคียงกับตัวอย่างควบคุม (Control 4°C) หรือกราฟเส้นสีส้มมากที่สุด ดังนั้นระดับการเคลือบแอปเปิ้ลที่ระดับ 5% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C สามารถปกป้องแอปเปิ้ลจากการเน่าเสียได้ดีที่สุด และสามารถรักษาสี กลิ่นรสเอาไว้ได้ใกล้เคียงกับแอปเปิ้ลสดมากที่สุด เนื่องจากการปรับเปลี่ยนสภาวะบรรยากาศการเก็บรวมกับการใช้สารเคลือบช่วยชะลอการสุกและหายใจของผลไม้ ทำให้ลดการสูญเสียและของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TSS) จากงานวิจัยของ (Dhall, R.K., 2013) และจากงานวิจัยของ (Chudhangkura, A.,

2018) พบว่าแอนโทไซยานินในซังข้าวโพดสีม่วงมีปริมาณสูงถึง 1,642 มิลลิกรัม/100 กรัม และสารประกอบฟีนอลิก 1,756 มิลลิกรัม/100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rongsuphan et al., 2018) ที่พบว่าซังข้าวโพดสีม่วงมีแอนโทไซยานิน 7,869.26 μg cyaniding-3-glucoside equivalent/g (dry weight) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ป้องกันการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ polyphenol oxidase เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH assay ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้นี้ได้ ดังแสดงใน Figure 3

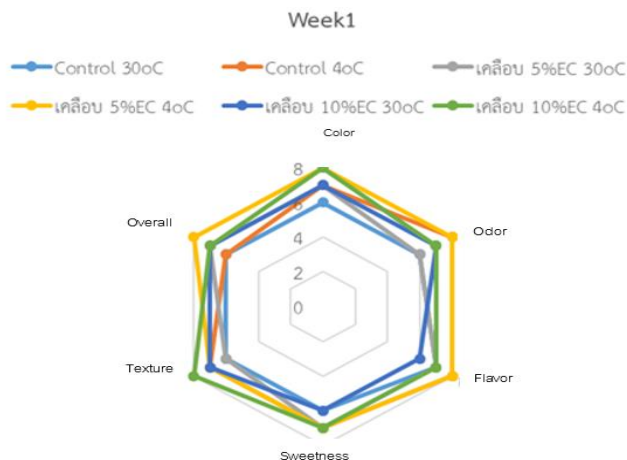


Figure 3 Sensory result for 1 week in 2 condition by Quantitative Descriptive Analysis

3. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบเซลลูโลส

นำแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบในระดับต่างๆที่เก็บใน 2 สภาวะเป็นระยะเวลานาน 3 สัปดาห์ มาทดสอบคุณภาพในด้านต่างๆ โดยจากการทดสอบคุณภาพด้านปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid, TSS) ด้วยวิธี AOAC (2001) พบว่าแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่ระดับ 5% ถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงสุดที่ 17.97 °Brix ให้ค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแอปเปิ้ลสดใหม่ที่เพิ่งซื้อมาวันแรกและไม่ผ่านการเคลือบสารเคลือบเซลลูโลส (Fresh apple) มีค่า 17.77 °Brix ซึ่งมีค่ามากกว่า 10.5% ตามที่มาตรฐานสินค้าเกษตร (National Bureau of Agricultural Commodity & Food Standards, 2019) ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ระบุไว้ ในส่วนของสิ่งทดลองที่1 (T1) ซึ่งเป็นแอปเปิ้ลที่ใช้ผงสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดสีม่วงเคลือบที่สัดส่วน 0% (ไม่ผ่านการเคลือบ) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลานาน 3 สัปดาห์ มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยที่สุด 11.57 °Brix ดังแสดงใน Table 2 ดังนั้นจึง



สรุปได้ว่าสารเคลือบเซลล์ูโลสจากซังข้าวโพดช่วยลดการสูญเสียปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid, TSS) ในแอปเปิ้ลระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ช่วยรักษาคุณค่าสารอาหารและรสชาติตามธรรมชาติไว้ได้เหมือนแอปเปิ้ลสด (Fresh apple) เนื่องจากเซลล์ูโลสเป็นสารที่ใช้ในการเคลือบเพื่อช่วยกักเก็บความชื้นภายในผลไม้เพื่อลดการสูญเสียและยืดอายุของผลไม้ เมื่อความเข้มข้นของสารเคลือบเซลล์ูโลสสูงขึ้น จะมีผลต่อการลดความชื้นในผลไม้มากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ผลไม้หรือแอปเปิ้ลเก็บความเย็นได้ดีกว่า เมื่อแอปเปิ้ลที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ูโลส 10% จะมีความเข้มข้นสูงกว่า ทำให้กักเก็บความชื้นมากกว่า ซึ่งสามารถช่วยให้ผลไม้เก็บความเย็นได้ดีกว่าในสภาวะการเก็บรักษาที่เหมือนกัน เนื่องจากการลดความชื้นในผลไม้มากขึ้น ดังนั้น แอปเปิ้ลที่ถูกเคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ูโลส 10% จึงมีค่าของแข็งที่ละลายได้น้อยกว่าในสภาวะเดียวกันที่ 4°C เมื่อเปรียบเทียบกับแอปเปิ้ลที่เคลือบด้วยสารเคลือบเซลล์ูโลส 5% ที่มีค่าของแข็งที่ละลายได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Seenam, P. & Sangnark, A., 2012). ที่พบว่าเซลล์ูโลสมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี เมื่อใส่ในแป้งปาตงโกมากขึ้น และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Pornjalean, R. & Jaidee, A., 2021) ที่พบว่าระดับความเข้มข้นในช่วง 0-1% ระดับที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบฝรั่งคือ 0.2% เนื่องจากช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักได้ดีที่สุด

Table 2 The amount of total soluble solid (°Brix)

Sample	Total soluble solid (°Brix)
Fresh apple	17.77±0.15 ^a
T1 30°C	11.57±0.15 ^d
T1 4°C	16.10±0.10 ^b
T2 30°C	14.47±0.15 ^c
T2 4°C	17.97±0.15 ^a
T3 30°C	14.27±0.12 ^c
T3 4°C	15.93±0.80 ^b

Data are shown as average ± standard deviation for 3 replications

^{a-d} The means followed by same letter are not significantly different in the same column (p<0.05)



Note: T1 = coated apple with 0% edible coating, T2 = coated apple with 5% edible coating, T3 = coated apple with 10% edible coating

จากการวิเคราะห์ค่าสีของแอปเปิ้ลทั้ง 4 สิ่งทดลองในสภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน พบว่า แอปเปิ้ลที่ไม่ได้เคลือบผิว T1 เก็บที่อุณหภูมิ 30°C มีค่าความสว่างมากที่สุด (L^*) คือ 61.65 แอปเปิ้ลที่เคลือบผงสกัดเซลล์จากข้าวโพดที่ระดับ 5% เก็บที่อุณหภูมิ 4°C มีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุด คือ 22.25 และมีค่าความเป็นสีเหลืองคือ 23.58 ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แอปเปิ้ลที่เคลือบสารสกัดข้าวโพดที่ระดับ 5% เก็บที่อุณหภูมิ 4°C มีค่าสีแดงและสีเหลืองใกล้เคียงกันซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับแอปเปิ้ลสดที่จะมีสีแดงปนสีเหลือง สารเคลือบมีผลต่อการช่วยให้สีของผลไม้ยังคงความสดไว้ได้อยู่ จากคุณสมบัติของเซลล์ลูโลสตามที่ได้อ้างอิงมาในหัวข้อที่ 2 และเก็บแอปเปิ้ลในอุณหภูมิเย็นทำให้ช่วยลดการสลายตัวของสีแอปเปิ้ลได้ เนื่องจากเซลล์ลูโลสช่วยลดกักเก็บความชื้นภายในผลไม้และลดการเน่าเสีย และจากผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้เห็นว่าที่ระดับ 5% (4°C) ได้ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสและมีค่า TSS ที่ดีกว่าระดับความเข้มข้นอื่น และให้ค่าสีใกล้เคียงกับที่ระดับ 10% จึงเลือกให้เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดและใช้ในความเข้มข้นที่น้อยกว่าทำให้ช่วยประหยัดต้นทุน

Table 3 Color of coated apples with different treatments

Sample	Color		
	L^*	a^*	b^*
Fresh apple	56.46±6.36 ^{ab}	18.91±3.07 ^{abc}	16.12±6.87 ^{bc}
T1 30°C	61.65±5.39 ^a	13.42±5.24 ^c	20.11±1.69 ^{bc}
T1 4°C	54.26±1.16 ^{ab}	21.62±2.86 ^{ab}	12.00±2.82 ^c
T2 30°C	54.84±2.73 ^{ab}	20.54±1.98 ^{ab}	21.32±5.85 ^b
T2 4°C	52.44±2.44 ^b	22.25±0.60 ^a	23.58±2.90 ^b
T3 30°C	60.95±2.18 ^a	18.54±2.71 ^{abc}	24.66±2.83 ^b
T3 4°C	57.78±5.13 ^{ab}	16.40±2.43 ^{bc}	33.94±7.07 ^a

Data are shown as average ± standard deviation for 3 replications

^{a-c} The means followed by same letter are significantly different in the same column ($p < 0.05$)

Note: T1 = coated apple with 0% coating, T2 = coated apple with 5% coating, T3 = coated apple with 10% coating

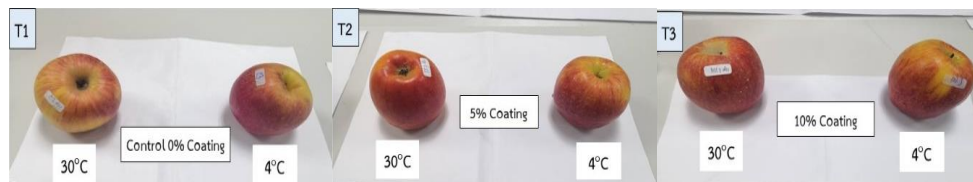


Figure 3 The coated apples with different concentrations of edible coating.

ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลพบว่า สภาวะการเคลือบแอปเปิ้ลด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่ระดับที่เหมาะสมคือ ที่ระดับ 5% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลานาน 3 สัปดาห์ โดยให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C ซึ่งสภาวะการเคลือบดังกล่าวสามารถเก็บแอปเปิ้ลได้นานถึง 3 สัปดาห์ โดยที่ T2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ยังมีคุณภาพดีมีค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) สูงสุดที่ 7.47 Kg (การวัดค่าแบบปอกเปลือก) และ T2 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C 7.33 Kg (การวัดค่าแบบมีเปลือก) สำหรับตัวอย่างควบคุม (T1) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C นานถึง 3 สัปดาห์ มีค่าความแน่นเนื้อลดลงเหลือน้อยที่สุดที่ 4.83 Kg (การวัดค่าแบบมีเปลือก) (Table 4) แสดงถึงการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาทำให้ผิวของแอปเปิ้ลเหี่ยวลงและเนื้อนิ่มลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้สารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดในการเคลือบผิวแอปเปิ้ลช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำในระหว่างการเก็บรักษาแอปเปิ้ลได้ ทำให้แอปเปิ้ลคงความสดใหม่และมีค่าความแน่นเนื้อสูง เนื่องจากคุณสมบัติการกักเก็บความชื้นของเซลลูโลสทำให้ช่วยรักษาค่า TSS ไว้ได้ เมื่อสารประกอบทางเคมีในแอปเปิ้ลยังคงอยู่ จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลสูงขึ้นมีระดับความเข้มข้นของเซลลูโลสมากขึ้นจากคุณสมบัติการดูดซับน้ำ จึงทำให้ปริมาณ bound water ในอาหารเพิ่มขึ้นจึงลดการสูญเสียน้ำออกจากแอปเปิ้ลได้ จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลที่ปอกเปลือกและไม่ปอกเปลือกที่ 5% (4°C) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และมีค่าใกล้เคียงกับที่ระดับ 10% (4°C) แต่มีค่ามากกว่าที่ระดับ 0% และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากคุณสมบัติการอุ้มน้ำที่ดีของเซลลูโลส เมื่อเพิ่มความเข้มข้นที่มากขึ้นไปที่ระดับ 10% ทำให้ค่าความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลเมื่อปอกเปลือกมีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Seenam, P. & Sangnark, A., 2012). ที่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในแป้งสาลีทำให้ปริมาตรโดของปาทองโกลดลงเนื่องจากเซลลูโลสไปแย่งน้ำในแป้งสาลี จึงเลือกระดับความเข้มข้นของเซลลูโลสที่ 10% จากความเข้มข้น 0-15% และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Phungam, N. et al., 2021) พบว่าความเข้มข้นของสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส



(Carboxymethyl cellulose: CMC) ที่ได้จากการฟอกขาวเซลลูโลส ที่ระดับ 2% คงความแน่นเนื้อของพริกสดมากที่สุด จากความเข้มข้นระดับ 0-3%

Table 4 Firmness of coated apple with different treatment

Sample	Firmness (Kg)	
	Peeled apple	Unpeeled apple
Fresh apple	5.63±0.45 ^c	7.23±0.75 ^a
T1 30°C	5.27±0.23 ^c	4.83±0.15 ^c
T1 4°C	6.07±0.90 ^b	7.48±0.03 ^a
T2 30°C	6.83±0.35 ^{ab}	7.33±1.59 ^a
T2 4°C	7.47±0.40 ^a	7.17±0.60 ^a
T3 30°C	4.27±0.21 ^d	6.07±0.38 ^b
T3 4°C	5.83±0.45 ^b	7.47±1.32 ^a

Data are shown as average ± standard deviation for 3 replications

^{a-c} The means followed by same letter are not significantly different in the same column ($p < 0.05$)

Note: T1 = coated apple with 0% edible coating, T2 = coated apple with 5% edible coating, T3 = coated apple with 10% edible coating

จาก Table 5 พบว่าเมื่อนำแอปเปิ้ลไปวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา สภาวะการเคลือบแอปเปิ้ลด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่ระดับ 10% (T3) เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับแอปเปิ้ลที่เคลือบด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่ระดับ 5% (T2) คือ $< 2.5 \times 10^2$ เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการเคลือบแอปเปิ้ลด้วยสารสกัดจากซังข้าวโพดที่ระดับ 0% (T1) ที่สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C และ 30°C พบว่าแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากผลของสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดนั้นมีความสามารถในการเคลือบผิวแอปเปิ้ล ป้องกันการซึมผ่านของอากาศและความชื้น จึงป้องกันการเน่าเสียของแอปเปิ้ลทำให้แอปเปิ้ลเก็บรักษาได้นาน นอกจากนี้ซังข้าวโพดพันธุ์สีม่วงยังเป็นแหล่งของสารแอนโทไซยานินและสารประกอบฟีนอลที่สำคัญมีฤทธิ์



ช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งมีความต้านทานต่อโรค แมลง และเชื้อจุลินทรีย์ จึงสามารถชะลอการเสื่อมเสียของแอปเปิ้ลและป้องกันการเกิด Oxidative reaction rate ได้อีกด้วย (Chudhankura, A., 2018)

Table 5 Total plate count and yeast/mold of coated apple after storing for 3 weeks

Sample Total plate count (cfu/g)

Sample	Total plate count (cfu/g)
	Total viable count
T1 30°C	3.60×10^2
T1 4°C	5.20×10^2
T2 30°C	$<2.5 \times 10^2$
T2 4°C	$<2.5 \times 10^2$
T3 30°C	$<2.5 \times 10^2$
T3 4°C	$<2.5 \times 10^2$

Data are shown as average $\pm$ standard deviation

Note: T1 = coated apple with 0% edible coating film, T2 = coated apple with 5% edible coating film, T3 = coated apple with 10% edible coating film

จากสภาวะการเก็บรักษาแอปเปิ้ลเคลือบสารสกัดจากซังข้าวโพดสีม่วง ที่สัดส่วน 0%, 5%, 10% ไว้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 4°C และอุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลานาน 3 สัปดาห์ พบว่าผลการเคลือบผิวแอปเปิ้ลด้วยสารสกัดเซลลูโลสจากซังข้าวโพดที่ระดับ 10% (T3 4°C) เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ มี Weight loss น้อยที่สุด คือ 0.08 % แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสารเคลือบ 5% (T2 4°C) ที่มีค่า Weight loss 0.10 % ดังแสดงใน Table 6 ตัวอย่างแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารสกัดจากซังข้าวโพด (T1) มีค่า Weight loss สูงที่สุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C (T1 30°C) มีค่า Weight loss 2.04 % และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C มีค่า Weight loss 0.12 % (T1 4°C) จากผลการทดสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสทำให้เห็นว่าคุณสมบัติของเซลลูโลสและการเก็บในอุณหภูมิต่ำ 4°C ช่วยปกป้องคุณลักษณะและยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิ้ลไว้ได้ ทำให้ค่า TSS และความแน่นเนื้อของแอปเปิ้ลมากขึ้น การสูญเสียน้ำหนักจึงลดลงเมื่อเทียบแอปเปิ้ลที่ไม่ได้เคลือบ ดังนั้นความระมัดระวังเข้มข้นของเซลลูโลสและอุณหภูมิการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กัน



Table 6 The weight loss (%) of apples

Sample	Weight (g)		Weight loss (%)
	Day 0	3 weeks	
T1 30°C	178.81±8.66 ^a	175.15±7.70 ^a	2.04
T1 4°C	169.29±5.77 ^{ab}	169.08±5.52 ^{ab}	0.12
T2 30°C	163.80±13.92 ^b	158.25±15.29 ^b	3.39
T2 4°C	162.53±3.55 ^b	162.36±3.57 ^{ab}	0.10
T3 30°C	162.00±4.11 ^b	158.07±3.95 ^b	2.46
T3 4°C	173.07±3.84 ^{ab}	172.94±3.67 ^{ab}	0.08

Data are shown as average ± standard deviation for 3 replications

^{a-c} The means followed by the same letter are not significantly different in the same column ($p < 0.05$)

Note: T1 = coated apple with 0% edible coating, storing for 3 weeks, T2 = coated apple with 5% edible coating, storing for 3 weeks, T3 = coated apple with 10% edible coating, storing for 3 weeks



Figure 4 Sensory result for 3 ratio of coated apple in 2 condition for 3 weeks by Quantitative Descriptive Analysis



จาก Figure 4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาของแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบด้วยสารเคลือบผิว และคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี In-house panels (Watts, B.M. et al, 1989) ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบตามสะดวก เพื่อศึกษาความชอบของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายจำนวน 50 คน เมื่อแอปเปิ้ลผ่านการเคลือบและเก็บรักษาที่สภาวะแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ พบว่าเมื่อเก็บรักษาตัวอย่างแอปเปิ้ลเป็นระยะเวลาที่นานขึ้นมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น กลิ่นรส รสหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมลดลงตามลำดับ โดยตัวอย่างแอปเปิ้ลที่ผ่านการเคลือบโดยใช้สารเคลือบจากขี้ข้าวโพดที่ระดับ 5% และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C ได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ สูงที่สุด รองลงมาเป็นสารเคลือบจากขี้ข้าวโพดที่ระดับ 10% ส่วนแอปเปิ้ลที่ไม่ผ่านการเคลือบนั้นมีแนวโน้มเสื่อมเสียเร็วโดยได้คะแนนต่ำกว่า 5 คะแนนที่สัปดาห์ที่ 2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระดับสารเคลือบจากขี้ข้าวโพดที่ระดับ 5% นั้นให้ผลที่ดีที่สุดสามารถรักษาสภาพของแอปเปิ้ลได้ดี และเก็บรักษาได้นานมากกว่า 3 สัปดาห์ โดยมีคะแนนด้านความชอบโดยรวมสูงสุดที่ 8 คะแนน

สรุปผลการทดลอง

จากการนำแอปเปิ้ลเคลือบมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสเทียบกับตัวควบคุมที่เคลือบเฉพาะกลีเซอรอลกับน้ำ เพื่อคัดเลือกผลการเคลือบที่ดีที่สุด จากข้าวโพด 3 สายพันธุ์ พบว่าสายพันธุ์สีม่วงได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุด เท่ากับ 6.90 และเมื่อนำแอปเปิ้ลเคลือบสารสกัดจากขี้ข้าวโพดที่ 5% มาเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4°C พบว่ามีค่าความเป็นสีแดงสูงสุดและใกล้เคียงกับแอปเปิ้ลสดมากที่สุด มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) สูงสุดที่ 17.97 °Brix อีกทั้งยังมีความแน่นเนื้อ (Firmness) สูงสุด นอกจากนี้ยังมีการตรวจคุณภาพทางจุลชีววิทยา โดยพบว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $<2.5 \times 10^2$ cfu/g ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ปี พ.ศ.2560 (Department of Medical Sciences, 2017) สารเคลือบเซลลูโลสจากขี้ข้าวโพดช่วยลดการสูญเสียน้ำของแอปเปิ้ลได้ที่อุณหภูมิตู้เย็นซึ่งช่วยลดการหายใจของแอปเปิ้ลได้ เนื่องจากมีค่า Weight loss น้อยที่สุด คือ 0.08% เมื่อใช้สารเคลือบในปริมาณ 10% แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับสารเคลือบ 5% ซึ่งมีค่า Weight loss 0.10% และมีคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความหวาน เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงสุด ที่ 8 คะแนน แต่ในขณะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 30°C นาน 3 สัปดาห์ ยังพบว่าสารเคลือบเซลลูโลสจากขี้ข้าวโพดไม่สามารถช่วยลดการสูญเสียน้ำของแอปเปิ้ลได้ ดังนั้นการใช้สารเคลือบเซลลูโลสจากขี้ข้าวโพดพันธุ์สีม่วง (KPSC 903) ในปริมาณ 5% สามารถยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิ้ลเคลือบไว้ได้นานกว่า 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4°C



คุณสมบัติจากสายพันธุ์ของซังข้าวโพด ระดับความเข้มข้น และอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีความสัมพันธ์กัน
ในการปกป้องและยืดอายุการเก็บรักษาแอปเปิ้ล

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ที่ได้สนับสนุน
สถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- BAM. (2001). *Food and Drug Administration Bacteriological Analytical Manual*. USA: AOAC International.
- B. M. Watts, G. L. Ylimaki, L. E. Jeffery & L. G. Elias. (1990). Basic Sensory Methods for Food Evaluation. *Journal of Biological Wastes*, 33(3), 228.
- Chansuk, T. et al. (2019). Carboxymethyl Cellulose from Corn Peel. *16th International Conference*, Kasetsart Kamphaengsaen: University.
- Chudhangkura, A. (2018). Colour corn: Purple corn. *Journal of Food*, 48(2), 25-32.
- Chunhasawatdikun, B. & Sakkathamnu, P. (1996). *Value of dietary fiber prevents and treats many diseases*. Bangkok: Ruamtus.
- Davis et al. (2003). User acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *Journal of MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.
- Department of Medical Sciences. (2017). *Criteria for Microbiological quality of food and contact containers food*. Nonthaburi: Ministry of Public Health.
- Dhall, R.K. (2013). *Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A Review*. London: Taylor & Francis.
- Hagenmaier, R.D. (2000). Evaluation of a polyethylene – candelilla coating for “Valencia” oranges. *Journal of Postharvest Biology Technology*, 19(2), 147-154.
- Jit-uea, K. (2021). *Sweet corn seed production technology*. Bangkok: Department of Agriculture.



- Klinsoda, J. (2016). Edible coating and film for vegetables and fruits. *Journal of Food*, 46(1), 27-31.
- Kocira, A., K.Kozłowicz, K.Panasiewicz , M. Staniak, E.S. Krok & P.Hortynska. (2021). Polysaccharides as Edible Films and Coatings: Characteristics and Influence on Fruit and Vegetable Quality—A Review. *Journal of Agronomy*, 813(11), 1-38.
- Lertmanorat, J. & et al. (1996). *Utilization of cellulose extraction from bagasse in chocolate cake low calories*. Master's dissertation: Chulalongkorn University.
- Muchlisyam, U., Harahap, J., Silalahi & Z. Alfian. (2013). Isolation and Utilization of corn cobs hemicellulose as chelating agent for lead ions. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 17(1), 71-74.
- National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. (2019). *Standard of Apple*. Bangkok: Thai agricultural standard.
- Noijinda, S. (2006). *Techniques for measuring the firmness of fresh fruits and vegetables*. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- Pongnoree, J. & Kongbangkerd, T. (2006). Preparation of cellulose from corncobs I: Study on cellulose extraction. *Science Technology Journal of Songklanakarin*, 28(1), 191-199.
- Pornjalean, R. & Jaidee, A. (2021). Development of Carboxymethyl Cellulose Coating Combined with Galanga Extract on Postharvest Guava Presevation. *National Academic Conference*. Kamphaengphet: Kamphaengphet Rajabhat University.
- Phungam, N. & et al. (2021). Effects of Coating using Carboxymethyl Cellulose from Corn Leaves on Qualities of Fresh Pepper during Storage. *Journal of Agricultural Science*, 52(1), 401-404.
- Ratanakamnuan, U. (2015). *Effect of Plastic on Physical and Mechanical Properties of Cellulose Ester Films from Rice Straw and Corn Husk*. Maejo: Maejo University.
- Ratnapanon, N. (1994). *The Foundation of Nutrition*. Bangkok: Odean Store Printing.
- Rongsuphan, T. & Kajorncheappunngam, S. (2018). Anthocyanin content, antibacterial activity and antioxidant capacity of purple corn cob extract via ultrasonic extraction.



Science and Technology Research Journal of Phranakhon Rajabhat University,
14(1), 47-61.

Seenam, P. & Sangnark, A. (2012). *Production and Fortification of Cellulose Powder Prepared from Corn Cobs for Decreasing Oil Uptake of Chinese Dough Product (Patongco)*. Bangkok: Kasetsart University.

Thongyong, S. & Dejkamhaeng, P. (1987). *The foundation of food chemistry*. Bangkok: Odean Store Printing.

