

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว
ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. ดนัย บุญเกียรติ
และคณะ

ตุลาคม 2550

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

คณะผู้วิจัย

- รศ. ดร. ดนัย บุญเกียรติ
- ศ. ดร. นิธิยา รัตนพานนท์
- นางสาวพิมพ์ใจ สีหะนาม

สังกัด

- คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ชุดโครงการ การจัดการผลิตผลพืชสวน

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนในการทำงานวิจัย โครงการวิจัย เรื่อง “ผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง” และขอขอบคุณ คุณครรชิต ตติปาณิเทพ คุณสมศักดิ์ วิสัยพร และคุณจุมภฏพงศ์ แซ่อิว ที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวบางชนิด

ในส่วน of เนื้อหาทางวิชาการ คณะผู้วิจัยได้รับคำชี้แนะเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิที่ สกว. ได้แต่งตั้งขึ้น เพื่อติดตามประเมินผลและให้ข้อเสนอแนะต่างๆ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

ตุลาคม 2550

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ส้มสายน้ำผึ้ง เป็นพันธุ์ส้มในกลุ่มส้มเขียวหวานชนิดหนึ่ง ที่ปัจจุบันกำลังได้รับความนิยมอย่างสูง เพราะมีคุณภาพและรสชาติที่ดีกว่าส้มเขียวหวานชนิดอื่นๆ คือ เนื้อแน่น สีสันสวยงาม ชานมีลักษณะนิ่ม น้ำส้มมีปริมาณมาก รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย ซึ่งแหล่งผลิตส้มสายน้ำผึ้งที่สำคัญของประเทศไทย คือ จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย โดยเฉพาะเขตพื้นที่ อำเภอฝาง ไชยปราการ และแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งก่อนที่ชาวสวนผู้ผลิตส้มจะส่งผลส้มออกวางจำหน่ายในท้องตลาด จะล้างทำความสะอาดผลส้ม แล้วเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าชนิดต่างๆ ซึ่งการเคลือบผิวผลส้มมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการสูญเสีย น้ำ ลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊ส ส่งผลให้มีอัตราการหายใจลดลง และทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติที่สูญเสียไปในระหว่างการเก็บเกี่ยวและการจัดการภายหลังการเก็บเกี่ยว นอกจากนี้การเคลือบผิวผลส้ม ยังทำให้ผลส้มมีความมันวาว เป็นที่สะดุดตาและดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค โดยชนิดของสารเคลือบผิวที่เกษตรกรเลือกใช้เป็นสารเคลือบผิวทางการค้า ซึ่งแต่ละชนิดจะมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน ทั้งนี้การเลือกใช้สารเคลือบผิวชนิดใดจะขึ้นอยู่กับขนาดของสวนส้ม กำลังการผลิต และราคาของสารเคลือบผิว แต่การเคลือบผิวมักจะก่อให้เกิดปัญหาขึ้นกับผลส้ม กล่าวคือผลส้มที่เคลือบผิวแล้วและวางจำหน่ายในปัจจุบันจะมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ ซึ่งลักษณะผิดปกติดังกล่าวทำให้คุณภาพของผลส้มลดลงและไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและอายุการวางจำหน่ายผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง และการตอบสนองของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าชนิดต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา และทางชีวเคมีเปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว

1. การศึกษาผลของสารเคลือบผิวทางการค้า สารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น และสารเคลือบผิว

โคโคซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

ผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าชนิดต่างๆ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ โดยสารเคลือบผิวบางชนิดสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ถึง 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว นอกจากนี้การเคลือบผิวยังช่วยเพิ่มคุณภาพของผลส้มด้านลักษณะปรากฏภายนอก คือผิวของผลส้มมีความมันวาวมากขึ้น แต่การเคลือบผิวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น รวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส ซึ่งส่งผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติภายในผลส้ม โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองนั้นผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR มีคุณภาพด้านการบริโภคและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด คือ มีการเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติน้อยที่สุด

และช้าที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ และเมื่อพิจารณาจากการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR มีอายุการเก็บรักษาได้ประมาณ 10-13 วัน ซึ่งยาวนานกว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่มีอายุการเก็บรักษาได้ไม่เกิน 7 วัน

2. การศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำและสารเคลือบผิวบางชนิดต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

การเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มได้ยาวนานขึ้น สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลส้มได้ประมาณ 3 และ 2 เท่า ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยพิจารณาจากการเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ และลักษณะปรากฏภายนอก และการเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิต่ำยังมีผลช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และสามารถชะลออัตราการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งมีผลต่อปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผล ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น และกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส ที่ส่งผลต่อคุณภาพด้านการเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้ม โดยผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนช้ากว่าผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยพิจารณาได้จากปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลสูงกว่า และปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลต่ำกว่าผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง รวมทั้งยังมีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นต่ำกว่าอีกด้วย เมื่อพิจารณาจากการเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติร่วมกับลักษณะปรากฏภายนอก ผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง มีอายุการเก็บรักษาโดยเฉลี่ย ประมาณ 43, 25 และ 10 วันตามลำดับ

ผลการศึกษาที่ได้ แสดงว่าการเคลือบผิวผลส้มสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ โดยผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าส่วนใหญ่สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักดีกว่าการเคลือบผิวด้วยพอลิเอทิลีนไมโครอิมัลชัน (polyethylene microemulsion) และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0% นอกจากนี้ การเคลือบผิวยังมีผลต่อการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ รวมถึงลักษณะปรากฏภายนอกของผลส้มด้วย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้อายุการเก็บรักษาของผลส้มในการทดลองครั้งนี้ โดยคุณภาพด้านการบริโภคดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผล ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น และกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส ซึ่งตลอดระยะเวลาของการวิจัย พบว่า ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR มีอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด และมีคุณภาพด้านการบริโภคเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมมากที่สุด กล่าวคือผลส้มเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติน้อยที่สุดและช้าที่สุด และยังมีลักษณะปรากฏภายนอกดีกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว

ผลศึกษาวิจัยที่ได้ในครั้งนี้อาจนำไปเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้สารเคลือบผิวทางการค้าเพื่อเคลือบผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งได้ แต่ทั้งนี้คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่าผลการวิจัยดังกล่าวยังมีส่วนที่ควรจะต้องทำการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมอีกมาก ซึ่งได้แก่ ปริมาณสารที่ใช้เคลือบผิวที่ใช้ต่อขนาดของผลส้ม โดยในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้สารเคลือบผิวทางการค้าเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวทางการค้าที่เกษตรกรนิยมใช้ และใช้ในปริมาณที่เท่าๆ กัน คือ ประมาณ 0.20 กรัม/ผล โดยใช้กับผลส้มขนาดเบอร์ 4 ซึ่งสารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีส่วนผสมที่แตกต่างกัน ดังนั้นคุณสมบัติของสารเคลือบผิวจะแตกต่างกันไปด้วย ทั้งนี้ปริมาณของสารเคลือบผิวที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้ยึดตามปริมาณการใช้สารเคลือบผิวต่อน้ำหนักผลส้มของ USDA ซึ่งอาจจะมีความเหมาะสมสำหรับสารบางชนิด แต่อาจจะมากหรือน้อยเกินไปสำหรับสารเคลือบผิวบางชนิด รวมถึงสภาพแวดล้อมของประเทศไทยที่มีความแตกต่างจากประเทศสหรัฐอเมริกา จึงทำให้ผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพของผลส้มมีความแตกต่างกันออกไป

ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อหาปริมาณของสารแต่ละชนิดที่เหมาะสมต่อผลส้มแต่ละขนาด เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกใช้สารเคลือบผิวแก่เกษตรกรภายในประเทศ คือ สามารถเลือกใช้สารเคลือบผิวได้ตามความต้องการและในปริมาณที่ถูกต้องและเหมาะสมได้ ซึ่งการศึกษาลักษณะเฉพาะอาจจะสามารถระบุปริมาณสารเคลือบผิวแต่ละชนิดที่เหมาะสมสำหรับผลส้มแต่ละขนาด และอาจื่อนำมาสู่การจัดค่ามาตรฐานสำหรับอายุการวางจำหน่ายของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งในประเทศไทย ซึ่งน่าจะพิจารณาจากการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติ ร่วมกับลักษณะปรากฏภายนอก และปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลส้ม

นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสอย่างละเอียด เพื่อให้ทราบถึงการเพิ่มขึ้นและลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์ที่แน่นอน เพราะเป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งส่งผลถึงการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติของผลส้มโดยตรง และควรมีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณอะซิโตนัลดีไฮด์ และกิจกรรมของเอนไซม์ไพรูเวตดีคาร์บอกซิเลส ซึ่งเป็นอินเทอร์มีเดียต (intermediate) และเอนไซม์ในปฏิกิริยาการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ตามลำดับ ด้วย เพราะมีความเกี่ยวข้องกับการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติของผลส้มเช่นเดียวกัน ทั้งนี้คุณภาพของผลส้มยังขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่เก็บรักษาด้วย ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารเคลือบผิวต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยการเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า 9 ชนิด ได้แก่ CITRASHINE, SEALKOTE, FOMESA, ROSY PLUS, CITROSOL AK, SUPERSHINE-C, ZIVDAR, PERFECT SHINE, WAX (unknown) เปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวที่เตรียมขึ้นเอง คือ พอลิเอทิลีนไมโครอิมัลชัน (PE microemulsion) และสารละลายไคโตซาน (Chitosan) ความเข้มข้น 1.5% และ 2.0% และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผล การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี ผลการทดลอง พบว่า ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR ยอมให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด และผลส้มที่เคลือบผิวด้วย ZIVDAR และ PERFECT SHINE มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นน้อยกว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ผลส้มที่เคลือบผิวยังมีอัตราการหายใจต่ำกว่า และมีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสสูงกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว และการเคลือบผิวยังมีผลช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก และช่วยให้ผลส้มมีลักษณะปรากฏดีกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่การเคลือบผิวส่งผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติขึ้นภายในผลส้ม แต่ไม่มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส การเปลี่ยนแปลงสีผิวผลส้ม ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีของผลส้ม

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITRASHINE, SEALKOTE, ROSY PLUS, ZIVDAR, PERFECT SHINE, PE microemulsion, Chitosan 2.0% และที่ไม่ได้เคลือบผิว แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 และ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 2 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 3 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส ยังมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มสูงกว่า ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มและปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นต่ำกว่าผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำทำให้ผลส้มมีการเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติน้อยกว่า และมีลักษณะปรากฏดีกว่าผลส้มที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิสูง โดยอุณหภูมิที่เก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส สีผิวผล และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้ม แต่ไม่มีผลต่อค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซี ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว

CITRASHINE, SEALKOTE, ROSY PLUS และ ZIVDAR สูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว โดยผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS, ZIVDAR และ Chitosan 2.0% ยอมให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีที่สุด และผลส้มที่เคลือบผิวมีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น และกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสสูงกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งการเคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส สิวผล ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีของผลส้ม

Abstract

Tangerine fruit cv. Sai Nam Puang were coated with 9 commercial coatings; CITRASHINE, SEALKOTE, FOMESA, ROSY PLUS, CITROSOL AK, SUPERSHINE-C, ZIVDAR, PERFECT SHINE, WAX (unknown), one experimental polyethylene (PE) microemulsion, and two concentrations of chitosan solutions (1.5% and 2.0%). Coated fruit were stored at room temperature ($23\pm3^{\circ}\text{C}$) and $56\pm5\%$ relative humidity for 7 days. Peel color, physiological and chemical changes were measured. Tangerines coated with ZIVDAR had the highest internal O_2 content and the lowest internal CO_2 content. Coated fruits with ZIVDAR and PERFECT SHINE had lower internal ethanol content than fruit coated with the other materials. The coated fruit had lower respiration rate and higher alcohol dehydrogenase activity than the uncoated control fruit. Coatings reduced weight loss and resulted in better appearance than uncoated control, but they caused off-flavour. No effect of coatings on acid phosphatase activity, skin color, total soluble solids, pH, titratable acidity, TSS/TA ratio and vitamin C content were observed.

Coated tangerine fruit with CITRASHINE, SEALKOTE, ROSY PLUS, ZIVDAR, PERFECT SHINE, PE microemulsion, Chitosan 2.0% and uncoated fruit were stored at 5 or $10\pm2^{\circ}\text{C}$ and $90\pm2\%$ relative humidity, and at room temperature ($23\pm3^{\circ}\text{C}$) and $50\pm3\%$ relative humidity. The results indicated that tangerine fruit stored at low temperatures had lower weight loss than fruit stored at ambient temperature. Fruit stored at 5 and 10°C had higher internal O_2 , lower internal CO_2 and ethanol content than fruit stored at room temperature. Tangerine fruit stored at low temperature had less off-flavour and better appearance than fruit stored at high temperature. Storage temperatures had effect on alcohol dehydrogenase and acid phosphatase activities, skin color and total soluble solids but had no effect on pH, titratable acidity, TSS/TA ratio and vitamin C content. Fruit coated with CITRASHINE, SEALKOTE, ROSY PLUS and ZIVDAR had lower weight loss than uncoated fruit. Tangerine fruit coated with ROSY PLUS, ZIVDAR and Chitosan 2.0% had the highest of gas exchange. Coated fruit tended to have higher internal ethanol and alcohol dehydrogenase activity than uncoated fruit. Coatings had no effect on acid phosphatase activity, skin color, total soluble solids, pH, titratable acidity, TSS/TA ratio and vitamin C during low temperature storage.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
สายพันธุ์ส้มที่นิยมปลูกในประเทศไทย	6
ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลส้ม	7
การเก็บเกี่ยวผลส้ม	8
การใช้สารเคลือบผิวผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว	11
ผลของการใช้สารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้	13
ไคโตซาน (chitosan)	17
ประโยชน์ของไคโตซานในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว	18
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	21
อุปกรณ์และวัสดุเกษตร	21
วิธีการทดลอง	29
การทดลองที่ 1 ผลของสารเคลือบผิวทางการค้า สารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น และ	29
สารเคลือบผิวไคโตซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและ	
เคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง	
การทดลองที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ำและสารเคลือบผิวบางชนิดต่อการเปลี่ยนแปลง	34
ทางกายภาพและเคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง	
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	36
4.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยาของผลส้มพันธุ์สาย	36
น้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บ	
รักษา	
4.2 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยาของผลส้มพันธุ์สาย	65
น้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาที่	
อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	107
เอกสารอ้างอิง	109
ภาคผนวก	122

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณแก๊สออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผล ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น และอัตราการหายใจของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน	49
2	กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส และกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน	50
3	การประเมินคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติ ลักษณะปรากฏ ค่า L^* , chroma และ hue angle ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน	51
4	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน	52
5	การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณแก๊สออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผล และปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	83
6	กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส และกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	84
7	การประเมินคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติ ลักษณะปรากฏ ค่า L^* , chroma และ hue angle ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	85

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
8	ปริมาณของแฉ่งที่ละลายน้ำได้ ค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ อัตราส่วนปริมาณของแฉ่งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ และปริมาณวิตามินซีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	86

สารบัญตาราง

ตารางภาคผนวก		หน้า
ก	ชนิดของสารเคลือบผิวและส่วนประกอบของสารเคลือบผิว	123
1	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	124
2	ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	125
3	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	126
4	อัตราการหายใจของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	127
5	กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ แลเมื่อเก็บรักษาไว้ที่ (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	128
6	กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	129
7	การประเมินคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติติดปากของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	130
8	การประเมินคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	131

สารบัญตาราง

ตารางภาคผนวก		หน้า
9	ค่า L* ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	132
10	ค่า chroma ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	133
11	ค่า hue angle ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	134
12	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	135
13	ค่าพีเอชของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	136
14	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	137
15	อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	138
16	ปริมาณวิตามินซีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์	139
17	การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	140

สารบัญตาราง

ตารางภาคผนวก		หน้า
18	ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	142
19	ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	143
20	กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	144
21	กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตสของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	145
22	การประเมินคุณภาพด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	146
23	การประเมินคุณภาพด้านลักษณะปรากฏของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	148
24	ค่า L* ของสีผิวผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	150
25	ค่า chroma ของสีผิวผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	152
26	ค่า hue angle ของสีผิวผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	154
27	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	155

สารบัญตาราง

ตารางภาคผนวก		หน้า
28	ค่าพีเอชของผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	157
29	ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	158
30	อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	159
31	ปริมาณวิตามินซีของผลสัมพันธุ์สายนํ้าฝิ่งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง	160

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ชุดแผนผังควบคุมการไหลของอากาศ	24
2	ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ	25
3	การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	53
4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	53
5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	54
6	การเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน	54
7	การเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	55
8	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	55
9	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	56
10	การเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นและรสชาติติดปากของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	56

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
11	การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	57
12	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	57
13	การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	58
14	การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	58
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	59
16	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	59
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	60
18	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	60
19	การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	61

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
20	ลักษณะปรากฏของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 0 วัน	61
21	ลักษณะปรากฏของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 วัน	62
22	ลักษณะปรากฏของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 วัน	62
23	ลักษณะปรากฏของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน	63
24	ลักษณะปรากฏของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 10 วัน	63
25	ลักษณะปรากฏของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 13 วัน	64
26	การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	87
27	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	88
28	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	89

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
29	การเปลี่ยนปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	90
30	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	91
31	การเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	92
32	การเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่นและรสชาติติดปากของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	93
33	การเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	94
34	การเปลี่ยนแปลงค่า L^* ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	95
35	การเปลี่ยนแปลงค่า chroma ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	96
36	การเปลี่ยนแปลงค่า hue angle ของสีผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	97
37	การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	98

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
38	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	99
39	การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	100
40	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	101
41	การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 43, 25 และ 10 วัน ตามลำดับ	102
42	ลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 0 วัน	103
43	ลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 วัน	104
44	ลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 วัน	105
45	ลักษณะปรากฏของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ระหว่างเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 43 วัน	106

บทที่ 1

บทนำ

ส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่คนไทยนิยมบริโภคกันทั่วไป มีพื้นที่การปลูกอยู่ทั่วประเทศ โดยแหล่งปลูกที่ใหญ่ที่สุด คือ จังหวัดเชียงใหม่ ผลผลิตส่วนใหญ่จะใช้เพื่อบริโภคภายในประเทศ บางส่วนส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ มีมูลค่าปีละหลายสิบล้านบาท (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) ในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณผลผลิตส้มเขียวหวานกระจายออกสู่ตลาดรวมทั้งสิ้น 208,008 ตัน โดยแบ่งเป็นจำหน่ายเพื่อบริโภคสด จำนวน 145,608 ตัน คิดเป็นร้อยละ 70.00 ซึ่งส่งจำหน่ายตลาดภายในประเทศ จำนวน 145,200 ตัน คิดเป็นร้อยละ 69.80 ส่งจำหน่ายตลาดต่างประเทศ จำนวน 408 ตัน คิดเป็นร้อยละ 0.20 และอีกส่วนหนึ่งนำไปแปรรูปจำนวน 62,400 ตัน คิดเป็นร้อยละ 30.00 โดยในปี พ.ศ. 2547 มีมูลค่าการส่งออกไปยังต่างประเทศประมาณ 7.65 ล้านบาท (เกษตรเชียงใหม่, 2549) ดังนั้นการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม ได้แก่ การคัดผลที่มีตำหนิ เช่น ผลชำรุดที่มีบาดแผลจากการเก็บเกี่ยว มีร่องรอยการทำลายของโรคและแมลงออก การทำความสะอาดโดยใช้ผ้าสะอาดชุบน้ำเช็ดทั่วทั้งผล หรือล้างน้ำสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและรอยคราบสารเคมีออกให้หมด หลังจากนั้นผึ่งให้ผิวแห้ง และเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ จะช่วยชะลอการสูญเสียน้ำหนักและยืดอายุการวางจำหน่ายของส้มได้นานขึ้น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) เพราะการเคลือบผิวนอกจากจะทำให้ผิวส้มมีความมันวาว สามารถดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค ช่วยลดการสูญเสีย และยังช่วยลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างบรรยากาศภายนอกกับภายในผลส้มด้วย (คณัยและนิธิยา, 2548) แต่การเคลือบผิวและการเก็บรักษาที่ไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น การวางจำหน่ายที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติขึ้นภายในผลส้ม (จริงแท้, 2538) ทั้งนี้เพราะการเคลือบผิวนั้นควบคุมอัตราการซึมผ่านเข้า-ออกของแก๊สออกซิเจนระหว่างบรรยากาศเข้าสู่ผลส้มให้เกิดขึ้นได้น้อยลง ทำให้ภายในผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำมาก และมีการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มเพิ่มมากขึ้นด้วย (Cohen, *et al.*, 1990; Petrcek *et. al.*, 1998; Alleyne and Hagenmaier, 2000)

ในปัจจุบันผู้ผลิตรายใหญ่มักจะเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ก่อนที่จะส่งออกจำหน่ายในท้องตลาด เพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการวางจำหน่าย แต่ผลส้มที่วางจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดเป็นจำนวนมากมักมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ ทั้งนี้ อาจเกิดจากการเลือกใช้ชนิดของสารเคลือบผิวที่ไม่เหมาะสม ปริมาณของสารเคลือบผิวที่ใช้ไม่เหมาะสม อุณหภูมิที่วางจำหน่ายไม่เหมาะสม หรือระยะเวลาในการวางจำหน่ายนานเกินไป

ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของสารเคลือบผิวแต่ละชนิด ที่ผู้ผลิตรายทางภาคเหนือนิยมนำมาใช้เคลือบผิวผลส้ม ซึ่งอาจจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถตัดสินใจเลือกใช้สาร

เคลือบผิวที่ถูกต้องและเหมาะสม รวมถึงทราบอายุการวางจำหน่ายของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแต่ละชนิดด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติและอายุการวางจำหน่ายผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ตลอดจนการตอบสนองทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยเวชภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่เป็นสารเคลือบผิวทางการค้าและสารเคลือบผิวที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ส้มเป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้นขนาดเล็กในสกุล Citrus วงศ์ Rutaceae มีอยู่ณั้บร้อยชนิด มีการเจริญเติบโตกระจายอยู่ทั่วโลก โดยมากจะมีน้ำมันหอมระเหยอยู่ในใบ ดอก และผล และมีกลิ่นฉุน ส้มหลายชนิดบริโภคได้ ผลมีรสเปรี้ยวหรือหวาน เป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามินบางชนิด เช่น มีแคลเซียม โพแทสเซียม และวิตามินซี มากเป็นพิเศษ (วิกิพีเดีย, 2549) ส้มเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของโลก เป็นที่นิยมบริโภคของผู้คนทั่วไป เนื่องจากราคาไม่แพงนัก และมีจำหน่ายอยู่ทั่วไปในท้องตลาด สามารถหาซื้อมารับบริโภคได้ง่าย อีกทั้งเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีการนำส้มมาใช้เป็นอาหารประจำวันทั้งในรูปการบริโภคผลสดและแปรรูปเป็นน้ำส้มคั้น ดังนั้นพืชตระกูลส้มจึงมีความสำคัญ และมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายทุกภูมิภาคของโลก ซึ่งสามารถแบ่งพืชตระกูลส้มออกเป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ โดยอ้างตาม Hodgson System ได้ดังนี้ (พายัพ, 2542)

1. กลุ่มส้มเกลี้ยงและส้มตรา (Orange group)

เป็นกลุ่มใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุดในโลก มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดียทางแถบทิเบตไปจนถึงจีนและพม่า แบ่งเป็น 2 พวก คือ

1.1 ส้มที่มีรสหวาน (Sweet orange: *Citrus sinensis*)

เป็นผลไม้สดในประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากจะใช้บริโภคผลสดแล้วยังแปรรูปเป็นน้ำส้ม ซึ่งเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งจะสามารถเก็บรักษาได้นาน ส้มที่มีรสหวานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1.1.1 ออเรนจ์ (orange) เป็นผลส้มเปลือกหนา มีการปลูกกันมากในแถบเมดิเตอร์เรเนียน ได้แก่ สเปน อิตาลี และฝรั่งเศส พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าเช่น Hamlian, Berma, Pineapple และ Shamouti

1.1.2 ชนิดที่เนื้อผลมีกรดน้อย ผลส้มในกลุ่มนี้จะมีปริมาณกรดน้อย คือ ประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ได้แก่ ส้ม Sukkari ในประเทศอียิปต์ และ de Nice ในประเทศฝรั่งเศส

1.1.3 ชนิดที่มีเนื้อผลสีแดงส้ม ผลส้มในกลุ่มนี้จะพบแอนโทไซยานินที่เปลือกและในน้ำคั้น เรียกว่า blood orange ได้แก่ ส้มพันธุ์ Moro, Taroco และ Sanguinelli เป็นต้น

1.1.4 นาวล (Navel) ลักษณะของผลส้มชนิดนี้ปลายผลจะมีลักษณะเป็นแอ่งคล้ายสะดือ (navel) ที่ตรงแอ่งนี้อาจมีผลเล็กๆ เกิดขึ้นซ้อนอยู่อีก นอกจากนี้ยังไม่มีเมล็ด

1.2 ส้มที่มีรสเปรี้ยวหรือรสออกขม (sour or bitter orange: *Citrus aurantium*)

ส้มกลุ่มนี้มีถิ่นกำเนิดทางแถบตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย จีน และพม่า ต่อมาได้แพร่กระจายไปทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่น ทางตะวันตกของอินเดีย และแถบเมดิเตอร์เรเนียนจนถึงทวีปยุโรป ในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 16 กลุ่มส้มที่มีรสเปรี้ยวนี้จัดเป็นส้มชนิดแรกที่แพร่กระจายเข้าไปในแถบต่างๆ ของทวีปยุโรปและอเมริกา เช่น รัฐฟลอริดา

ผลส้มที่มีรสเปรี้ยวและหวานจะมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกันมากและแตกต่างกันเล็กน้อยที่ใบของผลส้มที่มีรสเปรี้ยวจะมีสีเขียวเข้มกว่า มีก้านใบยาวกว่า และมีปีกกว้างกว่า ลักษณะผลแบน และสีเขียวเข้มกว่า มีเปลือกหนากว่าผลส้มที่มีรสหวาน ลักษณะลำต้นสูงใหญ่มีใบหนา และทนต่อสภาพอากาศที่เย็นจัดหรือร้อนจัดได้ดีกว่าส้มพันธุ์อื่นๆ

2. กลุ่มส้มจีน ส้มเขียวหวาน (Mandarin group: *Citrus reticulata* Blanco)

ส้มเขียวหวาน มีชื่อสามัญว่า แมนดาริน หรือ ส้มจีน (mandarin) หรือ แทนเจอริน (tangerine) อยู่ในตระกูล Rutaceae จัดเป็นผลไม้กึ่งร้อน มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมในประเทศจีน ปลูกในประเทศจีนและญี่ปุ่นมานาน ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังประเทศสหรัฐอเมริกาและยุโรป จนปัจจุบันเป็นผลไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนในประเทศแถบเอเชียและเอเชียอาคเนย์ เช่น ไทย ญี่ปุ่น และไต้หวัน เป็นต้น ลักษณะของผลส้มกลุ่มนี้คือ เปลือกอ่อน เปลือกกล่อน และแกะออกได้ง่าย กลีบส้มแยกหลุดจากกันได้ง่าย ส้มจีนและส้มเขียวหวานมีลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้ คือ ส้มจีนผลโตกว่าส้มเขียวหวาน เปลือกค่อนข้างหนากว่า เปลือกขรุขระ เปลือกอ่อนเปรี้ยว แกะง่าย ใส่ผลกลวง กลีบส้มแยกออกจากกันได้ง่าย สีผลและสีเนื้อเป็นสีส้มเข้ม ทรงต้นสูงชะลูด และใบเล็กกว่าส้มเขียวหวานเล็กน้อย นอกจากนี้ ยังมีส้มอีกหลายชนิดที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น ส้มจู๊ก ส้มแก้ว ส้มแป้น ส้มจี๊ม่า เป็นต้น (วัฒนา, 2528) ส้มในกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเขตร้อน มีลักษณะผลใกล้เคียงกับกลุ่มออเรนจ์ บางครั้งอาจเรียก แทนเจอริน มีผู้พยายามแยกแมนดารินและแทนเจอริน โดยใช้ความแตกต่างระหว่างสีของเปลือก เช่น พวกที่มีเปลือกสีส้มหรือสีแดง เรียกแทนเจอริน พวกที่มีเปลือกสีเหลืองอ่อนๆ เรียก แมนดาริน ได้แก่ พวกส้มจีน เป็นต้น

ส้มกลุ่มแมนดารินมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศอินเดีย บางพันธุ์มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางอินโดจีน ได้แก่ ส้มคิง และส้มคูเนน โบแมนดาริน พันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น ได้แก่ พันธุ์ซซซุม่า ส้มในกลุ่มแมนดาริน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ดังนี้

2.1 ซซซุม่า (*Citrus unshiu* Marcovitch) มีถิ่นกำเนิดในประเทศญี่ปุ่น เป็นพวกที่ทนต่อสภาพอากาศเย็นที่สุด จึงสามารถปรับตัวเจริญเติบโตได้ดีในเขตอากาศเย็น

2.2 คิงแมนดาริน (*Citrus nobilis* Loureiro) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “King of Siam” มีถิ่นกำเนิดในอินโดจีน พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ พันธุ์คิง

2.3 เมดิเตอร์เรเนียนแมนดาริน (*Citrus deliciosa* Tenore)

2.4 แมนดาริน (*Citrus reticulata* Blanco) ลักษณะโดยทั่วไปของส้มพวกนี้มีดอกและใบขนาดเล็ก ผลขนาดกลางถึงใหญ่ เปลือกบางและล่อน ปอกออกได้ง่าย ผลไม่ค่อยฟ้าม ได้แก่อีส้มเขียวหวาน และส้มจินที่ปลูกในประเทศไทย สำหรับพันธุ์ในต่างประเทศที่นิยมปลูก เช่น พันธุ์คลีเมนไทน์ แคนซี่ และฟองแกน เป็นต้น

3. กลุ่มส้มโอและเกรฟฟรุต (Pumelo and Grapefruit Group)

ทั้งสองชนิดนี้มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน โดยเฉพาะลำต้นและทรงพุ่มแตกต่างกันตรงที่ส้มโอมีลำต้นใหญ่และแข็งแรง แต่เกรฟฟรุตมีทรงพุ่มเล็ก

3.1 ส้มโอ (*Citrus grandis* L. Osbeck) จัดเป็นส้มที่ผลขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาพืชตระกูลส้มทั้งหมด ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ส้มโอแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

3.1.1 ชนิดที่มีเนื้อผลสีขาว มีทั้งชนิดหวานที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 0.08-0.10 เปอร์เซ็นต์ และชนิดหวานอมเปรี้ยวที่มีเปอร์เซ็นต์กรด 1.02-1.93 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราส่วนของน้ำตาล : กรด เท่ากับ 5.6-17.4 เท่า

3.1.2 ชนิดที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ มีลักษณะคล้ายกับส้มโอธรรมดา ยกเว้นลักษณะสีเนื้อที่เกิดจากสารสีแคโรทีนอยด์ และไลโคพีน ซึ่งทำให้เนื้อผลมีสีแดงตั้งแต่ชมพูอ่อนถึงสีแดงเข้ม เป็นที่สะดุดตาผู้บริโภค แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบัน ได้แก่ ไทย จีน และอินโดนีเซีย โดยพันธุ์ส้มโอที่ปลูกเป็นการค้าส่วนใหญ่ที่มีต้นกำเนิดมาจากประเทศไทยแทบทั้งสิ้น ได้แก่ พันธุ์ขาวพวง ขาวแป้น พันธุ์การค้าของจีน ญี่ปุ่น และไต้หวัน ได้แก่ พันธุ์มาโท

3.2 เกรฟฟรุต (*Citrus paradisi* Macfadyen) มีถิ่นกำเนิดในหมู่เกาะอินเดียตะวันตก ลักษณะผลคล้ายกับส้มโอมากแต่มีขนาดผลเล็กกว่าส้มโอ แหล่งปลูกอยู่ที่มลรัฐฟลอริดา อิสราเอล จาไมกา คิวบา และอาเจนติน่า เป็นต้น เกรฟฟรุต แบ่งได้ 2 พวก คือ

3.2.1 พวกที่มีเนื้อผลสีขาว ได้แก่ พันธุ์มาซ

3.2.2 พวกที่มีเนื้อผลสีอื่นๆ ได้แก่ พันธุ์ Star Ruby และ Rio Red เป็นต้น

4. กลุ่มมะนาว (Common acid member)

ผลส้มที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ พวกซิตรอน เลมอน (lemon) และมะนาวหรือไลม์ (lime)

4.1 เลมอน (*Citrus limon* L. Burn f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกของประเทศอินเดีย ประเทศไทย เรียกว่า มะนาวฝรั่ง ปัจจุบันเลมอนมีความสำคัญในตลาดโลกค่อนข้างมาก โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา ผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด อิตาลีผลิตได้ร้อยละ 40 และสเปน ผลิตได้ร้อยละ 5

4.2 ไลม์ หรือมะนาวไทย (*Citrus aurantifolia* Swing) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอินเดีย พม่า และไทย ตลอดจนประเทศมาเลเซีย แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

4.2.1 ไลม์ชนิดผลเปรี้ยว มี 2 พวก คือ

4.2.1.1 ชนิดผลเล็ก ได้แก่ พันธุ์เวสอินเดียไลม์ หรือเม็กซิกันไลม์ เป็นต้น

4.2.1.2 ชนิดผลใหญ่ ได้แก่ พันธุ์ตาฮิติ หรือเปอร์เซียน เป็นต้น

4.2.2 ไลม์ชนิดหวาน (*Citrus limettoides* Tan) มีลักษณะเหมือนมะนาวทั่วๆ ไป แต่เนื้อมีรสหวาน มีกรดน้อย พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ อินเดีย หรือปาเลสไตน์

4.3 ขี้ดรอน (*Citrus medica* L.) มีถิ่นกำเนิดทางอินเดียตะวันออกเฉียงเหนือ ผลมีเปลือกหนา ถู้นำหวานมีจำนวนน้อย รสเปรี้ยวจัด และมีเมล็ดมาก นิยมนำมาแปรรูป เช่น นำเปลือกมาแช่อิ่ม หรือทำขนม

สายพันธุ์ส้มที่นิยมปลูกในประเทศไทย

ปัจจุบันพันธุ์ส้มที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลายชนิด ได้แก่

1. ส้มเกลี้ยง (Sweet Orange: *Citrus sinensis*) เป็นไม้ผลขนาดกลาง ต้นสูงประมาณ 5-7 เมตร ทรงพุ่มค่อนข้างทึบ กิ่งก้านแข็งแรง มีหนามขนาดใหญ่ จะเริ่มให้ผลผลิตภายหลังจากปลูกแล้ว 3 ปี ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20 วัน และนับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 7.5-8 เดือน

2. ส้มเขียวหวาน (Tangerine: *Citrus reticulata*) เป็นไม้ผลขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5-3 เมตร ทรงพุ่มมีลักษณะแน่นทึบ เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15 ปี ถ้ามีการดูแลรักษาอย่างดี ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20-25 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มเขียวหวานที่มีอายุ 10 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 150-180 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี น้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 8 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

3. ส้มจุก (Neck Orange: *Citrus nobilis*) เป็นไม้ผลขนาดกลาง เริ่มให้ผลผลิตหลังปลูกประมาณ 3 ปี และให้ผลต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 20 ปี ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 20 วัน นับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มจุกที่มีอายุ 5 ปี จะให้ผลผลิตที่มีน้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 5-6 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

4. ส้มตราหรือส้มแซ่ (Acidless Orange: *Citrus sinensis*) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดเล็ก ต้นสูงประมาณ 2.5-3 เมตร เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 3 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 10 ปี ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนถึงดอกบานใช้เวลาประมาณ 1 เดือน และนับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8-9 เดือน ต้นส้มตราที่มีอายุ 5 ปี ให้ผลผลิตประมาณ 50 กิโลกรัมต่อต้นต่อปี น้ำหนักเฉลี่ยของผลประมาณ 6-8 ผลต่อ 1 กิโลกรัม

5. ส้มโอ (Pumelo: *Citrus grandis* หรือ *Citrus maxima*) เป็นไม้ผลทรงพุ่มขนาดกลาง ต้นสูงประมาณ 3-7 เมตร เริ่มให้ผลผลิตเมื่ออายุ 4 ปี และให้ผลผลิตไม่ต่ำกว่า 15-20 ปี ระยะการเจริญของผลนับจากดอกบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 8 เดือน ต้นส้มที่มีอายุ 8 ปี จะให้ผลผลิตประมาณ 80-100 ผลต่อต้น ต่อปี (วิกิพีเดีย, 2549)

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของส้ม

1. ขนาดของผลส้ม ผลส้มที่เก็บเกี่ยวมาอาจมีขนาดแตกต่างกันได้ ปัจจัยที่ทำให้ขนาดผลแตกต่างกัน เช่น

ก. การบำรุงต้น ต้นส้มที่ได้รับการดูแลอย่างดี ได้รับน้ำและอาหารเพียงพอในระยะที่เหมาะสม ย่อมส่งผลให้ได้ผลส้มที่มีขนาดตามมาตรฐานหรือขนาดใหญ่

ข. จำนวนผลที่ติดอยู่บนต้น ถ้าจำนวนผลส้มมาก หรือผลส้มติดผลดก จำนวนผลส้มทั้งหมดจะมีขนาดเล็กกว่าปกติและคุณภาพผลด้อยลง เนื่องจากอาหารที่ต้นส้มผลิตได้ไม่เพียงพอ ดังนั้นอาจต้องปลิดผลออกบ้างให้จำนวนผลที่เหลืออยู่พอดีที่ต้นจะสามารถเลี้ยงได้และผลส้มมีคุณภาพดี หรืออาจเลือกใช้วิธีบำรุงต้นให้มากขึ้นโดยไม่ต้องปลิดผลออก

ค. จำนวนใบ จำนวนใบและจำนวนผลมีส่วนสัมพันธ์กัน ถ้ามีใบน้อยเกินไปต้นส้มจะสร้างอาหารมาเลี้ยงผลไม่เพียงพอ ทำให้ผลมีขนาดเล็กกว่าปกติ คุณภาพของผลด้อยลง ยิ่งผลส้มมีขนาดใหญ่ยิ่งต้องการจำนวนใบมากขึ้น (วัฒนา, 2528)

2. สีของผิวและสีของเนื้อ ส้มแก่ได้ว่าผลส้มที่วางจำหน่ายนั้นมีสีแตกต่างกัน ทั้งที่เป็นผลส้มพันธุ์เดียวกัน เช่น ผลส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคเหนือ ผิวของผลส้มจะมีสีส้มจัดถึงสีแดง ส่วนผลส้มเขียวหวานที่ปลูกทางภาคกลาง ผิวผลจะมีสีเขียว เขียวอมเหลือง หรือเหลืองอ่อน การที่สีของผลและสีของเนื้อแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ แต่ที่เด่นชัด คือ ปัจจัยที่เกิดจากสภาพภูมิอากาศเป็นสำคัญ ถ้าอุณหภูมิของอากาศในเวลากลางวันกับกลางคืนแตกต่างกันมาก สีของผลส้มจะยิ่งเข้มขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่ผลส้มแก่ อุณหภูมิจะเป็นตัวกระตุ้นให้มีสีเข้มขึ้น เช่น ผลส้มที่ปลูกทางภาคเหนือเปลือกจะมีสีเข้มกว่าผลส้มที่ปลูกทางภาคกลาง หรือผลส้มที่แก่ในช่วงอากาศหนาวจะมีสีเข้มกว่าผลส้มที่แก่ในช่วงอากาศร้อน ทั้งที่เป็นผลส้มจากต้นเดียวกัน หรือปลูกในที่เดียวกัน (วัฒนา, 2528)

ในผลไม้ตระกูลส้ม สีของเปลือกส้มเป็นผลมาจากสารสีต่างๆ ร่วมกัน ได้แก่ คลอโรฟิลล์ แครโรทีนอยด์ และแอนโทไซยานิน โดยในช่วงระยะแรกเซลล์ของผลส้มมีปริมาณคลอโรฟิลล์มาก ต่อมาเมื่อเข้าสู่ช่วงท้ายของระยะที่ 2 ของการเจริญเติบโต คลอโรฟิลล์จะเริ่มสลายตัวไป สีของแครโรทีนอยด์จึงค่อยๆ ปรากฏให้เห็น (Davis and Albrigo, 1994)

3. **ปริมาณน้ำตาลและกรด** เมื่อผลส้มเริ่มแก่จะมีการสร้างน้ำตาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ขณะที่ปริมาณกรดจะลดลง (Kimbell, 1984) ปริมาณน้ำตาลในผลจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การบำรุงรักษาดิน ถ้าต้นสมบูรณ์แข็งแรงได้รับอาหารและน้ำในอัตราที่พอเหมาะจะมีปริมาณน้ำตาลมาก อายุผลส้มก็เช่นเดียวกัน ถ้าปล่อยให้ผลส้มอยู่บนต้นนานๆ ความหวานหรือปริมาณน้ำตาลจะเพิ่มขึ้น และปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างน้ำตาลในผลส้ม คือ อุณหภูมิในช่วงที่ผลเริ่มจะแก่ ถ้าอุณหภูมิสูงผลส้มจะสร้างน้ำตาลได้มาก ยังมีช่วงอุณหภูมิสูงติดต่อกันนาน จะทำให้ผลส้มมีน้ำตาลมากขึ้นหรือหวานขึ้น ส่วนปริมาณกรดในผลส้มจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างด้วยกัน เช่น การบำรุงรักษาดินส้ม อายุของผลส้ม และความแตกต่างของอุณหภูมิในเวลากลางวันกับกลางคืน ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ปริมาณกรดในผลจะยิ่งมาก (วัฒนา, 2528) ผลส้มเขียวหวานอายุ 39 สัปดาห์ มีอัตราส่วนน้ำตาลต่อกรดเท่ากับ 8.0 ผลมีรสเปรี้ยวอมหวานเล็กน้อยผู้ชิมไม่ชอบ แต่เมื่อผลส้มมีอายุมากขึ้น อัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นทำให้ผลมีรสหวานขึ้น เปรี้ยวน้อยลง ผู้ชิมชอบมากขึ้น (มนตรี, 2527)

4. **ความหนาของเปลือก ส้มที่ปลูกในแหล่งต่างๆ** กันจะมีความหนาของเปลือกไม่เท่ากัน ทั้งที่เป็นส้มพันธุ์เดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในแหล่งปลูกต่างๆ นั้นแตกต่างกัน ผลส้มที่ได้จากต้นที่ปลูกในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ผลส้มจะปรับตัวให้มีโครงสร้างเปลือกหนาเพื่อป้องกันการคายน้ำออกจากผลส้ม ทำให้เกิดช่องว่างมากระหว่างผิวเปลือกนอกกับเนื้อใน เพื่อช่วยรักษาความชื้นไว้ ในทางตรงกันข้ามถ้าปลูกส้มในบริเวณที่มีความชื้นของอากาศสูง ผลส้มจะมีเปลือกบางเพราะมีการคายน้ำน้อย

การเก็บเกี่ยวผลส้ม

ผลส้มจัดเป็นผลไม้ชนิด non-climacteric คือ ภายหลังการเก็บเกี่ยวอัตราการหายใจจะลดลงเรื่อยๆ หรือมีอัตราการหายใจต่ำหลังการเก็บเกี่ยว และมีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการสุกน้อยมาก ดังนั้นจึงควรให้ผลส้มสุกก่อนที่จะเก็บเกี่ยว เพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค ผลส้มเขียวหวานเริ่มเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีอายุประมาณ 9.5-10.5 เดือน หลังจากดอกบาน สีผิวเริ่มมีสีเหลือง มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ขั้นต่ำ 8.0-8.8 เปอร์เซ็นต์ (จริงแท้, 2538) ผลส้มไม่มีสตาร์ชเหมือนกับกล้วย มะม่วง หรือผลไม้ชนิดอื่นๆ ดังนั้นการเก็บเกี่ยวผลส้มก่อนที่ผลจะแก่เต็มที่ จะทำให้ได้ผลส้มที่มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร รสชาติจะจัดไม่หวาน ผลส้มที่สุกจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นและมีกรดลดลง ความเข้มข้นของน้ำตาลในผลส้มจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะที่ผลเริ่มแก่เต็มที่ และอัตราการเพิ่มของน้ำตาลจะลดลงในระยะก่อนผลสุก

1. การเปลี่ยนสีเปลือก

ภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ตระกูลส้มส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนสีของเปลือก โดยสีเขียวของคลอโรฟิลล์จะสลายตัวกลายเป็นสารที่ไม่มีสี และมีการสังเคราะห์สารสีเหลืองหรือสีส้มแดงขึ้นมาแทน การสลายตัวของสารสีคลอโรฟิลล์เป็นผลจากการทำงานของเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) โดยพบว่าเมื่อใช้เอทิลีนเร่งการสลายสีเขียวของเปลือกผลส้มจะมีกิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสเพิ่มขึ้นควบคู่กัน ทำให้สีเหลืองของสารสีแคโรทีนอยด์ปรากฏขึ้น ซึ่งสารนี้มีอยู่แล้วแต่ถูกสีเขียวปิดบังไว้ จึงไม่ปรากฏสีชัดเจนออกมา พร้อมกับมีการสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ใหม่ขึ้นด้วย (Gross, 1987) ปริมาณแคโรทีนอยด์ในเปลือกผลส้มแทนเจอร์นจะเพิ่มขึ้นเมื่อผลสุก และผลส้มซึ่งเก็บเกี่ยวขณะที่มีสีเขียวอยู่แล้วเมื่อเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำกว่าผลส้มที่ปล่อยให้สุกบนต้น อย่างไรก็ตาม ภายหลังการเปลี่ยนแปลงของสารสีแคโรทีนอยด์ระหว่างการสุกสามารถเกิดขึ้นได้กับผลส้มทั้งที่ติดอยู่บนต้นและเก็บเกี่ยวมาแล้ว (Eilati *et al.*, 1975) เอทิลีนเป็นตัวการสำคัญที่เร่งปฏิกิริยาการสลายคลอโรฟิลล์และสังเคราะห์แคโรทีนอยด์ และเอทิลีนเร่งปฏิกิริยาการสลายของคลอโรฟิลล์ได้เร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ และทำให้ผลส้มมีสีผิวสม่ำเสมอ (Gross, 1987)

การจัดสีเขียว (degreening) เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากกับผลส้ม เนื่องจากผลส้มที่เก็บเกี่ยวเมื่อต้นฤดูผิวของผลส้มมีสีเขียว นอกจากนั้นยังมีรสชาติและส่วนประกอบทางเคมีไม่เหมาะสมต่อการบริโภค การที่ผลส้มมีเปลือกสีเขียวจะไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพราะผู้บริโภคคิดว่าผลส้มยังไม่สุก (Cohen, 1978) ทำให้จำเป็นต้องปรับสภาพสีผิวจากสีเขียวให้มีสีเหลืองสวยงาม การจัดสีเขียวในผลไม้ตระกูลส้มเป็นการกำจัดคลอโรฟิลล์ออกจากเปลือก ซึ่งการจัดสีเขียวนั้น ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพภายในของผลส้ม (Kader, 1985) การจัดสีเขียวโดยใช้แก๊สเอทิลีนขึ้นกับสถานะอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้ อุณหภูมิ ความชื้น และความเข้มข้นของแก๊สเอทิลีนที่จะใช้ผันแปรตามพันธุ์ และสภาพของผลไม้ขณะเก็บเกี่ยว (दनัยและนิธิยา, 2548) นอกจากนี้ยังขึ้นกับระยะความแก่ของผลส้มต่อระยะเวลาที่ใช้ในการจัดสีเขียวด้วย (Vakis, 1975)

2. การสูญเสีย น้ำ

การสูญเสีย น้ำภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลระหว่างการเก็บรักษา หากผลิตผลสูญเสีย น้ำหนักเพียง 5-10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสด จะทำให้ผลเหี่ยว ความแน่นเนื้อลดลง และรสชาติไม่ดี (Peleg, 1985) และการคายน้ำที่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากจะทำให้ผลเหี่ยวและเสียรูปทรง ยังทำให้เปลือกผลบาง แฉง ปอกยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ ถึงแม้คุณภาพภายในยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนักก็ตาม (Wardowski *et al.*, 1986) สำหรับผลไม้ตระกูลส้มการสูญเสีย น้ำเป็นสาเหตุสำคัญของการเสื่อมคุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยว

ผลสัมที่สูญเสียน้ำหนัก 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลเหี่ยวและไม่สามารถวางจำหน่ายได้ (Grierson and Wardowski, 1978) ผลสัมเขียวหวานที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 1 สัปดาห์ สูญเสียน้ำหนักประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ และปรากฏอาการเหี่ยวให้เห็นชัด (Sornsriwichai *et al.*, 1992) การสูญเสียน้ำของผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้นของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศ ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ (คณัย, 2534) และปัจจัยภายในของผลิตผลเอง เช่น ลักษณะ โครงสร้างของพืช สารเคลือบผิว รูปร่าง โครงสร้างผิวเปลือก และขนาดของผล (สายชล, 2528) สำหรับผลสัมเขียวหวานการสูญเสียน้ำหนักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร นั่นคือการสูญเสียน้ำเกิดขึ้นกับผลสัมที่มีขนาดเล็กมากกว่าผลสัมที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความหนาของเปลือก โดยผลสัมที่มีเปลือกหนาจะสูญเสียน้ำมากกว่าผลสัมที่มีเปลือกบาง เนื่องจากผลที่มีเปลือกหนาจะมีจำนวนปากใบ (stomata) มากกว่า ขณะเดียวกันผลสัมที่มีเปลือกบางมีชั้นของ flavedo ที่หนากว่า ทำให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดี (Ketsa, 1990)

3. อัตราการหายใจ

อัตราการหายใจเป็นการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ซึ่งเป็นผลของกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ขณะที่มีการเจริญเติบโตภายในเซลล์ของผลไม้ต้องใช้พลังงานสูง ทำให้มีอัตราการหายใจสูง เมื่ออัตราการเจริญเติบโตลดลงอัตราการหายใจจะค่อยๆ ลดลง และจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งหนึ่งเมื่อผลไม้เริ่มสุก การหายใจของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสารอาหารให้เป็นพลังงาน คือ คาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลกลูโคสให้ไปอยู่ในรูปของพลังงานเคมี คือ adenosine triphosphate (ATP) เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังนั้นอายุการเก็บรักษา รวมทั้งคุณภาพของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวจึงขึ้นอยู่กับอัตราการหายใจ (จริงแท้, 2538; คณัย, 2540) การหายใจของผลไม้มี 2 แบบ ได้แก่

1. การหายใจแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) เป็นการหายใจที่ต้องอาศัยแก๊สออกซิเจนในการออกซิไดซ์น้ำตาลให้เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ดังสมการ



2. การหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เป็นการหายใจที่ไม่ใช้แก๊สออกซิเจนหรือใช้เพียงเล็กน้อย โดยกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่ได้จากกระบวนการไกลโคไลซิส (glycolysis) จะไม่ผ่านเข้าสู่กระบวนการ Krebs cycle แต่จะถูกรีดิวซ์ไปเป็นกรดแลกติก เช่น ในเซลล์กล้ามเนื้อ หรือเป็นอะซิตัลดีไฮด์และเอทิลแอลกอฮอล์ เรียกว่า กระบวนการหมัก

(fermentation) การหายใจแบบนี้เกิดได้ในสภาพมีปริมาณของแก๊สออกซิเจนต่ำระหว่างเก็บรักษาผลไม้ดังกล่าว

กรดไพรูวิก → อะซิตัลดีไฮด์ → เอทิลแอลกอฮอล์

ส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ที่มีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนต่ำ (Vines *et al.*, 1963) ดังนั้นการเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการหายใจ (Phan *et al.*, 1975) และการผลิตเอทิลีนจึงเกิดขึ้นน้อย (Leshem *et al.*, 1986)

การใช้สารเคลือบผิวผลไม้ภายหลังการเก็บเกี่ยว

ผลไม้ส่วนใหญ่มีสารธรรมชาติประเภทไข (wax หรือ cutin) เคลือบอยู่บริเวณผิวด้านนอกเรียกว่า คิวติเคิล (cuticle) หรือมีนวลของผลไม้ปกคลุมเซลล์ผิวชั้นของคิวติเคิล สารเคลือบผิวนี้มีบทบาทสำคัญในการป้องกันการสูญเสียน้ำ และการแลกเปลี่ยนแก๊สที่บริเวณผิว ภายหลังการเก็บเกี่ยว ชั้นคิวติเคิลหรือนวลที่เคลือบผิวนี้อาจจะหลุดหายไปในช่วงขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การขนย้าย หรือการทำความสะอาด ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลไม้ มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ความทนทานและความสวยงามของผิวผลไม้เสื่อมคุณภาพเร็วกว่าปกติ (दनय, 2540)

คิวติเคิลที่เคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอกของผลไม้ส่วนใหญ่เป็นชั้นบางๆ ซึ่งมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ซ้อนกันเป็นชั้นๆ จำแนกได้ 3 ชั้น คือ ชั้นนอกสุด เรียกว่า epicuticular wax ประกอบด้วยแว็กซ์ที่มีรูปร่างและการเรียงตัวหลายรูปแบบ ชั้นกลางประกอบด้วย cutin, suberin และ wax และชั้นในสุดซึ่งติดอยู่กับเซลล์ epidermis หรือ periderm ประกอบด้วย cutin, suberin และน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของพอลิแซ็กคาไรด์ โพรตีน และ wax (Goodwin and Mercer, 1983) ทั้ง wax, cutin และ suberin มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ ขึ้นกับชนิดและสูตรโครงสร้าง

ไขมันและแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้มีคุณสมบัติทางเคมีบางอย่างแตกต่างกัน เช่น cutin และ suberin ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และไม่ละลายในตัวทำละลายไขมัน แต่แว็กซ์หลอมเหลวและละลายได้ในตัวทำละลายไขมัน (Pandy, 1982) จึงสามารถแยกแว็กซ์ออกจากผิวพืชและเตรียมเป็นสารเคลือบผิวผลไม้ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับชนิด พันธุ์ และอายุของผลไม้ด้วย (Kays, 1991)

แว็กซ์ที่เคลือบผิวผลไม้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ hard wax และ soft wax ถ้าชั้นของคิวติเคิลประกอบด้วย soft wax มาก การสูญเสียน้ำจะเกิดขึ้นน้อย (สายชล, 2528) สำหรับผลไม้ตระกูลส้มในระยะผลอ่อนแว็กซ์ที่สร้างส่วนใหญ่เป็น soft wax แต่เมื่อผลแก่จะสร้าง hard wax เป็นปริมาณมากขึ้น (Ben-Yehoshua, 1987) ทั้ง soft wax และ hard wax มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น hydrocarbons long-chain alcohol และ aldehyde แต่มีคุณสมบัติทางเคมีบางอย่างแตกต่างกัน คือ

soft wax ไม่ละลายในกรดโอเลอิก ในขณะที่ hard wax ละลายได้ในกรดโอลีโนอิก (Ben-Yehoshua, 1987) ซึ่งมีรายงานว่า การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มพันธุ์ Valencia เกิดขึ้นน้อยถ้ามี soft wax อยู่มาก (Albrigo, 1972) ในการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้ เช่น การล้างทำความสะอาด การขนส่ง ทำให้แว็กซ์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหลุดออกได้ง่าย เป็นผลให้มีการสูญเสียน้ำหนักทางคิวติเคิลมากขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนแว็กซ์ธรรมชาติที่หลุดออกไปและปิดรอยเปิดตามธรรมชาติ รวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ลดการสูญเสียได้ เป็นที่ทราบดีว่าการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผลไม้มีอัตราการคายน้ำและการหายใจสูง จึงได้มีการผลิตสารเคลือบผิวขึ้นมาใช้เคลือบผิวผลไม้ทดแทนไขตามธรรมชาติที่หลุดไป โดยเฉพาะสารเคลือบผิวชนิดที่บริโภคได้ เนื่องจากค่านิยมของผู้บริโภคในปัจจุบันนิยมความเป็นอยู่ที่ใกล้ชิดกับธรรมชาติ และตระหนักถึงสารพิษที่เป็นอันตรายทั้งกับสภาพแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภค (จริงแท้, 2538)

สารเคลือบผิวที่ใช้กับผลส้มในปัจจุบันนี้มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีส่วนผสมแตกต่างกัน และมีหลายบริษัทที่ผลิตจำหน่าย สารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีส่วนผสมของแว็กซ์กับตัวทำละลายที่ใช้เป็นส่วนผสมยังคงเป็นความลับทางการค้า โดยทั่วไปแล้วการเตรียมสารเคลือบผิวจะต้องใช้ emulsifier ช่วยให้แว็กซ์เจือจางผสมรวมอยู่ในน้ำในรูปของสารแขวนลอยซึ่งเรียกว่า อิมัลชัน (emulsion) (Bennett, 1975a and b) แว็กซ์ที่ใช้เตรียมอาจได้จากแหล่งต่างๆ ดังนี้ (Hampel and Hawley, 1973)

1. แว็กซ์จากพืช (vegetable wax) สกัดแยกได้จากผิวพืช มีหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวผลไม้ คือ

1.1 คาร์นูบาแว็กซ์ (carnauba wax) เป็นแว็กซ์ที่สกัดแยกได้จากผิวของ Brazilian palm (*Copernicia cerifera*) เป็นแว็กซ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด มีความแข็งแรงมากที่สุด เป็นมันวาวมากที่สุด มีกลิ่นหอม และมีจุดหลอมเหลวสูงที่สุด คือ 84-96 องศาเซลเซียส

1.2 แคนเดิลลิลลาแว็กซ์ (candelilla wax) เป็นแว็กซ์ที่สกัดแยกได้จากต้นของวัชพืช *Pedilanthus pavonis* มีความแข็งแรง เปราะ และเป็นมันวาวรองจากคาร์นูบาแว็กซ์ และมีกลิ่นหอม เมื่อรวมตัวกับกรดโอเลอิก จะเกิดผลึกน้อยลง และมีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น

2. แว็กซ์จากสัตว์ (animal wax) มีความแตกต่างกันหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวผลไม้ คือ

2.1 เชลแลค (shellac) ได้จากมูลครั้ง มีความเป็นมันเงาสูง มีจุดหลอมเหลวสูงที่อุณหภูมิ 72-80 องศาเซลเซียส

2.2 spermaceti ได้จากไขปลาวาฬ

2.3 wool wax ได้จากขนแกะ

2.4 bee wax ได้จากผึ้ง

3. **แว็กซ์จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (petroleum wax)** เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม มีแตกต่างกัน 4 ชนิด แต่ชนิดที่สามารถนำมาใช้เพื่อเป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวได้ คือ

3.1 paraffin wax มีลักษณะเป็นของแข็ง สีขาว อ่อนนุ่ม ลื่น ไม่มีกลิ่น เมื่อผสมกับตัวทำละลายจะมีลักษณะเหนียว

3.2 microcrystalline wax เป็นผลึกขนาดเล็ก เหนียว และอ่อนนุ่ม มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มี tensile strength และจุดหลอมเหลวสูงกว่า paraffin wax มีความเป็นมันวาวน้อย ลื่นมือ สามารถรวมกับ vegetable wax และ resin ได้ ซึ่งมีผลให้จุดหลอมเหลวและความแข็งเพิ่มขึ้น

4. **แว็กซ์จาก fossil (mineral wax)** เช่น montan wax แต่ไม่นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิวเนื่องจากมีสีเข้ม

5. **แว็กซ์จากการสังเคราะห์โดยกระบวนการทางเคมี (chemical synthetic wax)** เช่น polyethylene wax, polyoxyethylene glycol (carbowax), chlorinated naphthalene (Halowax), polyoxyethylene, sorbitol, polyethylene glycols และ ethylene glycol monostearate เป็นต้น

แว็กซ์ที่ใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิว นอกจากจะต้องมีคุณสมบัติในการป้องกันการสูญเสียได้ดี และมีคุณสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมกับผลสัมฤทธิ์หลังการเก็บเกี่ยวแล้ว ยังต้องมีความปลอดภัยต่อการบริโภคสูงด้วย คาร์บูบาแว็กซ์และเซลแลกเป็นแว็กซ์ที่สกัดแยกได้จากผิวพืชและมูลครั้ง จึงเชื่อว่ามีความปลอดภัยสูง และมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เพราะสารเคลือบผิวที่ผลิตจำหน่ายทางการค้าส่วนใหญ่จะเตรียมจากแว็กซ์ทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งอาจเตรียมโดยใช้แว็กซ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเป็นส่วนผสมหลักเพียงชนิดเดียว หรืออาจผสมเข้าด้วยกัน หรืออาจผสมกับแว็กซ์ชนิดอื่น เช่น ผสมแว็กซ์กับเรซิน (resin) (Hagenmaier and Shaw, 1992) แคนเดิลลลา และพาราฟฟิน เป็นต้น (Bennett, 1975a) ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง เนื่องจากคาร์บูบาแว็กซ์มีราคาแพงมากที่สุด รองลงมาคือเซลแลกและแคนเดิลลลา ส่วนพาราฟฟินมีราคาถูกที่สุด

ผลของการใช้สารเคลือบผิวต่อการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวของผลไม้

1. **ผลของการใช้สารเคลือบผิวต่อการสูญเสียน้ำหนักของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว**

ขั้นตอนในการปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยวผลไม้ เช่น การล้างทำความสะอาด การขนส่ง จะทำให้แว็กซ์ที่เคลือบอยู่ตามธรรมชาติหลุดออกไป ส่งผลให้ผลไม้สูญเสียน้ำหนักออกทางผิวติดมาก ขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวจึงเป็นการทดแทนแว็กซ์ตามธรรมชาติที่หลุดไป และปิดรอยเปิดตามธรรมชาติ รวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว จะช่วยลดการสูญเสีย น้ำได้ เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวทำให้ผลไม้มีอัตราการคายน้ำและอัตรา

การหายใจสูงขึ้น ซึ่ง Irving and Ludi (1969) ได้รายงานว่ามีผลสัมที่ถูกล้างด้วยน้ำยาซักฟอก (detergent) จะมีอัตราการคายน้ำและอัตราการหายใจสูงกว่าผลที่ไม่ได้ล้าง การคายน้ำ (transpiration) เป็นการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อเยื่อที่มีชีวิตโดยการระเหย (evaporation) (Wills *et al.*, 1981) การคายน้ำของผลผลิตสดพืชสวนหลังการเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และลม เป็นต้น และปัจจัยที่เกี่ยวกับผลผลิตเอง เช่น รูปทรง โครงสร้างผิวเปลือก และขนาดของผล (สายชล, 2528) การคายน้ำและการแลกเปลี่ยนแก๊สของพืชเกิดขึ้นได้น้อย (Levitt, 1974) เพราะเซลล์ชั้น epidermis ซึ่งอยู่ใต้คิวติเคิลเรียงตัวกันแน่น มีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อย (Pandy, 1982) stomata ของผลไม้ในระยะที่ผลแก่เต็มที่ที่จะปิด (Kays, 1991) การสูญเสียน้ำของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวจึงเกิดขึ้นทางคิวติเคิลเป็นส่วนใหญ่ แวกซ์ซึ่งอยู่ชั้นบนสุดของคิวติเคิลสามารถลดการคายน้ำได้ แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี และการเรียงซ้อนกันของแวกซ์ โดยแวกซ์ที่เรียงซ้อนกันไม่สนิท อาจเป็นช่องทางที่น้ำระเหยผ่านออกมาได้ (Ben-Yehoshua, 1987) และผลผลิตเมื่อได้รับการปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ หลังการเก็บเกี่ยว จะมีแวกซ์เหลือติดอยู่กับผิวน้อยมากหรือไม่เลย การคายน้ำออกทางคิวติเคิลจะมีมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิว จึงช่วยทดแทนแวกซ์ตามธรรมชาติส่วนที่หลุดออกไป และปิดรอยเปิดตามธรรมชาติรวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว ทำให้ลดการคายน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ ซึ่งอาจจะได้ผลดีมากกว่าผลไม้ที่มีแวกซ์ติดอยู่อย่างสมบูรณ์ตามธรรมชาติ (จริงแท้, 2538) ดังเช่นการใช้สารเคลือบผิว Citrus shine ความเข้มข้น 60 และ 80 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวผลส้มตรา และเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 วัน พบว่า น้ำหนักสดของผลส้มลดลง 11.7 และ 11.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่น้ำหนักสดของผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวลดลง 17.9 เปอร์เซ็นต์ (สุภาพ, 2531)

2. ผลของการใช้สารเคลือบผิวต่อการแลกเปลี่ยนแก๊สของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยว

Ben-Yehoshua *et al.* (1985) รายงานว่า การเคลือบผิวผลส้มพันธุ์ Valencia สามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของแก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนได้ 140, 250 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และลดการสูญเสียน้ำได้ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยสารเคลือบผิวนั้นปิด stomata และรอยแตกตามธรรมชาติที่ผิวผลส้ม ทำให้จำกัดการซึมผ่านของแก๊สต่างๆ ได้ แต่ไม่มีผลต่อการระเหยของไอน้ำมากนัก และการเคลือบผิวผลเกรฟฟรุ๊ตพันธุ์ Marsh และผลส้มพันธุ์ Valencia ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งเป็นผลมาจากสารเคลือบผิวจำกัดการซึมผ่านของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสารเคลือบผิวไปปิดรูเปิดตามธรรมชาติในชั้น epidermis นั้นเอง (Hagenmaier and Baker, 1993) เช่นเดียวกันกับการเคลือบผิวผลส้มพันธุ์ Shamouti และพันธุ์ Valencia พบว่า ในระหว่างการเก็บรักษาผลส้มมีปริมาณ

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลสูงขึ้น และมีอัตราการหายใจลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว (Ben-Yehoshua, 1969) นอกจากนี้ การเคลือบผิวยังมีผลทำให้พืชสังเคราะห์เอทิลินลดลงด้วย โดยการเคลือบผิวสามารถจำกัดการแลกเปลี่ยนทำให้ภายในผลมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูง ส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์เอทิลินหยุดชะงักในสภาพบรรยากาศที่ขาดออกซิเจน เพราะออกซิเจนมีความจำเป็นในขั้นตอนการเปลี่ยน 1-aminocyclopropane 1-carboxylic acid (ACC) ให้เป็นเอทิลิน (คณัย, 2540) และความสามารถของสารเคลือบผิวในการป้องกันการสูญเสียน้ำ จะช่วยลดการสร้างแก๊สเอทิลินอันเนื่องมาจากความเครียดที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียน้ำ (Wood, 1990; Paul, 1992)

การเลือกใช้ชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบผิวที่เหมาะสมกับผลไม้แต่ละชนิดเป็นสิ่งสำคัญ กล่าวคือการเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารเคลือบผิวที่มีความเข้มข้นต่ำ หรือเคลือบผิวบางเกินไป จะช่วยลดการคายน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้น้อย แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงหรือเคลือบหนาเกินไป นอกจากจะสิ้นเปลืองสารแล้วยังจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สมากเกินไป อาจจะทำให้เนื้อเยื่อพืชขาดแก๊สออกซิเจน ส่งผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติขึ้นกับผลิตภัณฑ์ (Arthey, 1975) นอกจากนี้ อาจจะมีการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการหายใจมากถึงขั้นที่เป็นอันตรายกับเนื้อเยื่อของพืชได้ เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้นสูงสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ succinic acid dehydrogenase ทำให้เกิดการสะสมกรดซักซินิก (succinic acid) อยู่มากและอาจเป็นพิษต่อเนื้อเยื่อได้ (Weichman, 1986) นอกจากนี้ อาจจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีของการหายใจในวัฏจักรเครบส์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (Voet and Voet, 1990) การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่มีความสามารถในการจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สในระดับที่เหมาะสม ทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูง สามารถยับยั้งการสังเคราะห์และการทำงานของแก๊สเอทิลินได้ เพราะออกซิเจนมีความจำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ 1-amino-cyclopropane 1-carboxylic acid synthase ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยน ACC ไปเป็นเอทิลิน และจำเป็นต่อการรวมตัวของเอทิลินกับตัวรับ (receptor) ตรงตำแหน่งที่มีอะตอมของโลหะบางชนิดเพื่อการทำงานของเอทิลิน (Leshem *et al.*, 1986)

3. การเลือกใช้สารเคลือบผิวให้เหมาะสมกับชนิดของผลไม้ เพื่อชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว

การใช้สารเคลือบผิวควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของผลไม้ เพราะมีผลต่อคุณภาพภายในของผลไม้ เช่น สารเคลือบผิว Semperfresh มีคุณสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำและจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สได้ดี แต่แห้งช้า มีส่วนผสมประกอบด้วย sucrose ester ของกรดไขมัน สามารถใช้เคลือบผิวทุเรียนและชะลอการเสื่อมคุณภาพได้ (สิริพันธ์, 2531) แต่ใช้ไม่ได้กับผลส้มเขียวหวาน

เพราะผิวส้มเป็นมัน การเคลือบด้วย Semperfresh จะติดได้น้อยไม่สม่ำเสมอ (สุภาวดี, 2531) Davis and Hofman (1973) รายงานว่า ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยแว็กซ์ทางการค้าสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วย water wax หรือ polyethylene ในขณะที่ผลส้มที่เคลือบผิวด้วย water wax และแว็กซ์ทางการค้า เกิดกลิ่นผิดปกติและมีเอทานอลเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยพอลิเอทิลีน

คุณสมบัติของสารเคลือบผิวที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ตระกูลส้มควรมีความมันวาว ลดการสูญเสียน้ำเพื่อชะลอการเหี่ยวของผล และยอมให้แก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ซึมผ่านได้อย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นผิดปกติ (Hagenmaier and Baker, 1995) แต่สารเคลือบผิวส่วนใหญ่มีคุณสมบัติดังกล่าวไม่ครบถ้วน Hagenmaier and Baker (1995) จึงแก้ปัญหาโดยการเคลือบผิวผลส้มเป็นชั้นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของสารเคลือบผิวแต่ละชนิด โดยพบว่าการใช้สารเคลือบผิวที่จำกัดการคายน้ำ (moisture-barrier wax) เป็นสารเคลือบผิวชั้นในช่วยลดการสูญเสียน้ำหนัก ส่วนชั้นนอกใช้สารเคลือบผิวพวกพอลิเอทิลีนหรือสารผสมระหว่างเซลแลกและเรซินเอสเทอร์ จะให้ความมันวาว และสารผสมระหว่างเซลแลกและเรซินเอสเทอร์ยังจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าสารเคลือบผิวพวกพอลิเอทิลีน

นอกจากนี้ Hagenmaier and Shaw (1992) ได้แนะนำว่าสารเคลือบผิวที่เหมาะสมสำหรับผลไม้ตระกูลส้มควรจะยอมให้แก๊สออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และเอทิลีนซึมผ่านได้มาก แต่ควรจำกัดการระเหยของไอน้ำเพื่อลดการสูญเสียน้ำของผลส้ม แต่การจำกัดการซึมผ่านของแก๊สไม่สามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของผลส้มได้มากนัก (Ben-Yehoshua, 1987) ในทางตรงกันข้ามอาจทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติขึ้นภายในผลส้มได้ ผลการศึกษาของ Cohen *et al.* (1990) พบว่า การเคลือบผิวผลส้มพันธุ์ Murcott สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ แต่ทำให้ปริมาณเอทานอลภายในผลสูงขึ้น เป็นผลให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติในผลส้มด้วย นอกจากนี้การเคลือบผิวผลส้มเขียวหวานด้วยคาร์นูบาแว็กซ์ความเข้มข้น 0-15 เปอร์เซ็นต์ และเซลแลกความเข้มข้น 0-20 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สารเคลือบผิวที่เตรียมจากคาร์นูบาแว็กซ์สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 60 เปอร์เซ็นต์ และไม่จำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊ส ทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลไม่แตกต่างจากผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว ส่วนสารเคลือบผิวที่เตรียมจากเซลแลกสามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 20 เปอร์เซ็นต์ และจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊ส แต่การเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิวทั้งสองชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพภายใน (ปรีดา, 2536)

การเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกและการสูญเสียน้ำหนักมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลส้มในเชิงการยอมรับของผู้บริโภค การใช้สารเคลือบผิวบางชนิดสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีผิวและลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ โดยสารเคลือบผิวที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่นำเข้ามาจาก

ต่างประเทศ และผลิตขึ้นเพื่อใช้กับผลไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถนำมาใช้ได้ดีกับผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้ง ซึ่งปลูกกันมากในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของผลส้ม

ไคโตซาน (chitosan)

ไคโตซาน เป็นอนุพันธ์ของไคติน (chitin) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (cellulose) ไคตินมีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ของพืช แต่ไคตินเป็นพอลิเมอร์ในสัตว์ (Austin *et al.*, 1981) แหล่งที่พบไคตินได้มาก คือ ในสัตว์ที่มีข้อปล้อง (arthopoda) เช่น กุ้ง ปู แมลงทุกชนิด หอยเปลือกแข็ง หอยมุก ปลาหมึก ไคตินช่วยให้เปลือกสัตว์เหล่านี้แข็งแรง และยังพบในสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังพบไคตินเคลือบอยู่ที่ระบบย่อยอาหาร ระบบขับถ่ายของสัตว์ หรือตามผนังเซลล์ของเห็ด รา ยีสต์ และแบคทีเรีย โดยจะรวมอยู่ในสารพวกพอลิแซ็กคาไรด์ (มยุรา, 2539) ส่วนไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ของหน่วยย่อยกลูโคซามีน (glucosamine) ที่ได้จากกระบวนการแยกหมู่อะซิทิล (acetyl group) ออกโดยกระบวนการ deacetylation ด้วยด่าง ทำให้เหลือหมู่เอมีนในโครงสร้างของไคตินได้เป็น D-glucosamine polymer ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส (amino sugar)

ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า poly- β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-deoxy-D-glucosamine เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส แตกต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของไคตินเป็น $\text{NH}_2\text{-CO-CH}_3$ แทนที่จะเป็นหมู่ -OH ซึ่งพบในเซลลูโลส เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคตินจะพบว่าไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่มีประจุ (non-electrolytic polymer) ส่งผลให้ไคตินละลายได้ยากในสารละลายทั่วไป ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลาย แต่สามารถดัดแปลงไคตินโดยวิธีการทางเคมีเป็นไคโตซานเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานให้มากยิ่งขึ้น

ไคโตซาน มีชื่อทางเคมีว่า poly- β -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose (หรือ D-glucosamine) ผลิตได้โดยการแยกเอาหมู่อะซิทิล (acetyl group) ออกจากไคติน (deacetylation) โดยทั่วไปประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของหน่วยไคตินทั้งหมดจะถูกดึงหมู่อะซิทิลออก ส่วนอีกประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ยังเป็นหมู่อะซิทิลอยู่ เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตซานจะเห็นว่าไคโตซานอาจมีประจุบวกบนหมู่ -NH_2 ได้ จึงทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่เป็นกรด การใช้ประโยชน์จากไคโตซานจึงมีได้กว้างกว่าไคติน ไคโตซานส่วนใหญ่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิดที่มีภาวะเป็นกรดเจือจาง คือ มีค่าพีเอช (pH) น้อยกว่า 6.0 (Filar and Wirick, 1978) ตัวทำละลายไคโตซานที่ดีที่สุด คือ กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิก (Kienzle-sterzer *et al.*, 1982; ภาวดี และคณะ, ม.ป.พ.)

ประโยชน์ของไคโตซานในเชิงวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากไคโตซานมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มใสเหนียวและยืดหยุ่น ซึ่งสามารถใช้ห่อหุ้มอาหารเนื่องจากบริโภคน้ำได้ ทนต่อสภาพอุณหภูมิสูง และสามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จึงมีผลต่อเมแทบอลิซึมของผลไม้ (ไพรัตน์และคณะ, 2536)

ไคโตซานมีประสิทธิภาพในการลดอัตราการเจริญของเชื้อรา โดยยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยตรง และกระตุ้นกระบวนการต่างๆ ในเนื้อเยื่อพืช เพื่อให้เกิดภูมิคุ้มกันต้านทานเชื้อรา ดังนั้นจึงได้มีการนำไคโตซานมาเคลือบผิวผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่ายาฆ่าเชื้อราบางชนิด และยังปลอดภัยกว่าด้วย เช่น มีการใช้ไคโตซานเคลือบผิวผลส้มเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ในประเทศเวียดนามมีการใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.6-1.8 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวผลส้มด้วยความหนาประมาณ 30-35 ไมครอน สามารถเก็บรักษาผลส้มได้นานถึง 35-40 วัน โดยที่คุณภาพ เช่น สีของเปลือกด้านนอกไม่เปลี่ยนแปลง (Dien and Binh, 1996) Ghaouth *et al.* (1992) พบว่าสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่เคลือบผิวผลสตอเบอรี่สามารถยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ได้ไม่แตกต่างจากสารยับยั้งเชื้อรา Rovral ในช่วงการเก็บรักษา 21 วันแรก แต่หลังจากนั้นไคโตซานจะยับยั้งการเข้าทำลายของเชื้อราได้ดีกว่า Rovral อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้เพราะหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 21 วัน แล้ว Rovral จะเกิดอาการเป็นพิษต่อผลสตอเบอรี่ ทำให้เกิดอาการช้ำน้ำ (water-soaked areas) ทำให้เกิดโรคได้มากกว่าชุดที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน และการที่ไคโตซานสามารถยับยั้งการเกิดโรคได้ เนื่องมาจากคุณสมบัติการเป็นสารยับยั้งการเจริญของเชื้อราโดยตรงจากไคโตซานเอง หรือการเหนี่ยวนำให้เกิดเอนไซม์ (chitinase และ β -1,3-glucanase) มาย่อยผนังเซลล์ของเชื้อราและการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารต่อต้านเชื้อราของผลสตอเบอรี่ (phytoalexins) หรือทั้ง 3 สาเหตุรวมกัน นอกจากนี้ Ghaouth *et al.* (1992) ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ต่อ โดยการนำเอาผลสตอเบอรี่ที่ปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus stolonifer* แล้วเคลือบผิวผลสตอเบอรี่ด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเกิดโรคจากเชื้อราทั้ง 2 ชนิดลดลง และกลไกการเกิดโรคจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติการเป็นสารยับยั้งเชื้อรามากกว่าความสามารถในการกระตุ้นการทำงานของ chitinase, chitosanase และ β -1,3-glucanase ไคโตซานมีผลอย่างมากในการยับยั้งการงอกของสปอร์และการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิดนี้ในอาหารเลี้ยงเชื้อ สอดคล้องกับ Du *et al.* (1992) ซึ่งศึกษาการยับยั้งการเกิดโรคจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* ของไคโตซานที่เคลือบผิวผลแอปเปิ้ลพันธุ์ Jonagold โดยพิจารณาจากภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Micrograph) พบว่า ไคโตซานสามารถยับยั้งการงอกของ conidia และการเจริญของ hypha ในเชื้อ *Botrytis cinerea* ได้ โดยให้เหตุผล 2 ประการ ประการแรก คือ เกิดจาก phyto-

alexin และเอนไซม์บางชนิดที่ถูกกระตุ้นโดยโคโตซานให้ไปยับยั้งการงอกของ conidia และ
 ประการที่สอง คือ ลักษณะผิวที่ตึง เรียบ ไม่มีรอยแตก ของผลแอปเปิลที่เคลือบผิวด้วยโคโตซาน
 ดังนั้นจึงเกิดการเจริญของเส้นใยเชื้อราได้ยาก

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์มหาชนกด้วยโคโตซานความเข้มข้น
 0.5 เปอร์เซ็นต์ หลังแช่ผลมะม่วงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 52 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 10
 นาที แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่า การแช่ผลมะม่วงในน้ำ
 ร้อนอุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้ว
 เคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการเกิดโรคแอนแทรก
 โนสได้ดีที่สุด (วิทวัส, 2545) นอกจากนี้มีการศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการงอกสปอร์ของเชื้อรา
Colletotrichum gloeosporioides ที่ปลูกเชื้อบนผลมะม่วง แล้วจุ่มผลมะม่วงที่ปลูกเชื้อในสารละลาย
 โคโตซานความเข้มข้น 800 และ 1600 µg/ml ที่พีเอช 4.0 และ 4.5 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า ที่
 ระดับความเข้มข้น 800 µg/ml ที่พีเอช 4.5 สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ (ธวัช
 และสมศิริ, 2546) และมีการศึกษาการปลูกเชื้อ *Colletotrichum* sp. ซึ่งเป็นสาเหตุโรคแอนแทรก-
 โนสบนผลมะละกอหลังการเก็บเกี่ยว โดยปลูกเชื้อด้วยสปอร์ของเชื้อราความเข้มข้น 10×10^5 สปอร์/
 มิลลิลิตร แล้วเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์
 เปรียบเทียบกับการใช้บีโนมิลความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอก
 ของสปอร์เชื้อราไม่มีความแตกต่างกันระหว่างสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 1.0, 1.5 และ 2.0
 เปอร์เซ็นต์ และบีโนมิล 0.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 วัน โดยไม่มีอาการของ
 โรค แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับผลที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวที่มีอายุเก็บรักษาเป็นเวลา 4
 วัน (นันทน์ภัสและคณะ, 2546) และผลการเคลือบผิวผลลิ้นจี่พันธุ์ Huaizhi ด้วยสารละลายโคโต
 ซานสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของผลลิ้นจี่ได้ และยังสามารถช่วยยับยั้งการเกิดโรคได้ใน
 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ (Zhang and
 Quantick, 1997) นอกจากนี้การใช้สารละลายโคโตซานความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์
 เคลือบผิวผลลำไยแล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 เปอร์เซ็นต์ ผล
 การทดลองพบว่า การเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานช่วยลดอัตราการหายใจและการสูญเสียน้ำ
 น้ำหนักของผลลำไย

นอกจากนี้การเคลือบผิวผลลำไยด้วยโคโตซานยังมีผลชะลอการทำงานของเอนไซม์
 polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีผิวผล และมีผลยับยั้งการเน่า
 เสียของผลลำไยในระหว่างการเก็บรักษา (Jiang and Li, 2001) การใช้สารละลายโคโตซานจาก
 เปลือกกุ้งและแกนหมึกความเข้มข้น 0, 1 และ 2 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวส้มโอฟันธุ์ขาวน้ำผึ้งแล้วเก็บ

รักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28-35 องศาเซลเซียส) พบว่า การเคลือบผิวด้วยไคโตซานทำให้ส้มโอมีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าส้มโอที่ไม่ได้เคลือบผิว (เบญจมาศและคณะ, 2546)

นอกจากนี้ยังมีการทดลองใช้สารละลายไคโตซานในการเคลือบผิวของผักหลายชนิด ได้แก่ มะเขือเทศ แดงกวา และพริกหยวก พบว่า สามารถช่วยลดอัตราการหายใจ ลดการสูญเสียน้ำจากกระบวนการคายน้ำ และลดอัตราการผลิตแก๊สเอทิลีนด้วย ซึ่งทำให้ผักผลไม้คงความกรอบ ผิวไม่เหี่ยวแห้ง สีผิวไม่เปลี่ยนแปลง (Ghouth *et al.*, 1991) สอดคล้องกับการทดลองของ Ghouth *et al.* (1992) ซึ่งรายงานว่าการเคลือบผิวผลมะเขือเทศด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 2.0 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลมะเขือเทศได้ดีกว่ากลุ่มที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดโรคจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* ลดลง ซึ่งเชื้อราชนิดนี้เป็นเชื้อสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคในผลมะเขือเทศ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ เปอร์เซ็นต์การเกิดโรคจะต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.25 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวผลมะนาวที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยน้ำฟอสฟอริกฆ่าเชื้อรา ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวมะนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้นาน 24 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28±1 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 82±5 เปอร์เซ็นต์ และที่อุณหภูมิ 11±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85±5 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของมะนาวได้นานถึง 56 วัน (ไพรัตน์และคณะ 2536) นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถเคลือบบนผิวเครื่องเทศได้ เพื่อรักษาและป้องกันการสูญเสียกลิ่นของเครื่องเทศจากการสเทอริไรต์ด้วยไอน้ำ (Patent Abstracts of Japan, 1998) และยังมีการใช้ไคโตซานในการเคลือบผิวไข่เพื่อรักษาความสดของไข่ให้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยคุณภาพ เช่น ลักษณะของไข่แดง ความหนาของไข่ขาว และรสชาติไม่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งมีผลทำให้เปลือกไข่มีความแข็งแรงขึ้น ป้องกันการแตก ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง (Patent Abstracts of Japan, 1998)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์และวัสดุเกษตร

1. ผลส้ม

ผลส้มที่ใช้ทดลองเป็นผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง (*Citrus reticulata* Blanco cv. Sai Nam Paung) เก็บเกี่ยวจากสวนส้มทรายทอง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นผลส้มขนาดเบอร์ 4 ที่มีน้ำหนักประมาณ 90-130 กรัมต่อผล บรรจุใส่ในกล่องกระดาษ แล้วขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว พืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยรถตู้ปรับอากาศ ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการทดลองในวันรุ่งขึ้น

2. สารเคลือบผิวที่ใช้ในการวิจัย

สารเคลือบผิวที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นสารเคลือบผิวทางการค้าที่ผู้ผลิตผลส้มนิยมใช้จำนวน 9 ชนิด และสารเคลือบผิวที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ 3 ชนิด ดังนี้

1. CITRA SHINE	ความเข้มข้น 100%
2. SEALKOTE	ความเข้มข้น 100%
3. FOMESA	ความเข้มข้น 100%
4. ROSY PLUS	ความเข้มข้น 100%
5. CITROSOL AK	ความเข้มข้น 100%
6. SUPERSHINE-C	ความเข้มข้น 100%
7. ZIVDAR	ความเข้มข้น 100%
8. PERFECT SHINE	ความเข้มข้น 100%
9. WAX (unknown)	ความเข้มข้น 100%
10. Polyethylene (PE) microemulsion	ความเข้มข้น 25% (น้ำหนัก/ปริมาตร)
11. Chitosan	ความเข้มข้น 1.5%
12. Chitosan	ความเข้มข้น 2.0%

หมายเหตุ - สารเคลือบผิวชนิดที่ 1 ถึง 9 เป็นสารเคลือบผิวทางการค้า

- สารเคลือบผิวชนิดที่ 10 เป็นสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น

- สารเคลือบผิวชนิดที่ 11 และ 12 เป็นสารเคลือบผิวที่บริโภคได้

3. อุปกรณ์

3.1 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (digital refractometer) รุ่น PR-101 (บริษัท ATAGO, ประเทศญี่ปุ่น) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-45 เปอร์เซ็นต์

3.2 เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น EK-600H (บริษัท Sartorius) ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 600 กรัม และแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น HR-200 (บริษัท AND, ประเทศญี่ปุ่น) ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 210 กรัม

3.3 เครื่องวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH-meter) รุ่น CG842 (บริษัท SCHOTT, ประเทศเยอรมนี)

3.4 เครื่องไทเทรต (digital burette) รุ่น Burette Digital III (บริษัท Brand, ประเทศเยอรมนี)

3.5 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (digital spectrophotometer) รุ่น Spectro 23 (บริษัท LaboMed, ประเทศสหรัฐอเมริกา) และเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Thermo Spectronic) รุ่น Genesys 10UV-Scanning (บริษัท CE, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.6 เครื่องกวนสารเคมีด้วยแท่งแม่เหล็กและให้ความร้อน รุ่น SP 18420-26 (บริษัท Nuova II, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.7 ไมโครปิเปต (Micropipette) รุ่น Nichipet EX (บริษัท NICHIRYO, ประเทศญี่ปุ่น)

3.8 กระดาษกรอง Whatman No. 1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร (บริษัท Whatman International, ประเทศอังกฤษ)

3.9 เครื่องบดกาแฟ รุ่น F203 (บริษัท KRUPS, ประเทศเม็กซิโก)

3.10 เครื่อง mixer รุ่น Vortex-Genie 2 (บริษัท Scientific Industries, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.11 เครื่อง centrifuge รุ่น UNIVERSAL 32 R (บริษัท CE, ประเทศสหรัฐอเมริกา) หมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงสุดที่ 12,000 รอบต่อนาที

3.12 water bath รุ่น WB 10 ของบริษัท Memmert (ประเทศเยอรมนี)

3.13 เครื่องวัดสี (Chroma meter) ตัวเครื่องรุ่น CR-300 หัววัด CR-310 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร (บริษัท Minolta, ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งวัดสีออกมาเป็นค่า L^* , a^* และ b^* โดยมีรายละเอียดดังนี้ คือ

L^* = The lightness factor (value)

- ค่า L^* เท่ากับ 100 เมื่อวัตถุมีสีขาว

- ค่า L^* เท่ากับ 0 เมื่อวัตถุมีสีดำ

a^* , b^* = The chromaticity coordinates (hue, chroma)

ค่า a^* - มีค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีแดง

- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีเขียว

ค่า b^* - มีค่าบวก หมายถึง วัตถุมีสีเหลือง

- มีค่าลบ หมายถึง วัตถุมีสีน้ำเงิน

ทั้ง a^* และ b^* หากมีค่าเป็นศูนย์ หมายถึง วัตถุมีสีเทา

ค่า chroma - มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายถึง วัตถุมีสีซีดจาง (เทา)

- มีค่าเข้าใกล้ 60 หมายถึง วัตถุมีสีเข้ม

คำนวณหาค่า chroma ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงความอิ่มตัวของสี (McGuire, 1992)

ค่า hue angle (H°) เป็นค่าที่แสดงสีที่แท้จริงของวัตถุ ซึ่งเป็นมุมในการตกกระทบของค่า a^* ซึ่ง H° มีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา

คำนวณหาค่า hue angle จากสมการดังนี้ (McGuire, 1992)

$$\begin{aligned} H^\circ &= \arctangent(b^*/a^*) && \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* > 0 \\ &= \arctangent(b^*/a^*) + 180^\circ && \text{เมื่อ } a^* < 0 \\ &= \arctangent(b^*/a^*) + 360^\circ && \text{เมื่อ } a^* > 0 \text{ และ } b^* < 0 \end{aligned}$$

ค่า H° เป็นค่าที่แสดงช่วงสีของวัตถุ คือ

0-45	องศา แสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง	180-225	องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงินเขียว
45-90	องศา แสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง	225-270	องศา แสดงสีน้ำเงินเขียวถึงน้ำเงิน
90-135	องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว	270-315	องศา แสดงสีน้ำเงินถึงม่วง
135-180	องศา แสดงสีเหลืองเขียวถึงเขียว	315-360	องศา แสดงสีม่วงถึงม่วงแดง

3.14 ที่คั่นน้ำผลไม้

3.15 มีด

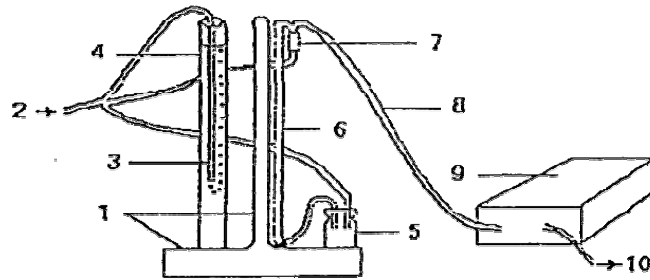
3.16 เหยิงพลาสติก

3.17 กล้องถ่ายรูป รุ่น FinePix Z3 (บริษัท FUJI PHOTO FILM Co., LTD., ประเทศญี่ปุ่น)

3.18 ชุดแผงควบคุมการไหลของอากาศ (flow board) ประกอบด้วย (ภาพที่ 1)

- แผงและฐานไม้
- ทางอากาศเข้า
- หลอดแก้วระบายอากาศ
- ขวดแก้วใหญ่บรรจุน้ำเต็ม
- หลอดแก้ว

- แคพิลลารี (capillary)
- หลอดน้ำแก้ว
- ภาชนะบรรจุผลิตผล
- ทางอากาศออก

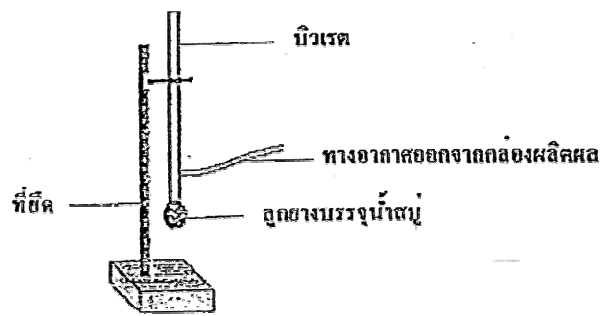


ภาพที่ 1 ชุดแฟกควมการไหลของอากาศ

หลักการทำงานของชุดแฟกควมการไหลของอากาศ คือ เมื่อให้อากาศจากเครื่องสูบลมผ่านเข้าช่องอากาศเข้า (2) อากาศจะแยกออกเป็น 3 ทาง คือ ผ่านไปเข้าสู่ในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) หรือผ่านเข้าไปในหลอดบรรจุน้ำ (5) หรือออกไปทางหลอดแคพิลลารี (7) แล้วออกสู่ภาชนะบรรจุผลิตผล (9) กรณีที่อากาศผ่านเข้ามาที่มีแรงดันต่ำ อากาศส่วนใหญ่จะไหลไปทางหลอดแคพิลลารี เพราะไม่สามารถดันน้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) หรือในขวดแก้ว (5) ได้ แต่เมื่อเพิ่มความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาให้มากขึ้น อากาศจะออกทางหลอดแคพิลลารีไม่ทัน เพราะมีช่องขนาดเล็ก อากาศจะดันน้ำในหลอดแก้วระบายอากาศ (3) ให้ต่ำลง และดันน้ำในหลอดแก้ว (5) ขึ้นไปตามหลอดแก้วแสดงระดับความดัน (6) ซึ่งจะสูงเท่ากับระดับความดันของอากาศที่ผ่านเข้ามาในขณะนั้น ถ้าความดันอากาศเพิ่มขึ้นจะดันน้ำในหลอดแก้ว (3) ให้ต่ำลงจนเห็นเป็นฟองอากาศออกไปที่ด้านปลายของหลอดแก้วระบายอากาศ (3)

3.19 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ (air flow meter) (ภาพที่ 2) ประกอบด้วย

- ทางอากาศเข้า
- บิวเรต (burette)
- ลูกยางบรรจุน้ำสบู่



ภาพที่ 2 ชุดวัดอัตราการไหลของอากาศ

หลักการทำงานของเครื่อง คือ เมื่อต่อสายยางที่มีอากาศผ่านจากแคปิลลารีในชุดแผงควบคุมอัตราการไหลเข้ากับชุดวัดอัตราการไหลของอากาศแล้ว เมื่อบีบลูกยางให้น้ำสบู่ไหลขึ้นไปปิดทางออกอากาศ ขณะที่อากาศไหลออกจากหลอดแคปิลลารีเข้าสู่บิวเรต อากาศจะดันน้ำสบู่ให้เป็นฟองไหลออกไปตามบิวเรต วัดอัตราการไหลของอากาศโดยจับเวลาการเคลื่อนที่ของฟองสบู่แล้วคำนวณเป็นอัตราไหลของอากาศมีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อนาที

3.20 เครื่อง gas chromatography รุ่น GC-8A (บริษัท SHIMADZU, ประเทศญี่ปุ่น) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Detector: Thermal conductivity detector (TCD)
- Column: CTR-1 column (2 m x 6 mm o.d.) (Alltech, Deerfield, IL) และ Parapak Type N (80-100 Mesh) (SHIMADZU)
- Carrier gas: helium, 150 ml/min
- Oven temperature: 110°C
- Injection temperature: 110°C
- Column temperature: 65°C

3.21 นาฬิกาจับเวลา รุ่น STOP WATCH (บริษัท CITIZEN TRADING CO., LTD., ประเทศญี่ปุ่น)

3.22 เครื่องแก้ว

- บีกเกอร์ (beaker)
- ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- ขวดปรับปริมาตร (volumetric flask)
- กระบอกตวง (cylinder)

- บิวเรต (burette)
- ปิเปต (pipette)
- แท่งแก้วคนสารละลาย (stirrer)
- หลอดหยด (dropper)
- กรวยกรอง
- คิวเวต (cuvette)
- หลอดทดลอง
- ช้อนตักสารเคมี

4. สารเคมีและวิธีการเตรียมสารเคมี

4.1 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, UNIVAR) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

4.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณวิตามินซี

- สารละลายกรดออกซาลิก (Oxalic acid, UNIVAR) ความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยชั่งกรดออกซาลิก 4.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร

- สารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล (2, 6-dichlorophenol indophenol, SIGMA) ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ เตรียมโดยชั่ง 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล 0.4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง

- สารละลายกรดแอสคอร์บิกมาตรฐาน (Ascorbic acid, Merck) ชั่งกรดแอสคอร์บิก 0.050 กรัม ละลายในกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดออกซาลิกให้ครบ 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดยุติ บันทึกปริมาตรสารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไปเพื่อเป็นมาตรฐานในการคำนวณหาปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มคั้น

4.3 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น

การวิเคราะห์เอทานอลใช้ชุด Kit (Diagnostic Chemicals Limited, Canada) โดยเตรียมสารเคมีต่างๆ จากชุด ดังนี้

- สารละลาย buffer-NAD-ADH-buffer เตรียมโดยเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2.3 มิลลิลิตร ลงในขวด NAD-ADH reagent วางไว้เป็นเวลา 1 นาที แล้วเขย่าให้สารละลายผสมกันอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น ethanol buffer ลงในสารผสมปริมาตร 23 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บใส่ในภาชนะที่มีฝาปิดแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส สารละลายนี้สามารถใช้ได้ภายใน 1 สัปดาห์

4.4 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส

- สารละลาย 2-(N-morpholino) ethane-sulfonic acid (MES) buffer (MES buffer Solution, Fluka) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ค่าพีเอช 6.5 โดยเปิดสารละลาย MES buffer 19.524 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร และปรับค่าพีเอชให้ได้เท่ากับ 6.5 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- สารละลายสกัดเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส โดยผสมสารละลาย MES buffer ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ค่าพีเอช 6.5 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร กับไดไทโอไทรทอล (DL-dithiothreitol, Fluka) ที่ชั่งมา 0.1543 กรัม และพอลิไวนิลไพร์โรไลโดนเค 30 (Polyvinylpyrrolidone K 30, Fluka) ที่ชั่งมา 5 กรัม ให้เข้ากัน แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

- สารละลายนิโคตินาไมด์ อะดีนีน ไดนิวคลีโอไทด์ (β -Nicotinamide adenine dinucleotide (NADH), Fluka) ความเข้มข้น 1.6 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง NADH 0.1135 กรัม มาละลายในสารละลาย MES buffer พีเอช 6.5 แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย MES buffer พีเอช 6.5 แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

- สารละลายเอซีตัลดีไฮด์ (Acetaldehyde, Riedel-de Haen) โดยเปิดสารละลายเอซีตัลดีไฮด์มา 350 ไมโครลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลาย MES buffer พีเอช 6.5 แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

4.5 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเตส

- สารละลายโซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate, Merck) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ชั่งสารโซเดียมอะซิเตตมา 13.608 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

- สารละลายกรดอะซิติก (Acetic acid glacial, Merck) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยเปิดสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นมา 3.00 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

- สารละลายโซเดียมอะซิเตต บัฟเฟอร์ (Sodium acetate buffer) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 5.0 โดยเติมสารละลายกรดอะซิติกลงในสารละลายโซเดียมอะซิเตต จนกระทั่งได้ค่าพีเอชเท่ากับ 5.0 แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

- สารละลายพาราไนโตรฟีนิลฟอสเฟต (4-Nitrophenyl phosphate disodium salt hexahydrate (*p*-NP), Fluka) ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง *p*-NP มา 0.0186 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ แล้วเก็บรักษาไว้ในขวดสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, UNIVAR) ความเข้มข้น 1.0 นอร์มัล โดยชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

4.6 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

- สารละลายโปรตีนมาตรฐาน โดยชั่งโปรตีนอัลบูมิน (Bovine serum albumin หรือ BSA, Fluka) 0.2500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโปรตีนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปิเปตสารละลายโปรตีนที่เตรียมได้ 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายบัฟเฟอร์จนครบปริมาตร จะได้สารละลายโปรตีนมาตรฐานความเข้มข้น 200 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

- สารละลาย Coomassie (Coomassie Brilliant Blue G 250, Fluka) 0.0125 กรัม ละลายในเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ (Ethanol absolute, Merck) ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร เติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ (*ortho*-Phosphoric acid 85%, Fluka) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

สถานที่ทำการวิจัย

- ห้องปฏิบัติการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวพืชสวน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ห้องปฏิบัติการกลาง ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

วิธีการทดลอง

การทดลองที่ 1 ผลของสารเคลือบผิวทางการค้า สารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น และสารเคลือบผิวไคโตซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

1.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 13 วิธีการ แต่ละวิธีการมี 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำ คือ ผลส้ม 1 ผล โดยเคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว 12 ชนิด และชุดควบคุม คือผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว มีขั้นตอนและวิธีการดังต่อไปนี้

วิธีการที่ 1 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว CITRA SHINE C ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 2 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว SEALKOTE ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 3 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว FOMESA ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 4 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 5 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว CITROSOL ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 6 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว SUPERSHINE-C ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 7 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 8 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว PERFECT SHINE ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 9 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว WAX ความเข้มข้น 100%

วิธีการที่ 10 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว PE microemulsion ความเข้มข้น 25%

วิธีการที่ 11 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว Chitosan ความเข้มข้น 1.5%

วิธีการที่ 12 เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว Chitosan ความเข้มข้น 2.0%

วิธีการที่ 13 ชุดควบคุม เป็นผลส้มที่ไม่เคลือบผิว

1.2 วิธีการเคลือบผิวผลส้ม

นำผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมาคัดเลือกเอาผลที่มีขนาดสม่ำเสมอและไม่มีการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาดผิวของผลส้ม แล้วนำมาเคลือบผิวโดยหยดสารเคลือบผิวแต่ละชนิดลงบนผลส้ม (ประมาณ 0.20 กรัม/ผล) แล้วใช้มือที่สวมถุงมือยางลูบสารเคลือบผิวให้เคลือบทั่วทั้งผลส้ม ผึ่งให้ผิวแห้งที่อุณหภูมิห้อง บรรจุผลส้มลงในกล่องกระดาษขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 29×44×9 เซนติเมตร แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23±3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56±5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว

บันทึกลักษณะปรากฏ ความผิดปกติด้านกลิ่นและรสชาติ และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีทุกๆ 3 วัน จนหมดอายุการเก็บรักษา โดยพิจารณาจากการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติร่วมกับลักษณะปรากฏภายนอก

1.3 การบันทึกผลการทดลอง

1.3.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด (weight loss)

ชั่งน้ำหนักผลส้มเมื่อวันเริ่มต้นทดลอง แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง และชั่งน้ำหนักผลส้มซ้ำทุกๆ 3 วัน โดยแต่ละวิธีการใช้ผลส้มชุดเดิมจนหมดอายุการเก็บรักษา โดยใช้เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสด} = \frac{\text{น้ำหนักผลก่อนเก็บรักษา} - \text{น้ำหนักผลหลังเก็บรักษา}}{\text{น้ำหนักผลก่อนเก็บรักษา}} \times 100$$

1.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม (internal O₂ and internal CO₂)

ใช้ syringe ขนาด 1 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฉีดไล่แก๊สออกซิเจนออกด้วยแก๊สฮีเลียม แล้วใช้ปลายเข็มแทงเข้าไปบริเวณกึ่งกลางของก้นผลส้มระหว่างแซ่ผลส้มไว้ได้น้ำ โดยให้ปลายเข็มเข้าไปอยู่บริเวณช่องว่างภายในผลส้ม แล้วดูดเอาแก๊สออกมา (Hagenmaier, 2001) วิเคราะห์หาปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มด้วยเครื่อง gas chromatograph (Model CR-8A, SHIMUDZU, Japan) โดยใช้คอลัมน์ CTR-1 column (2 m × 6 mm o.d.) (Alltech, Deerfield, IL, ประเทศสหรัฐอเมริกา) นำพื้นที่ใต้กราฟที่ได้มาคำนวณหาปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม โดยเปรียบเทียบกับแก๊สมาตรฐาน

1.3.3 ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้น (internal ethanol)

วิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นโดยใช้ enzymatic method (Bonnichsen and Theorell, 1951) ซึ่งใช้ ethanol assay kit (Diagnostic Chemical Limited, Canada) โดยใช้เครื่องคั้นน้ำผลไม้คั้นน้ำส้ม นำน้ำส้มที่คั้นได้มา 10 มิลลิตร ผสมกับสารละลาย buffer-NADH-ADH-buffer ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วบ่ม (incubated) ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer (SPECTRO 23, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ภายในเวลา 30 นาที หลังบ่ม โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเอทานอล จากสูตร

$$\text{Ethanol (ppm)} = \frac{A}{A_s} \times \text{concentration of the standard}$$

As

เมื่อ A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

As = ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน

1.3.4 การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส

1.3.4.1 การประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติ กำหนดคะแนนดังนี้

- 4 = ไม่มีรสชาติผิดปกติและไม่มีกลิ่นหมัก
- 3 = มีรสชาติผิดปกติและกลิ่นหมักเล็กน้อย
- 2 = มีรสชาติผิดปกติและกลิ่นหมักปานกลาง
- 1 = มีรสชาติผิดปกติและกลิ่นหมักรุนแรง

1.3.4.2 การประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอก กำหนดคะแนนดังนี้

- 5 = ผลปกติ
- 4 = ผลเริ่มเหี่ยว
- 3 = ขั้วและรอบๆ ผลเหี่ยว
- 2 = ผลเหี่ยวปานกลาง
- 1 = ผลเหี่ยวมาก

โดยกำหนดให้ ผลส้มที่มีคะแนนการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติที่มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 3 คะแนน และ/หรือ มีคะแนนการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกเท่ากับหรือต่ำกว่า 3 คะแนน คือ ผลส้มที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ประเมิน นั่นคือ ผลส้มหมดอายุการวางจำหน่าย ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ผู้ประเมินทั้งสิ้น 10 คน

1.3.5 การวัดสีผิว (color)

วัดสีผิวผลส้มโดยใช้เครื่อง Chroma meter รุ่น CR300 หัววัด CR310 ของบริษัท Minolta และใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 โดยการวัดสีผิวภายนอกบริเวณกึ่งกลางผลส้มด้านข้างผลละ 1 จุด ค่าที่ได้แสดงเป็น L*, a*, b* คำนวณหาค่า chroma และ hue angle จากสมการดังนี้ (McGuire, 1992)

$$\text{chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$\text{hue angle (H}^\circ) = \arctangent (b^*/a^*)$$

1.3.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solids; TSS)

วัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ โดยใช้เครื่อง digital refractometer, (รุ่น PR-101 ของบริษัท ATAGO) อ่านค่าได้ตั้งแต่ 0-45 เปอร์เซ็นต์ โดยอ่านค่าจากน้ำส้มคั้นซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

1.3.7 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity; TA)

นำผลส้มมาคั้นเป็นน้ำส้มด้วยที่คั้นน้ำผลไม้ แล้วนำน้ำส้มคั้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วจึงไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยใช้เครื่องวัดพีเอช (pH meter รุ่น CG842 ของบริษัท SCHOTT ประเทศเยอรมนี) จนสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 8.2 แล้วจึงคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในรูปของกรดซิตริกต่อ 100 มิลลิลิตรน้ำส้มคั้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยใช้สูตร

$$\%TA = \frac{\text{normality of NaOH (0.1 N)} \times \text{equi.wt. of citric acid (0.070)} \times \text{vol. NaOH} \times 100}{\text{volume of sample}}$$

1.3.8 ปริมาณวิตามินซี

วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีในน้ำส้มคั้น ด้วยวิธีการไทเทรชันด้วย Indophenol โดยปิเปตน้ำส้มที่คั้นได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดออกซาลิกความเข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 10 มิลลิลิตร แล้วจึงนำไปไทเทรตกับสารละลาย 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ความเข้มข้น 0.04 เปอร์เซ็นต์ จนถึงจุดยุติ ซึ่งสารละลายที่ได้มีสีชมพู คงตัวนานประมาณ 15 วินาที แล้วคำนวณหาปริมาณวิตามินซี โดยใช้ปริมาตร 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไทเทรตกับสารตัวอย่าง เปรียบเทียบกับปริมาตร 2, 6-ไดคลอโรฟีนอล อินโดฟีนอล ที่ใช้ไทเทรตกับสารละลายวิตามินซีมาตรฐาน โดยคำนวณตามสูตรดังนี้ (Ranganna, 1977)

ปริมาตร indophenol dye a มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับ ascorbic acid เท่ากับ 1 มิลลิกรัม (จาก standard)

ปริมาตร indophenol dye b มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับ ascorbic acid เท่ากับ $(1 \times b)/a$ มิลลิกรัม (จากสารละลายตัวอย่าง) เท่ากับ c มิลลิกรัม

สารละลายน้ำส้มเจือจาง 10 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ c มิลลิกรัม

สารละลายน้ำส้ม 100 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ $(c \times 100)/10$ มิลลิกรัม เท่ากับ d มิลลิกรัม

น้ำส้มคั้น 10 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ d มิลลิกรัม

น้ำส้มคั้น

100 มิลลิลิตร มีปริมาณ ascorbic acid เท่ากับ $(d \times 100) / 10$ มิลลิกรัม
เท่ากับ e มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรน้ำส้มคั้น

1.3.9 อัตราการหายใจ

วัดปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลสั่มผลิตออกมา โดยใช้เครื่อง gas chromatograph รุ่น GC-8A (บริษัท SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น) โดยนำผลสั่มที่มีน้ำหนักประมาณ 1,000 กรัม บรรจุลงในกล่องพลาสติกขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 17.5×27.0×11.5 เซ็นติเมตร นำกล่องพลาสติกที่บรรจุผลสั่มแล้วต่อเข้ากับชุดแผงควบคุมอัตราการไหลของอากาศ วัดอัตราการหายใจของผลสั่มทุกๆ 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จนหมดอายุการเก็บรักษา แล้วนำมาคำนวณอัตราการหายใจโดยใช้สูตรดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{อัตราการหายใจ (มิลลิกรัม CO}_2\text{/กิโลกรัม/ชั่วโมง)} \\ &= \frac{(\% \text{CO}_2 - \text{blank} \% \text{CO}_2) \times \text{flow rate (ml/min)} \times 321750 \text{ mg kg}^{-1} \text{ hr}^{-1}}{\text{weight (g)} \times (273 + \text{temp (}^\circ\text{C)} \text{ at measured flow rate)}} \end{aligned}$$

1.3.10 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Ke *et al.* (1994) โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

แช่เยือกแข็งเนื้อสั่มในไนโตรเจนเหลว แล้วปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดกาแฟ



ชั่งเนื้อสั่มมา 5 กรัม ผสมกับ MES buffer อัตราส่วน 1:2 แล้วเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง Mixer

เป็นเวลา 1 นาที



นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

ของเหลวส่วนใสที่ได้ คือ crude enzyme



ผสม crude enzyme กับสารละลาย MES buffer สารละลาย NADH

และสารละลายแอซีทัลดีไฮด์ ในอัตราส่วน 1:8:0.5:0.5 ให้เข้ากัน



วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร

1.3.11 การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส

วัดกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Aoyama *et al.* (2001) ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

แช่เยือกแข็งเนื้อส้มในไนโตรเจนเหลว แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดกาแฟ



หึ่งเนื้อส้ม 2 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมอะซิเตตบัฟเฟอร์ อัตราส่วน 1:6

แล้วเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่อง Mixer นาน 1 นาที



นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

ของเหลวส่วนใสที่ได้ คือ crude enzyme



ผสม crude enzyme กับสารละลายโซเดียมอะซิเตต บัฟเฟอร์

และสารละลายพาราไนโตรฟินิลฟอสเฟต ในอัตราส่วน 5:2:3 ให้เข้ากัน



นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที



เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 นอร์มัล ลงไป 1.0 มิลลิลิตร



วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร

การทดลองที่ 2 ผลของอุณหภูมิค่าและสารเคลือบผิวบางชนิดต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง

2.1 การวางแผนการทดลอง

นำผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาศึกษาต่อ คือ ได้เลือกใช้สารเคลือบผิวทางการค้าบางชนิด ได้แก่ CITRA SHINE, SEALKOTE, ROSY PLUS, ZIVDAR และ PERFECT SHINE รวมถึงสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น คือ PE microemulsion และสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ คือ Chitosan 2.0% เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว

วางแผนการทดลองแบบปัจจัยร่วมในสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) แต่ละวิธีการมี 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำ คือผลส้ม 1 ผล มีปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย คือ

ปัจจัยที่ 1 คือ อุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา 3 อุณหภูมิ

- เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 2 เปอร์เซ็นต์
- เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 2 เปอร์เซ็นต์
- เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 3 เปอร์เซ็นต์

ปัจจัยที่ 2 คือ การเคลือบผิว

- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด CITRA SHINE ความเข้มข้น 100%
- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด SEALKOTE ความเข้มข้น 100%
- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด ROSY PLUS ความเข้มข้น 100%
- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด ZIVDAR ความเข้มข้น 100%
- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด PERFECT SHINE ความเข้มข้น 100%
- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด PE microemulsion ความเข้มข้น 25%
- เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด Chitosan ความเข้มข้น 2.0%
- ไม่เคลือบผิวผลส้ม

2.2 วิธีการเคลือบผิวผลส้ม

นำผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมาคัดเลือกเอาผลที่มีขนาดสม่ำเสมอและไม่มีการเข้าทำลายของเชื้อโรคและแมลงศัตรูพืช ใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาดผลส้ม แล้วนำมาเคลือบผิวโดยหยดสารเคลือบผิวแต่ละชนิดลงบนผลส้ม (ประมาณ 0.20 กรัม/ผล) แล้วใช้มือที่สวมถุงมือยางลูบสารเคลือบผิวให้เคลือบผลส้มทั่วทั้งผล ผึ่งให้ผิวแห้งที่อุณหภูมิห้อง บรรจุผลส้มลงในกล่องกระดาษขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ $29\times 44\times 9$ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 2 เปอร์เซ็นต์) 10 ± 2 องศาเซลเซียส (ความชื้นสัมพัทธ์ 90 ± 2 เปอร์เซ็นต์) และอุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 3 เปอร์เซ็นต์) เปรียบเทียบกับผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว บันทึกลักษณะปรากฏ ความผิดปกติด้านกลิ่นและรสชาติ และวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมี เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 จนหมดอายุการเก็บรักษา โดยพิจารณาจากการเกิดกลิ่นและรสชาติ ผิดปกติร่วมกับลักษณะปรากฏภายนอก

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยาของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษา

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เคมี และสรีรวิทยาของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า 9 ชนิด สารเคลือบผิวที่เตรียมเอง 1 ชนิด และสารละลายไคโตซาน 2 ระดับความเข้มข้น ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว FOMESA, SEALKOTE, WAX (unknown), CITRASHINE, SUPERSHINE-C, PE microemulsion, ZIVDAR, CITROSOL AK, ROSY PLUS, PERFECT SHINE, Chitosan 2.0% และ Chitosan 1.5% สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 2.91 ± 0.50 , 3.11 ± 0.20 , 3.37 ± 0.37 , 3.41 ± 0.35 , 3.73 ± 0.21 , 3.84 ± 0.25 , 4.41 ± 0.54 , 4.75 ± 0.59 , 4.76 ± 0.82 , 4.92 ± 0.33 , 5.20 ± 0.83 และ 5.31 ± 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวที่สูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 6.47 ± 0.57 เปอร์เซ็นต์ ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว FOMESA สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดเพียง 2.91 ± 0.50 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้คือ Chitosan 2.0% และ Chitosan 1.5% สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มได้ดีกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่ยังมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าการใช้สารเคลือบผิวทางการค้าและสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น และผลส้มในทุกกรรมวิธีสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ตารางที่ 1 และภาพที่ 3)

โดยทั่วไปผิวเปลือกและผลไม้มักมีสารเคลือบผิวตามธรรมชาติ คือ มีชั้นคิวติเคิล (cuticle) ปกคลุมอยู่บริเวณผิวด้านนอกของชั้น epidermis ซึ่งจะช่วยป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำ และช่วยชะลอการเหี่ยวของผลิตผลได้ (จริงแท้, 2544; ดนัยและนิธิยา, 2548) แต่ในระหว่างกระบวนการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว อาจจะทำให้สารเคลือบผิวตามธรรมชาติของผลิตผลบางส่วนหายไป จึงมีการใช้สารเคลือบผิวที่ได้จากธรรมชาติ หรือสารสังเคราะห์นำมาเคลือบผิวผลิตผลเพื่อทดแทนสารเคลือบผิวตามธรรมชาติที่หายไป เพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของผลิตผล (दनัยและนิธิยา, 2548; Kolattukudy, 2003) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Porat *et al.* (2005) ที่รายงานว่าผลส้มพันธุ์ 'Mor' ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า Tag และ Tag ที่ผสมกับพอลิเอทิลีนความเข้มข้นต่างๆ คือ 5, 9, 13 และ 18 เปอร์เซ็นต์ และผสมกับเซลแลกอัตราส่วน 50:50 แล้วเก็บ

รักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว นอกจากนี้ Hagenmaier (2005) ยังได้รายงานว่า ผลแอปเปิลพันธุ์ 'Fuji' ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Brilliance, Carnauba, Shellac และ APL LUSTR 275 แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 60 เปอร์เซ็นต์ สูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลแอปเปิลที่ไม่ได้เคลือบผิว

4.1.2 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม

ก. ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้ม

ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าเท่ากับ 17.67 ± 0.63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนภายในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวต่างๆ คือ ZIVDAR, Chitosan 1.5%, PE microemulsion, PERFECT SHINE, Chitosan 2.0%, SEALKOTE, WAX (unknown), CITRASHINE, SUPERSHINE-C, ROSY PLUS, FOMESA และ CITROSOL AK ซึ่งมีปริมาณออกซิเจนภายในผลส้มเท่ากับ 8.26 ± 1.67 , 5.72 ± 1.36 , 3.42 ± 0.76 , 3.04 ± 1.18 , 2.96 ± 1.14 , 2.91 ± 0.91 , 2.44 ± 1.72 , 2.18 ± 1.29 , 2.16 ± 0.62 , 2.14 ± 1.32 , 1.63 ± 0.29 และ 1.51 ± 0.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ มีค่าลดลงอย่างมากตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นค่าผันแปรเล็กน้อย ในขณะที่ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ตารางที่ 1 และภาพที่ 4)

ข. ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITROSOL AK มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลเท่ากับ 18.17 ± 7.78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว FOMESA และ Chitosan 2.0% แต่มีค่ามากกว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS, CITRASHINE, WAX (unknown), Chitosan 1.5%, SUPERSHINE-C, ZIVDAR, PE microemulsion, PERFECT SHINE, SEALKOTE และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว ที่มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มเท่ากับ 12.21 ± 3.00 , 12.13 ± 2.35 , 11.32 ± 3.49 , 11.14 ± 3.53 , 10.63 ± 2.67 , 7.36 ± 0.63 , 7.36 ± 0.63 , 7.10 ± 0.61 , 6.34 ± 1.63 , 6.22 ± 1.71 และ 2.91 ± 0.60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่าปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มที่เคลือบผิวทุกกรรมวิธีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มที่ไม่เคลือบผิวมีค่าน้อยที่สุดและมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นทำการทดลอง (ตารางที่ 1 และภาพที่ 5)

การเคลือบผิวมีผลในการลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างบรรยากาศภายนอกกับภายในผลส้ม ทำให้ภายในผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำลงมาก ส่งผลให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) และส่งผลให้ภายในผลส้มมีการสะสมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น (Cohen, *et al.*, 1990; Petrcek *et al.*, 1998; Alleyne and Hagenmaier, 2000) เช่นเดียวกับการเคลือบผิวผลส้มพันธุ์ ‘Valencia’ ด้วยสารเคลือบผิว 590 HS, Candelilla, Brilliance และ Polyethylene แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลน้อยกว่าและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลมากกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว (Hagenmaier, 2005) นอกจากนี้ ผลเกรฟฟรุตที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Carnuba, Polyethylene, Shellac 1, Shellac 2 และ Shellac 3 แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลน้อยกว่าและมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลมากกว่าผลเกรฟฟรุตที่ไม่ได้เคลือบผิว (Petrcek *et al.*, 1998) ในขณะที่ผล melon พันธุ์ ‘Galia’ ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้า Tag, Zivdar และ Tag-A แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน แล้วย้ายไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน พบว่า ผล melon ที่เคลือบผิวมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลน้อยกว่าและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าผล melon ที่ไม่ได้เคลือบผิว (Fallik *et al.*, 2005)

4.1.3 ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น

ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นน้อยที่สุด คือ 294.80 ± 61.25 ppm ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว PERFECT SHINE, ZIVDAR, ROSY PLUS, PE microemulsion, Chitosan 1.5%, CITRASHINE, SEALKOTE, WAX (unknown), Chitosan 2.0%, SUPERSHINE-C, FOMESA และ CITROSOL AK ที่มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากกว่าคือ เท่ากับ 515.23 ± 29.53 , 655.69 ± 66.79 , 709.58 ± 14.53 , 732.58 ± 31.32 , 753.17 ± 33.80 , 818.56 ± 21.52 , 886.16 ± 78.76 , $1,142.47 \pm 40.57$, $1,213.31 \pm 18.44$, $1,580.20 \pm 13.39$, $1,620.16 \pm 14.53$ และ $1,655.28 \pm 13.39$ ppm ตามลำดับ โดยผลส้มที่มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากที่สุด คือ ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SUPERSHINE-C, FOMESA และ CITROSOL AK และจากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิด มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นมากกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวประมาณ 2 ถึง 5 เท่า (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 6)

การเคลือบผิวผลส้มจะทำให้จำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างภายในผลกับบรรยากาศภายนอกลดน้อยลง ส่งผลให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลที่จะนำไปใช้ในกระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนมีปริมาณต่ำมาก จึงเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน และมีการสะสมสารพวกเอซีทิลดีไฮด์ เอทานอล และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลเพิ่มมากขึ้น (Hagenmaier and Baker, 1994; Petracek *et al.*, 1998) เช่นเดียวกับการเคลือบผิวผล melon พันธุ์ 'Galia' ด้วยสารเคลือบผิว Zivdar และ Tag-A และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน แล้วย้ายไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส อีก 3 วัน พบว่า มีปริมาณเอทานอลสูงกว่าผล melon ชุดควบคุม (Fallik *et al.*, 2005) นอกจากนี้ การเคลือบผิวผลแอปเปิ้ลพันธุ์ 'Gala' ด้วยสารเคลือบผิว Carnuba, Zein 10 และ Shellac พบว่า มีปริมาณเอทานอลภายในผลมากกว่าผลแอปเปิ้ลชุดควบคุม (Bai *et al.*, 2003) และผลส้มพันธุ์ 'Mor' ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Commercial 'Tag' และ Modified 'Tag' แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 สัปดาห์ หลังจากนั้นย้ายไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน มีปริมาณเอทานอลในน้ำคั้นสูงกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว (Porat *et al.*, 2005)

4.1.4 อัตราการหายใจ

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SUPERSHINE-C มีอัตราการหายใจต่ำที่สุด คือ 8.73 ± 0.16 มิลลิกรัม CO_2 /กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการหายใจของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS, FOMESA, PE microemulsion, WAX (unknown), PERFECT SHINE, SEALKOTE, CITROSOL AK, CITRASHINE, ZIVDAR, Chitosan 2.0% และ Chitosan 1.5% ที่มีอัตราการหายใจเท่ากับ 9.56 ± 0.47 , 15.05 ± 2.44 , 16.16 ± 0.18 , 16.30 ± 0.29 , 16.50 ± 0.26 , 17.09 ± 0.17 , 18.13 ± 0.18 , 18.34 ± 0.34 , 18.52 ± 0.60 , 19.11 ± 0.94 และ 25.93 ± 6.80 มิลลิกรัม CO_2 /กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีอัตราการหายใจมากที่สุด คือ 29.98 ± 0.70 มิลลิกรัม CO_2 /กิโลกรัม/ชั่วโมง และผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดมีอัตราการหายใจต่ำกว่าอัตราการหายใจของผลส้มที่ไม่เคลือบผิว ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม กล่าวคือผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลต่ำกว่าและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลสูงกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว เมื่อระยะเวลาของการเก็บรักษานานขึ้น พบว่า ผลส้มในทุกกรรมวิธีมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ตารางที่ 1 และภาพที่ 7)

ส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการหายใจของผลส้มมีหลายประการด้วยกัน ได้แก่ การปฏิบัติที่ไม่ถูกต้องในระหว่างการเก็บเกี่ยวและ

ภายหลังเก็บเกี่ยว การเข้าทำลายของจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียนของอากาศ ปริมาณแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (Mitra, 2001; ดนัย, 2540) ซึ่งการเคลือบผิวเป็นวิธีการหนึ่ง ที่ช่วยลดอัตราการหายใจของผลส้มได้ โดยการเคลือบผิวนั้นมีผลต่อการลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างบรรยากาศภายนอกกับภายในผลส้ม ซึ่งส่งผลให้ชะลอกระบวนการหายใจให้ช้าลง (दनัยและนริยา, 2548) เช่นเดียวกับการเคลือบผิวผลส้มพันธุ์ ‘Valencia’ ด้วยสารเคลือบผิว Candelilla, Brilliance และ Polyethylene แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่า ผลส้มมีการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว (Hagenmaier, 2005) สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Maftoonazad and Ramaswamy (2005) ที่รายงานว่า ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาผลอะโวคาโดที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว methyl cellulose แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน มีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลอะโวคาโดที่ไม่ได้เคลือบผิว นอกจากนี้ Martinez-Romero *et al.* (2006) รายงานว่า ผลเชอร์รี่ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว *Aloe vera* แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน ก่อนที่จะย้ายไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อีก 1 วัน มีอัตราการหายใจต่ำกว่าผลเชอร์รี่ที่ไม่ได้เคลือบผิว

4.1.5 กิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนส (alcohol dehydrogenase activity)

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Chitosan 1.5% และ Chitosan 2.0% มีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสสูงที่สุด คือเท่ากับ 35.08 ± 13.82 และ 35.48 ± 5.21 หน่วย/นาทิล/มิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR, WAX (unknown), PERFECT SHINE, ROSY PLUS, FOMESA, SEALKOTE, PE microemulsion, CITRASHINE, SUPERSHINE-C และ CITROSOL AK และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ต่ำกว่า คือเท่ากับ 19.81 ± 12.89 13.17 ± 5.91 8.99 ± 7.87 5.19 ± 2.46 4.37 ± 2.99 2.41 ± 1.30 2.39 ± 0.39 2.19 ± 0.77 1.56 ± 0.54 1.26 ± 0.09 และ 3.42 ± 2.03 หน่วย/นาทิล/มิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ โดยผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นเล็กน้อย และหลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์ลดลง ในขณะที่ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสเพิ่มขึ้นอย่างมาก และลดลงในช่วงหลังของการเก็บรักษาจนมีค่าใกล้เคียงกับวันเริ่มต้นทำการทดลอง โดยการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสในผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีการเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาของการเก็บรักษาแตกต่างกันไป ซึ่งพบว่าผลส้มที่เคลือบผิวส่วนใหญ่มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นในช่วงวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 2 และภาพที่ 8)

ผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า ผลสัมที่เคลือบผิวส่วนใหญ่มีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสสูงกว่าผลสัมที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งในสภาพบรรยากาศของการเก็บรักษาที่มีปริมาณแก๊สออกซิเจนต่ำหรือคาร์บอนไดออกไซด์สูง มักจะชักนำให้เกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) ขึ้นภายในผลิตผล และส่งผลให้เกิดการสังเคราะห์และสะสมสารที่เกิดจากกระบวนการนี้ คือ แอซีทัลดีไฮด์ และเอทานอล รวมถึงสารระเหยให้กลิ่น (volatile compounds) อื่นๆ ในผลสัม (Davis *et al.*, 1973; Norman and Craft, 1971; Pesis and Avissar, 1989) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลิตผลไว้ในสภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำและคาร์บอนไดออกไซด์สูงยังมีผลกระตุ้นให้กิจกรรมของเอนไซม์ pyruvate decarboxylase และ alcohol dehydrogenase สูงขึ้นด้วย (Davis *et al.*, 1973) ซึ่งในระหว่างที่เกิดกระบวนการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน เอนไซม์ pyruvate decarboxylase จะทำให้เกิดการสร้างแอซีทัลดีไฮด์ผ่านกระบวนการ pyruvate decarboxylation หลังจากนั้นเอนไซม์ alcohol dehydrogenase จึงจะเปลี่ยนแอซีทัลดีไฮด์ให้เป็นเอทานอล (Imahori *et al.*, 2003) โดยมีรายงานว่า ผลอะโวคาโดที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจนต่ำ (0.1 เปอร์เซ็นต์) เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วย้ายไปเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสสูงกว่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสในผลอะโวคาโดที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิห้อง (Burdon *et al.*, 2006) นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าผลมะเขือเทศที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจน 0 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสสูงกว่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจีเนสในผลมะเขือเทศที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่มีแก๊สออกซิเจน 3 เปอร์เซ็นต์ และบรรยากาศปกติ (Imahori *et al.*, 2003)

4.1.6 กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส (acid phosphatase activity)

กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลสัมที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว PERFECT SHINE เท่ากับ 18.47 ± 15.66 หน่วย/นาที่/มิลลิกรัมโปรตีน ซึ่งมากกว่าผลสัมที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITRASHINE, Chitosan 1.5%, FOMESA, WAX (unknown) และ PE microemulsion ที่มีกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสเท่ากับ 3.14 ± 1.56 , 3.06 ± 1.65 , 2.79 ± 2.60 , 2.61 ± 1.40 และ 2.21 ± 1.51 หน่วย/นาที่/มิลลิกรัมโปรตีน ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลสัมที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR, SEALKOTE, CITROSOL AK, ROSY PLUS, SUPERSHINE-C, Chitosan 2.0% และผลสัมที่ไม่ได้เคลือบผิว โดยผลการทดลอง พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสของผลสัมที่ไม่ได้เคลือบผิวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นมีความค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ผลสัมที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดกิจกรรมของ

เอนไซม์เพิ่มขึ้นแล้วลดลงในช่วงหลัง ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นและลดลงของกิจกรรมของเอนไซม์เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของสารเคลือบผิว (ตารางที่ 2 และภาพที่ 9)

เอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทส หรือ orthophosphoric-monoester phosphohydrolases ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หมู่ orthophosphate monoesters ได้ดีที่สุดในสภาพที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.0 (Vincent, 1992) ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสภายในพืชนั้นถูกชักนำได้จากปัจจัยหลายประการ เช่น การขาดน้ำ การงอกของเมล็ด การออกดอก การสุกของผล การเสื่อมสลาย (senescence) และการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ต่างๆ (Duff *et al.*, 1994; Bozzo *et al.*, 2002, del Pozo *et al.*, 1999; Plaxton and Carswell, 1999) ตัวอย่างเช่น Kanellis *et al.* (1989) รายงานว่า ผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจน 2.5 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 2.5 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับเอทิลีนความเข้มข้น 500 ไมโครลิตร/ลิตร เป็นเวลา 10 วัน มีกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ในสภาพบรรยากาศปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ ที่มีแนวโน้มว่าผลส้มที่เคลือบผิวส่วนใหญ่มีกิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสต่ำกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว แสดงว่าการลดปริมาณออกซิเจนส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์แอซิดฟอสฟาเทสลดลง และอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากผลส้มมีเมทาบอลิซึมช้าลงด้วย

4.1.7 การประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติและลักษณะปรากฏภายนอก

ก. กลิ่นและรสชาติผิดปกติ

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า ภายหลังจากการเก็บรักษา เป็นเวลา 7 วัน ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวยังไม่ปรากฏว่ามีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ เช่นเดียวกับผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SEALKOTE, FOMESA และ ZIVDAR คือ มีคะแนนการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติเท่ากับ 3.88 ± 0.64 คะแนน เท่ากัน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับคะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITROSOL AK, Chitosan 2.0%, PERFECT SHINE, CITRASHINE และ Chitosan 1.5% ที่มีคะแนนเท่ากับ 3.63 ± 0.74 , 3.50 ± 0.76 , 3.50 ± 0.53 , 3.38 ± 0.92 และ 3.25 ± 0.71 คะแนน ตามลำดับ แต่ได้คะแนนมากกว่าผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS, PE microemulsion, WAX (unknown) และ SUPERSHINE-C โดยผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SUPERSHINE-C ได้คะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติต่ำที่สุด คือ 1.63 ± 0.74 คะแนน ซึ่งแสดงว่าเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติมากที่สุด

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มนานขึ้น พบว่า คะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้มในทุกกรรมวิธีลดลง โดยผลส้มที่ไม่เคลือบผิวได้คะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิดปกติสูงที่สุด ซึ่งหมายถึงเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติน้อยที่สุด และการ

เคลือบผิวผลส้มด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR ทำให้เกิดการผิปกตีด้านกลิ่นและรสชาติน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 3 และภาพที่ 10)

ข. ลักษณะปรากฏภายนอก

เมื่อพิจารณาลักษณะปรากฏภายนอกของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITRASHINE, SEALKOTE, FOMESA, CITROSOL AK, PERFECT SHINE, ROSY PLUS, WAX (unknown) และ PE microemulsion พบว่า ได้คะแนนผลการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือเท่ากับ 4.88 ± 0.35 , 4.75 ± 0.71 , 4.63 ± 0.52 , 4.63 ± 0.52 , 4.50 ± 1.07 , 4.38 ± 0.74 , 4.38 ± 0.74 และ 4.25 ± 0.46 คะแนน ตามลำดับ แต่ได้คะแนนมากกว่าผลการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Chitosan 2.0%, SUPERSHINE-C, ZIVDAR, Chitosan 1.5% และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีคะแนนผลการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกต่ำที่สุด คือ 3.25 ± 1.04 คะแนน ซึ่งหมายถึงผลส้มแสดงอาการขั้วและบริเวณรอบๆ ขั้วผลเหี่ยว โดยที่ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกชนิดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะปรากฏให้เห็นชัดเจนในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา คือ มีค่าลดลง และผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวที่บริโภคได้ คือ Chitosan 2.0% และ Chitosan 1.5% มีลักษณะปรากฏดีกว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว แต่คะแนนผลการประเมินด้านลักษณะปรากฏภายนอกยังต่ำกว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทางการค้าและสารเคลือบผิวที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าคะแนนลักษณะปรากฏภายนอกของผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันแรกๆ ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 2 และภาพที่ 11)

คุณภาพของผลิตผลพืชสวนเป็นส่วนประกอบของลักษณะและสมบัติที่ทำให้ผลิตผลนั้นมีคุณค่าต่อการบริโภค หรือมีคุณค่าต่อความเพลิดเพลินใจ โดยผู้บริโภคจะให้ความสำคัญต่อลักษณะปรากฏภายนอกของผลิตผล ความแข็งหรือนุ่มของเนื้อสัมผัส คุณค่าทางโภชนาการ และรสชาติของผลิตผล (दनัยและนิธิยา, 2548) ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า คะแนนผลการประเมินด้านกลิ่นและรสชาติผิปกติของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวส่วนใหญ่แสดงว่ามีรสชาติและกลิ่นผิปกติ ในขณะที่ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวยังไม่เกิดรสชาติและกลิ่นผิปกติเลย ลักษณะผิปกติดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากการเคลือบผิวจำกัดการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนระหว่างภายในผลส้มกับบรรยากาศภายนอก ทำให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มลดลง (Hagenmaier and Baker, 1993) ส่งผลให้เกิดสภาพขาดออกซิเจนภายในผลส้มที่เคลือบผิว และเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งนำมาสู่การสะสมสารที่ทำให้เกิดรสชาติและกลิ่นผิปกติ (off-flavor) คือ แอซีทัลดีไฮด์ และเอทานอล (Davis and Hofmann, 1973; Cohen *et al.*, 1990; Baldwin *et al.*, 1995; Hagenmaier and Shaw, 2002) ซึ่งผลการทดลองครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาในผล melon พันธุ์ 'Galia' ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Tag, Zivdar และ Tag-A แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14

วัน แล้วย้ายไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส อีก 3 วัน พบว่า ผล melon ที่เคลือบผิวมีรสชาติผิดปกติมากกว่าผล melon ที่ไม่ได้เคลือบผิว (Fallik *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับ Hagenmaier (2002) ที่ได้รายงานว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Britex 555 และ Shellac-resin แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติมากที่สุด

นอกจากนี้ ผลการทดลองในครั้งนี้ยังพบว่าผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีลักษณะปรากฏที่เริ่มผิดปกติชัดเจน คือ ผลส้มเริ่มแสดงอาการเหี่ยว ในขณะที่ผลส้มที่เคลือบผิวมีอาการผิดปกติดังกล่าว่น้อยกว่ามาก และผลส้มบางกรรมวิธียังไม่แสดงอาการผิดปกติเลย ซึ่งอาการเหี่ยวนั้นเกิดจากการที่ผลส้มสูญเสียน้ำ (दनัย, 2540; จริญแท้, 2544) การเคลือบผิวเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยชะลอการสูญเสียน้ำได้ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผลิตผลมีลักษณะผิวสด จึงสามารถชะลอการเหี่ยวได้ (दनัยและนธิยา, 2548) สอดคล้องกับรายงานของพ่องเพ็ญและคณะ (2549) ที่ศึกษาการเคลือบผิวผลมังคุดด้วยสารเคลือบผิว Teva และสูตร Lab A แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 28 วัน พบว่า ผลมังคุดที่เคลือบผิวมีความมันเงา มีสีผิวผลและสีของกลีบเลี้ยงที่ดีกว่าชุดควบคุม ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4.1.8 สีผิวผลส้ม

ก. ค่า L^* ของสีผิว

ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่า L^* ของสีผิวมากที่สุด คือ 64.24 ± 4.27 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า L^* ของสีผิวผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว WAX (unknown), SEALKOTE, ZIVDAR, SUPERSHINE-C, PE microemulsion, Chitosan 2.0%, CITROSOL AK, PERFECT SHINE, FOMESA, CITRASHINE, ROSY PLUS และ Chitosan 1.5% ที่มีค่า L^* เท่ากับ 59.68 ± 2.08 , 59.16 ± 1.27 , 57.82 ± 1.38 , 57.73 ± 2.61 , 57.11 ± 0.68 , 56.65 ± 2.43 , 56.41 ± 0.87 , 55.83 ± 3.38 , 55.54 ± 2.23 , 55.30 ± 3.46 , 54.24 ± 1.85 และ 54.13 ± 2.11 ตามลำดับ โดยผลการทดลอง พบว่า ค่า L^* ของสีผิวผลส้มในทุกกรรมวิธีมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา (ตารางที่ 2 และภาพที่ 12)

ข. ค่า chroma ของสีผิว

ค่า chroma ของสีผิวผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าเท่ากับ 57.56 ± 6.32 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า chroma ของสีผิวผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว WAX (unknown), SEALKOTE, ZIVDAR, PE microemulsion, SUPERSHINE-C, CITROSOL AK, PERFECT SHINE, CITRASHINE, Chitosan 2.0%, FOMESA, ROSY PLUS และ Chitosan 1.5% ที่มีค่า chroma ของสีผิวผลเท่ากับ 50.02 ± 3.82 , 48.96 ± 2.27 , 47.92 ± 1.56 , 47.11 ± 1.60 , 45.91 ± 3.37 , 45.85 ± 2.33 , 45.32 ± 4.95 , 43.40 ± 5.15 , 43.35 ± 6.57 , 41.73 ± 2.32 ,

41.29±2.23 และ 40.20±3.30 ตามลำดับ ซึ่งตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา พบว่า ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกกรรมวิธีมีค่า chroma ของสีผิวผลก่อนข้างคงที่ มีเพียงผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวเท่านั้นที่ค่า chroma ของสีผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น (ตารางที่ 2 และภาพที่ 13)

ค. ค่า hue angle (H°) ของสีผิว

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว FOMESA มีค่า H° ของสีผิวเท่ากับ 110.20±1.77 องศา ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับค่า H° ของสีผิวผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SUPERSHINE-C, Chitosan 2.0%, ROSY PLUS และ CITROSOL AK แต่มีค่ามากกว่าผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Chitosan 1.5%, CITRASHINE, ZIVDAR, PE microemulsion, PERFECT SHINE, SEALKOTE, WAX (unknown) และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวที่มีค่า H° ของสีผิวผลเท่ากับ 104.43±2.63, 104.25±4.65, 103.88±5.22, 103.35±2.56, 101.50±2.42, 101.33±3.46, 101.23±5.86 และ 96.10±6.35 องศา ตามลำดับ โดยค่า H° ของสีผิวผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวทุกกรรมวิธีก่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา แต่ผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่า H° ลดลงจากวันเริ่มต้นเล็กน้อย (ตารางที่ 2 และภาพที่ 14)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษาผลส้ม ค่า L^* , chroma และ H° ของสีผิวผลส้มทั้งที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ นั่นแสดงว่าการเคลือบผิวไม่มีผลต่อสีผิวที่แท้จริงของผลส้ม แต่ช่วยให้ผิวผลส้มมีความมันวาวเพิ่มขึ้นเท่านั้น

4.1.9 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS, PE microemulsion และ ZIVDAR มีค่าเท่ากับ 12.27±0.76, 12.27±0.50 และ 12.17±1.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITRASHINE, WAX (unknown), FOMESA, CITROSOL AK, SEALKOTE และ PERFECT SHINE ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11.70±0.98, 11.67±1.03, 11.37±0.60, 11.30±0.44, 11.13±0.45 และ 11.13±0.32 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Chitosan 2.0%, Chitosan 1.5%, SUPERSHINE-C และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 10.90±0.26, 10.83±0.68, 10.80±1.21 และ 9.90±0.70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ตารางที่ 3 และภาพที่ 15)

ผลการทดลองในครั้งนี้สอดคล้องกับผลการศึกษากการเคลือบผิวผล melon พันธุ์ 'Galia' แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5-6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน หลังจากนั้นย้ายไปเก็บรักษาไว้ที่

อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส อีก 3 วัน พบว่า ผล melon ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Tag, Zivdar, Tag-A และ Beeswax มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม (Fallik *et al.*, 2005) เช่นเดียวกับผลแอปเปิลพันธุ์ ‘Gala’ ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Carnuba, Zein 10 และ Shellac แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ผลแอปเปิลที่เคลือบผิวมีปริมาณน้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรักโทสไม่แตกต่างกับผลแอปเปิลชุดควบคุม (Bai *et al.*, 2003)

4.1.10 ค่าพีเอช

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR มีค่าพีเอชไม่แตกต่างจากค่าพีเอชของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Chitosan 1.5%, WAX (unknown), PE microemulsion, CITROSOL AK, PERFECT SHINE, Chitosan 2.0%, SUPERSHINE-C, FOMESA และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว คือ มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.53 ± 0.04 , 3.49 ± 0.12 , 3.48 ± 0.15 , 3.47 ± 0.15 , 3.45 ± 0.17 , 3.45 ± 0.01 , 3.43 ± 0.16 , 3.39 ± 0.10 , 3.36 ± 0.02 และ 3.49 ± 0.08 ตามลำดับ แต่มีค่าพีเอชมากกว่าค่าพีเอชของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SEALKOTE, ROSY PLUS และ CITRASHINE ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.29 ± 0.11 , 3.25 ± 0.18 และ 3.23 ± 0.19 ตามลำดับ และพบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นค่าพีเอชของผลส้มที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวเพิ่มขึ้นจากวันเริ่มต้นทำการทดลองเล็กน้อย (ตารางที่ 3 และ ภาพที่ 16)

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาในผลแอปเปิลพันธุ์ ‘Gala’ ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Carnuba, Zein 10 และ Shellac แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน พบว่า มีค่าพีเอชไม่แตกต่างกับผลแอปเปิลชุดควบคุม (Bai *et al.*, 2003) นอกจากนี้การที่น้ำส้มคั้นของผลส้มมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้น แสดงว่าผลส้มมีรสเปรี้ยวลดลง ทั้งนี้เพราะค่าพีเอชของน้ำคั้นสามารถใช้ชี้บ่งความเปรี้ยวได้ (คณัยและนิธิยา, 2548) ซึ่งค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นนี้สัมพันธ์กับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มที่ลดลงด้วย โดยมีรายงานว่า การเคลือบผิวผลท้อและสาลี่แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 27 วัน พบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นค่าพีเอชของผลท้อและสาลี่ทั้งที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Togrul and Arslan, 2004)

4.1.11 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS มีค่าเท่ากับ 0.71 ± 0.07 เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก/100 กรัม น้ำส้มคั้น ซึ่งไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว SEALKOTE และ

CITRASHINE แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว PE microemulsion, WAX (unknown), FOMESA, SUPERSHINE-C, Chitosan 2.0%, Chitosan 1.5%, CITROSOL AK, PERFECT SHINE, ZIVDAR และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวที่มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 0.56 ± 0.09 , 0.55 ± 0.17 , 0.53 ± 0.06 , 0.50 ± 0.07 , 0.50 ± 0.06 , 0.49 ± 0.04 , 0.48 ± 0.10 , 0.45 ± 0.04 , 0.44 ± 0.07 และ 0.48 ± 0.06 เปอร์เซ็นต์กรดซิตริก/100 กรัม น้ำส้มคั้น ตามลำดับ โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มทั้งที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวลดลง (ตารางที่ 3 และภาพที่ 17)

การที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มทุกกรรมวิธีลดลง อาจจะเป็นเพราะกรดอินทรีย์ต่างๆ ถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ หรือกรดถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารสะสม หรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่างๆ (จริงแท้, 2549; Ball, 1997) ซึ่งมีรายงานว่าผลท้อและสาลี่ทั้งที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาผ่านไปนานขึ้น (Togrul and Arslan, 2004) นอกจากนี้ Chien *et al.* (2007) ได้รายงานว่า เนื้อมะม่วงหั่นชิ้นที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มากที่สุด ในขณะที่มะม่วงหั่นชิ้นที่เคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกับชุดควบคุม และ Maciel *et al.* (2004) รายงานว่า ผล Acerola ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว cassava biofilm ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มากกว่าผล Acerola ที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว cassava biofilm ความเข้มข้น 2.0, 3.0, 4.0 เปอร์เซ็นต์ และชุดควบคุม

4.1.12 อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR มีอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 28.45 ± 6.00 ซึ่งไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว PERFECT SHINE, CITROSOL AK, Chitosan 1.5%, WAX (unknown) และ PE microemulsion ที่มีอัตราส่วนเท่ากับ 24.94 ± 1.70 , 24.05 ± 4.69 , 22.49 ± 1.29 , 22.47 ± 5.80 และ 22.32 ± 4.35 ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Chitosan 2.0%, SUPERSHINE-C, FOMESA, CITRASHINE, SEALKOTE, ROSY PLUS และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งมี

อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 21.90 ± 4.27 , 21.89 ± 3.53 , 21.86 ± 3.91 , 19.85 ± 1.68 , 19.13 ± 3.13 , 17.46 ± 2.79 และ 20.85 ± 2.47 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาผลส้มไว้นานขึ้นอัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มทุกกรรมวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นจากวันแรกเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษา (ตารางที่ 3 และภาพที่ 18)

การที่อัตราส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มในทุกระยะการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้มีค่าลดลง จึงส่งผลให้อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มในทุกระยะการเก็บรักษามีค่าเพิ่มขึ้น

4.1.13 ปริมาณวิตามินซี

ผลส้มที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ROSY PLUS, FOMESA, SUPERSHINE-C, Chitosan 1.5%, CITRASHINE, SEALKOTE, WAX (unknown), PE microemulsion, CITROSOL AK, Chitosan 2.0%, PERFECT SHINE, ZIVDAR และผลส้มที่ไม่ได้เคลือบผิวมีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือเท่ากับ 21.66 ± 2.21 , 21.66 ± 1.10 , 21.66 ± 1.10 , 21.66 ± 1.10 , 21.02 ± 1.91 , 21.02 ± 1.91 , 21.02 ± 1.91 , 21.02 ± 1.91 , 20.38 ± 2.21 , 20.38 ± 1.10 , 20.38 ± 1.10 , 19.75 ± 1.10 และ 19.11 ± 0.00 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรน้ำส้มคั้น ตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณวิตามินซีตลอดระยะเวลาที่เก็บรักษา พบว่า ปริมาณวิตามินซีของผลส้มในทุกระยะการเก็บรักษามีค่าค่อนข้างผันแปร (ตารางที่ 3 และภาพที่ 19)

ผลการทดลองครั้งนี้ พบว่า ปริมาณวิตามินซีของผลส้มในทุกระยะการเก็บรักษามีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Mota *et al.* (2003) ที่รายงานว่า ผลเสาวรสที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว Fruit Wax, Sparcitrus และ Sunny Side Citrus แล้วเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 21 วัน มีปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

ตารางที่ 1 การสูญเสียน้ำหนัก ปริมาณแก๊สออกซิเจนและปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายใน
ผล ปริมาณเอทานอลในน้ำคั้น และอัตราการหายใจของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิว
ด้วยสารเคลือบผิวชนิดต่างๆ เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (23 ± 3 องศาเซลเซียส)
ความชื้นสัมพัทธ์ 56 ± 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 7 วัน

ชนิดของสาร เคลือบผิว	การสูญเสีย น้ำหนัก (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแก๊ส ออกซิเจน ภายในผล (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณแก๊ส คาร์บอนได- ออกไซด์ ภายในผล (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณ เอทานอล ในน้ำคั้น (ppm)	อัตราการ หายใจ (มิลลิกรัม CO_2 / กิโลกรัม/ ชั่วโมง)
CITRASHINE	3.41 ± 0.35^{cf}	2.18 ± 1.29^{cde}	12.13 ± 2.35^{bc}	818.56 ± 21.52^c	18.34 ± 0.34^c
SEALKOTE	3.11 ± 0.20^{ef}	2.91 ± 0.91^{cde}	6.22 ± 1.71^c	886.16 ± 78.76^c	17.09 ± 0.17^{cd}
FOMESA	2.91 ± 0.50^f	1.63 ± 0.29^{de}	14.23 ± 4.48^{ab}	1620.16 ± 14.53^a	15.05 ± 2.44^d
ROSY PLUS	4.76 ± 0.82^{bc}	2.14 ± 1.32^{cde}	12.21 ± 3.00^{bc}	709.58 ± 14.53^{cd}	9.56 ± 0.47^c
CITROSOL AK	4.75 ± 0.59^{bc}	1.51 ± 0.31^c	18.17 ± 7.78^a	1655.28 ± 13.39^a	18.13 ± 0.18^c
SUPERSHINE-C	3.73 ± 0.21^{de}	2.16 ± 0.62^{cde}	10.63 ± 2.67^{bcde}	1580.20 ± 13.39^a	8.73 ± 0.16^f
ZIVDAR	4.41 ± 0.54^{cd}	8.26 ± 1.67^b	7.36 ± 0.63^{de}	655.69 ± 66.79^d	18.52 ± 0.60^c
PERFECT SHINE	4.92 ± 0.33^{bc}	3.04 ± 1.18^{cd}	6.34 ± 1.63^c	515.23 ± 29.53^d	16.50 ± 0.26^{cd}
WAX (unknown)	3.37 ± 0.37^{ef}	2.44 ± 1.72^{cde}	11.32 ± 3.49^{bcd}	1142.47 ± 40.57^b	16.30 ± 0.29^{cd}
PE microemulsion	3.84 ± 0.25^{de}	3.42 ± 0.76^c	7.10 ± 0.61^{de}	732.58 ± 31.32^c	16.16 ± 0.18^{cd}
Chitosan 1.5%	5.31 ± 0.74^b	5.72 ± 1.36^b	11.14 ± 3.53^{bcd}	753.17 ± 33.80^c	25.93 ± 6.80^b
Chitosan 2.0%	5.20 ± 0.83^b	2.96 ± 1.14^{cde}	13.46 ± 1.93^{abc}	1213.31 ± 18.44^b	19.11 ± 0.94^c
Non-coated	6.47 ± 0.57^a	17.67 ± 0.63^a	2.91 ± 0.60^f	294.80 ± 61.25^e	29.98 ± 0.70^a
LSD _{0.05}	0.77	1.52	4.77	195.98	2.92
C.V. (%)	12.28	26.44	31.28	2.91	12.36

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ตามหลังค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์