# บทที่ 5

# วิจารณ์ผลการวิจัย

## ตอนที่ 1 ผลของอุณหภูมิของน้ำร้อนและเวลาแช่ต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมะนาวไทยพันธุ์แป้น

จากการทดลองพบว่า ผลมะนาวที่แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°ซ มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดที่แช่ในน้ำร้อน 49°ซ และ 52°ซ นอกจากนี้ผลที่แช่น้ำร้อนนาน 10 นาที ก็มีการสูญเสียน้ำหนักที่มากกว่าชุดที่แช่น้ำร้อนนาน 5 นาที (ตาราง 1-2) และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมของอุณหภูมิของน้ำร้อนและเวลาแช่ พบว่าการใช้น้ำร้อน 55°ซ แช่นาน 10 นาที มีผลทำให้ผลมะนาวเสียหายโดยเปลือกผลมีสีผิดปกติและมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเกิดอาการผิดปกติเนื่องจากอุณหภูมิน้ำร้อนสูงเกินและระยะเวลาที่แช่ผลนานเกินไป เช่นเดียวกับที่พบในผลส้ม mandarin (Schirra and Hallewin, 1997) เมื่อเปรียบเทียบถึงการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา พบว่าในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ผลมะนาวในทุกกรรมวิธีที่เก็บรักษาไว้ที่ 25°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% มีการสูญเสียน้ำหนักเร็วและมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่ 13°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90 % (ตาราง 1-2 และภาพผนวก 1A-B) ทั้งนี้เนื่องจากที่อุณหภูมิ 25°ซ มีความชื้นสัมพันธ์ต่ำกว่าที่ 13°ซ อากาศที่อยู่รอบๆ ผลมะนาวมีไอน้ำน้อย ความแตกต่างความดันไอน้ำระหว่างภายในและภายนอกผลจึงมีมาก ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากแหล่งที่มีความชื้นสูงภายในผลมะนาวไปสู่ภายนอกผลซึ่งเป็นแหล่งที่มีความชื้นต่ำ (สายชล, 2528) นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงกว่าจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะก๊าซจึงเกิดได้มากขึ้น (จริงแท้, 2541) ทำให้ผลมะนาวที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25°ซ จึงมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลที่เก็บรักษาที่ 13°ซ และสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาเร็วกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 10 นาที มีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 49 และ 52°ซ สอดคล้องกับการทดลองของ Schirra and Hallewin (1997) ที่รายงานว่าการแช่ผลส้ม mandarin ในน้ำร้อน 56 และ 58°ซ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ผลส้มมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 50, 52 และ 54°ซ โดยให้เหตุผลว่าการแช่ผลส้มในน้ำร้อน 56 และ 58°ซ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ไขธรรมชาติที่ชั้นผิวหลุดและละลายหายไปจึงเกิดการสูญเสียน้ำได้เร็วกว่าปกติ ในขณะที่การแช่ผลในน้ำร้อน 50-54°ซ ทำให้ไขธรรมชาติที่ชั้นผิวละลายปิดรูเปิดตามธรรมชาติของผลการระเหยออกของน้ำน้อย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผลในกลุ่มแรกมีการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าผลในกลุ่มหลัง หลังจากนั้นผลมะนาวในทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักสูงขึ้นทุกวัน จนกระทั่งในวันที่ 50 ของการเก็บรักษาที่ 13°ซ ผลที่แช่ในน้ำร้อน 49°ซ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย

น้ำหนักสูงที่สุดคือ 13-16% และเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล อาการผิดปกติที่พบเป็นอาการผิดปกติที่พบทั่วๆ ไป เมื่อผลไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะนาวมีการสูญเสียน้ำมาก (ธราธร, 2528)

การเปลี่ยนแปลงสีผิว พบว่าการแช่ผลมะนาวในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 10 นาที มีผลต่อการเปลี่ยนสีผิวของผลมะนาวในวันที่ 10 ของการเก็บรักษาทั้งที่ 25°ซ และ 13°ซ โดยเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ ซึ่งดูได้จากค่าสีเขียว (a*) ที่เป็นบวกแตกต่างกับผลปกติที่เป็นลบ ส่วนค่า L* และ b* มีค่าไม่แตกต่างกับผลปกติ (ตาราง 5-10 และภาพผนวก 2-4) สอดคล้องกับการทดลองของ Schirra and Hallewin (1997) ซึ่งรายงานว่า การแช่ผลส้ม mandarin ในน้ำร้อน 56°ซ กับ 58°ซ เป็นเวลา 3 นาที ทำให้เปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำซึ่งเกิดจากความร้อน (heat damage) สีผิวของผลมะนาวมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวไปเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาได้ 40 วัน โดยดูจากค่า L*, a* และ b* ที่เพิ่มขึ้น การที่ค่า L* เพิ่มขึ้นหมายถึงสีของผลมะนาวมีความสว่างขึ้น นั่นแสดงว่าสีเขียวของเปลือกผลค่อยๆ หายไปและมีสีเหลืองมาแทนที่ซึ่งเป็นสีที่มีความสว่างมากกว่าสีเขียว สีเหลืองเกิดเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บไว้นานขึ้น โดยดูได้จากค่า b* และ C* ที่เพิ่มขึ้นตลอดการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาได้ 60 วัน ผลที่แช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที มีค่า C* น้อยที่สุด แต่มีค่า h° สูงที่สุด หมายถึง การหายไปของสีเขียวไปเป็นสีเหลืองของผลมะนาวช้ากว่าผลในกรรมวิธีอื่นๆ และยังพบอาการผิดปกติในผลมะนาวที่แช่ในน้ำร้อน 49°ซ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที แล้วนำไปเก็บรักษาที่ 13°ซ โดยพบจุดสีน้ำตาลปุ่มในวันที่ 48 ของการเก็บรักษา และขยายขนาดใหญ่ขึ้นจนเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มในวันที่ 50 ของการเก็บรักษา ทั้งนี้อาจเนื่องจากเกิดอาการผิดปกติซึ่งดารา (2520) รายงานว่าการเก็บรักษาผลมะนาวที่ 11°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 85% ทำให้เกิดอาการผิดปกติ โดยเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน

ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ คลอโรฟิลล์-บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผิวเปลือกมะนาวมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาได้ 10 วัน อาจเนื่องมาจาก การวางผิวเปลือกมะนาวหั่นฝอยไว้นานเกินไปทำให้เกิดการระเหยของน้ำ เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ในปริมาณ 1 กรัม ต้องใช้ผิวเปลือกมากขึ้น น่าจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณคลอโรฟิลล์มีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Bandyopadhyay (1996) ซึ่งรายงานว่า ในระหว่างการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองของผล Kagzi (*Citrus aurantifolia*) ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ คลอโรฟิลล์-บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดจะมีปริมาณลดลงเช่นเดียวกับที่พบในผลส้มฟรีมองต์ (สุนันทา, 2540) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 50 วัน ผลที่แช่ในน้ำร้อน 49°ซ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที เปลือกผลเกิดอาการผิดปกติ เมื่อนำผลไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ พบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ คลอโรฟิลล์-บี ลดลงแตกต่างกับผลในกรรมวิธีอื่นๆ ซึ่งการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผิวเปลือกลดลงมากไปด้วย กระบวนการทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในพืช

จนกระทั่งปัจจุบันยังไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน โดยทั่วไปแล้วคาดว่าเกิดขึ้นในระหว่างการเกิด senescence หรือการเก็บรักษาของผักและผลไม้ (สายชล, 2528) เมื่อผลไม้เริ่มสุกคลอโรฟีลล์จะเริ่มสลายไป ตัวอย่างเช่น ในผลแอปเปิล chloroplast lamellae จะสลายตัว จากนั้นส่วนประกอบของเมมเบรนจะเสื่อมสลายไป โมเลกุลของโปรตีนและไขมันจะถูกย่อยสลายให้เล็กลงและอาจถูกนำไปใช้ในการสร้างเอนไซม์โมเลกุลใหม่ (กนกมณฑล, 2528) ส่วนในผลมะเขือเทศและส้ม คลอโรฟีลล์จะเปลี่ยนไปเป็นโครโมพลาส์ซึ่งมีรงควัตถุคาโรทีนอยด์ (ดนัย, 2540) โมเลกุลของคลอโรฟีลล์จะถูกสร้างและสลายตัวอยู่ตลอดเวลาแต่ในระหว่างการเกิด senescence การสลายตัวของคลอโรฟีลล์-บี จะมากกว่าจึงทำให้คลอโรฟีลล์หมดไปในที่สุด

สำหรับองค์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว พบว่า การแช่ผลมะนาวในน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ และเวลาแช่ต่างกัน เมื่อนำไปเก็บรักษาที่ 25°ซ กับ 13°ซ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS, TA ของผลมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับผลการทดลองของ EL-Shickh (1996) ซึ่งรายงานว่า การแช่ผล grapefruit พันธุ์ Marsh ในน้ำร้อน 45 และ 48°ซ เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด และคุณภาพภายในผล

ส่วนคุณภาพในการบริโภค เป็นการพิจารณาจากการประเมินคุณภาพภายนอก คือ ความสด สีผิว และคุณภาพโดยการดมกลิ่นและชิมน้ำมะนาว ตลอดจนการยอมรับคุณภาพโดยรวม พบว่าในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ผลที่แช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 10 นาที มีคุณภาพผลไม่ดี ไม่สามารถวางตลาดได้ เนื่องจากเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลคล้ำ แต่เมื่อนำน้ำมะนาวไปทดสอบโดยการดมกลิ่นและชิมน้ำมะนาว พบว่าน้ำมะนาวมีกลิ่นและรสชาติปกติ แสดงว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนและเวลาแช่ที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติของน้ำมะนาว เช่นเดียวกับการทดลองของ จินดา และจำนงค์ (2530) ซึ่งรายงานว่า การแช่ผลมะนาวในน้ำร้อนที่ผสมด้วย benomyl 500 ppm ที่ 52°ซ เป็นเวลา 2 นาที ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นและรสชาติของน้ำมะนาว อย่างไรก็ดีเมื่อเก็บไว้นานขึ้น คือในวันที่ 50 และ 53 ของการเก็บรักษาที่ 13°ซ ผลที่แช่ในน้ำร้อน 49 และ 52°ซ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที มีคุณภาพผลไม่ดี ไม่สามารถวางตลาดได้ เนื่องจากเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่อนำน้ำมะนาวไปทดสอบโดยการดมกลิ่นและชิมน้ำมะนาว พบว่าน้ำมะนาวมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ การที่กลิ่นและรสชาติของน้ำมะนาวผิดปกติ อาจเนื่องจากเมื่อเปลือกผลแห้งและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล การซึมผ่านของก๊าซภายในและภายนอกผลถูกจำกัดทำให้เกิดการหมัก (fermentation) ขึ้นภายในผลมะนาว ซึ่งในการหมักจะมีการใช้กรดไพรูวิคไปสร้างเป็นอะซิทัลดีไฮด์และเปลี่ยนไปเป็นเอทธิลแอลกอฮอล์ทำให้เกิดการสะสมของสารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์และมีกลิ่นผิดปกติ (Kays, 1991) จึงทำให้กลิ่นและรสชาติของน้ำมะนาวเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

ดังนั้น แนวทางในการศึกษาต่อในตอนที่ 2 จึงเลือกใช้น้ำร้อนที่ 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที กับผลมะนาว เนื่องจากการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิและเวลาแช่ดังกล่าว สามารถยืดอายุการเก็บรักษาของผลที่ 13°ซ ได้นาน 60 วัน โดยไม่พบอาการผิดปกติ และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ

**ตอนที่ 2 ศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมะนาวไทยพันธุ์แป้น**

ผลมะนาวที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00 และ 1.50% น้ำหนักโดยปริมาตร มีการสูญเสียน้ำหนักของผลน้อยกว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที การสูญเสียน้ำหนักสดเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักภายในผลซึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างภายในและภายนอกผล โดยการระเหยผ่านช่องเปิดต่าง ๆ ของผล (สายชล, 2528) ผลมะนาวที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักสดน้อยกว่า คาดว่าอาจเนื่องจากหลังแช่ผลในสารละลาย แล้วผึ่งให้แห้งก่อนนำไปเก็บรักษาจะปรากฏผลึกสีขาวของสารละลายเกาะที่ผิวเปลือกโดยเฉพาะผลที่แช่ในสารละลายเข้มข้น 1.00 และ 1.50% ซึ่งผลึกของสารละลายอาจไปปิดรูเปิดตามธรรมชาติของผลมะนาว ทำให้การระเหยออกของน้ำน้อย และยังพบว่าการแช่ผลมะนาวในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นสูงจะมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลที่แช่ในสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำ (ภาพ 11 และตารางผนวก 1-2)

การเปลี่ยนสีผิว พบว่า การแช่ผลมะนาวในน้ำร้อน 55° ซ เป็นเวลา 5 นาที มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า L*, b* และ C* ตลอดระยะ 0-40 วันแรกของการเก็บรักษา ยกเว้นค่า a* ที่มีค่าลดลง แสดงว่าผลมีสีเหลืองขึ้น และมีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษาได้ 50 วัน เนื่องจากเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สอดคล้องกับค่า L*, b* และ C* ที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ยกเว้นค่า a* ที่มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของค่า a* เข้าใกล้บวกผลมะนาวจะมีสีแดง สอดคล้องกับสีน้ำตาลแดงที่เกิดขึ้นกับเปลือกผล ในขณะผลที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีสภาพผลและสีผิวปกติ และพบว่า ค่า L*,a*, b* และ C* จะช้าลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น (ภาพ 12-15 และตารางผนวก 4-7) คาดว่าอาจเนื่องมาจาก ผลึกของโซเดียมคลอไรด์ไปปิดช่องเปิดตามธรรมชาติของผลมะนาวทำให้ก๊าซ $O_2$ ภายในผลต่ำ เกิดการสะสม $CO_2$ ขึ้นภายในผล ซึ่ง $CO_2$ จะไปยับยั้งการทำงานของเอธิลีนที่เป็นตัวการสำคัญที่เร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และเกิดการสังเคราะห์ของคาโรทีนอยด์ (Gross, 1987)

ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ คลอโรฟิลล์-บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผิวผลมะนาวที่แช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที ลดลงอย่างรวดเร็วหลังเก็บรักษาได้ 30 วัน เนื่องจากเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ในขณะผลที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงช้าตลอดการเก็บรักษา การลดลงของคลอโรฟิลล์ในผักและผลไม้เกิดจากการทำงานของเอนไซม์ chlorophyllase (Gross, 1987) ผลมะนาวที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทุกความเข้มข้นมีการลดลงของคลอโรฟิลล์ช้า คาดว่าอาจเนื่องจากสารละลาย

โซเดียมคลอไรด์ไปมีผลชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งมีรายงานว่าการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 200 mM สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ catechol oxidase ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในผลแอปเปิลได้ (Aude *et al.*, 1986) ดังนั้นในการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์กับผลมะนาวอาจมีสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้าไปในผลมะนาวทำให้มีผลชะลอการทำงานของเอนไซม์ได้

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว พบว่าการแช่ผลมะนาวในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที และการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที เมื่อนำไปเก็บรักษาไว้ที่ 25°ซ และ 13°ซ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS, TA ของผลมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับการทดลองของ Schirra and Mulas (1995) ที่พบว่า การแช่ผลมะนาวพันธุ์ "Di Massa" ในน้ำร้อน 52°ซ แล้วตามด้วยการจุ่มลงในสารฆ่าเชื้อรา imazalil ความเข้มข้น 1000 ppm ที่ 25°ซ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ เช่นเดียวกับการแช่ผล grapefruit ในน้ำร้อน 50°ซ เป็นเวลา 3 นาที (Schirra, 1995)

ผลมะนาวที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเก็บรักษาไว้ที่ 25°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 70% มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโรคสูงกว่าผลที่แช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที คาดว่าอาจเนื่องจากสารโซเดียมคลอไรด์มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (Pearson, 1984) เมื่อสารนี้ไปเกาะที่บริเวณขั้วผล ซึ่งเป็นทางระเหยออกของน้ำทำให้เกิดการสะสมความชื้นขึ้น ประกอบกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 25°ซ ซึ่งเป็นสภาพที่เชื้อเจริญเติบโตได้ดี ส่วนผลที่เก็บรักษาไว้ที่ 13°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ไม่พบการเข้าทำลายของโรคตลอดการเก็บรักษา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะช่วยลดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ลงได้ แต่อุณหภูมินั้นจะต้องไม่ต่ำจนเกิดอันตรายต่อผลิตผลนั้น ๆ เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหลังการเก็บเกี่ยวตามปกติจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 20-25°ซ ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อ อุณหภูมิสูงสุดที่เชื้อราจะเจริญได้ดีคือ 32-38°ซ ที่อุณหภูมิ (-1) - (-0°ซ) นั้น มีเชื้อราจำนวนไม่มากนักที่สามารถเจริญได้ แต่โดยทั่วไปผลไม้หากเก็บรักษานานเกินกว่า 3-4 สัปดาห์ มักจะเกิดจากเชื้อรา *Botrytis cinerea* และ *Penicillium expansum* เชื้อราชนิดอื่นๆ ที่เจริญได้ที่ 0°ซ คือ *Alternaria alternata* และ *Cladosporium herbarum* (ดนัย, 2534) ส่วนเชื้อที่ทำให้เกิดโรคในระหว่างการเก็บรักษาผลมะนาว ดารา (2520) รายงานว่า เกิดจากเชื้อ *Diplodia natalensis* Pole-Evans, *Alternaria citri* Ellis & Pierce และ *Penicillium* sp. จากการทดลองครั้งนี้ไม่พบการเข้าทำลายของโรคที่ 13°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90% คาดว่าอาจเนื่องจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ไปมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคหรือเนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่มีผลในการชะลอการเกิดโรคของผลมะนาว (ยงยุทธ, 2539)

ผลมะนาวที่แช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.25, 0.50, 1.00 และ 1.50% น้ำหนักโดยปริมาตร เก็บรักษาไว้ที่ 13°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90% สามารถชะลออาการผิดปกติของผลได้ดีกว่าการแช่ในน้ำร้อน 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที คาดว่าอาจเนื่องจากสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้

เช่นเดียวกับการทดลองของ Obenland (1997) ที่พบว่าการแช่ผล nectarines ในน้ำร้อน 50°ซ นาน 25 นาที ทำให้ผลเกิดอาการผิดปกติ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการแช่ผลในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 200 mM

ดังนั้น แนวทางในการศึกษาต่อในตอนที่ 3 จึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.50% ที่ 55°ซ เป็นเวลา 5 นาที กับผลมะนาว เนื่องจากสามารถชะลอการเปลี่ยนสีผิวจากสีเขียวออกเหลืองได้นาน 50 วัน ชะลอการเกิดอาการผิดปกติ ป้องกันการเกิดโรค และยืดอายุการเก็บรักษาที่ 13°ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ได้นาน 73 วัน นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้สารละลายที่ความเข้มข้น 1.00 และ 1.50% น้ำหนักโดยปริมาตร จะทำให้เกิดผลึกสีขาวบนผลมะนาว จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้

**ตอนที่ 3 ผลของไคโตแซนที่มีต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลมะนาวไทยพันธุ์แป้น**

การเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.10, 0.25 และ 0.50% น้ำหนักโดยปริมาตร สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักของผลมะนาวหลังการเก็บเกี่ยวได้ โดยอัตราการสูญเสียน้ำหนักจะช้าลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น และพบว่าการเคลือบผิวผลด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% ทำให้ผลมะนาวสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด คือ 11.75% ในขณะผลที่ไม่เคลือบผิวมีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดคือ 17.88% ในวันที่ 77 ของการเก็บรักษา สอดคล้องกับการทดลองของพยุงศักดิ์ และคณะ (2537) ที่พบว่า การเคลือบผิวผลมะนาวพันธุ์แป้นด้วย Sta-fresh 360 ความเข้มข้น 100% สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักได้ 50-60% และทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 7-8 สัปดาห์ และ สุภาพ (2531) กล่าวว่า การใช้สารเคลือบผิว Citrus Shine ความเข้มข้น 60 และ 80% เคลือบผิวผลส้มตราทำให้น้ำหนักสดลดลง 11.71% และ 12.20% ตามลำดับ ขณะที่การไม่เคลือบผิวน้ำหนักสดลดลง 17.90% ซึ่งเป็นผลมาจากสารเคลือบผิวไปจำกัดการซึมผ่านของไอน้ำโดยไปปิดรูเปิดตามธรรมชาติในชั้น epidermis (จริงแท้, 2538; Hagenmaier and Baker, 1993) ทำให้สามารถลดการสูญเสียน้ำได้ประมาณ 20-50% (จริงแท้, 2538) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารเคลือบผิวแต่ละชนิดด้วย

การเปลี่ยนสีผิว พบว่า สารเคลือบผิวไคโตแซนมีผลทำให้การเปลี่ยนสีผิวของผลมะนาวช้าลง โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า L*, a*, b* และ C* จะช้าลงเมื่อระดับความเข้มข้นของสารเคลือบผิวเพิ่มขึ้น เกิดขึ้นทั้งในผลที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว สอดคล้องกับการทดลองของ Jahn (1976) ที่พบว่า ในผลส้มพันธุ์ Hamlin และ Dancy การพัฒนาของรงควัตถุคาโรทีนอยด์เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในผลที่เคลือบผิว ส่วนในผล grapefruit พันธุ์ Marsh การเคลือบผิวจะลดประสิทธิภาพของสารเอธิฟอนและเอธิลีนในการกระตุ้นการเปลี่ยนสีผิวรวมทั้งชะลอการสลายสีเขียวในผลที่ไม่ได้รับสาร (ชุดควบคุม) ด้วย และตรงกับงานทดลองของ Vakis (1975) ที่ว่าการเคลือบผิวมีผลยับยั้งการเปลี่ยนสีผิวของผล grapefruit พันธุ์ Marsh จึงเป็นสิ่งยืนยันได้ว่าในผลไม้ตระกูลส้มอัตราการสลายสีเขียวจะลดลงในผลที่ทำการเคลือบผิว (Fuchs and Cohen, 1969; Janh, 1976)

นอกจากนี้การที่สารเคลือบผิวสามารถจำกัดการผ่านเข้าออกของก๊าซทำให้ภายในผลมีปริมาณ $CO_2$ สูงขึ้น $CO_2$ จะชะลอกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ (Subramanyam *et al.*, 1975)

การเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% สามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ และ คลอโรฟิลล์-บี ได้ดีกว่าผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.10, 0.25% และผลที่ไม่เคลือบผิวตลอดระยะ 0-50 วันแรกของการเก็บรักษา การลดลงอย่างช้า ๆ ของปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้ง 2 ชนิดนี้ ส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดของผลมะนาวมีปริมาณสูงกว่าผลมะนาวในกรรมวิธีอื่นๆ เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นฟิล์มของสารเคลือบผิวไปควบคุมการเข้าออกของออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ และมีผลต่อเมตาโบลิซึมของผลไม้ (ไพรัตน์ และคณะ, 2536) เมื่อผลไม้หายใจก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจจะถูกกักเก็บไว้ภายในผลเมื่อความเข้มข้นถึงระดับหนึ่งจะมีผลไปยับยั้งการทำงานของเอทธิลีน (Hulme, 1971) ซึ่งเป็นฮอร์โมนเร่งให้เกิดการสุก และสารเคลือบผิวยังจำกัดการส่งผ่านของก๊าซออกซิเจนซึ่งจำเป็นต่อการสร้างและการทำงานของเอทธิลีน เมื่อผลมะนาวขาดก๊าซออกซิเจนการสังเคราะห์เอทธิลีนก็ลดลง (สายชล, 2528) นอกจากนี้เมื่อมะนาวขาดก๊าซออกซิเจนเพื่อใช้ในการหายใจ อัตราการหายใจของผลมะนาวก็จะลดลง การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสุกรวมทั้งการสังเคราะห์คาโรทีนอยด์ของผลมะนาวลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ นิตยา (2531) ที่พบว่า การเคลือบผิวผลมะม่วงพันธุ์เขียวเสวยด้วย Semper Fresh 1.00 และ 2.00% ช่วยยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลมะม่วงเขียวเสวยได้ดีกว่าชุดควบคุม ไพรัตน์และคณะ (2536) ทดลองเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซน 1.25% พบว่าช่วยยืดอายุการเปลี่ยนแปลงสีผิวจากสีเขียวเป็นสีเหลืองได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นเวลา 24 และ 56 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28°ซ) และที่อุณหภูมิ 11°ซ ตามลำดับ เช่นเดียวกับการเคลือบผิวผลมะเขือเทศที่อุณหภูมิ 20°ซ ด้วยไคโตแซน 1.00 และ 2.00% พบว่า สีผิวของผลมะเขือเทศมีการพัฒนาจากสีเขียวเป็นสีแดงได้ช้ากว่าชุดควบคุมและไคโตแซน 2.00% จะให้ผลดีกว่าไคโตแซน 1.00% (El-Glaouth *et al.*, 1992) จากการทดลอง เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ คลอโรฟิลล์-บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมดมีปริมาณลดลงไม่แตกต่างกัน แต่การเคลือบผิวด้วยไคโตแซนทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มที่สามารถชะลอการลดลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ดีกว่าผลที่ไม่เคลือบผิว

การเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่ 25°ซ สามารถชะลอการเกิดโรคได้นานกว่าผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.10, 0.25% และผลที่ไม่เคลือบผิว โดยผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.10, 0.25% และผลที่ไม่เคลือบผิวพบการเข้าทำลายของโรคในระหว่างวันที่ 14-16 ของการเก็บรักษา ในขณะผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% พบการเข้าทำลายของโรคในวันที่ 19 ของการเก็บรักษา เนื่องจากสารไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็นสาร

ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราโดยตรง (El-Ghaouth *et al.*, 1991) และยังทำหน้าที่คล้ายสารคิวติน (cutin) และไข (wax) ซึ่งปกคลุมอยู่ตามธรรมชาติบริเวณเนื้อเยื่อ epidermis ของผลไม้ (จริงแท้, 2541) ซึ่งสารคิวตินและไขนอกจากป้องกันการสูญเสียน้ำแล้วยังทำหน้าที่ช่วยปิดช่องเปิดต่างๆ บนผิวผลทำให้เชื้อโรคจากภายนอกมีโอกาสเข้าทำลายผลได้น้อยลง (Wills *et al.*, 1981) ดังนั้น ผลมะนาวที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% จึงพบการเข้าทำลายของโรคช้ากว่าผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.10, 0.25% และผลที่ไม่เคลือบผิว

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมะนาว พบว่าการเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ TSS และ TA ของผลมะนาวในระหว่างการเก็บรักษา สอดคล้องกับผลการทดลองของ ไพรัตน์ และคณะ (2536) ที่พบว่า การเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.25 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด เช่นเดียวกับการเคลือบผิวด้วย Tal Prolong 1.20% น้ำหนักโดยปริมาตร (จินดา และจำนงค์, 2530) นอกจากนี้ยังพบว่า การเคลือบผิวผลมะนาวด้วยไคโตแซนไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณวิตามินซี สอดคล้องกับการทดลองของ Siddapa and Bhatia (1954) (อ้างโดย Hulme, 1971) ที่พบว่าหลังการเก็บรักษามะม่วงพันธุ์ Alphonso เป็นเวลา 6 วัน ที่อุณหภูมิ 24-26°ซ จะสูญเสียวิตามินซีปริมาณ 10% ของวิตามินซีก่อนการเก็บรักษา ส่วนพันธุ์ Dashehari เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 32-38°ซ เป็นเวลา 17 วัน ปริมาณวิตามินซีจะลดลงจาก 20 เป็น 10 มิลลิกรัม/100 กรัม ปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของวิตามินซีนอกจากการทำงานของเอนไซม์ ascorbic acid oxidase, polyphenol oxidase และ peroxidase ที่มีอยู่ในผลผลิตแล้ว สภาพแวดล้อมในระหว่างการเก็บรักษาผลิตผลก็มีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของ ascorbic acid กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียกรดแอสคอบิคจะมีมากขึ้น $Q_{10}$ ของการสูญเสียกรด ascorbic acid มีค่าประมาณ 2.0 แต่ในมันฝรั่งกลับพบว่าที่อุณหภูมิต่ำมีการสูญเสีย ascorbic acid มากกว่าที่อุณหภูมิสูงซึ่งไม่ทราบว่าเป็นเพราะเหตุใด แต่อาจจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลของมันฝรั่งก็เป็นได้ ส่วนในมันเทศนั้นก็เช่นเดียวกับมันฝรั่งการสูญเสียกรด ascorbic acid มีมากที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้คงเนื่องมาจากการเกิดอาการสะท้านหนาวขึ้น ทำให้เซลล์ของมันเทศแตกสลาย ascorbic acid จึงถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนและเอนไซม์ต่างๆ ปริมาณการสูญเสียน้ำออกจากผลิตผลทำให้มีการสูญเสีย ascorbic acid มากขึ้น เช่นเดียวกับคาโรทีน (Ulrich, 1970)

ส่วนคุณภาพในการบริโภค เป็นการพิจารณาจากการประเมินคุณภาพภายนอกคือ ความสด สีผิว และคุณภาพโดยการดมกลิ่นและชิมน้ำมะนาว ตลอดจนการยอมรับคุณภาพโดยรวมของผล พบว่า ในวันที่ 77 ของการเก็บรักษา ผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% น้ำหนักโดยปริมาตร มีคุณภาพผลไม่ดี ไม่สามารถรับประทานได้ โดยมีสภาพผลเหี่ยว เปลือกผลมีสีเหลืองไม่แตกต่างกับผลในกลุ่มที่เคลือบผิวด้วยกัน ในขณะผลที่ไม่เคลือบผิวมีคุณภาพไม่ดี ไม่สามารถรับประทานได้ โดยมีสภาพผลเหี่ยวมาก และเปลือกผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เมื่อนำผลไปคั้นน้ำทดสอบโดยการดม

กลิ่นและชิมน้ำมะนาว พบว่าผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.50% กับผลที่ไม่เคลือบผิว น้ำมะนาวมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ คาดว่าอาจเนื่องมาจากเมื่อนำผลมะนาวไปเคลือบผิวด้วย ไคโตแซนเข้มข้น 0.50% ทำให้ชั้นของสารเคลือบผิวหนาเกินไป ซึ่งไปจำกัดการเข้าออกของก๊าซ ภายในผลเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ $O_2$ ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ (Arthey, 1975) ส่วน น้ำมะนาวในผลที่ไม่เคลือบผิวมีกลิ่นและรสชาติผิดปกติ อาจเนื่องมาจากการที่เปลือกผลแห้งเป็น สีน้ำตาลไปจำกัดการเข้าออกของ $O_2$ น้อย เกิดการสะสม $CO_2$ ภายในผลทำให้เกิดการหายใจแบบ ไม่ใช้ $O_2$ กลิ่นและรสชาติจึงผิดปกติ สอดคล้องกับการทดลองของ ธราธร (2528) ที่พบว่าการเคลือบ ผลมะนาวด้วย Tal-Prolong ความเข้มข้น 1.2% แล้วเก็บรักษาไว้ที่ 10°ซ สามารถชะลอการสูญเสีย น้ำหนักและป้องกันการเหี่ยวของผลได้ แต่จะเกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติเมื่อเก็บไว้นาน 4 สัปดาห์ ส่วนผลที่เคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้น 0.10 และ 0.25% มีกลิ่นและรสชาติของน้ำมะนาวผิดปกติ น้อย เนื่องจากความเข้มข้นของสารเคลือบผิวต่ำทำให้ชั้นของสารเคลือบผิวบางยอมให้ $CO_2$ และ $O_2$ ผ่านได้อย่างเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นผิดปกติ (Kaplan, 1986 อ้างโดย Hagenmaier and Baker, 1995) และปรีดา (2536) รายงานว่า การเคลือบผิวผลส้มเขียวหวานที่เตรียมจากไข carnauba ความ เข้มข้น 0-15% สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักได้ 60% และไม่จำกัดการแลกเปลี่ยนก๊าซทำให้ $CO_2$ และ $O_2$ ภายในผลไม่แตกต่างจากผลปกติ