

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาจนเกิดการหมักของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว CITROSOL-AK

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ สรีรวิทยา และเคมี ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังนี้

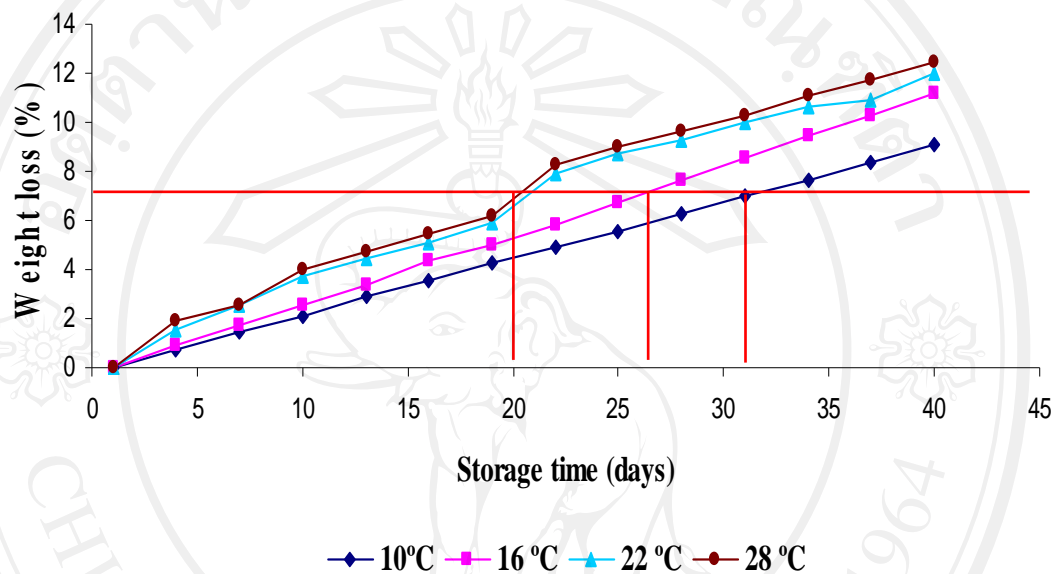
4.1.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

เมื่อเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่ 4 อุณหภูมิข้างต้น พบว่า ผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22 วัน ผลส้มสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 4.87, 5.86, 7.93 และ 8.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 4.1) อุณหภูมิการเก็บรักษาแต่ละอุณหภูมิมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่ไม่เท่ากัน และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา มีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำของผลส้ม ผลส้มสูญเสียน้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงมีการเคลื่อนไหวของโมเลกุลน้ำมากขึ้น โอกาสที่โมเลกุลของน้ำจะหลุดออกจากสถานะของเหลวไปอยู่ในสถานะแก๊สจึงมากขึ้น (จริงแท้, 2541) การใช้สารเคลือบผิวจะช่วยลดการสูญเสียน้ำของผลส้ม ซึ่งการใช้สารเคลือบผิวกับผลส้มมีวัตถุประสงค์ เพื่อปิดรอยเปิดตามธรรมชาติต่างๆ รวมทั้งรอยแผลที่เกิดขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อลดการสูญเสียน้ำของผลส้ม แต่จะลดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติของสารเคลือบผิวชนิดนั้นๆ ด้วย (दनัยและนิธิยา, 2548; Kolattukudy, 1976) โดยพบว่าผลส้มที่ผ่านการเคลือบผิวมีสภาพที่ดี และมีอายุการเก็บรักษาได้นานกว่าผลส้มที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิว ซึ่งมีลักษณะปรากฏที่ผิดปกติคือ ผลส้มเริ่มแสดงอาการเหี่ยว ซึ่งอาการเหี่ยวของผลส้มนั้นเกิดจากการที่ผลส้มสูญเสียน้ำนั่นเอง (दनัย, 2540) ดังนั้น การเคลือบผิวผลส้มร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จะช่วยทำให้ผลส้มสูญเสียน้ำน้อยลง จึงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น (Hagenmaier and Goodner, 2002)

ผลส้มพันธุ์ Valencia ที่สูญเสียน้ำหนักมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ผลเหี่ยวและเสียรูปทรง เปลือกผลส้มบาง แข็ง ปอกยาก และวางจำหน่ายไม่ได้ต่างๆ ที่คุณภาพภายในผลส้มยังเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Wardowski *et. al.*, 1986) ผลการทดลองในครั้งนี้ ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อสูญเสียน้ำหนักมากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับ วรวัณธุ์, 2550 ซึ่งรายงาน

ว่าผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งจะหมดอายุการเก็บรักษาเมื่อมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 7-8 เปอร์เซ็นต์ โดยผลสัมพัทธ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 และ 16±2 องศาเซลเซียส เริ่มสูญเสียมากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 31 และ 27 วัน ผลสัมพัทธ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 20 วัน



ภาพ 4.1 การเปลี่ยนแปลงการสูญเสียน้ำหนักของผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ

4.1.2 ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้

เมื่อเริ่มต้นการเก็บรักษาในวันที่ 1 ผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 0.77, 0.75, 1.18 และ 1.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังจากการเก็บรักษาผลสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22 วัน ผลสัมพัทธ์มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงอย่างช้าๆ เหลือ 0.74, 0.74, 1.05 และ 1.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพ 4.2) ซึ่งในการศึกษาผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวไมโครอิมัลชัน 100%PE, 75%PE, 60%PE และ 0%PE และสารเคลือบผิวทางการค้า CITROSOL-AK และ

ZIVDAR เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 16 วัน มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงอย่างช้าๆ จากวันที่เริ่มทำการเก็บรักษา และมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.57-0.78 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน (วรวลัยชู, 2550) โดยทั่วไปผลไม้ตระกูลส้มในช่วงระยะการแก่และการสุก จะมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้กับผลไม้ตระกูลส้มชนิดอื่น ซึ่งมีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ดังนี้ orange 0.5-1.5%, grapefruit 1.0-2.0%, tangerine 0.5-2.0% และมะนาว (lime) 6.0% (Gorinstein *et al.*, 2001)

สารเคลือบผิวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และอัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (Kader, 1985) สอดคล้องกับรายงานผลการวิจัยผลสัมผัสน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว carnauba 7.5%+shellac 7.5%, carnauba 15%, shellac 15%, citrus shine 60%, ZIVDAR และ Johnson's wax เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 21±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67 เปอร์เซ็นต์ เป็นระยะเวลา 12 วัน มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เท่ากับ 0.57, 0.56, 0.51, 0.49, 0.49 และ 0.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ไม่แตกต่างกัน และมีแนวโน้มลดลงในระหว่างการเก็บรักษา (วงเดือน, 2546) การที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มลดลง เนื่องจากกรดถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ หรือกรดถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาล หรือใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาต่างๆ (จริงแท้, 2541) การที่ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงมีการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อย (สายชล, 2528)

4.1.3 ค่าพีเอช

เมื่อเริ่มต้นการเก็บรักษาในวันที่ 1 ผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.46, 3.53, 3.47 และ 3.49 ตามลำดับ ภายหลังการเก็บรักษาผลสัมที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2, 28±2 เป็นเวลา 22 วัน ผลสัมมีค่าพีเอชเท่ากับ 3.67, 3.58, 3.65 และ 3.75 ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ภาพ 4.3) ผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้ง ฟริมองต์ และสีทอง ที่ผ่านการเคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน มีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และแตกต่างกันตามสายพันธุ์ เช่น ผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้ง ฟริมองต์ และสีทอง มีค่าพีเอชเท่ากับ 3.48, 3.40 และ 4.41 ตามลำดับ และค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ (วรวลัยชูและคณะ, 2549)

การที่ผลส้มมีค่าพีเอชเพิ่มขึ้นและมีปริมาณกรดทั้งหมัดที่ไทเทรตได้ลดลงทำให้รสเปรี้ยวลดลงด้วย (दनัยและนิธิยา, 2548)

4.1.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

เมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาในวันที่ 1 ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11.7, 11.8, 13.4 และ 14.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังจากเก็บรักษาผลส้มที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 , 28 ± 2 เป็นเวลา 22 วัน ผลส้มมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 13.1, 13.3, 15.2 และ 15.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพ 4.4)

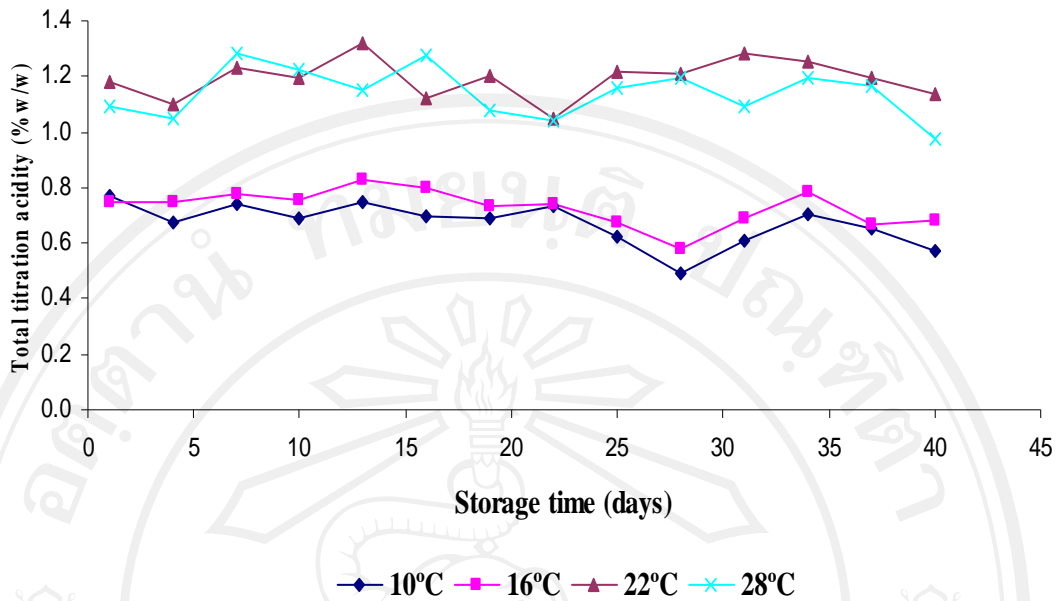
ระหว่างการเก็บรักษาปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เช่นเดียวกับการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ฟริมองต์ และสีทอง ที่ผ่านการเคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น และแตกต่างกันตามสายพันธุ์ เช่น ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ฟริมองต์ และสีทอง โดยมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11.75, 10.80 และ 10.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (วรวลัญช์และคณะ, 2549) ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว ZIVDAR และผลส้มที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่แตกต่างกันอยู่ในช่วง 8.80-13.07 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (ศราวุทธิ์และพิชญา, 2545) ผลส้มแมนดารินพันธุ์ Satsuma ภายหลังจากเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 และ 8 สัปดาห์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้ม (Ghasemnezhad *et. al.*, 2007) เนื่องจากผลส้มเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงมีการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางชีวเคมีภายหลังจากเก็บเกี่ยวเพียงเล็กน้อย การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น อาจเนื่องจากการสูญเสียน้ำระหว่างการเก็บรักษาจึงทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้นได้ (จริงแท้, 2541)

4.1.5 ปริมาณวิตามินซี

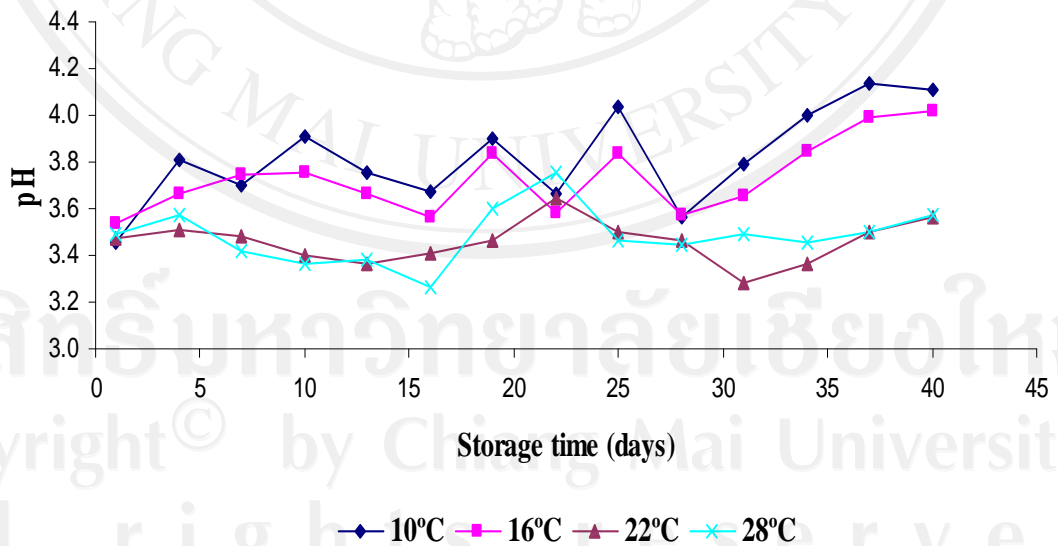
เมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาในวันที่ 1 ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส มีปริมาณวิตามินซี เท่ากับ 23.92, 23.16, 21.93 และ 23.22 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำส้มคั้น ตามลำดับ ภายหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 22 วัน ผลส้มมีปริมาณวิตามินซีลดลงเหลือเท่ากับ 22.70, 22.45, 19.34 และ 21.56 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำส้มคั้น ตามลำดับ โดยมีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างช้าๆ ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 4.5) และไม่แตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งพบว่าผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส มีการลดลงของปริมาณวิตามินซีจากวันเริ่มต้นคิดเป็น 4.01, 6.30, 13.45 และ 23.02 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยผลส้มที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียสมีปริมาณวิตามินซีลดลงมากที่สุดถึง และผลส้มที่ 10 ± 2 ลดลงน้อยที่สุด วิตามินซีในผลส้มจะลดลงเรื่อยๆ ภายหลังจากการเก็บเกี่ยว โดยสภาพแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษามีอิทธิพลอย่างมากต่อการสลายตัวของวิตามินซี เนื่องจากวิตามินซีสลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิสูง จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างรวดเร็ว การเก็บรักษาผลส้มไว้ที่อุณหภูมิต่ำจึงช่วยชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้

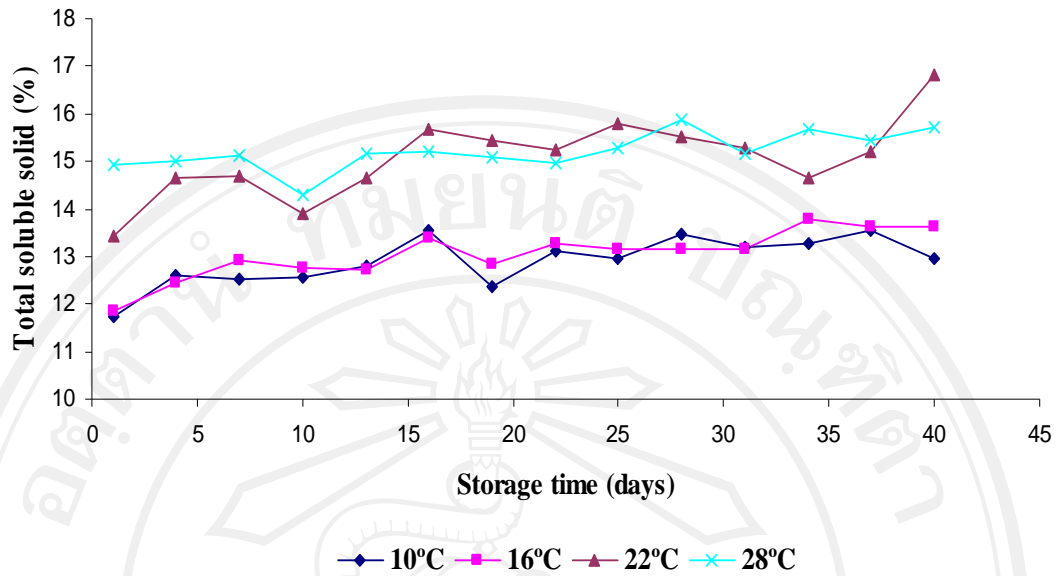
ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ฟริมองต์ และสีทอง ที่ผ่านการเคลือบผิว เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างช้าๆ ผลส้มแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกัน ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าผลส้มพันธุ์ฟริมองต์ และสีทอง ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 21.65, 19.80 และ 17.51 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำส้มคั้น ตามลำดับ (วรวลัญช์และคณะ, 2549) การเก็บรักษาผลส้ม 5 สายพันธุ์ คือ Tarocco Messina, Tarocco Meli, Moro, Ovale และ Valencia late ที่อุณหภูมิ 6 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 วัน พบว่าผลส้มพันธุ์ Tarocco Meli และ Moro มีปริมาณวิตามินซีลดลงเล็กน้อย ผลส้ม Valencia ปริมาณวิตามินซีลดลงหลังจากเก็บรักษาได้ 40 วัน ในทางตรงกันข้ามในผลส้ม Tarocco Messina และ Ovale มีปริมาณวิตามินซีจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง (Rapisarda *et. al.*, 2008) ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวชนิด A (polyethylene, shellac, resin) ชนิด B (polyethylene, shellac) บรรจุในถุงพลาสติกชนิดขุ่น C (polyethylene) บรรจุในถุงพลาสติกชนิดใส D (polypropylene) และชุดควบคุม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าวิตามินซีในผลส้มแต่ละวิธีการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ (วิลาวัลย์, 2549)



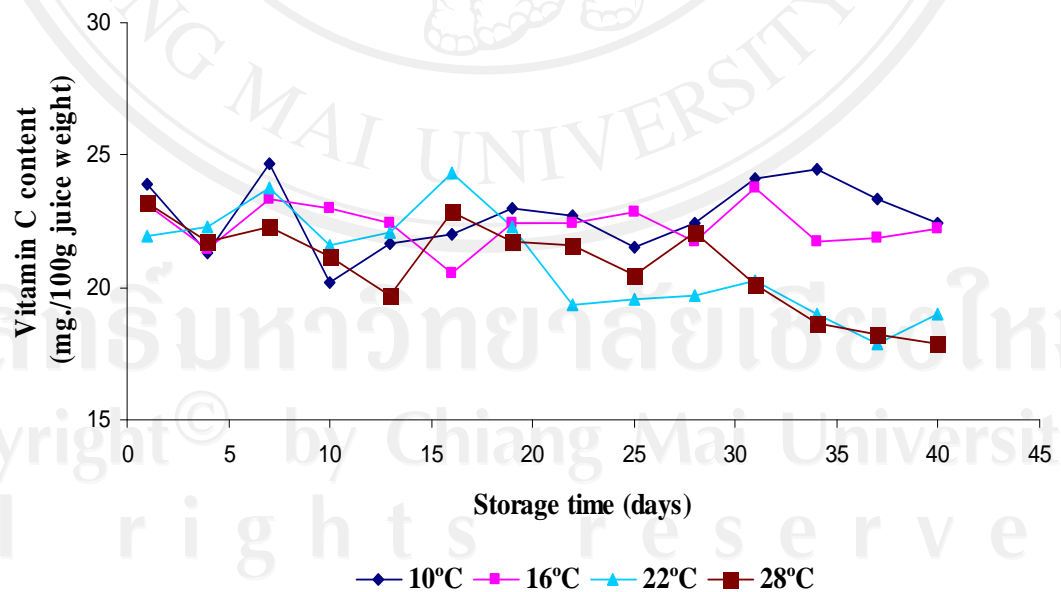
ภาพ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ



ภาพ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ



ภาพ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ



ภาพ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซีของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ

4.1.6 ปริมาณแก๊สออกซิเจนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้ม

เมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาในวันที่ 1 ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มเท่ากับ 19.30, 19.62, 19.44 และ 19.79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังจากเก็บรักษาผลส้ม เป็นเวลา 22 วัน ผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มเท่ากับ 12.04, 10.48, 10.36 และ 7.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 4.6) ผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีการลดลงของแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มมากกว่าผลส้มที่เก็บที่อุณหภูมิ 10±2 และ 16±2 องศาเซลเซียส

ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มเท่ากับ 1.78, 1.17, 1.15 และ 1.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังจากเก็บรักษา เป็นเวลา 22 วัน ผลส้มมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.08, 3.41, 2.51 และ 3.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 4.7) โดยผลส้มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มมากกว่าผลส้มที่เก็บที่อุณหภูมิ 10±2 และ 16±2 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองพบว่าในการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งทุกช่วงอุณหภูมิ ทำให้แก๊สออกซิเจนภายในผลส้มลดลงและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ผลการทดลองเคลือบผิวผลเกรฟฟรุ้ต พันธุ์ Marsh ด้วยสารเคลือบผิว Brixtex และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน มีปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลน้อยกว่าและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลมากกว่าผลเกรฟฟรุ้ตที่ไม่ได้เคลือบผิว (Petracek *et. al.*, 1999)

การเคลือบผิวมีผลโดยตรงต่อการลดอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างบรรยากาศภายนอกกับภายในผลส้ม ทำให้ภายในผลส้มมีปริมาณแก๊สออกซิเจนลดลงเนื่องจากถูกนำไปใช้ในการหายใจ และมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากขึ้น ถ้าภายในผลส้มมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากเกินไปและมีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอต่อการหายใจ จะทำให้เกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือการหมัก ซึ่งจะมีการสังเคราะห์เอซิทัลดีไฮด์และเอทานอลขึ้นภายในผลส้ม ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้ผลส้มมีกลิ่นหมักและรสชาติผิดปกติ การหมักที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากจะสังเกตจากกลิ่นของแอลกอฮอล์ที่สะสมแล้ว ยังสังเกตได้จากอัตราการผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และปริมาณแก๊สออกซิเจนลดต่ำลง (จริงแท้, 2541; Cohen *et. al.*, 1990; Hagenmaier,

2000) สารเคลือบผิวแต่ละชนิดมีสมบัติในการป้องกันการสูญเสียน้ำและควบคุมการผ่านเข้า-ออกของแก๊สได้ไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของสารเคลือบผิวและความเข้มข้นให้เหมาะสมกับผลไม้ด้วย (จริงแท้, 2541; Arthey, 1975)

การเก็บรักษาผลส้มที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลออัตราการหายใจให้ช้าลง ทำให้ปริมาณแก๊สภายในผลส้มเปลี่ยนแปลงช้าลง จึงสามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลส้มได้นานขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจให้ช้าลง ทำให้ผลส้มใช้แก๊สออกซิเจนและคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง (Hagemaier, 2001; Hagenmaier and Baker, 1994) การยอมให้แก๊สผ่านเข้า-ออกได้ของสารเคลือบผิวสามารถวัดได้ด้วยค่า permeability (permeability value) ซึ่งค่านี้นับชี้ถึงอัตราการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างภายในผลส้มกับสภาพแวดล้อม (Hagenmaier and Baker, 1993)

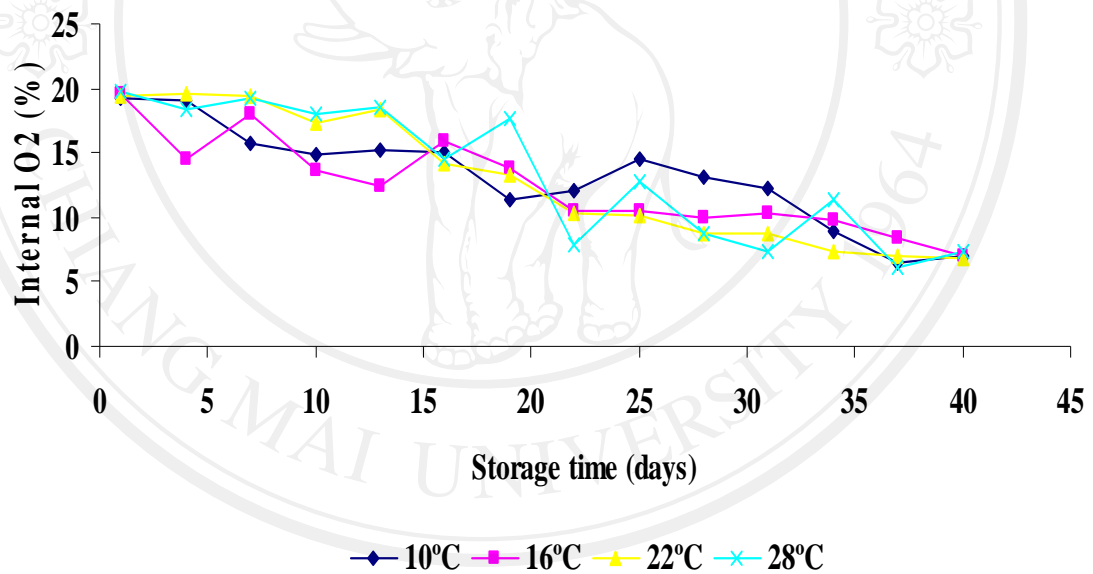
4.1.7 ปริมาณเอทานอล

เมื่อเริ่มต้นเก็บรักษาในวันที่ 1 ผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส มีปริมาณเอทานอลเท่ากับ 156.41, 305.08, 316.74 และ 345.76 ppm ตามลำดับ ภายหลังจากการเก็บรักษาผลส้มเป็นเวลา 22 วัน ผลส้มมีปริมาณเอทานอลภายในผลส้มเท่ากับ 473.28, 824.77, 1,158.67 และ 1,174.31 ppm ตามลำดับ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (ภาพ 4.8)

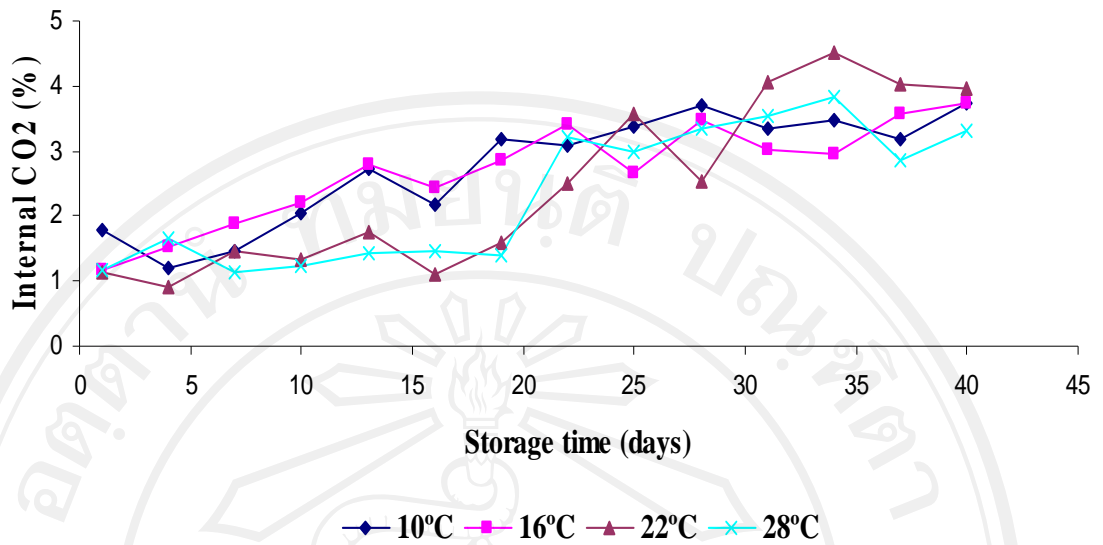
ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพด้านรสชาติของผลส้มและมีความสัมพันธ์กับปริมาณแก๊สภายในผลส้ม (Hagenmaier, 2000)

สารเคลือบผิวมีผลต่อการจำกัดการผ่านเข้าออกระหว่างภายในผลส้มกับสภาวะแวดล้อมภายนอก ถ้าภายในผลส้มมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากเกินไป และมีแก๊สออกซิเจนลดลงจนไม่เพียงพอสำหรับการหายใจจะเกิดการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือเกิดการหมัก ซึ่งในกระบวนการนี้จะมีการสังเคราะห์เอซีทัลดีไฮด์และเอทานอลขึ้นภายในผลส้ม ซึ่งสารเหล่านี้จะทำให้ผลส้มมีกลิ่นหมักและรสชาติผิดปกติ (จริงแท้, 2541; Cohen *et. al.*, 1990; Hagenmaier, 2000) ชนิดของสารเคลือบผิวมีผลต่อปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นและรสชาติของผลส้มแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากชนิดของสารเคลือบผิวและส่วนผสมอื่นๆ ที่อยู่ในสารเคลือบผิว ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้แก๊สผ่านเข้า-ออกระหว่างภายในผลส้มกับสภาวะแวดล้อมภายนอกได้ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ผลส้มมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน (Hagenmaier, 2000; 2005)

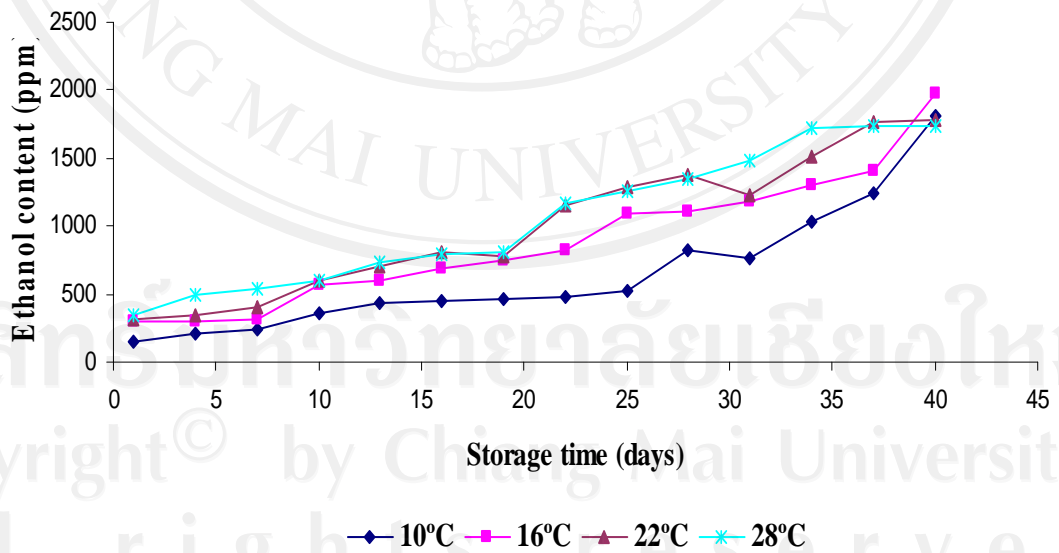
ปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้นในน้ำส้มที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติของผลส้มแต่ละพันธุ์แตกต่างกัน เช่น ผลส้มพันธุ์ Murcott เกิดกลิ่นและรสชาติผิดปกติ เมื่อมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นมากกว่า 1,900 ppm (Cohen *et. al.*, 1990) ในผลส้มพันธุ์ Valencia มากกว่า 1,500-2,000 ppm (Admad and Khan, 1987; Kader, 1985) ในผลส้มแมนดาริน ผลส้มพันธุ์ Valencia และผลเกรฟฟรุ้ตพันธุ์ Marsh เท่ากับ 1,500 ppm (Hagenmaier, 2002) ในผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งมากกว่าหรือเท่ากับ 1,500-1,600 ppm (รววลัญช์, 2550) ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งเกิดรสชาติผิดปกติ เมื่อมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นมากกว่าหรือเท่ากับ 1,100-1,300 ppm



ภาพ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สออกซิเจนภายในผลส้มของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ



ภาพ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในผลส้มของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ



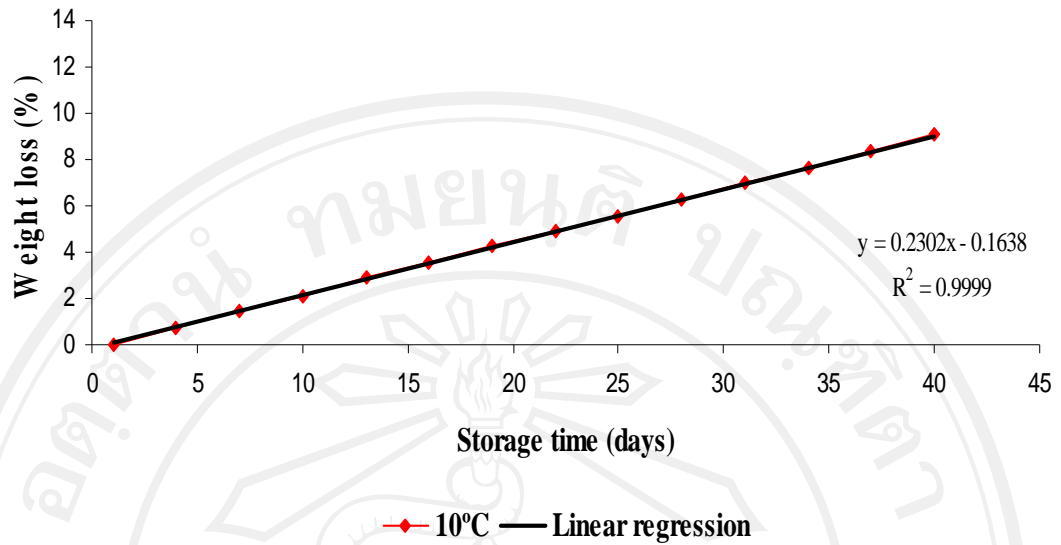
ภาพ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 40 วัน ตามลำดับ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส

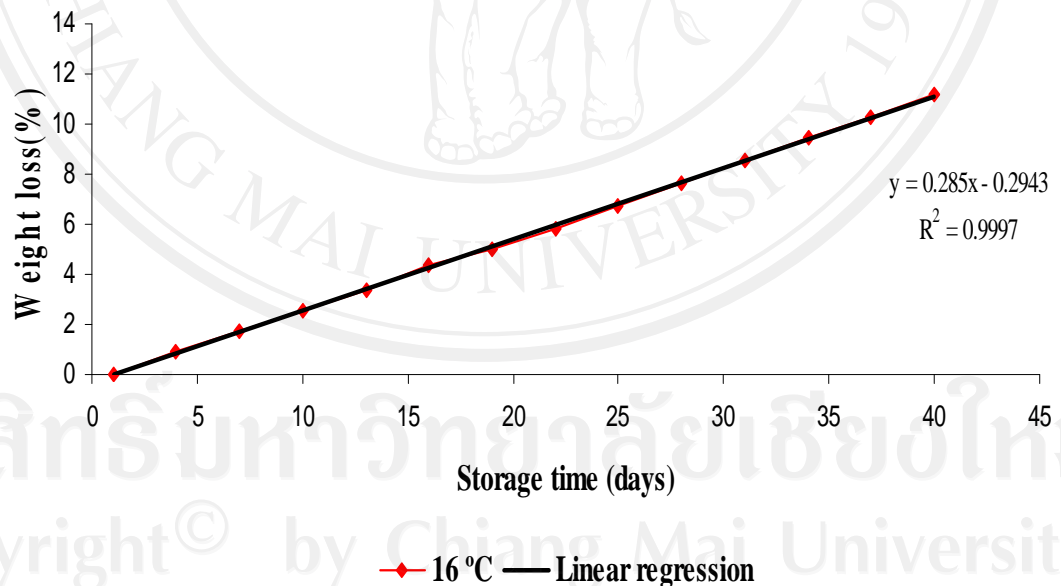
ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มแปรผันตรงกับระยะเวลาในการเก็บรักษาผล ซึ่งเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) ที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ $R^2=0.99$, $R^2=0.99$, $R^2=0.98$ และ $R^2=0.98$ ตามลำดับ (ภาพ 4.9, 4.10, 4.11, 4.12)

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลกับระยะเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส

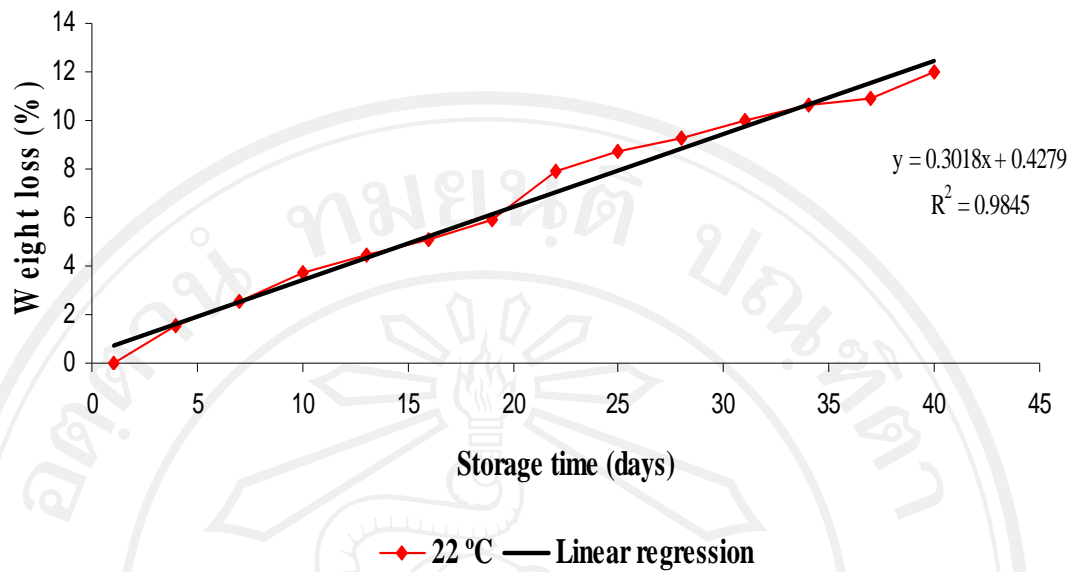
ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อกัน โดยปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นแปรผันตรงกับระยะเวลาในการเก็บรักษาปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) ที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ $R^2=0.81$, $R^2=0.92$, $R^2=0.96$ และ $R^2=0.97$ ตามลำดับ (ภาพ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16)



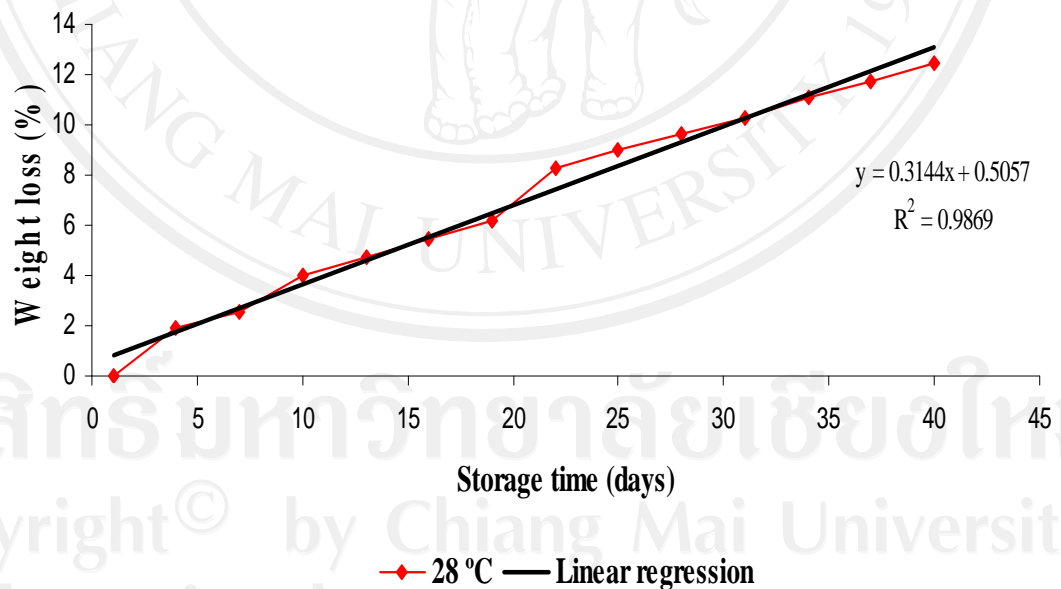
ภาพ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 2 เปอร์เซ็นต์



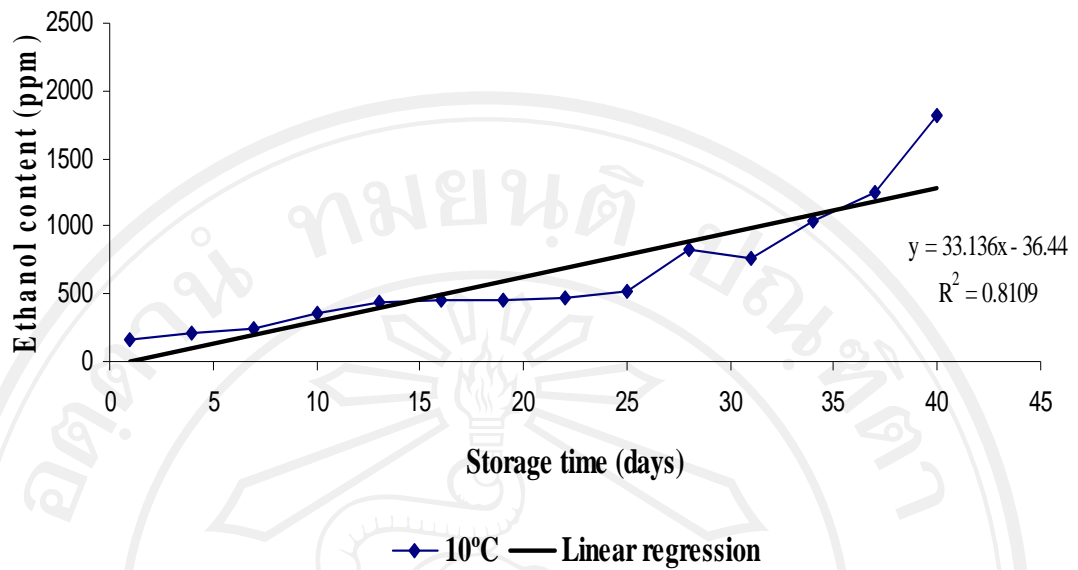
ภาพ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 16 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์



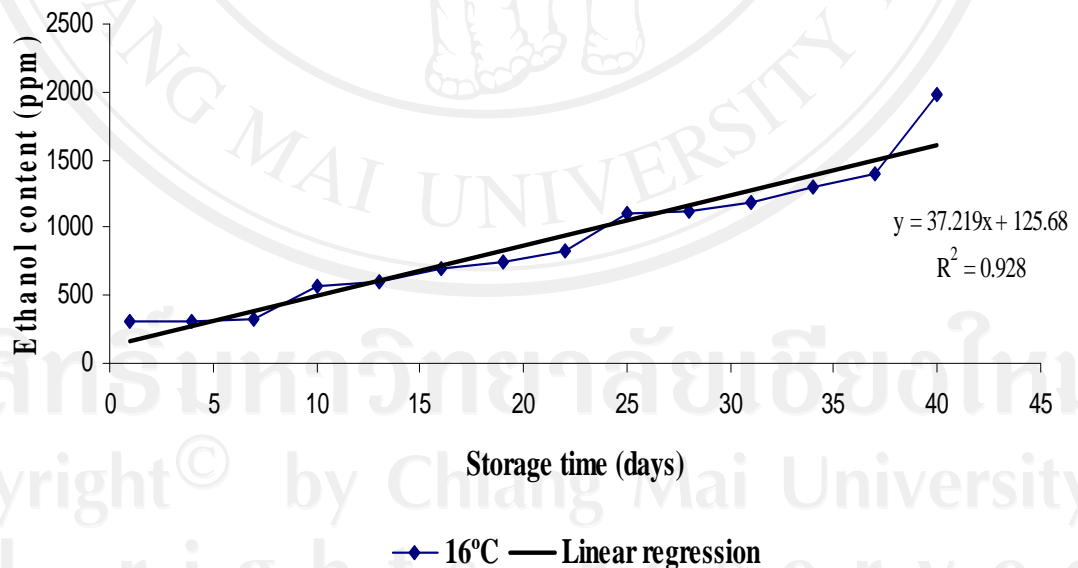
ภาพ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์



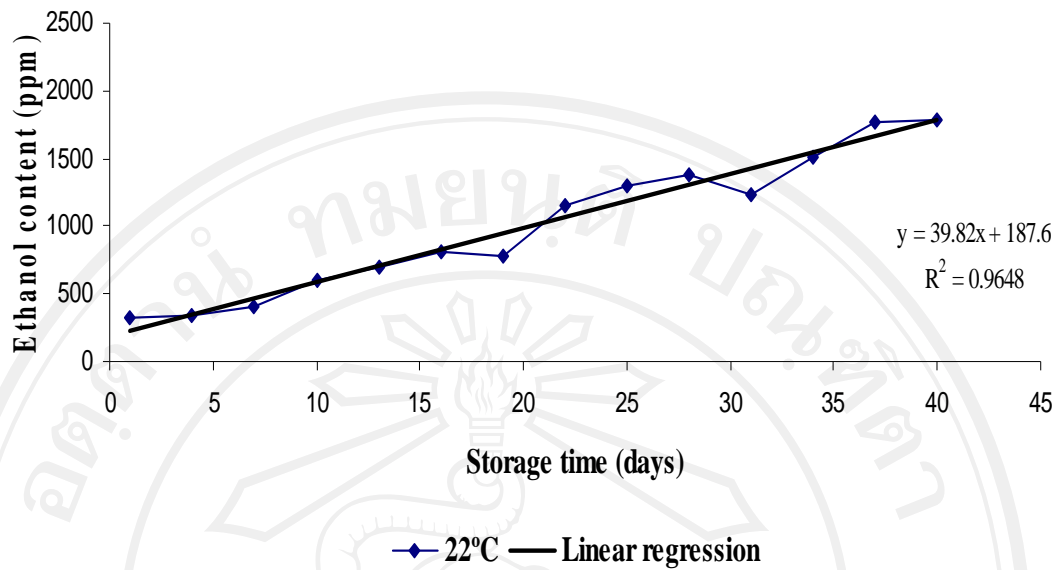
ภาพ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์



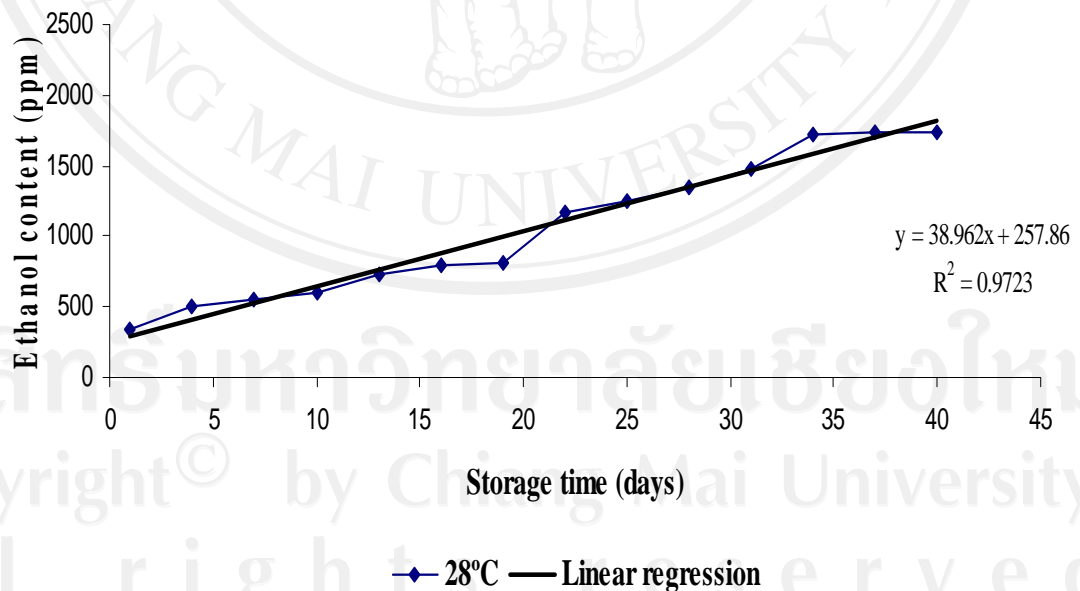
ภาพ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 2 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 16 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์

4.4 การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบการเกิดการหมักของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่ผ่านการเคลือบผิว กับการพยากรณ์ เพื่อ Validate model

นำผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ สรีรวิทยา และเคมี ในการทดลองที่ 1 มา ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เพื่อยืนยันความถูกต้องของ model โดยการทดลองซ้ำโดยใช้ ตัวอย่างชุดใหม่ ในการทดลองนี้ใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เพิ่มเติมจากสมการถดถอยอย่างง่าย (simple regression) ในการทดลองที่ 1 ดังนี้

4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งกับ ระยะเวลาในการเก็บรักษา

ผลการใช้สถิติการถดถอยอย่างง่าย พบว่าการเก็บรักษาผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ได้สมการถดถอยอย่างง่าย ดังนี้

ตาราง 4.1 สมการถดถอยอย่างง่ายของเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการเก็บรักษาของผลสัมพันธุ์สายน้ำผึ้ง ที่อุณหภูมิ 4 ระดับ เป็นเวลา 40 วัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการถดถอยอย่างง่าย	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R ²)
10±2	$y = 0.2302x - 0.1638$	0.9999
16±2	$y = 0.285x - 0.2943$	0.9997
22±2	$y = 0.3018x + 0.4279$	0.9845
28±2	$y = 0.3144x + 0.5057$	0.9869

ที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 0.2302x - 0.1638$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.2302$$

..... สมการที่ 1

พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 0.230 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

ที่อุณหภูมิ 16 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75 ± 2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 0.285x - 0.2943$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.285 \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 2}$$

พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16 ± 2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 0.285 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

ที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 0.3018x + 0.4279$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.3018 \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 3}$$

พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 0.302 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 0.3144x + 0.5057$$

$$\frac{dy}{dx} = 0.3144 \quad \dots\dots\dots \text{สมการที่ 4}$$

พบว่า อัตราการสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 0.314 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

จากสมการถดถอยอย่างง่ายจะพบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการสูญเสียน้ำของผลส้ม ผลส้มสูญเสียน้ำมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 2 , 75 ± 2 , 78 ± 2 และ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์ จะมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากับ 0.230, 0.285, 0.302 และ 0.314 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ

เมื่อทดสอบสมการพยากรณ์ เพื่อทำนายเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส กับตัวอย่างใหม่จำนวน 10 ผล ได้ผลการทดสอบสมการดังนี้

ตาราง 4.2 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2 เปอร์เซ็นต์

ผลที่	อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 20 วัน			อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 40 วัน		
	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง*, %	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง, %
1	4.604	5.32	-0.716	9.208	10.54	-1.332
2		4.66	-0.056		9.42	-0.212
3		3.61	0.994		7.17	2.038
4		4.27	0.334		8.69	0.518
5		4.77	-0.166		9.54	-0.332
6		4.57	0.034		9.14	0.068
7		4.49	0.114		9.07	0.138
8		5.79	-1.186		11.58	-2.372
9		6.04	-1.436		12.02	-2.812
10		5.78	-1.176		11.52	-2.312
เฉลี่ย		4.93	-0.326	เฉลี่ย	9.87	-0.661

* หมายเหตุ : ผลต่างคือ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสมการลบด้วยการสูญเสียน้ำหนักจริง ค่าผลต่างที่ติดลบ หมายถึง การสูญเสียน้ำหนักจากการทำนายด้วยสมการน้อยกว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักจริง

ตาราง 4.3 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75±2 เปอร์เซ็นต์

ผลที่	อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 20 วัน			อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 40 วัน		
	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง*, %	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง, %
1	5.70	5.38	0.32	11.40	10.84	0.56
2		5.83	-0.13		11.56	-0.16
3		5.36	0.34		10.81	0.59
4		6.00	-0.30		11.79	-0.39
5		5.84	-0.14		11.53	-0.13
6		5.38	0.32		10.72	0.68
7		6.18	-0.48		12.23	-0.83
8		5.49	0.21		10.98	0.42
9		5.38	0.32		10.82	0.58
10		5.20	0.50		10.45	0.95
เฉลี่ย		5.60	0.10	เฉลี่ย	11.17	0.23

* หมายเหตุ : ผลต่างคือ เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการลบด้วยการสูญเสีย น้ำหนักจริง ค่าผลต่างที่ติดลบ หมายถึง การสูญเสีย น้ำหนักจากการทำนายด้วยสมการน้อยกว่าค่าการสูญเสียจริง

ตาราง 4.4 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 22±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78±2 เปอร์เซ็นต์

ผลที่	อุณหภูมิ 22±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 15 วัน			อุณหภูมิ 22±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 30 วัน		
	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง*, %	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง, %
1	4.527	4.26	0.267	9.054	8.63	0.424
2		3.84	0.687		7.57	1.484
3		6.72	-2.193		13.24	-4.186
4		6.52	-1.993		12.88	-3.826
5		5.72	-1.193		11.45	-2.396
6		6.58	-2.053		12.64	-3.586
7		6.02	-1.493		11.81	-2.756
8		4.12	0.407		8.44	0.614
9		6.12	-1.593		12.14	-3.086
10		5.73	-1.203		11.26	-2.206
เฉลี่ย		5.56	-1.033	เฉลี่ย	11.01	-1.956

* หมายเหตุ : ผลต่างคือ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสมการลบด้วยการสูญเสียน้ำหนักจริง ค่าผลต่างที่ติดลบ หมายถึง การสูญเสียน้ำหนักจากการทำนายด้วยสมการน้อยกว่าค่าการสูญเสียจริง

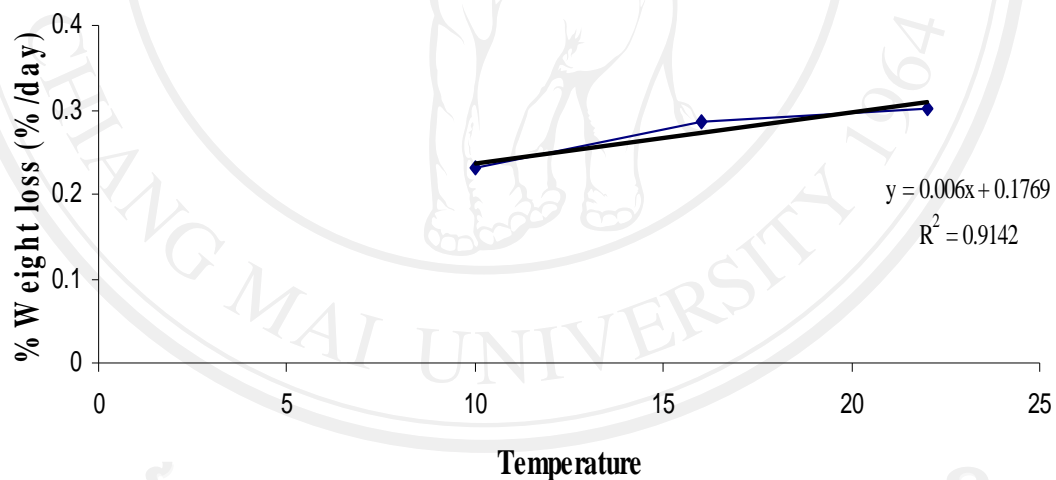
ตาราง 4.5 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของผลส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82±2 เปอร์เซ็นต์

ผลที่	อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 15 วัน			อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 30 วัน		
	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง*, %	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักจากสมการ	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนักของผลส้ม	ผลต่าง, %
1	4.716	7.07	-2.354	9.432	13.91	-4.478
2		5.35	-0.634		10.70	-1.268
3		3.79	0.926		7.86	1.572
4		5.56	-0.844		11.15	-1.718
5		5.49	-0.774		10.98	-1.548
6		4.28	0.436		8.74	0.692
7		5.84	-1.124		11.54	-2.108
8		6.38	-1.664		12.66	-3.228
9		5.85	-1.134		11.74	-2.308
10		5.95	-1.234		11.82	-2.388
เฉลี่ย		5.56	-0.844	เฉลี่ย	11.11	-1.678

* หมายเหตุ : ผลต่างคือ เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักจากสมการลบด้วยการสูญเสียน้ำหนักจริง ค่าผลต่างที่ติดลบ หมายถึง การสูญเสียน้ำหนักจากการทำนายด้วยสมการน้อยกว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักจริง

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักของผลส้มต่อระยะเวลาการเก็บรักษา กับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษา พบว่าการพยากรณ์อัตราการสูญเสียน้ำหนักในช่วงอุณหภูมิ 10±2, 16±2 และ 22±2 องศาเซลเซียส ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีมาก โดยมีค่า Coefficient of Determination: R^2 เท่ากับ 0.9142 (ภาพ 4.17) และพบว่าความสามารถในการพยากรณ์ของสมการจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า R^2 จะลดลงเหลือเท่ากับ 0.8784 แสดงถึงว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นค่าความแปรปรวนของสมการจะยิ่งสูงขึ้น เกิดความผิดพลาดในการพยากรณ์มากขึ้น (ภาพ 4.18)

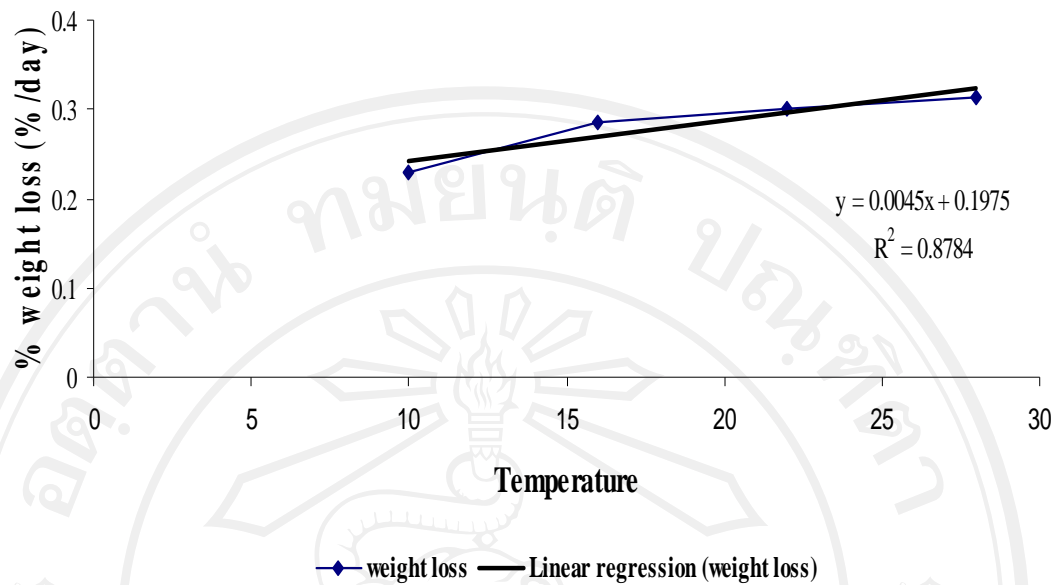
ดังนั้นในการพยากรณ์อัตราการสูญเสียน้ำหนักควรจะใช้สมการการพยากรณ์ในช่วงอุณหภูมิ 10±2, 16±2 และ 22±2 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ผลการพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง และยังเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถใช้ในการเก็บรักษาผลส้มในสถานที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น ห้องสรรพสินค้า ได้จริง



◆ weight loss — Linear regression

ภาพ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์

สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2 และ 22±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2 และ 78±2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำหนักกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 2 , 75 ± 2 , 78 ± 2 และ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งกับระยะเวลาในการเก็บรักษา

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้สมการถดถอยอย่างง่ายหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร พบว่าการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2, 78±2 และ 82±2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ได้สมการถดถอยอย่างง่าย ดังนี้

ตาราง 4.6 สมการถดถอยอย่างง่ายของปริมาณเอทานอลของผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาต่างๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการถดถอยอย่างง่าย	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R ²)
10±2	$y = 33.136x - 36.44$	0.8109
16±2	$y = 38.219x + 125.68$	0.9280
22±2	$y = 39.82 + 187.6$	0.9648
28±2	$y = 38.962x + 257.86$	0.9723

ที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 33.136x - 36.44$$

$$\frac{dy}{dx} = 33.136$$

..... สมการที่ 1

พบว่า ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 33.136 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

ที่อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75±2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 38.219x + 125.68$$

$$\frac{dy}{dx} = 38.219$$

..... สมการที่ 2

พบว่า ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 38.219 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

ที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78 ± 2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 39.82x + 187.6$$

$$\frac{dy}{dx} = 39.82$$

..... สมการที่ 3

พบว่า ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 ± 2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 39.82 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

ที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์

$$y = ax + b$$

$$y = 38.962x + 257.86$$

$$\frac{dy}{dx} = 38.962$$

..... สมการที่ 4

พบว่า ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 ± 2 องศาเซลเซียส อยู่ที่ 38.962 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน

จากสมการถดถอยอย่างง่ายจะพบว่าปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาผลสัมพัทธ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 2 , 75 ± 2 , 78 ± 2 และ 82 ± 2 เปอร์เซ็นต์ จะมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับระยะเวลาการเก็บรักษาเท่ากับ 33.14, 38.22, 39.82 และ 38.96 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ตามลำดับ

เมื่อทดสอบสมการพยากรณ์ เพื่อทำนายปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้น ที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2, 22±2 และ 28±2 องศาเซลเซียส โดยใช้ตัวอย่างใหม่ จำนวน 10 ผล ได้ผลการทดสอบสมการดังนี้

ตาราง 4.7 ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2 เปอร์เซ็นต์

ผลที่	อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 20 วัน			อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 40 วัน		
	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม	ผลต่าง	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม (ppm)	ผลต่าง
1	662.72	287.20	375.52	1,325.44	977.10	348.34
2		351.38	311.34		1,093.61	231.83
3		505.18	157.54		1,132.15	193.29
4		418.46	244.26		1,190.08	135.36
5		482.32	180.40		2,053.33	-727.88
6		395.68	267.04		1,872.57	-547.17
7		173.16	489.56		1,960.50	-635.05
8		539.57	123.15		2,916.39	-1,590.95
9		536.36	126.36		3,030.72	-1,705.28
10		525.77	136.95		2,939.197	-1,613.76
เฉลี่ย		421.54	241.18	เฉลี่ย	1,916.56	-591.12

ตาราง 4.8 ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75±2 เปอร์เซ็นต์

ผลที่	อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 20 วัน			อุณหภูมิ 16±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 40 วัน		
	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม	ผลต่าง	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม (ppm)	ผลต่าง
1	744.38	948.20	-203.82	1,488.76	1,551.14	-62.38
2		959.72	-215.34		1,386.04	102.72
3		800.57	-56.19		1,145.64	343.12
4		637.01	107.37		1,819.44	-330.68
5		721.36	23.02		747.59	741.17
6		924.90	-180.52		1,214.57	274.19
7		934.37	-189.99		777.94	710.82
8		980.00	-235.52		1,230.98	257.78
9		924.53	-180.15		1,356.93	131.83
10		897.22	-152.84		827.57	661.19
เฉลี่ย		872.78	-128.40	เฉลี่ย	1,205.78	282.98

ตาราง 4.9 ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 22±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 78±2 เปอร์เซ็นต์

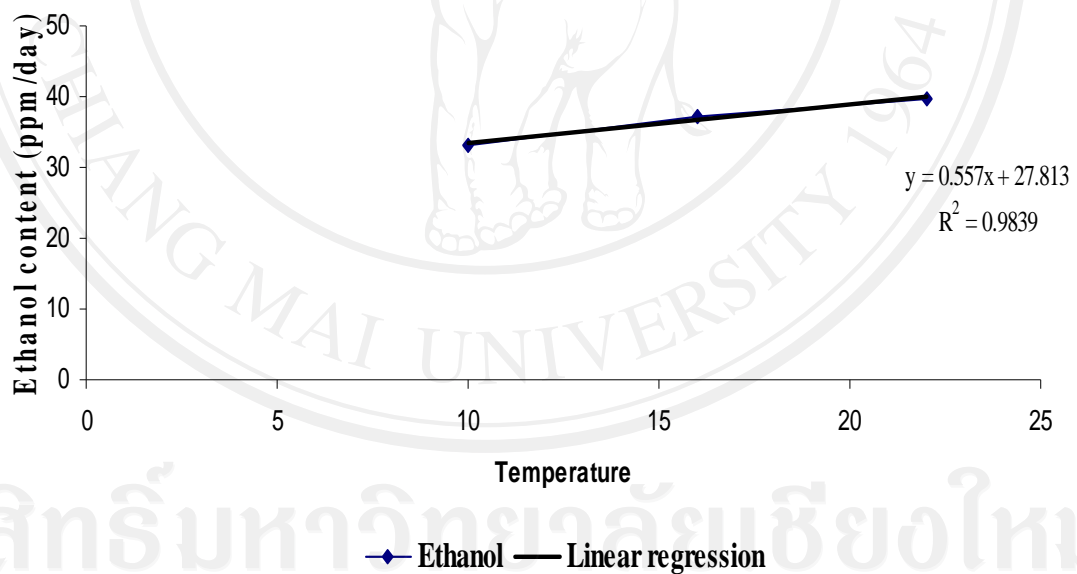
ผลที่	อุณหภูมิ 22±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 15 วัน			อุณหภูมิ 22±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 30 วัน		
	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม	ผลต่าง	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม (ppm)	ผลต่าง
1	597.30	366.84	299.12	1,194.60	2,495.97	1,301.37
2		457.77	139.53		1,293.31	-98.71
3		728.22	-130.92		1,320.02	-125.42
4		715.33	-118.03		939.20	255.40
5		994.00	-396.70		1,098.54	96.06
6		837.52	-240.22		963.19	231.41
7		797.78	-200.48		805.40	389.20
8		739.56	-142.26		1,201.37	-6.77
9		716.73	-119.43		1,338.11	-143.51
10		633.38	-36.08		1,334.43	-139.83
เฉลี่ย		698.71	-101.41	เฉลี่ย	1,278.96	-84.36

ตาราง 4.10 ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มเปรียบเทียบกับสมการการพยากรณ์ที่อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 82±2 เปอร์เซ็นต์

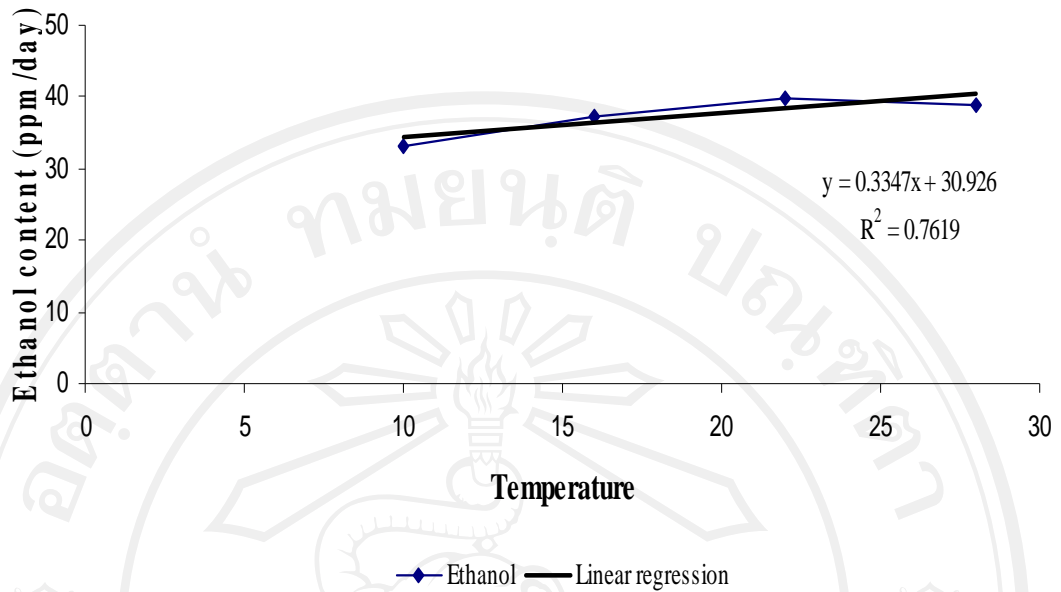
ผลที่	อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 15 วัน			อุณหภูมิ 28±2 องศาเซลเซียสเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 30 วัน		
	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม	ผลต่าง	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มจากสมการ	ปริมาณเอทานอลในน้ำส้ม (ppm)	ผลต่าง
1	584.43	675.78	-91.35	1,168.86	818.59	350.27
2		746.65	-162.22		781.52	387.34
3		648.98	-64.55		632.14	536.72
4		875.01	-290.58		1,291.37	-122.51
5		717.04	-132.61		1,171.82	-2.96
6		853.88	-269.45		1,421.84	-252.98
7		747.28	-162.85		858.42	310.44
8		700.98	-116.55		801.02	367.84
9		765.25	-180.82		808.65	360.21
10		721.35	-136.92		884.65	284.21
เฉลี่ย		745.22	-160.79	เฉลี่ย	947.00	221.86

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับ อุณหภูมิการเก็บรักษา พบว่าการพยากรณ์อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นในช่วง อุณหภูมิ 10±2, 16±2 และ 22±2 องศาเซลเซียส ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีมาก โดยมีค่า Coefficient of Determination: R^2 เท่ากับ 0.9839 (ภาพ 4.19) และพบว่าความสามารถในการพยากรณ์ของ สมการจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า R^2 จะลดลงเหลือเท่ากับ 0.7619 แสดงถึงว่าอุณหภูมียิ่งสูงขึ้นค่าความแปรปรวนของสมการจะยิ่งสูงขึ้น เกิดความผิดพลาดในการพยากรณ์มากขึ้น (ภาพ 4.20)

ดังนั้นในการพยากรณ์การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นควรจะใช้สมการการ พยากรณ์ในช่วงอุณหภูมิ 10±2, 16±2 และ 22±2 องศาเซลเซียส เนื่องจากให้ผลการพยากรณ์ ใกล้เคียงค่าที่แท้จริง และยังเป็นช่วงอุณหภูมิที่สามารถใช้ในการเก็บรักษาผลส้มได้ในสถานที่ที่มี อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น ห้องสรรพสินค้า ได้จริง



ภาพ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10±2, 16±2 และ 22±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70±2, 75±2 และ 78±2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นกับอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้งที่อุณหภูมิ 10 ± 2 , 16 ± 2 , 22 ± 2 และ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 ± 2 , 75 ± 2 , 78 ± 2 และ 80 ± 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาสมการการพยากรณ์พบว่าสามารถใช้ทั้งเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นในการเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง โดยผลส้มจะมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักประมาณ 7-9 เปอร์เซ็นต์ หรือมีปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นประมาณ 1,100-1,300 ppm แต่เนื่องจากผลส้มส่วนใหญ่ที่มีการเคลื่อนผิวมักเกิดการหมักก่อนผลเหี่ยวจึงควรใช้ปริมาณเอทานอลในน้ำส้มคั้นในการระบุอายุการเก็บรักษาผลส้ม