บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

1. การศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่น้ำร้อนกล้วยหอมทอง

1.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

จากการศึกษาพบว่าในทุกชุดการทดลองผลกล้วยมีน้ำหนักสดลดลงเมื่อเข้าสู่ระยะที่มีการสุกของผล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดนี้เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ ภายในผลกล้วย อันได้แก่ การคายน้ำและการหายใจเป็นหลัก (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544) อัตราการลดลงของน้ำหนักสดในแต่ละชุดการทดลองเริ่มแสดงความแตกต่างอย่างชัดเจนและมีนัยสำคัญในวันที่ 3, 6, 8 และ 10 โดยชุดการทดลองควบคุม ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 45°C เป็นเวลา 2 และ 10 นาที เป็นชุดที่มีอัตราการลดลงของน้ำหนักสดน้อยที่สุด

ส่วนผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 55°C เป็นเวลา 10 และ 20 นาที มีอัตราการลดลงของน้ำหนักสดมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญระหว่างวันที่ 3 ถึงวันที่ 10 ซึ่งอาจเป็นผลจากความร้อนที่ให้ในทั้งสองชุดการทดลองทำให้เกิดความเสียหายแก่ผลกล้วย โดยอาจทำให้โครงสร้าง membrane ของเปลือกกล้วยเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับที่พบในชิ้นเนื้อเยื่อมะเขือเทศ (Saltveit, 1991 อ้างถึงใน Lurie, 1998) หรืออาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ epicular wax เช่นเดียวกับในแอปเปิ้ล (Lurie และคณะ, 1996; Roy และคณะ, 1994 อ้างถึงใน Conway, 1999) เป็นผลให้อัตราการคายน้ำของผลกล้วยสูงขึ้น

1.2 การผลิตเอทิลีน

เนื่องจากกล้วยเป็นผลไม้ประเภท climacteric ซึ่งตามปกติจะมีอัตราการผลิตเอทิลีนต่ำในช่วงแรก จากนั้นจึงมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีอัตราสูงสุดเมื่อกล้วยเข้าสู่ระยะที่มีพัฒนาการสุกของผล ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่า climacteric peak แล้วจึงมีอัตราการผลิตเอทิลีนลดต่ำลงในช่วงท้าย จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนของผลกล้วยส่วนใหญ่มีรูปแบบปกติ แต่อาจมีวันที่มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุด

ต่างกัน โดยชุดการทดลองควบคุม ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 45°C เป็นเวลา 10 และ 20 นาที และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 50°C เป็นเวลา 2 นาที มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงสุดในวันที่ 10 ซึ่งแสดงถึงพัฒนาการการสุกของผล ส่วนชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 45°C เป็นเวลา 2 นาที และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 50°C เป็นเวลา 20 นาที มีอัตราการผลิตสูงสุดในวันที่ 12 ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 50°C เป็นเวลา 10 นาที และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 55°C เป็นเวลา 2 นาที มีอัตราการผลิตสูงสุดในวันที่ 14 นั่นคือการแช่น้ำร้อนในชุดการทดลองดังกล่าวสามารถชะลอการผลิตเอทิลีนออกไปได้นานกว่าชุดการทดลองควบคุม และส่งผลให้ผลกล้วยในชุดการทดลองเหล่านี้สุกช้ากว่าผลกล้วยในชุดการทดลองที่ผลิตเอทิลีนในวันที่ 10 สอดคล้องกับผลการทดลองในกล้วย (Armstrong, 1982) และมะม่วง (Ketsa และคณะ, 1999) ซึ่งมีการผลิตเอทิลีนที่ช้าลงจากปกติ โดยอาจเป็นผลเนื่องจากการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ACC oxidase (Chan, 1986) และ ACC synthase (Lurie, 1998) ในขณะที่ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 55°C เป็นเวลา 10 นาที และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิที่ 55°C เป็นเวลา 20 นาที มีรูปแบบการผลิตเอทิลีนที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไป เป็นผลให้ระบบที่ทำการผลิตเอทิลีนหรือระบบที่ทำการตอบสนองต่อเอทิลีนไม่สามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติ

ส่วนอัตราการผลิตเอทิลีนที่ค่อนข้างสูงมากในวันที่ทำการแช่น้ำร้อน (วันที่ 0) นั้น น่าจะเป็นผลมาจาก wound ethylene ที่เกิดขึ้นเนื่องจากเนื้อเยื่อเกิดความเสียหายจาก heat stress โดยจะพบว่ายิ่งให้อุณหภูมิสูงขึ้นและให้เวลาที่ได้รับอุณหภูมิสูงนานขึ้น อัตราการผลิตเอทิลีนก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งมีรายงานว่าระบบควบคุมการผลิตเอทิลีนของ wound ethylene ไวต่อความร้อนน้อยกว่าระบบการผลิตเอทิลีนของ ripening-associated ethylene (Biggs และคณะ, 1988)

1.3 การเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย

จากการทดลองพบว่าทั้งค่า L (ค่าความสว่าง) และค่า Hue (ค่าการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง) ของเปลือกกล้วยค่อนข้างคงที่ในช่วง 6 วันแรกของการทดลอง และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายการทดลอง นั่นคือเปลือกกล้วยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองอย่างปกติ (สีเหลืองมีค่าความสว่างมากกว่าสีเขียว) ซึ่งเกิดจากการสลาย chlorophyll ทำให้เห็นสีเหลืองของ carotenoid ได้ชัดเจนขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดช้าเร็วต่างกันในแต่ละชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่

อุณหภูมิ 45°C 20 นาที เกิดขึ้นในวันที่ 8 ชุดการทดลองควบคุม ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 10 นาที ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 2 นาที และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 20 นาที ในวันที่ 10 ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 2 นาที ในวันที่ 12 ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที ในวันที่ 14

จะเห็นได้ว่าการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 20 นาที สามารถเร่งการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย สอดคล้องกับการทดลองของ Jacobi และ Wong (1992) ที่พบว่าการให้ความร้อนสามารถเร่งการเปลี่ยนสีในมะม่วง ในขณะเดียวกันการแช่น้ำร้อนในอีกหลายๆ ชุดการทดลองก็สามารถชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยได้ เช่นเดียวกับการศึกษาในกล้วยโดย Armstrong (1982)

ในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 นาที มีค่า L และค่า Hue ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง บ่งถึงการไม่เกิดการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง ส่วนชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 20 นาที ค่า L ค่อนข้างคงที่ในขณะที่ค่า Hue เพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า Hue สูงสุดเมื่อเทียบกับชุดการทดลองอื่นๆ ค่า Hue ที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเป็นหลัก แต่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดสีดำบนเปลือกกล้วย ซึ่งเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง สอดคล้องกับการทดลองของ Armstrong (1982) ที่พบการเกิดรอยสีดำในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 52.5 และ 55°C และการทดลองของ Reyes และคณะ (1998) ในกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 นาที หรือนานกว่า อุณหภูมิ 50°C 30 นาที หรือนานกว่า และอุณหภูมิ 45°C 40 นาที รอยสีดำนี้เป็นอาการที่พบได้ทั่วไปในผลิตผลที่ได้รับความเสียหายจากความร้อนที่เรียกกันว่า scalding หรือ browning (Lay-Yee, 1997) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเนื้อเยื่อได้รับความเสียหายจากความร้อน จนการเกิดการยุบตัวโดยเป็นผลมาจากการเกิด cell collapse และอาจส่งผลถึงโครงสร้างของ lipid bilayer จนถึง membrane permeability ทำให้อัตราการแพร่ผ่านเข้าออกของสารต่างๆ เปลี่ยนไป ส่งผลให้ O_2 ผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลและเกิดเป็นสีน้ำตาลได้มากขึ้น

1.3 ปริมาณ Total chlorophyll

ปริมาณ total chlorophyll ของเปลือกกล้วยมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยอย่างมาก นั่นคือในขณะที่เปลือกกล้วยยังเป็นสีเขียวก็จะมีปริมาณ total chlorophyll สูง และเมื่อเปลือกกล้วยเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากการสลาย chlorophyll โดยเอนไซม์ chlorophyllase (Lizada และคณะ, 1990) ปริมาณ total chlorophyll ก็จะลดต่ำลง จากการทดลองพบว่าปริมาณ total chlorophyll ของเปลือกกล้วยจะค่อนข้างคงที่ในช่วงแรก และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณ total chlorophyll จะแปรผกผันกับค่า Hue นั่นคือเมื่อค่า Hue ต่ำ ปริมาณ total chlorophyll จะสูง สอดคล้องกับปริมาณ total chlorophyll ของแต่ละชุดการทดลองจะลดต่ำลงในวันที่ค่า Hue มีค่าเพิ่มขึ้น

การลดลงของปริมาณ total chlorophyll ในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 20 นาที ซึ่งเกิดขึ้นในอัตราค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองนั้นน่าจะเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวของเปลือกกล้วยที่มีสีดำ ทำให้บริเวณที่มีสีเขียวหรือบริเวณที่มี chlorophyll ลดลง นอกจากนี้ในช่วง 2 วันหลังของการทดลองเก็บรักษาผลกล้วยยังเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองซีดๆ อีกด้วย ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงทำให้เปลือกกล้วยมีสีเหลืองด้านและไม่สดนี้สอดคล้องกับการทดลองของ อภิวรา ประยูรวงศ์ (2542) ส่วนชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 นาที ปริมาณ total chlorophyll ลดลงน้อยมากตลอดการทดลอง การลดลงนี้ไม่ได้เกิดจากการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเท่านั้น แต่น่าจะมีสาเหตุมาจากการเกิดรอยสีดำบนเปลือกร่วมด้วย

Blackbourn และคณะ (1989) พบว่าการยับยั้งการสลาย chlorophyll ในกล้วยในขณะที่ได้รับความร้อน น่าจะมีสาเหตุมาจากการสูญเสียเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการออกซิไดซ์ chlorophyll เป็นผลให้ยังคงมี chlorophyll เหลืออยู่ในเปลือกกล้วย (อ้างถึงใน Lurie, 1998) เช่นเดียวกับการทดลองของ Whitaker (1994) ที่พบว่าการทำ heat treatment สามารถยับยั้งการสูญเสีย chlorophyll ในมะเขือเทศได้ สอดคล้องกับการชะลอและการยับยั้งการสลายตัวของ chlorophyll ที่พบในหลายๆ ชุดการทดลองจากการศึกษาครั้งนี้

1.4 ความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วย

ความแน่นเนื้อของผลกล้วยในแต่ละชุดการทดลองจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน คือมีค่าสูงและค่อนข้างคงที่ในระยะแรก และลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายของการทดลองเก็บรักษาผลกล้วย โดยการลดลงนี้จะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่แตกต่างกันไปในแต่ละชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 20 นาที เป็นชุดการทดลองที่ความแน่นเนื้อลดลงเร็วที่สุดและเร็วกว่าชุดการทดลองควบคุม เช่นเดียวกับ ที่พบในมะม่วง (Jacobi และ Wong, 1992) ส่วนในชุดการทดลองอื่นๆ ความแน่นเนื้อจะลดลงช้ากว่าชุดการทดลองควบคุม สอดคล้องกับการทดลองที่พบในกล้วย (Armstrong, 1982) มะเขือเทศ (Biggs และคณะ, 1988) และมะม่วง (Ketsa, 2000) ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 นาที ไม่มีการลดลงของความแน่นเนื้อตลอดการทดลอง เช่นเดียวกับที่พบในกล้วย (Armstrong, 1982; Reyes และคณะ, 1998)

การชะลอและยับยั้งการสูญเสียความแน่นเนื้อนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์หรือการทำงานของเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการนุ่มลงของผลไม้ เช่น เอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายผนังเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ polygalacturonase (Chan และคณะ, 1981 อ้างถึงใน Couey, 1989) เอนไซม์ α- และ ß-galactosidase (Sozzi และคณะ, 1996 อ้างถึงใน Lurie, 1998)

1.5 ปริมาณ Total Soluble Solids (TSS)

จากการทดลองพบว่าปริมาณ TSS ในแต่ละชุดการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกับความแน่นเนื้อของผลกล้วย คือเมื่อผลกล้วยมีความแน่นเนื้อสูงก็จะมีปริมาณ TSS ต่ำ ดังนั้นปริมาณ TSS จะมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ในระยะแรก จากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงท้ายการทดลอง ปริมาณ TSS ของชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 20 นาที จะมีการเพิ่มขึ้นเร็วกว่าในชุดการทดลองควบคุม และเมื่อเทียบกับชุดการทดลองควบคุมพบว่าปริมาณ TSS ในขณะที่ผลสุกมีปริมาณต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 20 นาที ส่วนในชุดการทดลองอื่นๆ แม้ว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS จะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่แตกต่างกัน แต่ปริมาณ TSS ในขณะที่ผลสุกนั้นไม่แตกต่างกันมากนัก สอดคล้องกับการทดลองในมะม่วง (Ketsa, 2000) มะเขือเทศ grapefruit และ nectarine (Sabehat, 1997; Miller และ MaDonald,1992; Lay-Yee

และ Rose, 1994 อ้างถึงใน Lurie, 1998) ส่วนการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 นาที นั้นไม่เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS ตลอดการทดลอง

เมื่อเกิดการสลายแป้งไปเป็นน้ำตาล ความแน่นเนื้อจะลดลง ปริมาณ TSS ก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นความช้าเร็วในการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS น่าจะขึ้นอยู่กับว่าเอนไซม์ที่ทำหน้าที่นี้ได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ได้รับในแต่ละชุดการทดลองแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด และในชุดการทดลองที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณ TSS หรือมีปริมาณ TSS ต่ำผิดปกตินั้น อาจเป็นผลมาจากความร้อนที่ได้รับทำให้ระบบการสร้างน้ำตาลหรือการสลายแป้งเสียหายไปอย่างถาวร หรือกลับเป็นปกติเพียงบางส่วน ทำให้กระบวนการต่างๆ เกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับในหลายการทดลองที่การให้ความร้อนทำให้ผลิตผลไม่สุกหรือสุกผิดปกติ (Lurie, 1998)

จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ เช่น การผลิตเอทิลีน การเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย ค่าความแน่นเนื้อ ค่า TSS การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 2 นาที อุณหภูมิ 50°C 2, 10 และ 20 นาที และอุณหภูมิ 55°C 2 นาที สามารถยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทองออกไปได้ เมื่อเทียบกับผลกล้วยในชุดการทดลองควบคุม เช่นเดียวกับในกล้วยพันธุ์ Brazilian (Armstrong, 1982) และมะเขือเทศ (Whitaker, 1994) ส่วนในชุดการทดลองที่ทำการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 45°C 10 และ 20 นาที ไม่มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษา สอดคล้องกับการทดลองในมะม่วง (Ketsa, 2000) และในชุดการทดลองที่ทำการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 10 และ 20 นาที มีผลทำให้ลักษณะและการพัฒนาการสุกของผลกล้วยผิดปกติ เช่น กล้วยไม่สุก หรือ สุกแต่เปลือกเป็นสีเหลืองซีดๆ เนื้อนุ่มลงไม่สม่ำเสมอและมีปริมาณ TSS ต่ำ ซึ่งทั้งการยืดอายุการเก็บรักษาและความผิดปกติเหล่านี้น่าจะเป็นผลจากความร้อนที่ได้รับมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

2. การศึกษาถึงผลของการแช่น้ำร้อนร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำและผลของการแช่น้ำร้อนที่มีต่อเอนไซม์ PPO และยีน *hsp70* ของผลกล้วยหอมทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14 °C

2.1 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสด

จากผลการศึกษาพบว่าในชุดการทดลองที่ทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ การแช่น้ำร้อนสามารถลดอัตราการสูญเสียน้ำหนักสดได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ14°C เป็นเวลา 2 และ 3 สัปดาห์ อัตราการสูญเสียน้ำหนักสดระหว่างการทดลองควบคุมกับการทดลองที่ทำการแช่น้ำร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที มีอัตราการลดลงของน้ำหนักสดน้อยที่สุด และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที มีอัตราการลดลงของน้ำหนักสดมากที่สุดและมากกว่าการทดลองควบคุม เป็นไปได้ว่าการเก็บรักษาในเวลาที่นานขึ้นทำให้สูญเสียความแตกต่างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทดลองไป

2.2 การผลิตเอทิลีน

เมื่อนำผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ มาวัดอัตราการผลิตเอทิลีน พบว่าอัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนในวันแรกที่นำออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องของทั้ง 3 ชุดการทดลอง สูงกว่าชุดการทดลองควบคุม สอดคล้องกับการทดลองของ Lurie และ Klein (1991) ที่ทำการศึกษาในมะเขือเทศ และพบว่าเมื่อนำมะเขือเทศที่ได้รับ heat treatment ออกมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2°C มีอัตราการผลิตเอทิลีนสูงกว่ามะเขือเทศที่ไม่ได้รับ heat treatment (อ้างถึงใน McCollum และคณะ, 1993) ในขณะที่ McCollum และคณะ (1993) พบว่าเมื่อนำมะม่วงออกมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C มะม่วงที่ไม่ได้รับ heat treatment จะมีการผลิตเอทิลีนสูงกว่ามะม่วงที่ได้รับ heat treatment เช่นเดียวกับในมะเขือเทศที่นำออกมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5°C (Whitaker, 1994) ผลมะเขือเทศที่ได้รับ heat treatment ก็มีการผลิตเอทิลีนมากกว่าเช่นกัน

หลังจากนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้องอัตราการผลิตเอทิลีนของชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที และชุดการทดลองควบคุม จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดการทดลองในผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 1 และ 2 สัปดาห์ สอดคล้อง

กับผลการทดลองของ Murata (1969) ที่ทำการเก็บกล้วยไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และสรุปว่าการผลิตเอทิลีนซึ่งมีรูปแบบผิดปกตินี้ เป็นผลมาจากการเกิด chilling injury สำหรับการทดลองในครั้งนี้ไม่พบลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผลกล้วยที่แสดงถึงการเกิด chilling injury ในแต่ละการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามผลกล้วยอาจเกิด chilling injury ที่ไม่รุนแรงมากนักและไม่แสดงออกทางลักษณะทางกายภาพของผลกล้วย แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงภายใน metabolism ของผล และสะท้อนออกมาทางความผิดปกติของอัตราการผลิตเอทิลีน ส่วนในชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากที่อัตราการผลิตเอทิลีนลดลงจากวันแรกแล้ว การผลิตเอทิลีนก็เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว ยกเว้นในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที ที่อัตราการผลิตเอทิลีนค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตามเอทิลีนที่ผลิตได้ในแต่ละชุดการทดลองก็เพียงพอที่จะชักนำให้ผลกล้วยเกิดการสุกได้อย่างปกติ

2.3 การเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วย

ทั้งค่า L และค่า Hue ของผลกล้วยในทั้งชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนและชุดการทดลองควบคุม ในผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ มีการเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบเดียวกัน โดยในผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที มีปริมาณ chlorophyll ในวันที่ 15 (วันที่ 8 หลังนำออกมาจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C) มากกว่าผลกล้วยในอีก 2 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ และในผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที มีปริมาณ chlorophyll ในวันที่ 24 (วันที่ 3 หลังนำออกมาจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C) มากกว่าผลกล้วยในอีก 2 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนค่า L ในผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และค่า Hue ของผลกล้วยที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการทดลองในมะละกอ (Paull และ Chen, 1990 อ้างถึงใน Lurie, 1998) และกล้วย (Seymour และคณะ, 1996 อ้างถึงใน Lurie, 1998) จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำลบล้างผลของการทำ heat treatment ไปทำให้ไม่พบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองควบคุมกับชุดการทดลองที่ทำการแช่น้ำร้อนทั้ง 2 ชุดการทดลองอย่างชัดเจนเช่นเดียวกับการทดลองในตอนที่ 1

อย่างไรก็ตามพบว่าการทำ heat treatment สามารถลดการเกิด browning เนื่องจาก chilling injury ในพลับ (Lay-Yee และคณะ, 1997) และชะลอการเปลี่ยนสีในมะเขือเทศ (Whitaker, 1994) ในขณะเดียวกันการทำ heat treatment ก็เร่งการเปลี่ยนสีของมะม่วงหลังนำออกมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (McCollum และคณะ, 1993; Ketsa, 2000) ความแตกต่างของการตอบสนองในผลิตผลต่างชนิดกันนี้อาจขึ้นอยู่กับว่า เอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสีของผลิตผลแต่ละชนิดได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ได้รับหรือไม่

2.4 **ปริมาณ** Total chlorophyll

ปริมาณ total chlorophyll ของชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนและชุดการทดลองควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ยกเว้นในวันที่ 27 หรือวันที่ 6 หลังนำออกมาจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ซึ่งผลกล้วยที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที มีปริมาณ total chlorophyll ต่ำกว่าชุดการทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ) ไม่ว่าจะเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C นาน 1, 2 หรือ 3 สัปดาห์ สอดคล้องกับการเปลี่ยนสีของเปลือกกล้วยซึ่งไม่พบความแตกต่างระหว่างการทดลองควบคุมและการทดลองที่ทำการแช่น้ำร้อน เช่นกัน

2.5 **ความแน่นเนื้อของเนื้อกล้วย**

ในชุดการทดลองที่เก็บรักษาผลกล้วยไว้ที่อุณหภูมิ 14°C นาน 1 และ 2 สัปดาห์ อัตราการลดลงของความแน่นเนื้อของชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อน และชุดการทดลองควบคุม ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นผลกล้วยในชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที ซึ่งมีค่าความแน่นเนื้อในวันที่ 24 (วันที่ 10 หลังนำออกจากการการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C เป็นเวลา 2 สัปดาห์) ต่ำกว่าผลกล้วยในอีก 2 ชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ

ในชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C 3 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที สามารถรักษาความแน่นเนื้อไว้ได้นานกว่าการทดลองอื่น และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที มีการลดลงของค่าความแน่นเนื้อเร็วที่สุดและเร็วกว่าการทดลองควบคุม แต่เมื่อผลสุกความแน่นเนื้อของทั้ง 3 การทดลองก็ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่าหลังการเก็บรักษาที่ที่อุณหภูมิ 14°C 3 สัปดาห์ การแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที จะเร่งการนุ่มลงของ

ผลกล้วย

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองในมะม่วงซึ่งพบว่า มะม่วงที่ได้รับ heat treatment หลังจากนำออกจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ จะมีความแน่นเนื้อน้อยกว่าในช่วงแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปก็จะไม่มีความแตกต่างกัน (McCollum และคณะ, 1993; Ketsa, 2000) แต่แตกต่างจากการทดลองของ Lay-Yee และคณะ (1997) ที่พบว่าการแช่น้ำร้อนสามารถรักษาความแน่นเนื้อในพลับได้หลังนำออกมาจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0°C 6.5 สัปดาห์ ซึ่งสันนิษฐานว่าสาเหตุที่การทำ heat treatment สามารถรักษาความแน่นเนื้อในพลับได้นี้ เป็นผลมาจากการลดการเกิด chilling injury

2.5 ปริมาณ Total Soluble Solids (TSS)

ในชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C 1 สัปดาห์ เมื่อผลกล้วยสุก ปริมาณ TSS ของชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที ต่ำกว่าอีก 2 การทดลองเล็กน้อย ในขณะที่ชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C นาน 2 และ 3 สัปดาห์ ปริมาณ TSS ของผลกล้วยแต่ละการทดลองเมื่อผลสุกไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการทดลองในพลับ (Lay-Yee และคณะ, 1997) แต่ในชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C 3 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55°C 2 นาที มีการเพิ่มขึ้นของ TSS เร็วที่สุด และชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที มีการเพิ่มขึ้นของ TSS ช้าที่สุด คล้ายกับการทดลองในมะม่วง (McCollum และคณะ, 1993; Ketsa, 2000) ที่ในระยะแรกหลังจากนำออกมาจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มะม่วงที่ได้รับ heat treatment มีค่า TSS สูงกว่าแต่เมื่อเวลาผ่านไปก็ไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้การทำ heat treatment ยังสามารถยับยั้งการสูญเสีย sucrose ใน muskmelon และเพิ่มปริมาณ sucrose ใน squash ได้อีกด้วย (Lingle และคณะ, 1987; Bycroft และคณะ, 1997 อ้างถึงใน Lurie, 1998)

2.6 activity ของเอนไซม์ PPO ในเปลือกกล้วย

การเกิดสีน้ำตาลในเปลือกกล้วยเนื่องจากสาเหตุต่างๆรวมทั้งการเกิดสีน้ำตาลจาก chilling injury เกิดขึ้นจากการออกซิเดชันของ dopamine โดยเอนไซม์ PPO (Griffiths, 1959) ตามปกติแล้ว activity ของเอนไซม์ PPO ในเปลือกกล้วยจะเพิ่มขึ้นระหว่างการสุก (Montgomery และ Sgarbieri, 1975) ซึ่ง activity ของเอนไซม์ PPO ในการทดลองครั้งนี้ก็มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบปกติเช่นกัน โดยหลังจากนำออกมาจาก

การเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 14°C 1 สัปดาห์ ชุดการทดลองควบคุมมี activity ของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลา เมื่อผลสุกพบว่าชุดการทดลองควบคุมมี activity ของเอนไซม์ PPO สูงที่สุด ในขณะที่ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ55°C 2 นาที มี activity ของเอนไซม์ PPO ต่ำที่สุด

ในชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C 2 สัปดาห์ activity ของเอนไซม์ PPO หลังนำออกมาจากการเก็บรักษาไม่แตกต่างกัน แต่ระหว่างการพัฒนาจนกระทั่งผลสุก ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที มีการเพิ่ม activity ของเอนไซม์ PPO น้อยกว่าการทดลองอื่น และเมื่อผลสุกก็มี activity ของเอนไซม์ PPO ต่ำกว่าการทดลองอื่น แต่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนชุดการทดลองที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 14°C 3 สัปดาห์ ชุดการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50°C 10 นาที มี activity ของเอนไซม์ PPO เมื่อผลสุกต่ำกว่าการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ จากทั้ง 3 ชุดการทดลอง จะเห็นได้ว่าการแช่น้ำร้อนสามารถลด activity ของเอนไซม์ PPO ในผลกล้วยสุกได้ สอดคล้องกับการทดลองของ Larzan และคณะ (1986) ที่ทดลองในมะม่วง และกล้วย (Cano และคณะ, 1997) ซึ่งสันนิษฐานว่าการลด activity ของเอนไซม์ PPO เนื่องจากการทำ heat treatment น่าจะเกิดจากการยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์มากกว่าการ inactivate เนื่องจาก PPO ถูกพิจารณาว่าเป็น heat stable enzyme และการ inactivate จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า 70°C (Park และคณะ, 1980; Galeazzi และคณะ, 1981 อ้างถึงใน Larzan และคณะ, 1986)

2.7 การแสดงออกของยีน *hsp70* ในเปลือกกล้วย

จากการทดลองทำ Northern blot analysis โดยใช้ *hsp70* cDNA ของ *Arabidopsis* เป็น Probe ไม่พบสัญญาณของ *hsp70* mRNA ในตัวอย่างที่ทำการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์ *hsp70* หรือมีการสังเคราะห์ในระดับที่น้อยมากจนไม่สามารถตรวจพบได้ หรืออาจเนื่องจาก Probe ที่ใช้เป็น Probe ที่เตรียมจากยีน *hsp70* ของ *Arabidopsis* ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ homology กับยีน *hsp70* ของกล้วยเพียง 65% ทำให้ Probe จับกับ RNA ได้ไม่สมบูรณ์ Probe จึงถูกล้างออกไปจนหมดเมื่อทำการล้าง membrane ทำให้ไม่เห็นการแสดงออกของ *hsp70* ซึ่งทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองในมะเขือเทศ (Liu และ Shono, 1999) พบว่าเมื่อนำมะเขือเทศที่ผ่านการทำ heat treatment ที่อุณหภูมิ 38°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง มาไว้ที่อุณหภูมิ 25°C ปรากฏว่าระดับ mRNA ของ *Lehsp23.8* ลดลง

จนถึงระดับที่ไม่สามารถตรวจพบได้ภายใน 3 ชั่วโมง แสดงถึงความไวของ heat sensor(s) และระบบควบคุมการ feedback ของ *hsp* เช่นเดียวกับการลดลงอย่างรวดเร็วของ *hsp18.1* mRNA ในถั่ว (DeRocher และคณะ, 1991 อ้างถึงใน Ritenour และคณะ, 2001) และ *hsp70* mRNA ใน spinach (Li และ Guy, 2001) ดังนั้นการลดลงอย่างรวดเร็วของ *hsp70* อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถตรวจพบการแสดงออกของ *hsp70* โดยวิธี Northern blot analysis ในการทดลองครั้งนี้

อย่างไรก็ตามในพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ (Sabehat และคณะ, 1996) และแตงกวา (Lafuente และคณะ, 1991 อ้างถึงใน Lurie, 1998) การทำ heat treatment สามารถกระตุ้นการสร้าง HSPs และพบความสัมพันธ์ระหว่าง HSPs และการทนทานต่ออุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม เช่น ลดความเสียหายจาก chilling injury

อย่างไรก็ตามการทดลองในตอนนี้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ใช้ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 14°C มีอุณหภูมิไม่คงที่ โดยมีสาเหตุจากกระแสไฟฟ้าดับและการคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตู้ควบคุมอุณหภูมิเองในบางขณะ