บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

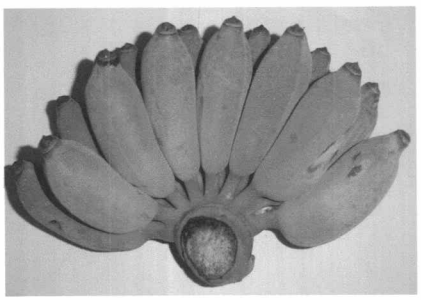
4.1 กำหนดระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าตามดัชนีสีเปลือก

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วย เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงระยะการสุกของกล้วยที่เห็นได้ชัด จึงมีการแบ่งระยะการสุกของกล้วยเป็น 8 ระยะตามดัชนีสีเปลือก (peel colour index, PCI) (CRISO, 1972) เพื่อให้ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย หรือนักวิจัยได้ใช้เป็นมาตรฐานในการระบุระยะการสุกของกล้วยที่นำมาแปรรูป จำหน่าย หรือใช้ในงานวิจัย เนื่องจากกล้วยมีอยู่หลายสายพันธุ์ ซึ่งมีลักษณะและขนาดของผลที่แตกต่างกันไป รวมทั้งเมื่อสุกอาจมีความเข้ม และความสว่างของสีเปลือกที่แตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้ได้เลือกกล้วยน้ำว้าเป็นวัตถุดิบ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงแสดงรูปการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยน้ำว้าตั้งแต่ดิบจนสุก โดยแบ่งระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าเป็น 8 ระยะให้สัมพันธ์กับ PCI (รูปที่ 4.1) เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสีเปลือกของกล้วยน้ำว้าในแต่ละระยะการสุกได้ชัดเจน และนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการระบุระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าที่นำมาทดลอง

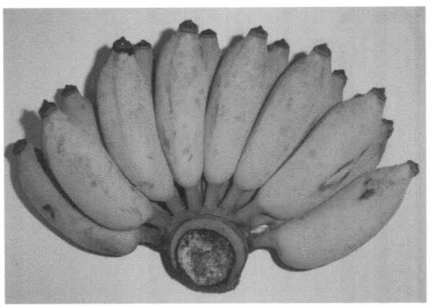
4.2 ตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

เนื่องจากการสุกของกล้วยแบ่งเป็น 8 ระยะการสุกตามดัชนีสีเปลือก ในขั้นตอนนี้จึงตรวจวัดค่าสีเปลือกของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ รวมทั้งศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพอื่นๆ ของกล้วย เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสีเปลือกกับองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพที่ระยะการสุกต่างๆ โดยวัดเป็นช่วงค่าและค่าเฉลี่ย ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

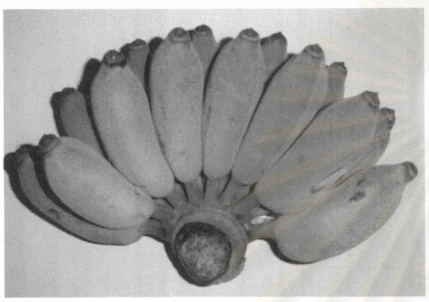
จากผลการตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ (ตารางที่ 4.1) พบว่าเมื่อกล้วยมีระยะการสุกเพิ่มขึ้น กล้วยจะมีค่าสีเปลือก L* a* b* เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ PCI 7 ซึ่งมีค่า L* b* ลดลงเล็กน้อย แต่ไม่แตกต่างกันกับกล้วย PCI 6 อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ค่า L* แสดงถึงค่าความสว่าง เมื่อระยะการสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น เปลือกจะเปลี่ยนจากสีเขียวไปเป็นสีเหลือง ทำให้สีเปลือกมีความสว่างมากขึ้น ส่วนค่า a* ที่เป็นลบแสดงถึงความเป็นสีเขียว และค่า b* ที่มีค่าเป็น + แสดงถึงความเป็นสีเหลือง เมื่อกล้วยสุกมากขึ้น สีเขียวของเปลือกกล้วยลดลง และเห็นสีเหลืองปรากฏชัดขึ้น จึงทำให้ค่า a* และ b* ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น ในกล้วยดิบจะมีทั้งคลอโรฟิลล์และคาโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบ แต่สีเหลืองของคาโรทีนอยด์จะถูกสีเขียวของคลอโรฟิลล์บดบังไว้ เมื่อกล้วยสุกจะเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสีเขียว สีของ



PCI 1



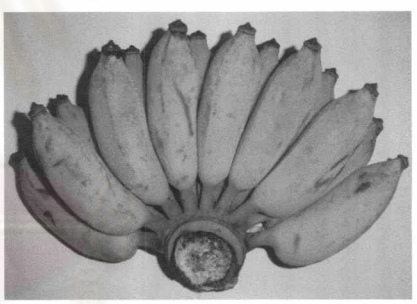
PCI 5



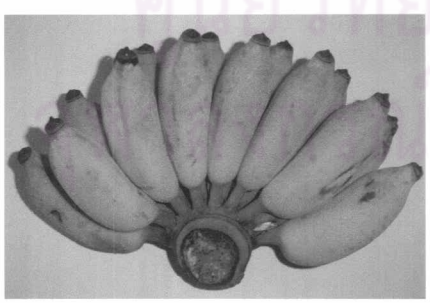
PCI 2

PCI 6

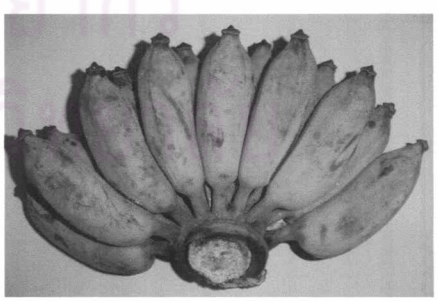
PCI 3



PCI 7



PCI 4



PCI 8

รูปที่ 4.1 ระยะการสุกของกล้วยน้ำว้าตามดัชนีสีเปลือก

* ตำแหน่งที่วัดค่าสีเปลือก L* a* b*

ตารางที่ 4.1 ค่าสีเปลือก[1/] L* a* b* ที่ระยะการสุกต่างๆ ของกล้วยน้ำว้า

ระดับความสุก	L*	a*	b*
PCI 2	54.49^{c}±2.13	-14.91^{c}±1.04	26.28^{c}±0.86
	(53.17-56.95)	(-16.10-(-14.15))	(+25.43-(+27.16))
PCI 3	54.75^{c}±0.23	-14.21^{c}±0.83	27.38^{c}±0.22
	(54.50-54.95)	(-15.08-(-13.43))	(+27.13-(+27.51))
PCI 4	64.47^{b}±1.51	-12.91^{c}±1.07	35.77^{b}±1.16
	(62.74-65.49)	(-14.02-(-11.89))	(+34.58-(+36.90))
PCI 5	70.49^{a}±0.63	-3.87^{b}±1.71	37.33^{b}±3.58
	(69.91-71.16)	(-5.70-(-2.32))	(+33.95-(+41.09))
PCI 6	71.77^{a}±1.07	-2.42^{ab}±0.85	43.19^{a}±3.52
	(71.04-73.00)	(-3.21-(-1.52))	(+40.51-(+47.18))
PCI 7	71.49^{a}±0.43	-0.60^{a}±0.83	41.76^{a}±2.04
	(71.15-71.98)	(-1.56-(-0.03))	(+39.41-(+42.97))

[1/] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าในวงเล็บ หมายถึง ช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุด

คาโรทีนอยด์ซึ่งมีสีเหลืองจึงปรากฏให้เห็น โดยที่ปริมาณของคาโรทีนอยด์ตั้งแต่ดิบจนสุกค่อนข้างคงที่ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

จากผลการตรวจวัดความแน่นแข็งและปริมาณความชื้นของกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ (ตารางที่ 4.2) พบว่าเมื่อระยะการสุกของกล้วยเพิ่มขึ้น กล้วยจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากจะเกิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากเปลือกมาสู่เนื้อกล้วย ทำให้กล้วยมีเนื้อสัมผัสนิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความแน่นแข็งที่ลดลง เนื่องจากเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นเซลล์เนื้อเยื่อจะอ่อนตัวลง ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารที่เป็นโครงสร้างเซลล์ได้แก่ เพคติน เนื่องมาจากการทำงานของเอนไซม์ polygalacturonase และ pectin esterase (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของกล้วยน้ำว้า[1/] ที่ระยะการสุกต่างๆ

ระดับความสุก	ความแน่นแข็ง (g)	ความชื้น (%น้ำหนักเปียก)	pH	ปริมาณกรด (%ในรูปกรดซิตริก)
PCI 2	485.54[a]±45.54	62.39[f]±0.29	6.0[a]±0.0	0.28[e]±0.00
	(441.81-532.70)	(62.19-62.73)	(5.9-6.0)	(0.28-0.29)
PCI 3	106.35[b]±12.91	63.82[e]±0.18	5.6[b]±0.0	0.30[d]±0.00
	(91.60-115.60)	(63.65-64.01)	(5.6-5.7)	(0.30-0.31)
PCI 4	50.99[c]±12.46	64.83[d]±0.19	4.9[c]±0.0	0.37[b]±0.00
	(40.55-64.79)	(64.69-65.04)	(4.8-4.9)	(0.36-0.37)
PCI 5	30.14[c]±2.07	66.43[c]±0.30	4.5[e]±0.0	0.44[a]±0.01
	(28.25-32.36)	(66.12-66.71)	(4.5)	(0.43-0.45)
PCI 6	26.18[c]±1.16	67.39[b]±0.16	4.6[e]±0.0	0.33[c]±0.01
	(25.04-27.36)	(67.21-67.50)	(4.5-4.6)	(0.32-0.34)
PCI 7	23.40[c]±0.86	69.71[a]±0.74	4.7[d]±0.0	0.30[d]±0.00
	(22.71-24.36)	(68.87-70.24)	(4.6-4.7)	(0.30-0.31)

[1/] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าในวงเล็บหมายถึง ช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุด

เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณกรด (ในรูปของกรดซิตริก) (ตารางที่ 4.2) พบว่า กล้วยน้ำว้าจะมีค่า pH ลดลงในช่วงกล้วยดิบจนถึงเริ่มสุก (PCI 2-5) และจะมี pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงกล้วยสุก (PCI 6-7) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณกรด ซึ่งเพิ่มขึ้นในช่วงกล้วยดิบถึงกล้วยเริ่มสุก และลดลงในช่วงกล้วยสุก กรดมีบทบาทสำคัญในการให้รสชาติของผลไม้ เมื่อผลไม้สุกกรดจะลดลงทำให้รสชาติดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามกล้วยน้ำว้าเมื่อสุกก็ยังมีปริมาณกรดค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยชนิดอื่นเช่น กล้วยหอม จึงทำให้มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย (เบญมาศ ศิลาย้อย, 2538)

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (%TSS) (ตารางที่ 4.3) พบว่าเมื่อกล้วยสุกมากขึ้น จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งจะถูก hydrolyse เปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ %TSS ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ส่วนใหญ่ในกล้วยก็คือ น้ำตาล ดังนั้นเมื่อกล้วยสุกมากขึ้นจึงมีความหวานมากขึ้น

ตารางที่ 4.3 %TSS และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของกล้วยน้ำว้า[1/] ที่ระยะการสุกต่างๆ

ระดับความสุก	%TSS (°Brix)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(%)
PCI 3	12.3^{e} ±0.2	[2/]
	(12.2-12.5)	
PCI 4	18.2^{d} ±0.0	[2/]
	(18.2-18.3)	
PCI 5	23.7^{c} ±0.1	17.41^{c} ±0.05
	(23.6-23.8)	(17.35-17.44)
PCI 6	24.3^{b} ±0.0	20.43^{b} ±0.15
	(24.3-24.4)	(20.30-20.60)
PCI 7	24.9^{a} ±0.1	21.84^{a} ±0.18
	(24.8-25.0)	(21.65-22.00)

[1/] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

[2/] ไม่ได้วิเคราะห์

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ค่าในวงเล็บหมายถึง ช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุด

จากการทดลองในข้อ 4.2 นี้จึงสรุปได้ว่ากล้วยที่มีระยะการสุกแตกต่างกัน จะมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเฉพาะปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน อาจส่งผลทำให้สีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์เป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ (ปฏิกิริยามายล์ลาร์ด) ดังนั้นระยะการสุกของกล้วยน่าจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ได้ และในการผลิตกล้วยตากนั้นนิยมใช้กล้วยที่สุกมาผลิต จึงได้เลือกกล้วย PCI 5, 6 และ 7 มาทำการทดลองในขั้นต่อไป

4.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง

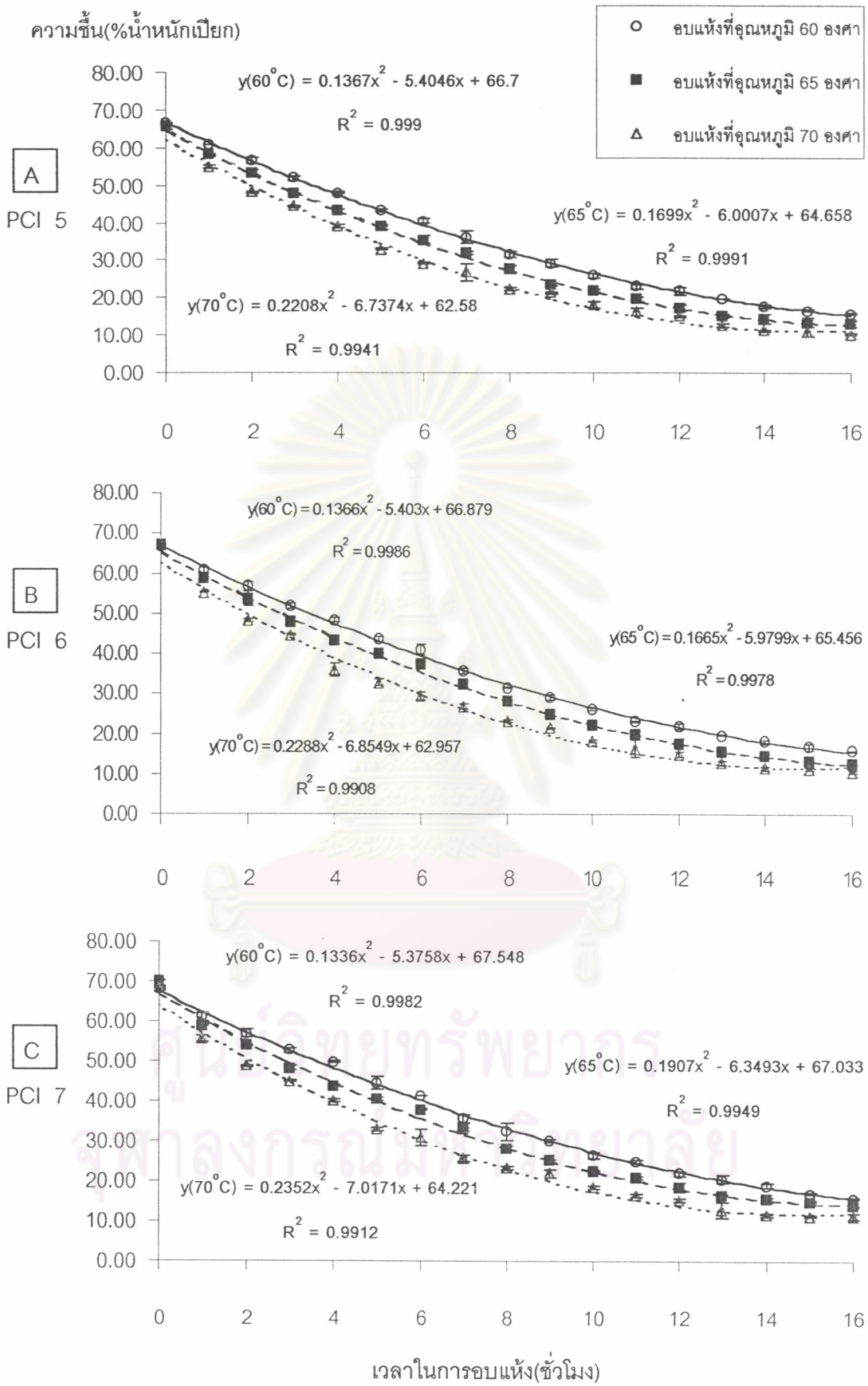
ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกระยะการสุกของกล้วย และอุณหภูมิในการอบแห้งกล้วยที่เหมาะสม

4.3.1 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิในการอบแห้งต่อเวลาในการอบแห้งกล้วยด้วยตู้อบลมร้อน

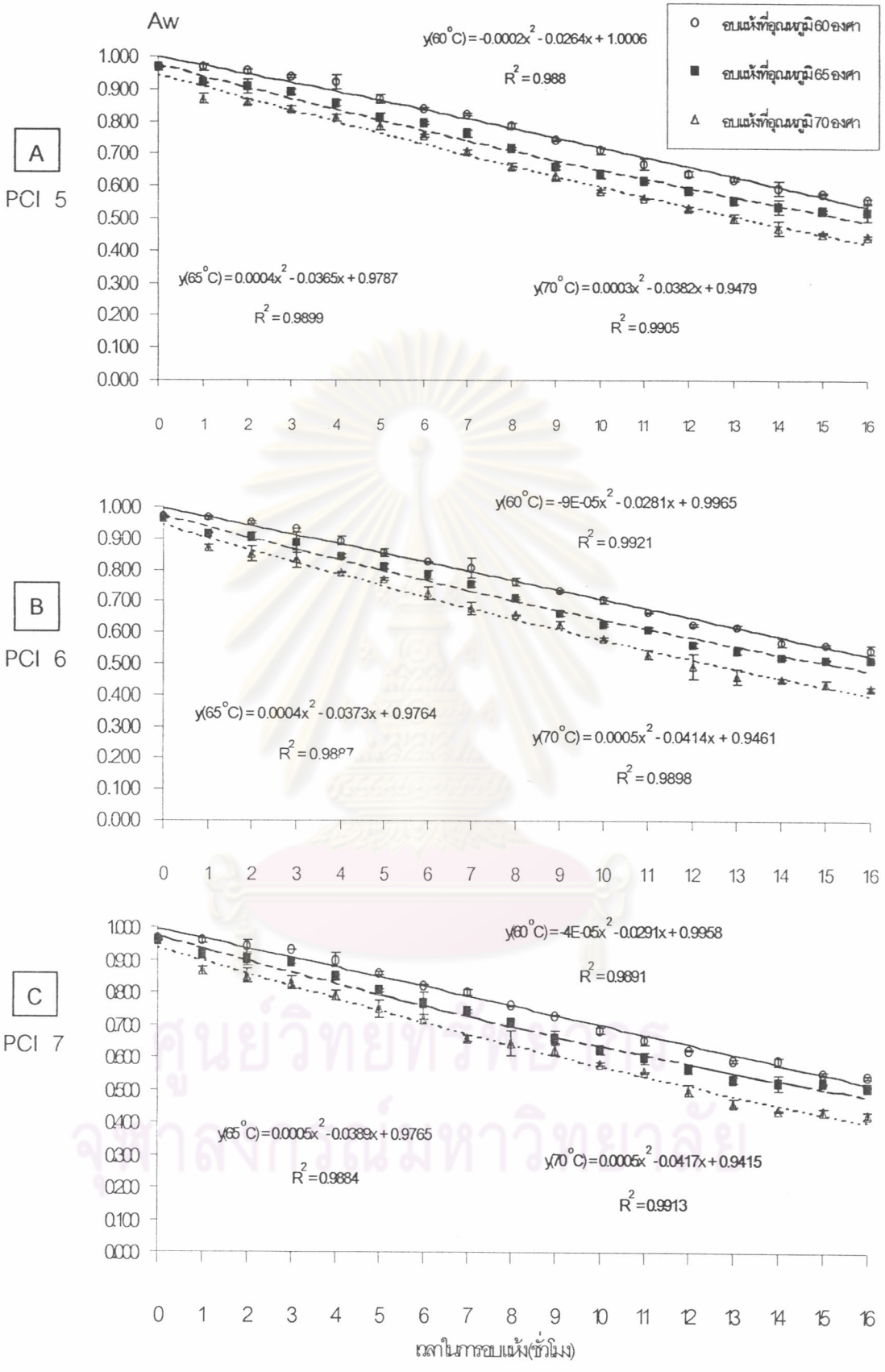
โดยในช่วงแรกได้หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่มีปริมาณความชื้นไม่เกิน 21 % ตามที่มอก.กล้วยอบ (มอก.586/2528) กำหนดไว้ และต้องมี Aw ไม่เกิน 0.65 เพื่อป้องกันการเจริญของยีสต์และรา ตัวแปรที่ศึกษาคือ ระยะการสุก ซึ่งแปรเป็น 3 ระดับคือ PCI 5,6 และ 7 และอุณหภูมิ ซึ่งแปรเป็น 3 ระดับคือ 60 °C, 65 °C และ 70 °C เมื่อนำปริมาณความชื้นและค่า Aw ของกล้วยที่เวลาในการอบแห้งต่างๆ ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า Aw ที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา โดยวิธี multiple regression ในรูปของสมการกำลังสอง จะได้กราฟการอบแห้งของกล้วยที่ระยะการสุกและอุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.2A-4.2C และรูปที่ 4.3A-4.3C

จากกราฟความสัมพันธ์และสมการที่ได้ สามารถคำนวนหาเวลาในการอบแห้งที่เหมาะสมได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน (ตารางที่ 4.4) พบว่ากล้วย PCI 5, 6 และ 7 จะใช้เวลาในการอบแห้งใกล้เคียงกัน เวลาในการอบแห้งจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งต่างกัน ซึ่งแสดงว่าอุณหภูมิในการอบแห้งที่แตกต่างกันจะมีผลต่อเวลาในการอบแห้งกล้วยมากกว่าระยะการสุกของกล้วยที่แตกต่างกัน โดยเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C, 65 °C และ 70 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 13, 11 และ 9 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 70 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะเร่งการระเหยของน้ำในผลิตภัณฑ์ ทำให้มีอัตราการอบแห้งมากกว่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของค่า Aw ที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาในการอบแห้ง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งที่เวลาดังกล่าวจะมีค่า Aw น้อยกว่า 0.65 ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (%) กับเวลาในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า PCI 5 (A), PCI 6 (B) และ PCI 7 (C) ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Aw กับเวลาในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า PCI 5 (A), PCI 6 (B) และ PCI 7(C) ที่อุณหภูมิต่างๆ

ตารางที่ 4.4 เวลาที่ใช้ในการอบแห้งกล้วยด้วยวิธีการทำแห้งแบบลมร้อน และค่า Aw ณ เวลาที่กล้วยมีความชื้น 21 %

ภาวะในการอบแห้ง		เวลาในการอบแห้งกล้วย	เวลาที่ใช้อบกล้วย	ค่า Aw ณ เวลาที่
ระยะการสุก (PCI)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	จนมีความชื้น 21% (ชั่วโมง)	จนมี Aw 0.650 (ชั่วโมง)	กล้วยมีความชื้น 21%
5	60	12.25	12.16	0.647
	65	10.25	10.13	0.647
	70	8.59	8.35	0.642
6	60	12.34	12.07	0.642
	65	10.51	9.78	0.629
	70	8.58	7.91	0.628
7	60	12.61	11.70	0.622
	65	10.67	9.57	0.618
	70	8.69	7.70	0.617

4.3.2 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพ

เมื่อได้เวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งแล้ว จึงอบแห้งกล้วยที่เวลาดังกล่าว แล้วตรวจวัดสมบัติทางเคมีและกายภาพของกล้วยตากที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ปริมาณความชื้น Aw เนื้อสัมผัส และค่าสี L* a* b* โดยจะวัดเนื้อสัมผัสเป็นค่าแรงตัดขาด โดยวัดในหน่วย N (นิวตัน) ค่าแรงตัดขาดจะบ่งบอกถึงลักษณะของเนื้อสัมผัสว่ามีความนิ่มหรือความแข็งมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าแรงตัดขาดมากแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่แข็งมาก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าที่ได้กับผลิตภัณฑ์กล้วยตากทางการค้าซึ่งมีทั้งแบบแบน (อบแล้วทับให้แบน) และแบบกลม (อบทั้งลูก) โดยนำกล้วยตากแบบแบน 8 ยี่ห้อ และกล้วยตากแบบกลม 3 ยี่ห้อ มาวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.6

จากการตรวจวัดปริมาณความชื้น ค่า Aw และเนื้อสัมผัสของกล้วยตากที่ผลิตได้ (ตารางที่ 4.5) พบว่ากล้วยตากที่ผลิตได้มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 19.77% - 20.97% ซึ่งไม่เกินจากที่มอก.กล้วยอบ (มอก.586/2528) กำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาค่า Aw พบว่ามีค่าต่ำกว่า 0.65 ทำให้ช่วยป้องกันการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ซึ่งแสดงว่ากล้วยตากที่ผลิตได้น่าจะมีอายุการเก็บรักษามากกว่ากล้วยตากทางการค้า เนื่องจากเมื่อนำกล้วยตากที่ผลิตได้เปรียบเทียบคุณภาพกับกล้วยตากทางการค้า (ตารางที่ 4.6) พบว่ากล้วยตากทางการค้ามีปริมาณความชื้นและค่า Aw

สูงกว่ากล้วยตากที่ได้จากการทดลอง และเกินจากที่มาตรฐานกำหนดไว้ อาจเนื่องมาจากกล้วยตากที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีการชุบน้ำผึ้งหลังจากอบแห้งแล้ว ทำให้กล้วยดูดซับน้ำผึ้งไว้ ซึ่งการที่มีปริมาณน้ำที่สูงกว่าก็สอดคล้องกับผลของค่าแรงตัดขาด (ตารางที่4.5 และรูปที่ 4.4) ซึ่งพบว่ากล้วยตากทางการค้ามีค่าแรงตัดขาดที่ต่ำกว่า นั่นคือมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Phoungchandang และ Woods (2000) ที่ทำการอบแห้งกล้วยน้ำว้าทั้งลูกด้วยตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิ 59.1 °C ในการอบแห้ง กล้วยตากที่อบได้มีปริมาณความชื้น 19.6% (น้ำหนักเปียก) และมีค่า Aw 0.64 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นกับกล้วยตากทางการค้า 5 ชนิด ทั้งแบบที่มีการชุบน้ำผึ้งและไม่ชุบ พบว่ากล้วยตากทางการค้ามีความชื้นและค่า Aw สูงกว่า โดยอยู่ในช่วง 22.1% - 25.7% และมีค่า Aw อยู่ในช่วง 0.68-0.71 ซึ่งอาจทำให้กล้วยตากเสื่อมเสียได้เร็วกว่า

เมื่อพิจารณาค่าสี L* a* b* (ตาราง 4.5 และรูปที่ 4.5-4.7) พบว่าเมื่อกล้วยมีระยะการสุกเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กล้วยตากที่ได้มีสีน้ำตาลมากขึ้น เนื่องมาจากเมื่อกล้วยสุกเพิ่มขึ้น จะมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลประเภทปฏิกิริยามายล์ลาร์ดเพิ่มมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้กล้วยตากเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเร่งการเกิดปฏิกิริยามายล์ลาร์ดให้เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นก็ยังส่งผลต่อเนื้อสัมผัส โดยกล้วยตากที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า เนื่องมาจากเกิดการเคลื่อนที่ของของแข็งที่ละลายได้ โดยน้ำที่บริเวณผิวนอกของผลิตภัณฑ์จะระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ส่วนน้ำที่อยู่ภายในเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวไม่ทัน ทำให้ผิวข้างนอกจึงแห้งแข็ง (case hardening) เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของกล้วยตากที่ได้จากการทดลองกับกล้วยตากทางการค้าพบว่า กล้วยตากทางการค้าเกิดสีน้ำตาลมากกว่า คือ มีค่า L*, b* น้อยกว่า และมีค่า a* มากกว่า เนื่องมาจากกล้วยตากทางการค้าอาจมีการชุบน้ำผึ้ง สีของกล้วยตากจึงมีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ทำให้ค่าความสว่างลดลง นอกจากนี้การที่มีปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดปฏิกิริยามายลล์ร์ดเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษาด้วย อย่างไรก็ตามต้องมีการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสเพื่อเลือกว่าผลิตภัณฑ์ใดได้รับการยอมรับมากที่สุด

ตารางที่ 4.5 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อน ต่อปริมาณความชื้น ค่า Aw เนื้อสัมผัส และค่าสีของกล้วยตากที่ได้จากการทดลอง

PCI	อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	ปริมาณความชื้น^{ns} (%น้ำหนักเปียก)	Aw^{ns}	เนื้อสัมผัส	ค่าสี		
				ค่าแรงตัดขาด (N)	L*	a*	b*
5	60	20.67±0.64	0.63±0.01	34.06^{c}±1.51	57.93^{a}±1.38	5.55^{e}±0.54	22.25^{a}±0.17
	65	20.62±0.75	0.63±0.01	40.01^{b}±1.25	57.36^{a}±2.08	6.50^{de}±0.66	21.71^{a}±0.59
	70	19.77±0.70	0.62±0.00	48.94^{a}±1.21	53.81^{b} ±2.19	7.50^{bcd}±0.74	20.38^{a} ±0.75
6	60	20.97±0.88	0.62±0.01	33.96^{c}±2.09	52.60^{b}±2.42	6.94^{cde}±0.69	21.19^{a} ±1.85
	65	20.09±0.17	0.62±0.00	39.56^{b}±0.55	52.50^{b}±1.42	8.00^{abc}±0.44	22.13^{a}±0.63
	70	19.93±0.64	0.62±0.01	48.14^{a}±1.24	50.23^{b}±2.32	9.17^{a}±1.20	15.28^{b} ±1.84
7	60	20.31±1.59	0.62±0.01	32.41^{c} ±2.54	51.05^{b}±1.12	7.57^{bcd}±0.60	21.35^{a}±0.46
	65	20.86±0.72	0.62±0.01	38.57^{b} ±1.07	50.16^{b}±1.66	9.08^{a}±0.38	20.75^{a}±0.68
	70	20.36±0.46	0.62±0.01	47.75^{a} ±1.37	45.52^{c}±2.73	8.96^{ab}±1.30	15.52^{b}±1.35

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

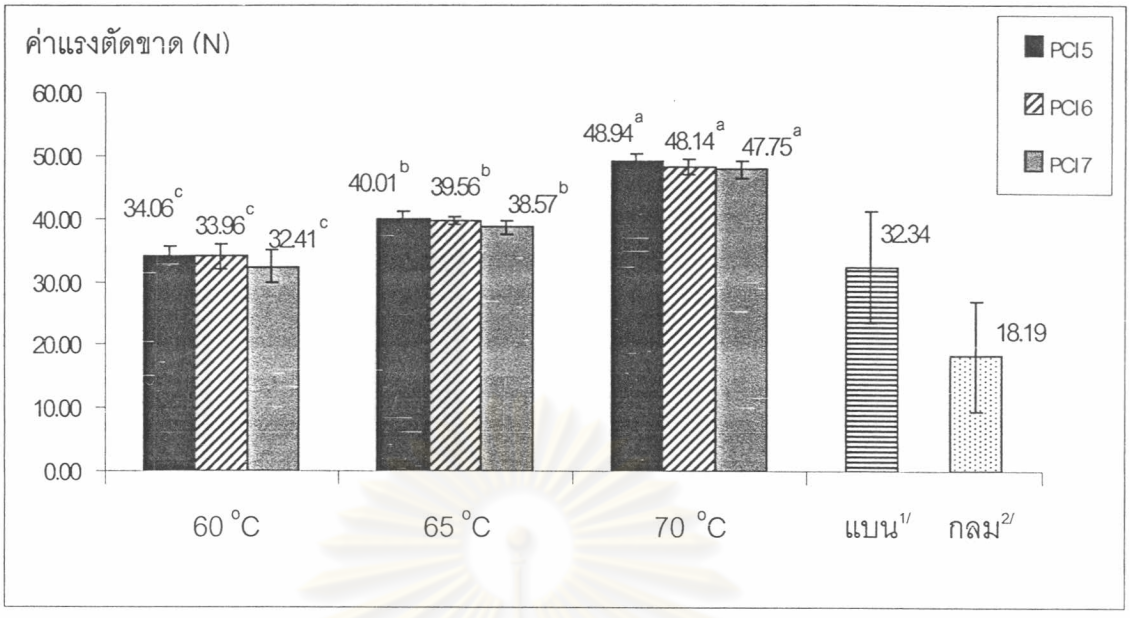
ตารางที่ 4.6 สมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยตากทางการค้า

ลักษณะ	ความชื้น(%)	Aw	ค่าแรงตัดขาด (N)	สี		
กล้วยตาก				L*	a*	b*
แบบแบน[1/]	26.67±1.95	0.69±0.04	32.34±8.76	36.23±1.34	10.18±1.17	12.76±1.78
	(24.15 - 30.41)	(0.65 - 0.76)	(22.17 - 45.94)	(33.85 - 37.93)	(9.02 - 12.67)	(8.89 - 14.61)
แบบกลม[2/]	31.45±2.14	0.71±0.07	18.19±8.74	36.61±1.36	10.24±0.69	11.80±2.89
	(29.26 - 33.54)	(0.66 - 0.79)	(9.79 - 27.23)	(35.14 - 37.83)	(9.49 - 10.86)	(8.98 - 14.75)

[1/] หมายถึง กล้วยตากที่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 8 ยี่ห้อ

[2/] หมายถึง กล้วยตากที่อบทั้งลูก โดยไม่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 3 ยี่ห้อ

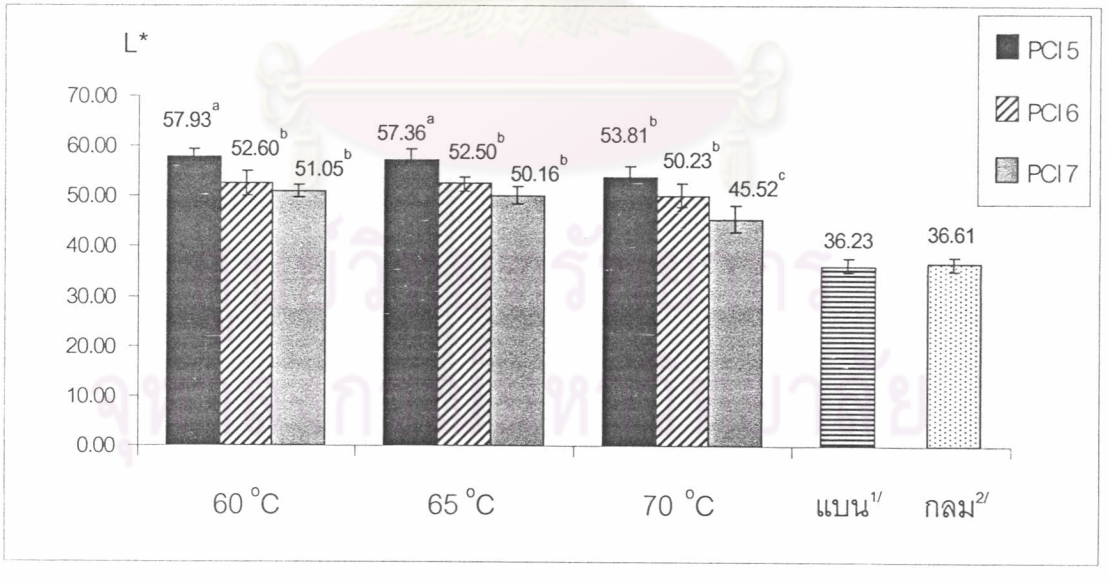
ค่าในวงเล็บหมายถึง ช่วงค่าต่ำสุด-สูงสุด



รูปที่ 4.4 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อเนื้อสัมผัส (ค่าแรงตัดขาด) ของกล้วยตากที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กล้วยตากทางการค้า

1/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 8 ยี่ห้อ

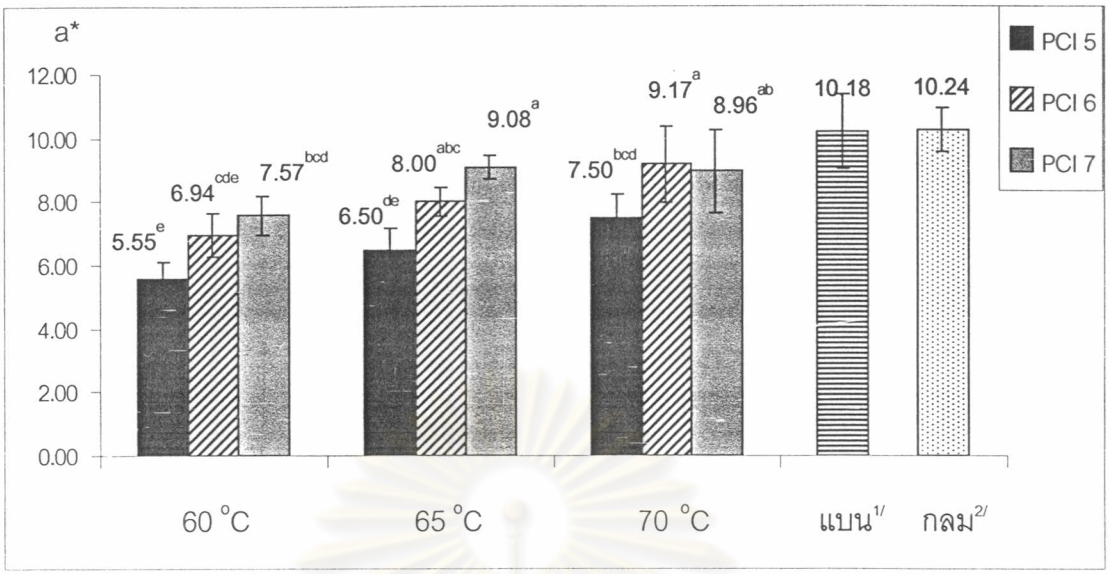
2/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่อบทั้งลูก โดยไม่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 3 ยี่ห้อ



รูปที่ 4.5 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสี L* ของกล้วยตากที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กล้วยตากทางการค้า

1/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 8 ยี่ห้อ

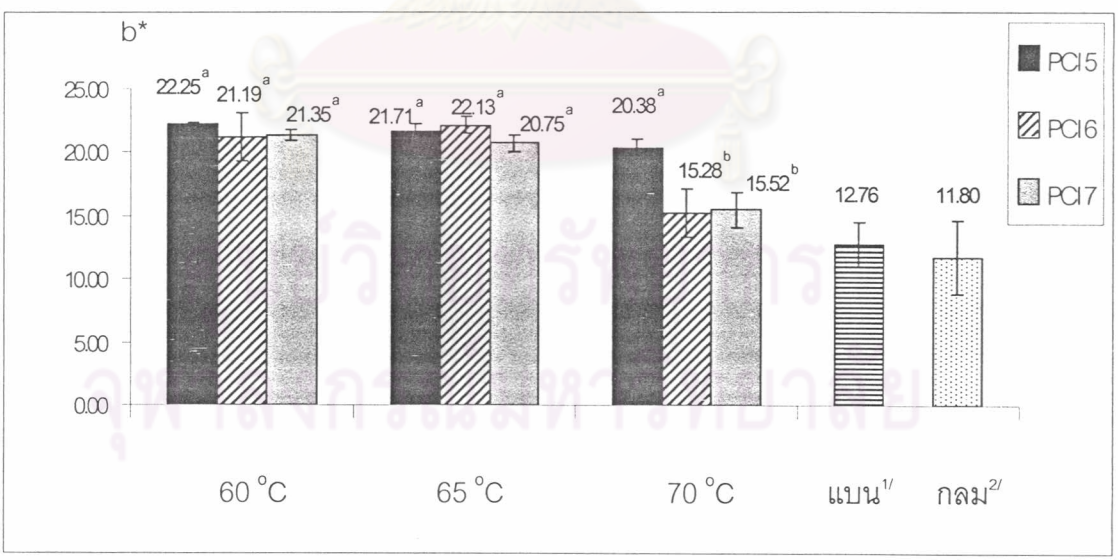
2/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่อบทั้งลูกโดยไม่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 3 ยี่ห้อ



รูปที่ 4.6 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสี a* ของกล้วยตากที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กล้วยตากทางการค้า

1/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 8 ยี่ห้อ

2/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่อบทั้งลูก โดยไม่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 3 ยี่ห้อ



รูปที่ 4.7 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสี b* ของกล้วยตากที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กล้วยตากทางการค้า

1/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่มีการทับให้แบน ซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 8 ยี่ห้อ

2/ หมายถึง กล้วยตากทางการค้าที่อบทั้งลูก โดยไม่มีการทับให้แบนซึ่งวิเคราะห์จากตัวอย่าง 3 ยี่ห้อ

ในการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสนั้น ได้นำผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C และ 65 °C มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยคุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏหมายถึงการเหี่ยวย่นของผลิตภัณฑ์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 °C นั้น ไม่ได้นำมาประเมินเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะที่แห้งแข็ง ไม่น่ารับประทาน จากผลการประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม (ตารางที่ 4.7) พบว่ากล้วยตากที่ผลิตจากกล้วยน้ำว้า PCI 7 และอบที่อุณหภูมิ 60 °C ได้รับคะแนนการยอมรับในด้านต่างๆ มากที่สุด โดยผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยอุณหภูมิ 60 °C มากกว่าที่ 65 °C อาจเนื่องมาจากกล้วยตากที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 65 °C มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า และผู้บริโภคให้คะแนนการยอมรับกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วยที่มีระยะการสุกมากกว่า อาจเนื่องมาจากกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วย PCI 5 เป็นกล้วยเพิ่งเริ่มสุก และมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยกว่ากล้วย PCI 6 และ 7 ทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผลิตได้มีสีเหลืองซีด มีรสหวานเพียงเล็กน้อย รวมทั้งมีกลิ่นหอมของกล้วยตากน้อย ส่วนกล้วยตากที่ผลิตจากกล้วย PCI 7 เป็นกล้วยสุกเต็มที่ ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่า จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผลิตได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล น่ารับประทาน มีรสหวานมากกว่า อีกทั้งยังมีกลิ่นรสหอมกว่าด้วย

เมื่อพิจารณาค่าสี L* a* b* ลักษณะเนื้อสัมผัส และคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งคือ กล้วย PCI 7 อุณหภูมิในการอบแห้งคือ 60 °C เวลาอบแห้ง 13 ชั่วโมง จึงเลือกภาวะนี้มาทำการทดลองในขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลของระยะการสุกของกล้วยและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยตาก ทดสอบโดยใช้ hedonic scale (9-score)

PCI	อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส^{ns}	การยอมรับรวม
5	60	$4.87^{c}\pm1.74$	$4.63^{d}\pm1.35$	$6.13^{ab}\pm1.44$	5.43 ± 1.41	$5.78^{b}\pm1.39$
	65	$4.97^{c}\pm1.49$	$4.93^{d}\pm1.33$	$5.35^{c}\pm1.64$	5.30 ± 1.40	$5.25^{b}\pm1.64$
6	60	$6.25^{b}\pm1.39$	$6.28^{b}\pm1.52$	$6.50^{a}\pm1.24$	5.78 ± 1.53	$6.30^{a}\pm1.40$
	65	$5.30^{c}\pm1.45$	$5.53^{c}\pm1.38$	$5.62^{bc}\pm1.46$	5.43 ± 1.22	$5.62^{b}\pm1.31$
7	60	$6.90^{a}\pm1.45$	$6.95^{a}\pm1.47$	$6.60^{a}\pm1.26$	5.92 ± 1.46	$6.62^{a}\pm1.17$
	65	$5.85^{b}\pm1.42$	$5.78^{bc}\pm1.49$	$5.95^{b}\pm1.40$	5.70 ± 1.40	$5.78^{b}\pm1.46$

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4 การศึกษาสมบัติของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้า

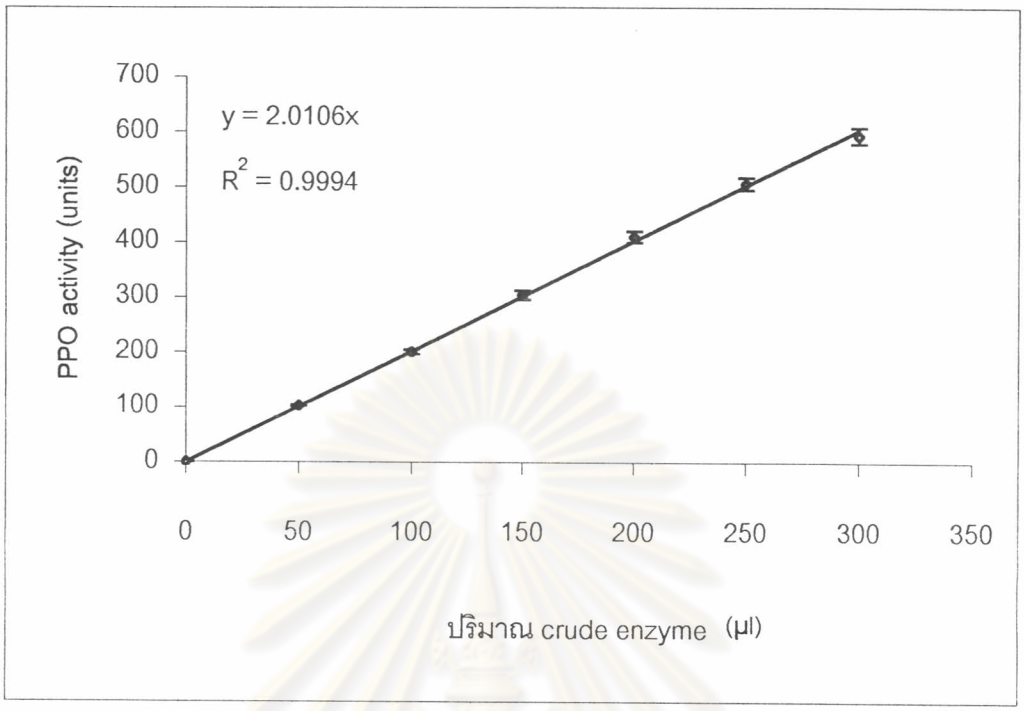
จากผลการทดลองตรวจพบ PPO ในกล้วยน้ำว้า พบว่ามี activity 3,351±269 units/mg protein ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในขั้นตอนการปอกและหั่นผลไม้ เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเอนไซม์ PPO จะ catalyse การออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลในกล้วยไปเป็น *o*-quinone โดย *o*-quinone ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้สารสีน้ำตาล จึงอาจทำให้ผลไม้ในขั้นเตรียมวัตถุดิบมีสีน้ำตาลคล้ำ และอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีสีน้ำตาลคล้ำ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงสมบัติในด้านต่าง ๆ ของ PPO ในกล้วย เพื่อที่จะได้ใช้เป็นแนวทางในการหาวิธีการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวต่อไป

การศึกษาสมบัติของ crude PPO ในกล้วย จะเตรียม crude enzyme ตามวิธีการในข้อ 3.2.4.1.1 ก่อนนำมาศึกษาสมบัติในด้านต่างๆ ดังนี้

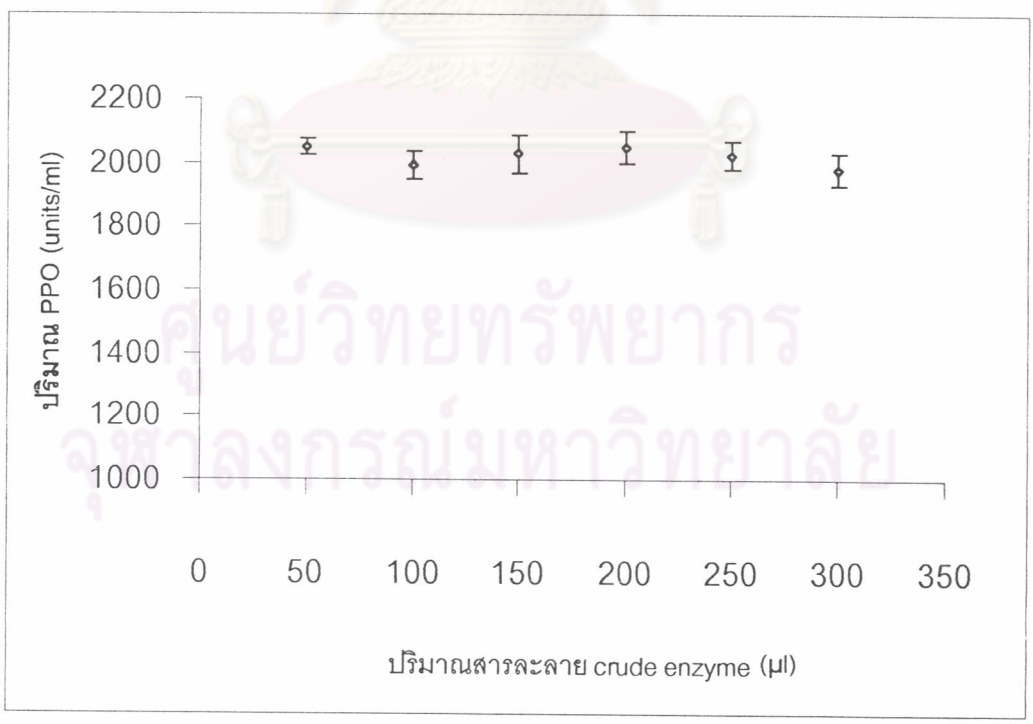
4.4.1 การศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ crude enzyme กับ substrate

ในการศึกษา activity ของเอนไซม์ ระบบที่ใช้ศึกษาจะต้องมีปริมาณ substrate ที่มากเกินพอ เพื่อให้การวัด activity ของเอนไซม์เป็นไปอย่างถูกต้อง (Scopes, 1994) ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ crude enzyme กับสารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลาย phosphate buffer pH 7.0 ซึ่งใช้เป็น substrate (ตามวิธีการในข้อ 3.2.4.2.1) ที่อุณหภูมิ 25 °C

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.8) จะเห็นว่าเมื่อใช้ crude enzyme ในปริมาณที่มากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (linear increase) มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9994 จากความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อคำนวณ PPO activity ที่ได้ในรูปของ units/ml ของ crude enzyme แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับปริมาณ crude enzyme ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (รูปที่ 4.9) เพื่อกำจัดความแตกต่างอันเนื่องมาจากปริมาณ crude enzyme ที่ใช้ พบว่าปริมาณ crude enzyme ที่เลือกใช้ในการทดลองไม่มีผลต่อปริมาณ PPO activity ที่ตรวจพบ แสดงว่าสภาวะที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณ substrate มากเกินพอ ทำให้ PPO activity ในรูปของ units/ml ของ crude enzyme ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกใช้ crude enzyme จำนวน 0.20 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.2 M (pH 7.0) จำนวน 2.80 มิลลิลิตร ในการศึกษาสมบัติของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้าต่อไป



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ crude enzyme และ PPO activity

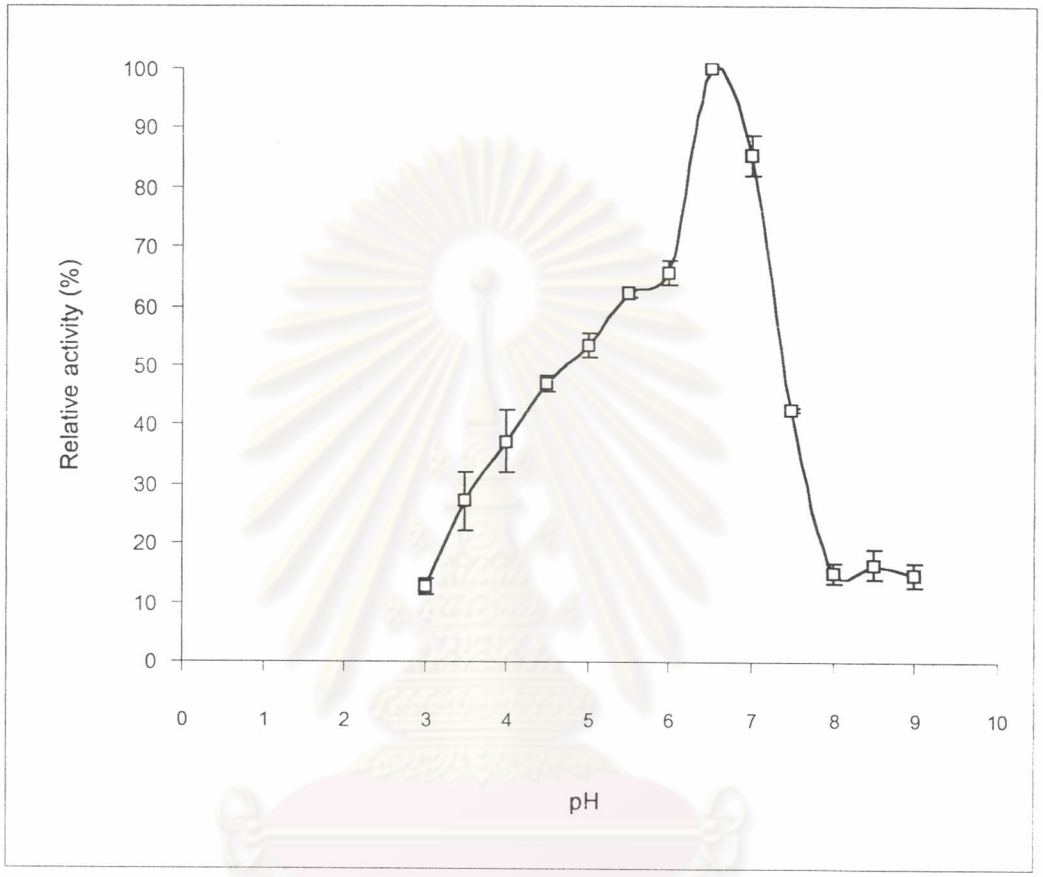


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ crude enzyme และ PPO activity ต่อมิลลิลิตรของ crude enzyme

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 การศึกษา optimum pH ของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้า

นำ crude enzyme ที่สกัดได้มาศึกษา optimum pH ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยแปรค่า pH ในช่วง 3.0-9.0 (วิธีการในข้อ 3.2.3.2.2) วิเคราะห์ PPO activity ที่ pH ต่าง ๆ แล้วคำนวณค่าที่ได้เป็น relative activity ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 pH activity profile ของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ต่าง ๆ เป็น substrate

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.10) พบว่า crude PPO ในกล้วยน้ำว้ามี optimum pH อยู่ที่ pH 6.5 โดย optimum pH จะเป็น pH ที่ enzyme มี activity สูงที่สุด เมื่อระบบมี pH มากหรือน้อยกว่า optimum pH ของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์มี activity ลดลง ดังผลการทดลอง (รูปที่ 4.10) ที่พบว่า crude PPO ในกล้วยน้ำว้าจะมี activity เหลืออยู่ 37.24 % ที่ pH 4.0 และเหลืออยู่ 14.59 % ที่ pH 9.0 ทั้งนี้เพราะ pH มีผลต่อการเกิด ionization ของ prototropic groups ที่บริเวณ active site ของเอนไซม์ ซึ่งจะทำหน้าที่จับกับ substrate หรือเปลี่ยน substrate ให้เป็นผลิตภัณฑ์ (Whitaker, 1972) ดังนั้น pH ที่เปลี่ยนแปลงไปจึงมีผลต่อ

การจับ substrate ของเอนไซม์ จากการทดลองจะเห็นว่าเอนไซม์มี activity สูงสุดที่ช่วง pH 6.5 - 7.0 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang และคณะ (2000) ที่ศึกษา optimum pH ใน PPO บริสุทธิ์ ที่สกัดจากกล้วย (*Musa sapientum* Linn.) โดยมี substrate เป็นสารละลาย dopamine ซึ่งพบว่ามี optimum pH อยู่ที่ pH 6.5

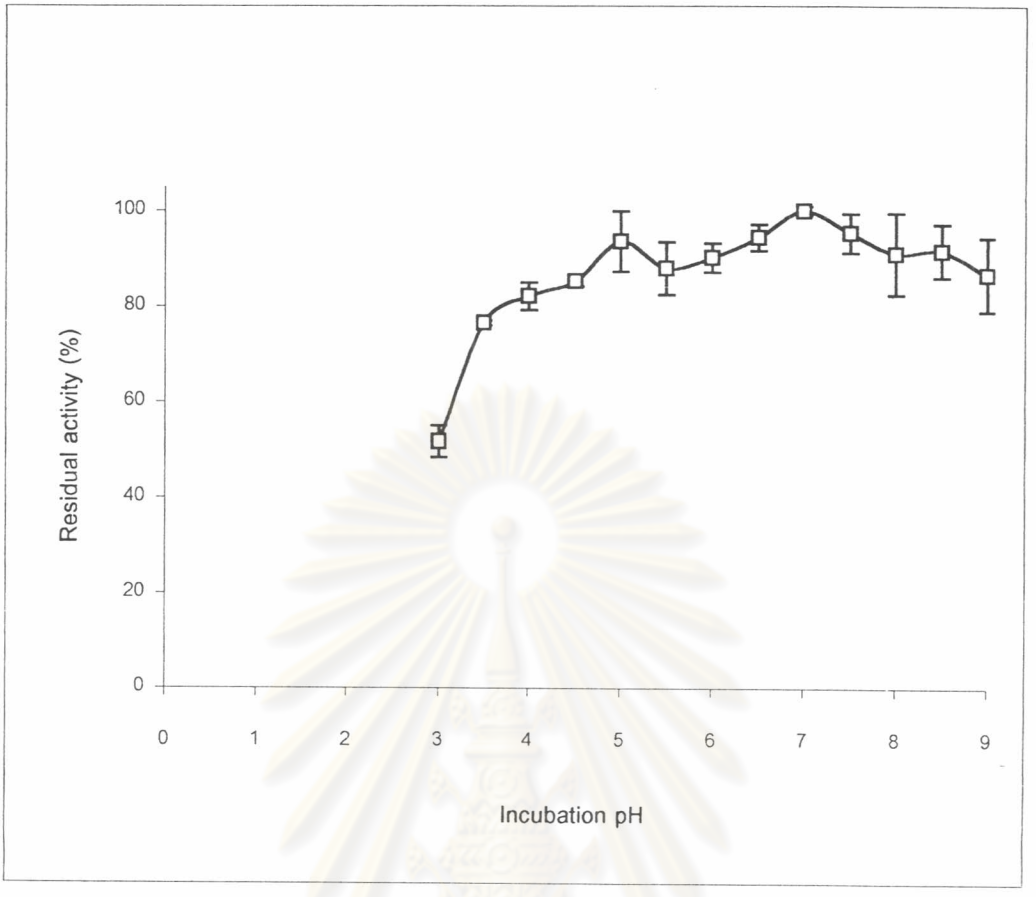
การทดลองขั้นต่อไปเลือกใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เพื่อเป็น substrate สำหรับศึกษาสมบัติของ crude PPO

4.4.3 การศึกษา pH stability ของ crude PPO

นำ crude enzyme ที่สกัดได้ มาศึกษา pH stability โดยบ่ม crude enzyme ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH ในช่วง 3.0 - 9.0 ที่อุณหภูมิ 0 °C เป็นเวลา 30 นาที ก่อนนำมาวิเคราะห์ PPO activity ที่อุณหภูมิ 25 °C แล้วคำนวณค่าที่ได้เป็น residual activity เทียบกับ crude enzyme ที่ไม่ได้บ่ม ตามวิธีการในข้อ 3.2.4.2.3 โดยใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เป็น substrate

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.11) จะพบว่า เอนไซม์ยังมี activity เหลืออยู่ > 80% เมื่อบ่มในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ช่วง pH 4.0-9.0 อุณหภูมิ 0 °C เป็นเวลา 30 นาที และ PPO activity จะลดลงที่ pH < 4 โดย crude enzyme จะมีเสถียรภาพที่ pH 7.0 ดีกว่า pH ช่วงอื่น ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ pH จะมีผลต่อ secondary, tertiary และ quaternary structure ของโปรตีน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนโครงรูปสามมิติ ซึ่งนำไปสู่การเบี่ยงเบนของการจับกับ substrate เอนไซม์จึงมี activity ลดลง (Whitaker,1972) ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับ Yang และคณะ (2000) ที่ศึกษา pH stability ของ PPO บริสุทธิ์ ที่สกัดจากกล้วย(*Musa sapientum* Linn.) โดยมี substrate เป็นสารละลาย dopamine ซึ่งพบว่าเอนไซม์มีเสถียรภาพดีที่ pH 5-11 แต่จะมี activity ลดลงที่ pH < 5

เนื่องจากเอนไซม์ PPO จากกล้วยน้ำว้า มี activity ลดลง เมื่อ pH ต่ำกว่า 4 ดังนั้นการใช้สารเคมีที่มีความเป็นกรด หรือสารละลายที่มีสภาวะความเป็นกรดต่ำกว่า 4 เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก จึงมีแนวโน้มที่จะลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก PPO ในกล้วยน้ำว้าได้



รูปที่ 4.11 pH stability profile ของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 25 °C เมื่อใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เป็น substrate

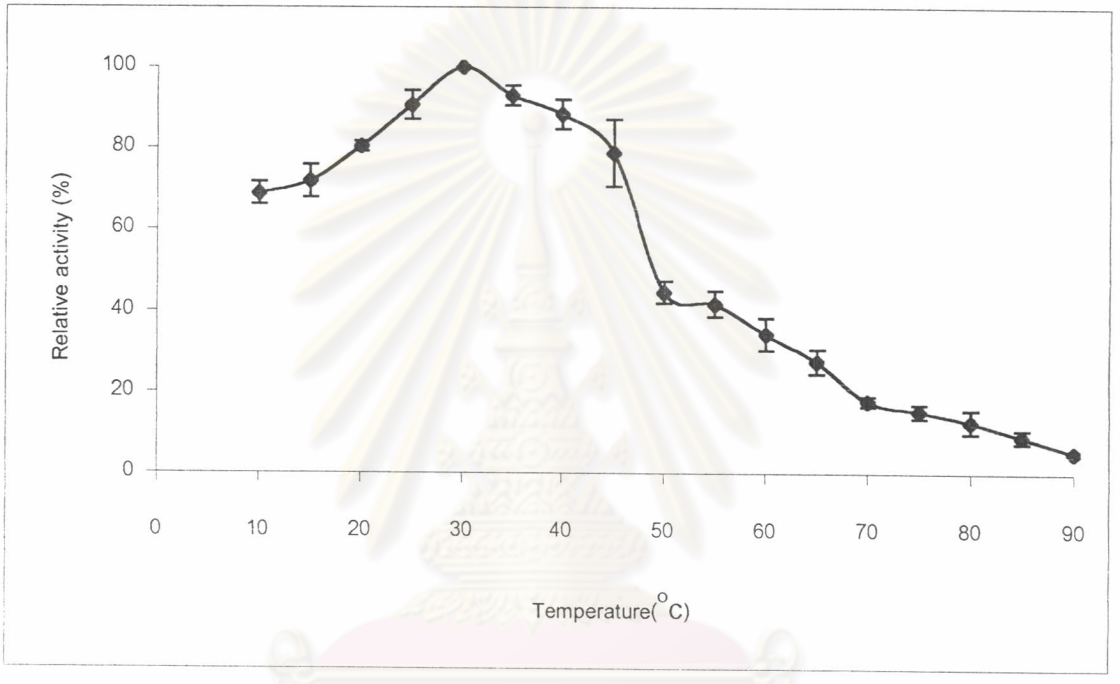
4.4.4 การศึกษา optimum temperature ของ crude PPO

ศึกษา optimum temperature ของ crude PPO ที่สกัดได้ ตามวิธีการในข้อ 3.2.4.2.4 โดยใช้สารละลาย catechol ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 6.5) ความเข้มข้น 20 mM เป็น substrate วิเคราะห์ PPO activity ที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 10 - 90 °C คำนวณค่า PPO activity ที่ได้เป็น relative activity

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.12) พบว่า crude PPO ในกล้วยน้ำว้า มี optimum temperature อยู่ที่ 30 °C ซึ่ง optimum temperature เป็นอุณหภูมิที่เอนไซม์มี activity สูงที่สุด ดังนั้นหากอุณหภูมิในระบบสูงหรือต่ำกว่า optimum temperature ของเอนไซม์ก็จะทำให้เอนไซม์มี activity ลดลง ดังผลการทดลอง (รูปที่ 4.12) พบว่าที่อุณหภูมิ 50 °C crude PPO ในกล้วยน้ำว้ามี activity เพียง 44.67$\pm$2.69% ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Whitaker (1996) ที่สรุปว่าโดยปกติ PPO จะมี optimum temperature อยู่ในช่วง 25–35 °C

และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang และคณะ (2000) ที่ศึกษา optimum temperature ของ PPO บริสุทธิ์ ที่สกัดจากกล้วย (*Musa sapientum* Linn.) และพบว่า optimum temperature ของ crude PPO ดังกล่าวคือ 30 °C

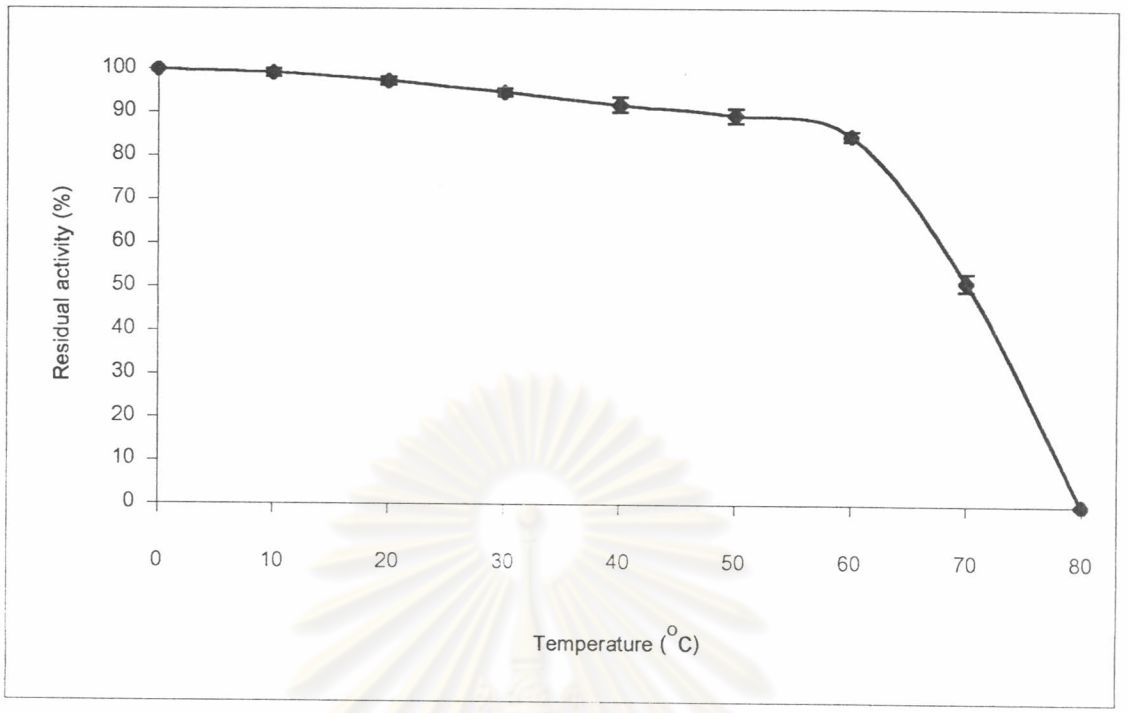
การทดลองขั้นต่อไปเลือกใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เพื่อเป็น substrate สำหรับศึกษาสมบัติของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้า โดยวัด activity ที่อุณหภูมิ 30 °C



รูปที่ 4.12 Temperature activity profile ของ crude PPO ในกล้วยน้ำว้า เมื่อวิเคราะห์โดยใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เป็น substrate

4.4.5 การศึกษา temperature stability ของ crude PPO

นำ crude enzyme ที่สกัดได้ มาศึกษา temperature stability โดยบ่ม crude enzyme ที่อุณหภูมิช่วง 0 – 90 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีใน ice bath ก่อนนำมาวิเคราะห์ PPO activity โดยใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เป็น substrate ที่อุณหภูมิ 30 °C คำนวณค่าที่ได้เป็น residual activity เมื่อเทียบกับ crude enzyme ที่ไม่ได้บ่ม (ตามวิธีการในข้อ 3.2.4.2.5) ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 Temperature stability profile ของ crude PPO หลังจากบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 30 °C และใช้สารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 เป็น substrate

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.13) พบว่า crude PPO ในกล้วยยังคงรักษา activity ไว้ได้เมื่อบ่มที่อุณหภูมิช่วง 0 – 60 °C เป็นเวลา 10 นาที โดยหลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 10 นาทียังมี activity เหลืออยู่ถึง 84.72±1.10% และ PPO activity จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้บ่มเพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งที่ภาวะอุณหภูมิ 80 °C เวลา 10 นาทีจะสามารถยับยั้ง PPO activity ได้หมด เนื่องจากความร้อนจะทำให้เกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีนทำให้ activity ของเอนไซม์หมดไป (Whitaker, 1972) ผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Yang และคณะ (2000) ที่ศึกษา temperature stability ของ PPO บริสุทธิ์ จากกล้วย (*Musa sapientum* Linn.) และพบว่าเอนไซม์จะถูกยับยั้งการทำงานอย่างสมบูรณ์ คือเสียสภาพอย่างถาวร เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 10 - 30 นาที โดยเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น ก็มีแนวโน้มที่ PPO จะถูกยับยั้งมากขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Galeazzi, Sgarbieri และ Constantinides (1981a) ได้ทำการแยกเอนไซม์ PPO จากกล้วยหอมเขียวค่อม (Dwarf cavendish) และนำมาทำให้บริสุทธิ์เพื่อศึกษาความต้านทานต่อความร้อนของเอนไซม์ โดยมี catechol เป็นสับสเตรท

พบว่าเอนไซม์จะสูญเสีย activity มากกว่า 90% เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 นาที และถูกยับยั้งการทำงานอย่างสมบูรณ์เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 5 นาที

ดังนั้นจึงอาจใช้ความร้อนในการยับยั้ง PPO activity ในกล้วยน้ำว้าได้ เช่น การลวก แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนกับผลกล้วยอาจต้องสูงกว่า 80°C หรือใช้เวลาในการให้ความร้อนมากกว่า 10 นาที เนื่องจากในผลกล้วยมีสารประกอบอื่นๆ ที่อาจขัดขวางการเสียสภาพธรรมชาติของเอนไซม์จากความร้อนได้ ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าใช้อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 13 ชั่วโมง ดังนั้นการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก PPO อาจเกิดเฉพาะในช่วงแรกของการอบเท่านั้น เนื่องจากเอนไซม์ PPO จะถูกทำลายจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง การเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการอบแห้งจึงเกิดจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ดเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก PPO ในกล้วยน้ำว้าหลังจากหั่นเป็นชิ้นก่อนนำไปอบแห้ง ก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีการป้องกันที่ดี เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาลดำคล้ำไปด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษาประสิทธิภาพของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ต่อการยับยั้ง PPO activity ในขั้นต่อไป

4.4.6 ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อ PPO activity

การใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เป็นวิธีการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสารประกอบพวกซัลไฟต์เป็นสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยทำหน้าที่เป็นตัวยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส แต่ในปัจจุบันไม่นิยมสารนี้เนื่องจากอาจทำให้เกิดการแพ้ที่รุนแรงในผู้บริโภคบางคน โดยเฉพาะผู้เป็นโรคหอบหืด (Taylor และ Bush, 1986) ทำให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความเสี่ยงในการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมสารประกอบพวกซัลไฟต์ ส่งผลให้มีข้อจำกัดในการใช้สารประกอบพวกซัลไฟต์มากขึ้น ดังนั้นจึงมีการใช้สารอื่น เช่น กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก (Iyengar และ McEvily, 1992) และในปัจจุบันความต้องการให้ใช้สารที่ได้จากธรรมชาติในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลสูงขึ้น ทำให้มีการศึกษาสารธรรมชาติต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาล เช่น น้ำสับปะรด (de Gonzalez และคณะ, 1993) น้ำผึ้ง (Chen และคณะ, 2000) ซึ่งสารแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน และการนำสารหลายชนิดมาใช้ร่วมกันอาจทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้ จึงศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ต่อ PPO activity เพื่อที่จะได้หาสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยน้ำว้าหลังจากที่มีการปอกและหั่นไว้เพื่อเตรียมเป็นวัตถุดิบก่อนการอบแห้ง

นำสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ (กรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v, กรดแอสคอร์บิก 1.0% w/v, กรดแอสคอร์บิก 1.5% w/v, สารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v กับ

กรดซิตริก 0.5% w/v, สารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v กับน้ำสับปะรด 100%, สารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 0.5% w/v กับน้ำผึ้ง 5% w/v และสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% (w/v)) ปริมาณ 0.2 ml มาผสมกับสารละลาย catechol ความเข้มข้น 20 mM ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.5 จำนวน 2.60 ml บ่มที่อุณหภูมิ 25 °C จากนั้นนำ crude enzyme จำนวน 200 µl มาทำปฏิกิริยากับสารผสมดังกล่าว วิเคราะห์ PPO activity ที่อุณหภูมิ 30 °C เปรียบเทียบกับ reaction mixture ที่ไม่มีการใช้สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล คำนวณ % inhibition ตามวิธีการในข้อ 3.2.4.2.6

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.8) พบว่าสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดและความเข้มข้นต่างๆ สามารถยับยั้ง PPO activity ได้ 100% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารทั้ง 7 ชนิดมี pH ต่ำ คือมีสภาวะความเป็นกรด จึงทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้และความเข้มข้นของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ มีปริมาณมากพอที่จะยับยั้ง PPO activity ได้ ในงานวิจัยของ Galeazzi และ Sgarbieri (1981a) ซึ่งได้ศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อ PPO activity ที่สกัดจากกล้วยหอมเขียวค่อม โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกรดแอสคอร์บิก ซิสเตอีน และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ที่ความเข้มข้นเดียวกันคือ 100 mM พบว่าสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO activity มากที่สุดคือ กรดแอสคอร์บิก รองลงมาคือ ซิสเตอีน และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ตามลำดับ ซึ่งสารทั้งสามชนิดนี้ทำหน้าที่เป็น reducing agent โดยจะเปลี่ยน *o*-quinone ให้กลับมาเป็น *o*-diphenol ตามเดิม จึงช่วยไม่ให้ *o*-quinone ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยาต่อไปเกิดเป็นสารสีน้ำตาล จึงช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจาก PPO ได้ ส่วนในงานวิจัยของ Yang และคณะ (2000) ซึ่งศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ต่อ activity ของ PPO บริสุทธิ์ จากกล้วย (*Musa sapientum* Linn.) พบว่ากรดแอสคอร์บิกหรือซิสเตอีน ที่มีความเข้มข้น 1 mM หรือ 10 mM และกรดซิตริก ที่มีความเข้มข้น 1 mM และ 10 mM มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง PPO บริสุทธิ์ จากกล้วยได้ทั้งหมด

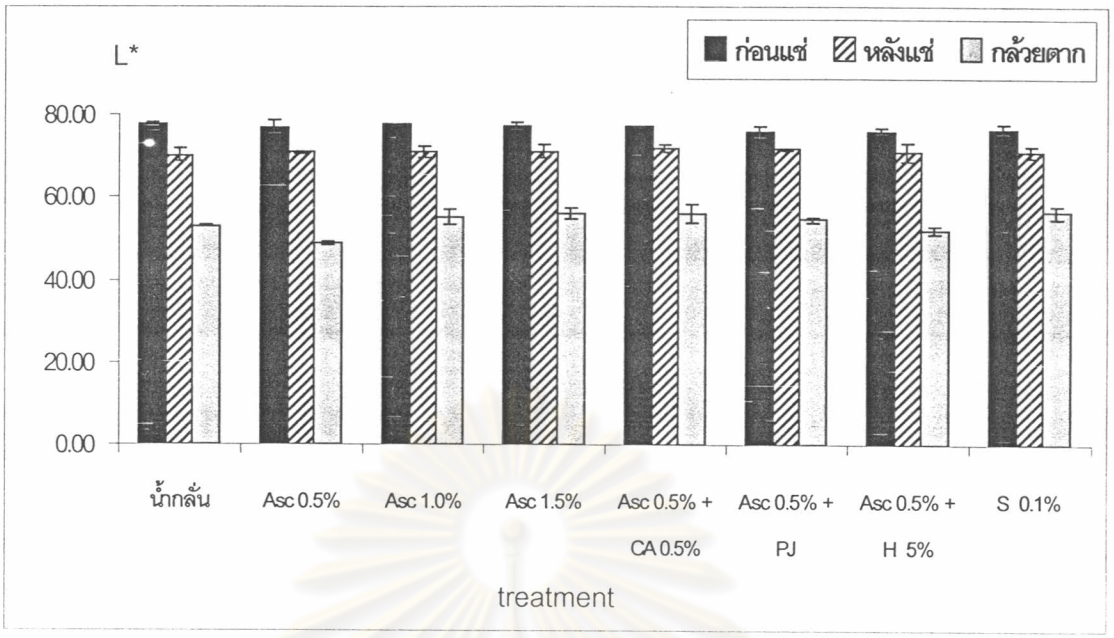
การศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ในขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาใน crude PPO ที่สกัดจากกล้วยน้ำว้า ดังนั้นในขั้นต่อไปจึงศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยสดที่หั่นแว่นและผลิตภัณฑ์กล้วยตาก เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในขั้นตอนนี้ว่าสอดคล้องกันหรือไม่

ตารางที่ 4.8 ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อ PPO activity ในกล้วยน้ำว้า

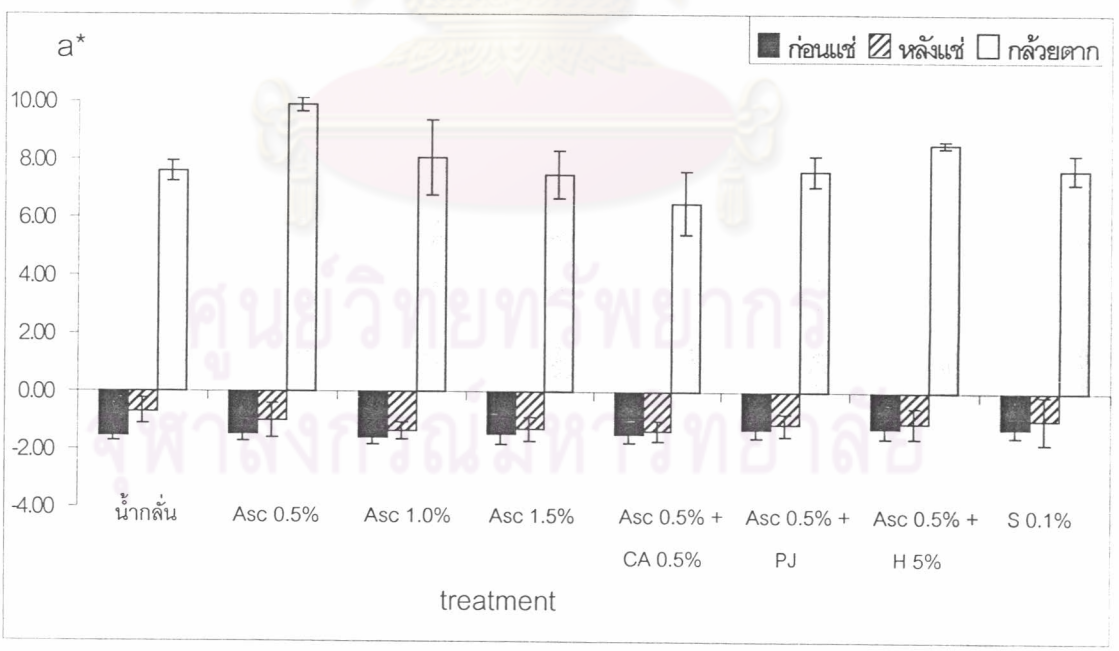
สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล	% inhibition
น้ำกลั่น (ตัวอย่างควบคุม)	0
กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v)	100.0±0.0
กรดแอสคอร์บิก 1.0% (w/v)	100.0±0.0
กรดแอสคอร์บิก 1.5% (w/v)	100.0±0.0
กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) ผสมกรดซิตริก 0.5% (w/v)	100.0±0.0
กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) ผสมน้ำสับปะรด 100%	100.0±0.0
กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) ผสมน้ำผึ้ง 5% (w/v)	100.0±0.0
โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% (w/v)	100.0±0.0

4.5 ศึกษาชนิดและสัดส่วน รวมทั้งประสิทธิภาพของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

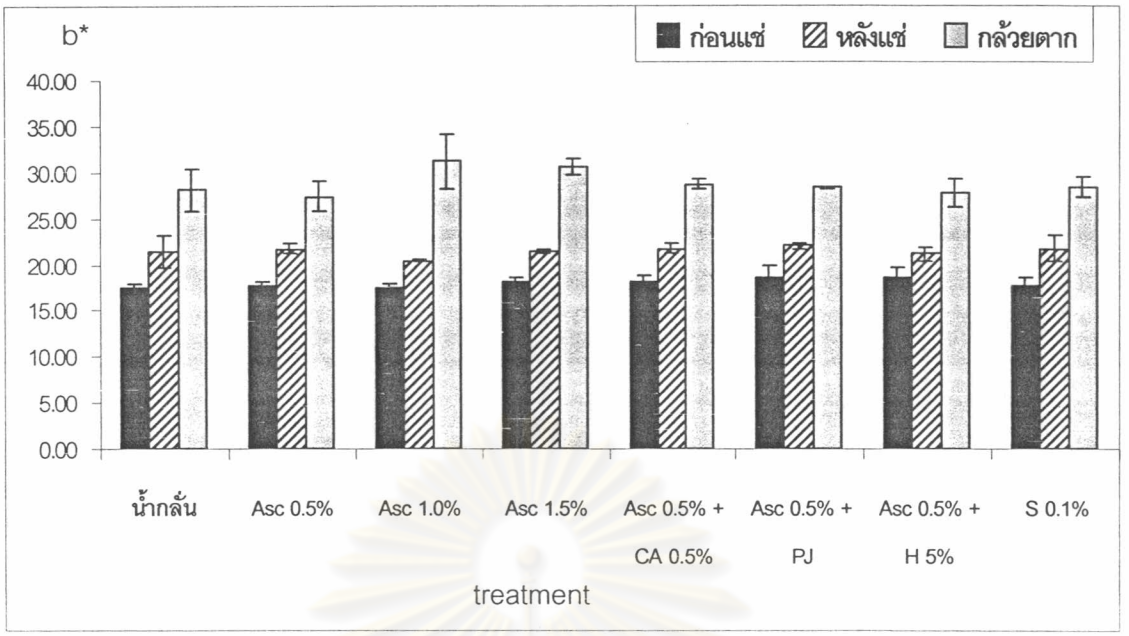
ในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาสารที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยตาก โดยสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ที่นำมาศึกษานั้นเหมือนกับการทดลองในข้อ 4.4.6 คือ กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v), 1.0% (w/v), 1.5% (w/v), สารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) กับกรดซิตริก 0.5% (w/v), กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) กับน้ำสับปะรด 100% กรดแอสคอร์บิก 0.5% (w/v) ผสมน้ำผึ้ง 5% (w/v) และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% (w/v)) เพื่อจะได้เปรียบเทียบผลของสารชนิดต่างๆ ต่อการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยสดที่หั่นแว่นและกล้วยตากว่าผลที่ได้เหมือนหรือแตกต่างจากการศึกษาโดยตรงใน PPO ที่สกัดจากกล้วยน้ำว้า ขั้นตอนในการทดลองคือ นำกล้วยน้ำว้าปอกเปลือกและหั่นเป็นแว่นหนา 2 cm. จากนั้นนำไปแช่ในสารชนิดต่างๆ เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำขึ้นมาสะเด็ดน้ำให้แห้ง ก่อนนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 13 ชั่วโมง โดยวัดค่าสี L* a* b* ของกล้วยก่อนแช่สาร หลังแช่สาร และวัดค่าสีของกล้วยตาก เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.14 – 4.16 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่า L* a* b* ของกล้วยน้ำว้าก่อนแช่ และหลังแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลแต่ละชนิด รวมทั้งค่าสี L* a* b* ของกล้วยตาก จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.14-4.16) พบว่าค่าสีของกล้วยตั้งแต่ก่อนแช่ หลังแช่ จนถึงขั้นตอนผลิตเป็นกล้วยตากนั้น จะมีค่า L* ลดลง ส่วนค่า a* และ b* เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งค่า L* จะเป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลได้ชัดที่สุด ดังนั้นการที่ค่า L ลดลงจึงแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยตากนั้นเกิดได้จากทั้งเอนไซม์ PPO ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบซึ่งมีการปอกและหั่นกล้วย และปฏิกิริยามายล์ลาร์ด ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในขั้นตอนการอบแห้ง



รูปที่ 4.14 ค่าสี L* ของกล้วยก่อนแช่, หลังแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและกล้วยตาก (Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)



รูปที่ 4.15 ค่าสี a* ของกล้วยก่อนแช่, หลังแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและกล้วยตาก (Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

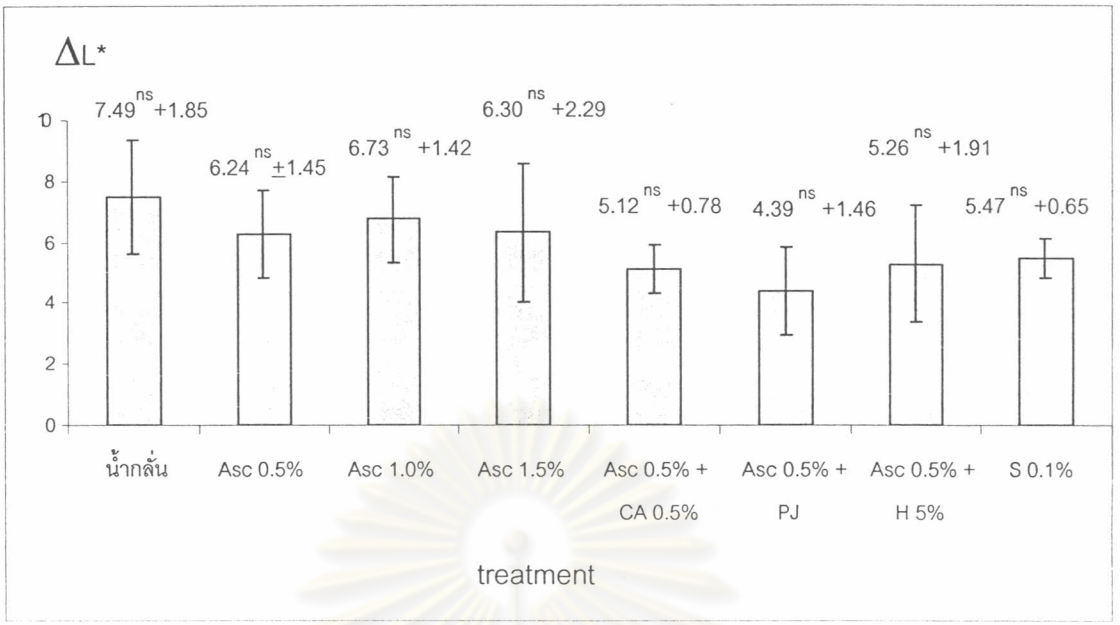


รูปที่ 4.16 ค่าสี b* ของกล้วยก่อนแช่, หลังแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลและกล้วยตาก (Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

เมื่อเปรียบเทียบค่า L* ระหว่างกล้วยก่อนแช่กับหลังแช่ (รูปที่ 4.14) พบว่าค่า L* ลดลง ซึ่งแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นถึงแม้จะมีการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามการเติมสารชนิดต่างๆ ก็อาจช่วยชะลอการลดลงของค่า L* ของกล้วยได้ ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในขั้นนี้เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่มีการปอกและหั่นเนื้อกล้วย ซึ่งทำให้เนื้อเยื่อของกล้วยถูกทำลาย จึงทำให้เอนไซม์ PPO และ substrate ซึ่งเดิมอยู่ต่างระดับเนื้อเยื่อกัน มาทำปฏิกิริยากันจนเกิดเป็นสารสีน้ำตาล ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Moline และคณะ (1999) ซึ่งได้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยหั่นชิ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 2 และ 7 วัน โดยวัดเป็นค่าความแตกต่างของค่าสี L* a* b* ระหว่างกล้วยที่เพิ่งหั่นใหม่ๆ กับกล้วยที่หั่นแล้วเก็บรักษา (ΔL^* Δa^* Δb^*) ซึ่งพบว่าเมื่อเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น กล้วยสดที่หั่นแว่นจะเกิดการเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลมากขึ้นในระหว่างเก็บรักษา โดยพบว่ากล้วยมีค่า ΔL^* Δa^* Δb^* สูงขึ้น ซึ่งแสดงว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงสีมากขึ้น โดยมีค่า L* ลดลง และมีค่า a* เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสีทั้งสองสามารถใช้บ่งบอกถึงการเกิดสีน้ำตาลที่มากขึ้นได้ โดยเฉพาะค่า L*

เมื่อพิจารณาค่า L* ของกล้วยหลังแช่ เปรียบเทียบกับค่า L* ของกล้วยตาก (รูปที่ 4.14) พบว่ามีค่า L* ลดลง ซึ่งค่า L* ที่ลดลงในช่วงการอบแห้งนี้ แสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากทั้งเอนไซม์ PPO และปฏิกิริยาปฏิกิริยามายล์ลาร์ด การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์นั้นจะเกิดในช่วงแรกของการอบแห้ง ส่วนในช่วงต่อจากนั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ด เนื่องจากเอนไซม์ PPO จะถูกทำลายไปเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (60 °C) รวมทั้งระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ค่อนข้างนานอีกด้วย (13 ชั่วโมง) จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยหลังจากอบแห้ง พบว่าผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Krokida และ คณะ (2001) ซึ่งศึกษาผลของวิธีการทำแห้งต่อค่าสีของกล้วยอบแห้ง และการเปลี่ยนสีในระหว่างอบแห้ง โดยตรวจติดตามค่าสีในระหว่างการอบแห้งตั้งแต่เริ่มอบจนกระทั่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่ากล้วยตากมีค่า L* ลดลง แต่มีค่า a* และ b* เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า L* และค่า a* จะเป็นค่าที่บ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่าเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น

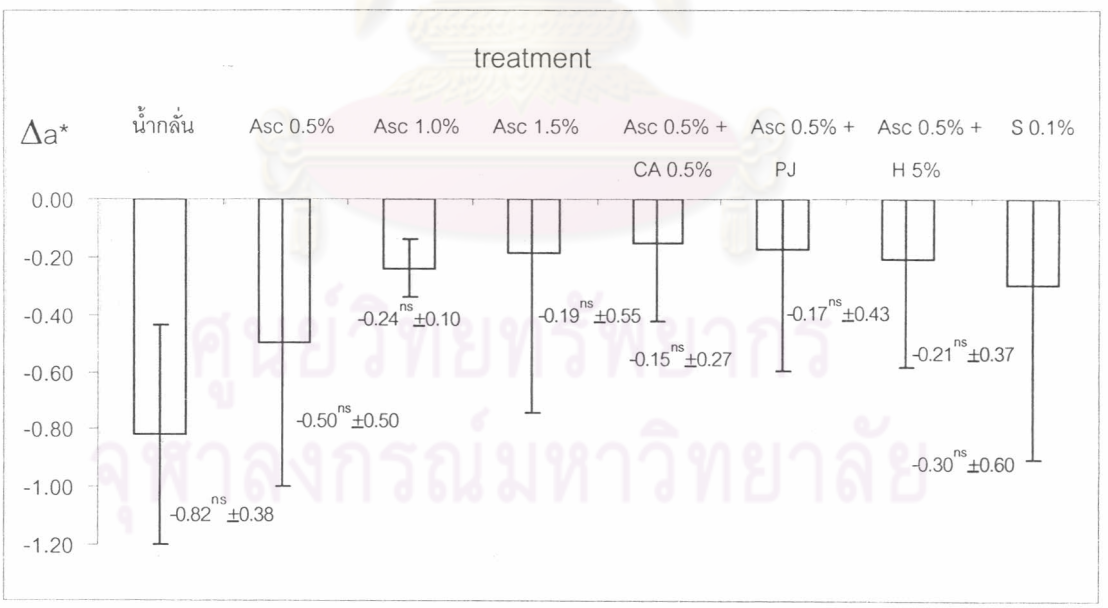
ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารชนิดต่างๆ ในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO ในกล้วยน้ำว้า โดยนำค่า L* a* b* ของกล้วยสดก่อนแช่สารและหลังแช่สารมาคำนวณเป็นค่า ΔL^* Δa^* และ Δb^* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของค่า L* a* b* ระหว่างกล้วยก่อนแช่สารและหลังแช่สาร โดย ΔL^* = L* ก่อนแช่สาร – L* หลังแช่สาร Δb^* = b* ก่อนแช่สาร – b* หลังแช่สาร และ Δa^* = a* ก่อนแช่สาร – a* หลังแช่สาร ค่า ΔL^* Δa^* และ Δb^* นี้สามารถบ่งบอกการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยได้ โดยถ้าค่า ΔL^* Δa^* และ Δb^* มีค่าน้อย แสดงว่ากล้วยเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีน้อย นั่นคือเกิดสีน้ำตาลน้อย เมื่อพิจารณาค่า ΔL^* (รูปที่ 4.17) Δa^* (รูปที่ 4.18) และ Δb^* (รูปที่ 4.19) พบว่ากล้วยที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด รวมทั้งน้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม มีค่า ΔL^* Δa^* และ Δb^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อดูแนวโน้มของ ΔL^* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างเด่นชัด พบว่ากล้วยที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทั้ง 7 ชนิด มีค่า ΔL^* น้อยกว่ากล้วยที่ผ่านการแช่น้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม จากผลการทดลองนี้แสดงว่า สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้ ส่งผลให้ลดการเกิดสีน้ำตาลคล้ำในกล้วยสดหลังจากหั่นทิ้งไว้เพื่อเตรียมอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถยับยั้ง PPO activity ได้ทั้งหมด ซึ่งผลที่ได้ต่างจากการศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อ PPO activity ของ crude PPO ที่สกัดจากกล้วยน้ำว้าโดยตรงตามข้อ 4.4.6 ที่พบว่าสารทั้ง 7 ชนิดสามารถยับยั้ง PPO activity ได้ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องมาจากในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองกับกล้วยน้ำว้าที่หั่นเป็นชิ้น ซึ่งสารอื่นๆ ที่มีในกล้วยอาจขัดขวางการทำงานของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล จึงทำให้ PPO activity ถูกยับยั้งได้ไม่หมด โดยกล้วยที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมกับน้ำสับปะรด จะมีค่า ΔL^* น้อยที่สุด นั่นคือมี



รูปที่ 4.17 ค่า ΔL* ของกล้วยก่อนแช่และกล้วยหลังแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาล

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

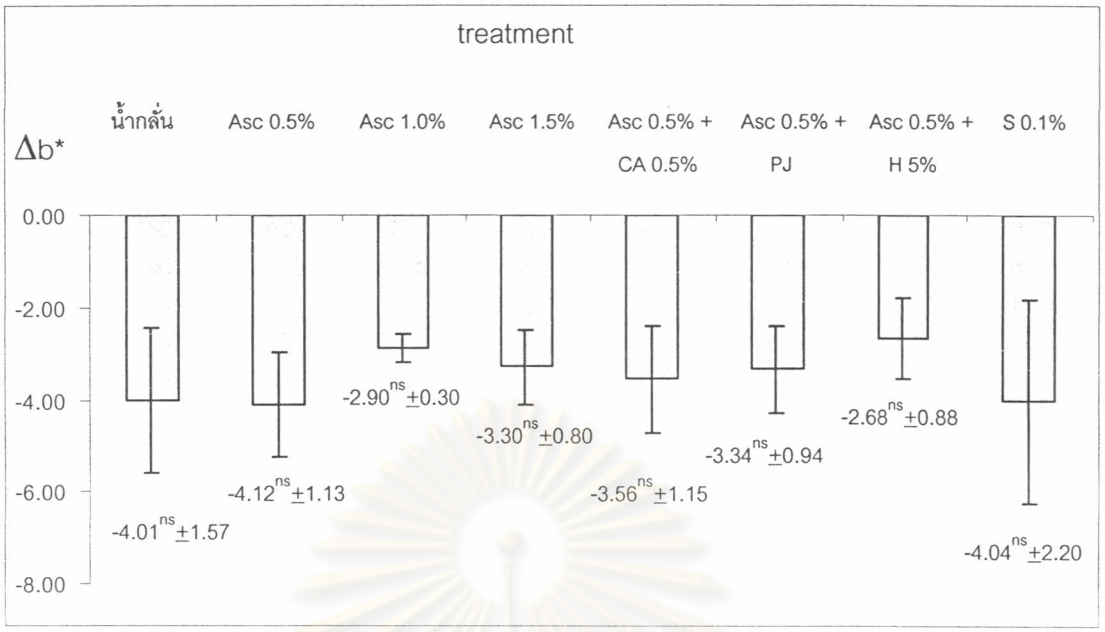
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



รูปที่ 4.18 ค่า Δa* ของกล้วยก่อนแช่และกล้วยหลังแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาล

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)



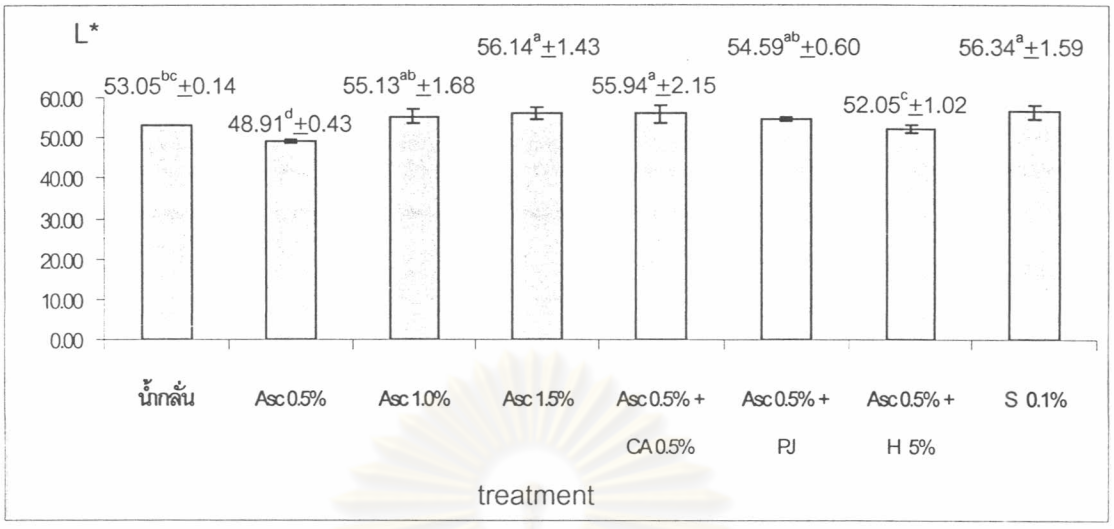
รูปที่ 4.19 ค่า Δb^* ของกล้วยก่อนแช่และกล้วยหลังแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาล (Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ประสิทธิภาพในการยับยั้งเอนไซม์ PPO มากที่สุด ผลของน้ำสับปะรดซึ่งสามารถลด PPO activity ได้นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ de Gonzalez และคณะ (1993) ซึ่งศึกษาผลของการใช้น้ำสับปะรดในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลสดและแห้ง และพบว่าน้ำสับปะรดมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลทั้งในแอปเปิ้ลสดและแห้ง ซึ่งสารประกอบในน้ำสับปะรดที่มีผลในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลเป็นสารประกอบที่เป็นกลาง มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ส่วนงานวิจัยของ Moline, Buta และ Newman (1999) พบว่าน้ำสับปะรดลดการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยหั่นแว่นได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้สันนิษฐานว่าสารประกอบในน้ำสับปะรดที่มีผลในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลอาจเป็นกรดซิตริก และน้ำตาล ส่วนผลของน้ำผึ้งที่สามารถลด PPO activity ในกล้วยน้ำว้าได้นั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Oszmianski และ Lee (1990) ซึ่งพบว่าน้ำผึ้งสามารถยับยั้งเอนไซม์ PPO และควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิ้ลชิ้น และน้ำองุ่นได้ โดยสารประกอบในน้ำผึ้งที่มีผลในการยับยั้งเอนไซม์ PPO เป็นเปปไทด์ ขนาดเล็ก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 600 ดาลตัน โดยเปปไทด์จะควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยตรง หรือทำปฏิกิริยากับ quinonoid products ที่เกิดขึ้นจากการเร่งปฏิกิริยาของ

เอนไซม์ PPO McLellan และคณะ (1995) ศึกษาผลของน้ำผึ้งในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตลูกเกดสีเหลืองทอง (light raisin) พบว่าการใช้น้ำผึ้ง 10% หรือ 20 % มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลในการผลิตลูกเกด โดยทำให้ได้ลูกเกดที่มีสีอ่อนกว่าและเหลืองกว่าการใช้แก๊สซัลเฟอร์หรือสารละลายซัลไฟต์ Chen และคณะ (2000) ศึกษาการใช้น้ำผึ้งในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ PPO ในมันฝรั่ง แอปเปิ้ล และแพร์ พบว่าน้ำผึ้งสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ลงได้ 2 – 45 % โดยประสิทธิภาพของน้ำผึ้งจะแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งของน้ำผึ้ง เนื่องจากมีปริมาณและส่วนประกอบของ antioxidant แตกต่างกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้สันนิษฐานว่าส่วนประกอบของ antioxidant บางตัวมีผลในการยับยั้งเอนไซม์ PPO และควบคุมการเกิดสีน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำผึ้งกับสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลทางการค้าคือ เมตาไบซัลไฟต์ และกรดแอสคอร์บิก พบว่าน้ำผึ้งมีประสิทธิภาพน้อยกว่า อย่างไรก็ตามการเติมน้ำผึ้งผสมลงในเมตาไบซัลไฟต์ หรือกรดแอสคอร์บิก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลของสารทั้งสองได้

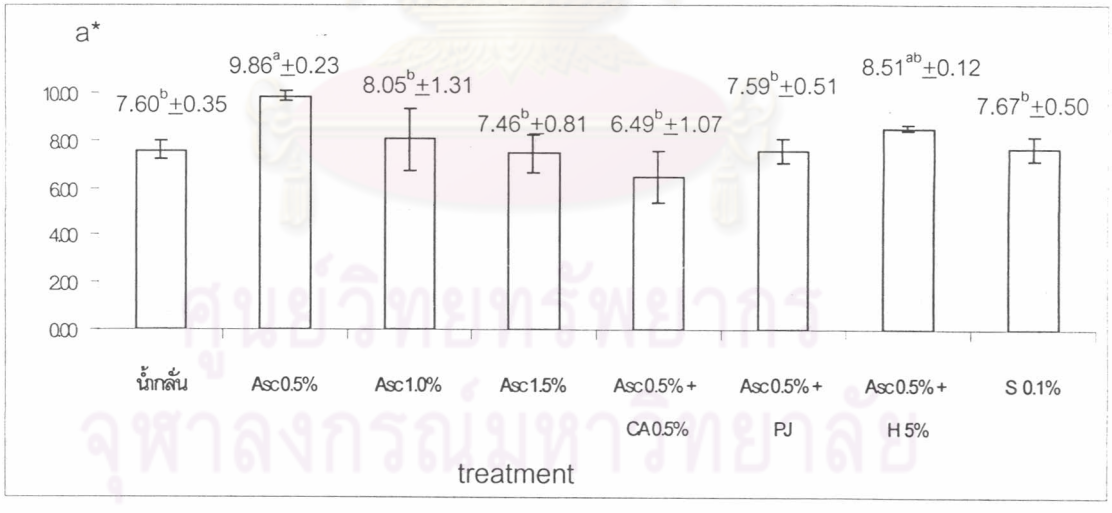
เมื่อพิจารณาค่า L* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ดังรูปที่ 4.20 พบว่าสารแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และสามารถแบ่งสารตามประสิทธิภาพได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ โดยสารในกลุ่มแรก (กรดแอสคอร์บิก 1.0%, 1.5%, สารผสมระหว่างกรดแอสคอร์บิก 0.5% กับกรดซิตริก 0.5%, กรดแอสคอร์บิก 0.5% กับน้ำสับปะรด และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1%) มีประสิทธิภาพในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลสูงกว่าสารกลุ่มที่สอง (กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 0.5% และกรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำผึ้ง 5%) โดยกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารกลุ่มแรกก่อนอบจะมีค่า L* สูงกว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่สารกลุ่มที่สองอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และมีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่ากล้วยที่แช่ในน้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม เมื่อพิจารณาค่า a* ของกล้วยตาก (รูปที่ 4.21) พบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ มีค่า a* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$) ยกเว้นกล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5 % มีค่า a* สูงกว่าตัวอย่างอื่น ซึ่งถ้าค่า a* สูง แสดงว่าเกิดสีน้ำตาลมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้น และเมื่อพิจารณาค่า b* ของกล้วยตาก (รูปที่ 4.22) พบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ มีค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) อย่างไรก็ตามการสังเกตการเกิดสีน้ำตาลส่วนใหญ่จะพิจารณาจากค่า L* โดยมีการพิจารณาค่า a* และ b* เป็นส่วนประกอบร่วม



รูปที่ 4.20 ค่า L* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

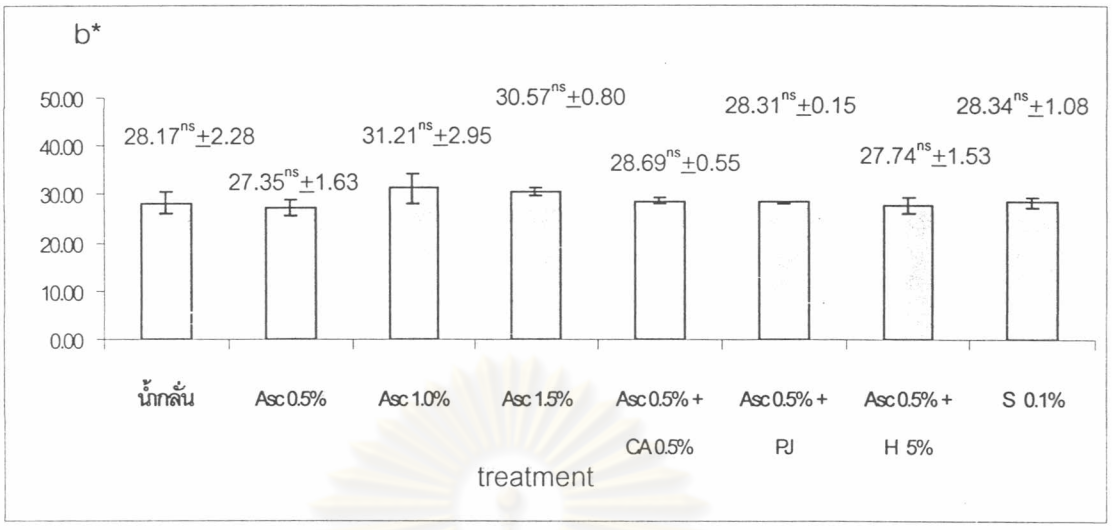


รูปที่ 4. 21 ค่า a* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

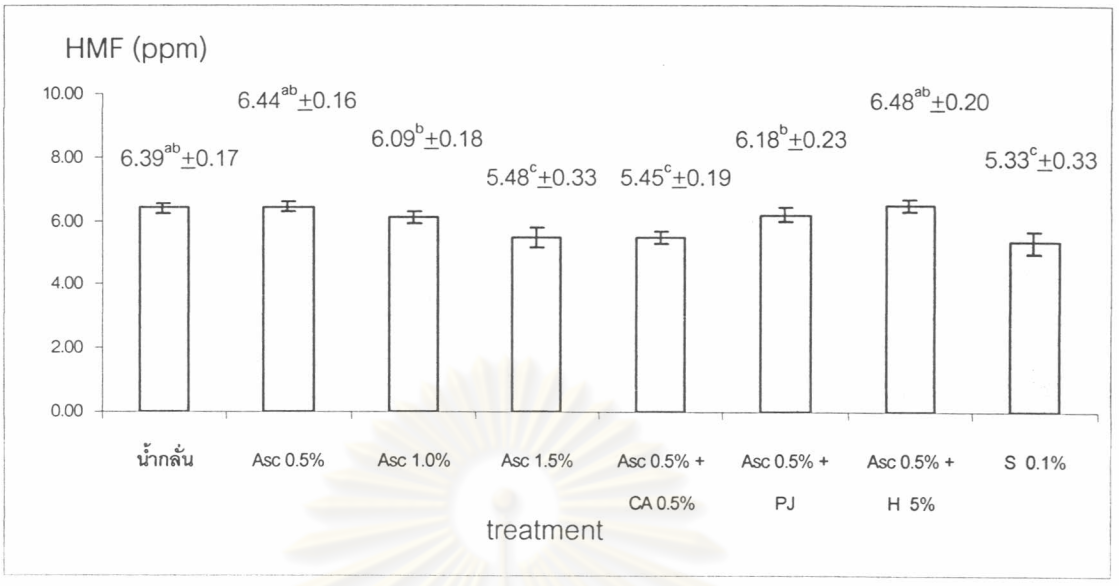
ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 ค่า b* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ
(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

การเกิดสีน้ำตาลในช่วงการอบแห้งส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ด เนื่องจากความร้อนจะเร่งให้สารตั้งต้นได้แก่ น้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน โปรตีน หรือเปปไทด์ ในกล้วย ทำปฏิกิริยากันจนเกิดสารสีน้ำตาล การเปรียบเทียบการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ดสามารถพิจารณาได้จากปริมาณ hydroxymethylfurfural (HMF) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ดได้เนื่องมาจาก HMF เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาดังกล่าว ปริมาณ HMF ที่สูงแสดงถึงการเกิดสีน้ำตาลในปริมาณมาก จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.23) พบว่าแนวโน้มของการเกิดสีน้ำตาลของสารกลุ่มแรกน้อยกว่าในสารกลุ่มที่สอง คือมีปริมาณ HMF ต่ำกว่าสารกลุ่มที่สอง ซึ่งผลที่ได้มีค่าสอดคล้องกับค่าสี L* ซึ่งสารกลุ่มแรกมีค่า L* สูงกว่าสารกลุ่มที่สอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารกลุ่มที่สอง โดยเฉพาะกรดแอสคอร์บิกผสมน้ำผึ้ง มีน้ำผึ้งเป็นส่วนประกอบ 5 % ซึ่งในน้ำผึ้งมีน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยามายล์ลาร์ดเป็นองค์ประกอบในปริมาณค่อนข้างสูง (64-66%) ดังนั้นเมื่อนำกล้วยที่ผ่านการแช่สารนี้ไปอบแห้งความร้อนจากการอบแห้งจึงเร่งให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ดมากขึ้น ทำให้มีปริมาณ HMF มากกว่าตัวอย่างอื่น



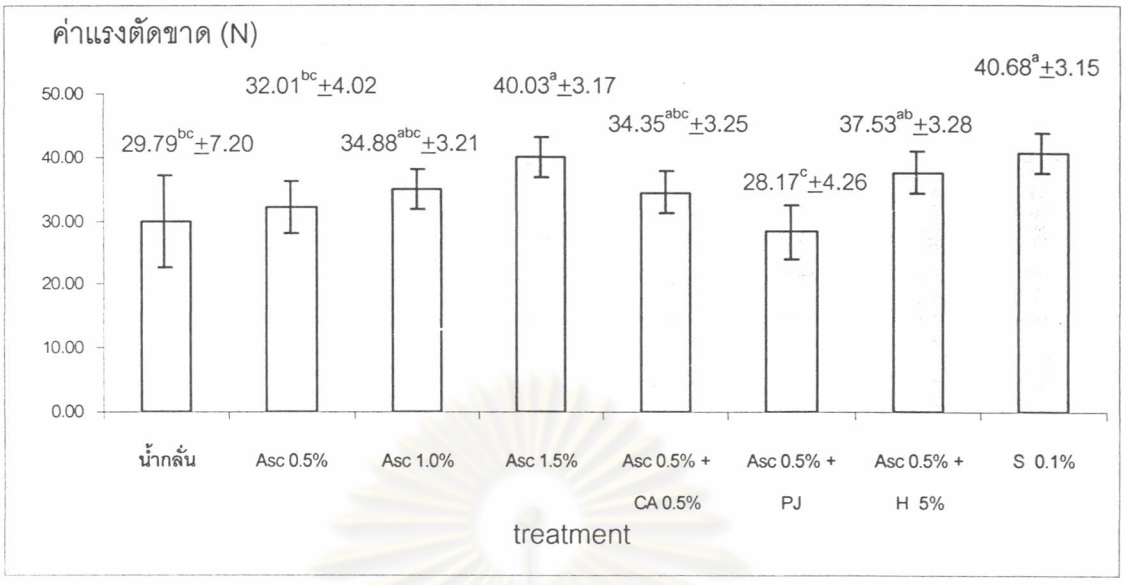
รูปที่ 4.23 ค่า HMF ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียม เมตาไบซัลไฟต์)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p< 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ โดยพิจารณาจากค่าแรงตัดขาด (cutting fo rce) จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.24) พบว่า กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.1 % และกล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.5 % มีค่าแรงตัดขาดมากกว่าในตัวอย่างอื่น ซึ่งแสดงว่ามีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของกล้วยในขณะที่มีการแช่ได้ดี และมีส่วนช่วยทำให้เนื้อกล้วยสดในขณะแช่มีเนื้อแน่นขึ้น

เมื่อนำผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9-point hedonic score (1 หมายถึงไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) โดยพิจารณาจากคะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ (การเหี่ยวย่น) สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9 ซึ่งพบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้รับคะแนนความชอบทางด้านสีสูงกว่ากล้วยตากที่แช่ในน้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม โดยได้รับคะแนนอยู่ในช่วง



รูปที่ 4.24 ค่าแรงตัดขาดของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารควบคุมการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ (Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ยกเว้นกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% ซึ่งได้รับคะแนนความชอบทางด้านสีอยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ เช่นเดียวกับในตัวอย่างควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% มีสีเหลืองซีดไม่น่ารับประทาน โดยผลที่ได้สอดคล้องกับค่า L* ที่วัดได้ ซึ่งพบว่ามีค่า L* สูงกว่าในตัวอย่างอื่นๆ เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัส พบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 1.5% และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% มีคะแนนต่ำกว่าตัวอย่างอื่น อาจเนื่องมาจากมีเนื้อสัมผัสที่แข็งเกินไป โดยผลที่ได้สอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้ (แสดงเป็นค่าแรงตัดขาด) ซึ่งพบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่สารทั้งสองชนิดมีค่าแรงตัดขาดสูงกว่าตัวอย่างอื่น เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรส พบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 1.5% ให้รสฝาดทำให้มีคะแนนน้อยกว่าตัวอย่างอื่น โดยมีคะแนนอยู่ในช่วงไม่ชอบปานกลาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายมีความเข้มข้นของปริมาณกรดที่มากเกินไป ส่วนกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% ไม่มีกลิ่นรสหอมตามธรรมชาติของกล้วยตาก เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบด้านการยอมรับรวมพบว่า กรดแอสคอร์บิก 1.0%, 1.5%, และโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1% มีคะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่าในตัวอย่างอื่น ส่วนกล้วยที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5%

ตารางที่ 4.9 คะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ

สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	การยอมรับรวม
น้ำกลั่น	$5.45^{cd}\pm1.50$	$4.88^{c}\pm1.86$	$6.15^{b}\pm1.60$	$6.30^{b}\pm1.22$	$5.75^{bcd}\pm1.81$
Asc 0.5%	$6.20^{bc}\pm1.88$	$6.15^{b}\pm1.89$	$6.45^{ab}\pm1.43$	$6.10^{bc}\pm1.37$	$6.03^{bc}\pm1.62$
Asc 1.0%	$6.10^{bc}\pm1.25$	$6.33^{ab}\pm1.56$	$5.95^{b}\pm1.57$	$5.60^{cd}\pm1.31$	$5.43^{cd}\pm1.77$
Asc 1.5%	$6.85^{ab}\pm1.18$	$6.35^{ab}\pm1.83$	$3.90^{c}\pm1.68$	$4.75^{e}\pm1.59$	$3.45^{e}\pm1.41$
Asc 0.5% + CA 0.5%	$6.05^{bc}\pm1.50$	$5.85^{b}\pm1.78$	$6.45^{ab}\pm1.23$	$6.15^{bc}\pm1.27$	$6.23^{ab}\pm1.56$
Asc 0.5%+ PJ	$7.20^{a}\pm1.32$	$7.03^{a}\pm1.37$	$7.05^{a}\pm1.05$	$7.00^{a}\pm1.12$	$6.90^{a}\pm1.36$
Asc 0.5% + H 5%	$6.10^{bc}\pm1.25$	$6.23^{ab}\pm1.54$	$6.40^{ab}\pm1.19$	$5.75^{bcd}\pm1.37$	$6.00^{bc}\pm1.32$
S 0.1%	$5.15^{d}\pm1.66$	$4.73^{c}\pm1.68$	$5.95^{b}\pm1.28$	$5.35^{de}\pm1.50$	$5.23^{d}\pm1.67$

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง, S = โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

มีคะแนนการยอมรับรวมน้อยกว่าในตัวอย่างอื่น ส่วนกล้วยที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำสับปะรดได้รับคะแนนความชอบในทุกด้านมากกว่าในตัวอย่างอื่น อาจเนื่องมาจากกล้วยตากที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล บริเวณผิวมีลักษณะเยิ้มเล็กน้อย ทำให้น่ารับประทาน และนอกจากจะมีกลิ่นรสหอมตามธรรมชาติของกล้วยตากแล้ว ยังมีกลิ่นรสหอมที่ได้จากน้ำสับปะรดอีกด้วย

เมื่อพิจารณาค่าสี และเนื้อสัมผัส ร่วมกับคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัส จึงคัดเลือกสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล คือ กรดแอสคอร์บิก 0.5%, กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมกรดซิตริก 0.5%, กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำสับปะรด และกรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำผึ้ง 5% โดยมีน้ำกลั่นเป็นตัวอย่างควบคุม เพื่อใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา และศึกษาผลของการบรรจุกล้วยตากในสภาพสุญญากาศต่อคุณภาพของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา

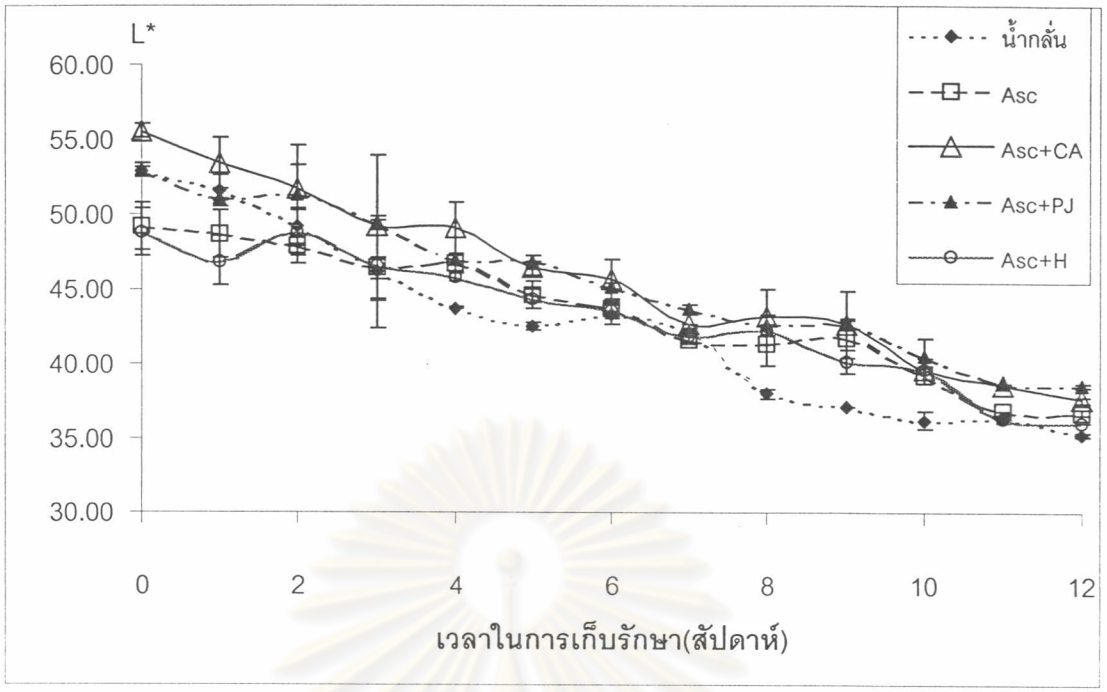
4.6 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างเก็บรักษา และผลของการบรรจุในสภาพสุญญากาศ

เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลคล้ำในกล้วยตากนั้นอาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างเก็บรักษา โดยสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดปฏิกิริยามายล์ลาร์ด ถ้าไม่มีการควบคุมที่ดีก็อาจทำให้กล้วยตากมีคุณภาพต่ำลง และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของกล้วยตากในด้านต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา ผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และผลของการบรรจุในสภาพสุญญากาศต่อคุณภาพของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา เพื่อหากระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้ได้กล้วยตากที่มีคุณภาพดี และมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษาน้อย โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของสี โดยนำกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ (กรดแอสคอร์บิก 0.5%, กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมกรดซิตริก 0.5%, กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำสับปะรด และกรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำผึ้ง 5% โดยตัวอย่างที่แช่น้ำกลั่นเป็นตัวอย่างควบคุม) มาบรรจุในถุง HDPE ซึ่งเป็นถุงที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและป้องกันแสงได้ดี แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °c ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* เนื้อสัมผัส ปริมาณ HMF ปริมาณจุลินทรีย์ ยีสต์และรา และทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

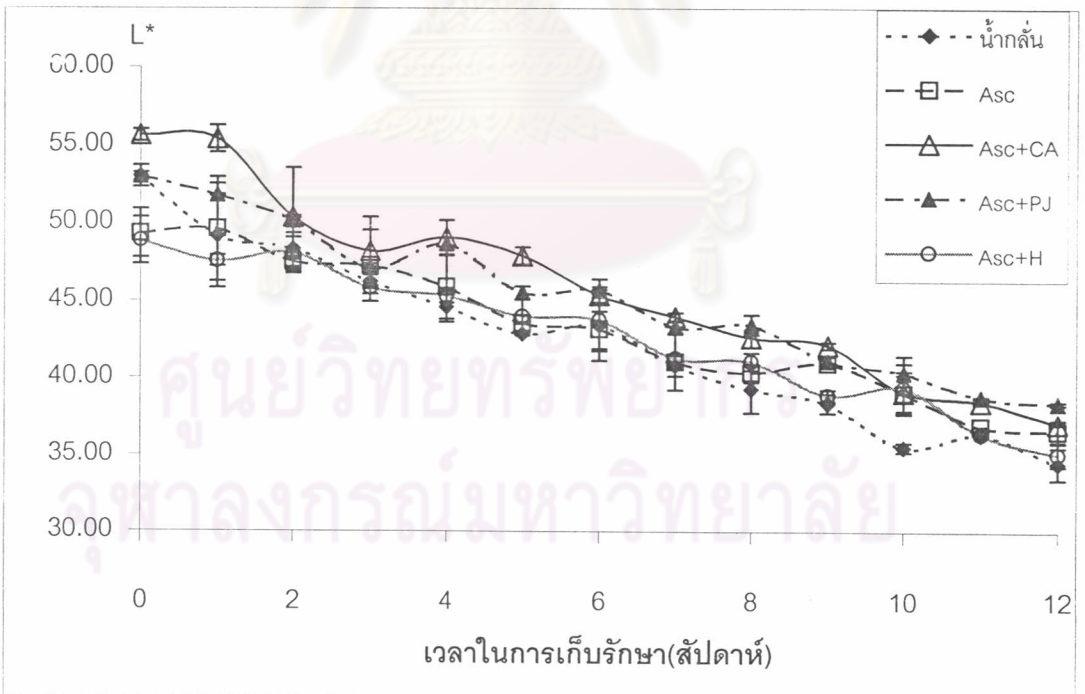
จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเก็บรักษามีผลทำให้คุณภาพของกล้วยตากในด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* ปริมาณ HMF และเนื้อสัมผัส เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อพิจารณาค่า L* (รูปที่ 4.25-4.26) ค่า a* (รูปที่ 4.27-4.28) และค่า b*

(รูปที่ 4.29-4.30) ของกล้วยตากทั้งที่บรรจุแบบธรรมดาและแบบสุญญากาศ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นกล้วยตากจะมีค่า L* และค่า b* ลดลง แต่มีค่า a* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งแสดงว่าเกิดสีน้ำตาลคล้ำมากขึ้น ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bolin และ Steele (1987) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของแอปเปิ้ลอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น แอปเปิ้ลจะมีค่า L* ลดลง และมีค่า a* เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าสี L* a* b* ของกล้วยตากสอดคล้องกับปริมาณ HMF ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษา (รูปที่ 4.31-4.32) ซึ่งแสดงว่ามีการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ชนิดปฏิกิริยามายล์ลาร์ดเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเนื้อสัมผัสของกล้วยตากซึ่งวัดเป็นค่าแรงตัดขาด (รูปที่ 4.33-4.34) พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บเพิ่มขึ้น กล้วยตากจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากเมื่อเก็บกล้วยตากนานขึ้น น้ำที่เยิ้มอยู่บริเวณผิวของกล้วยตากได้ระเหยไป ทำให้ผิวของกล้วยตากแห้ง ขาดความชุ่มชื้น จึงอาจทำให้เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น

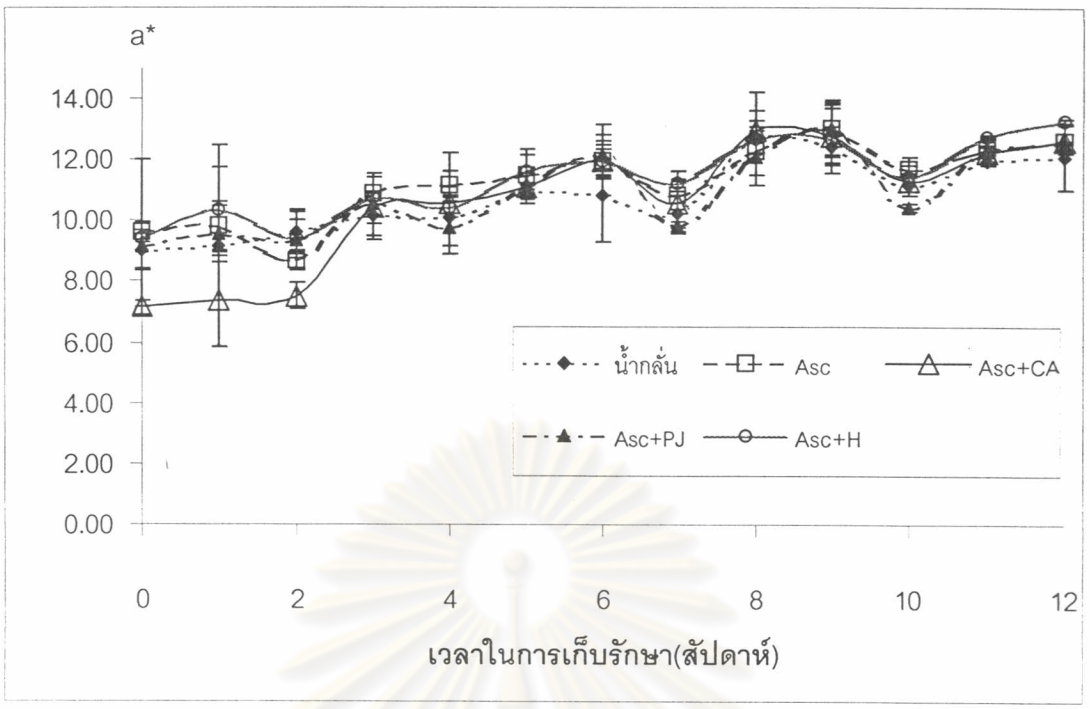
เมื่อศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลต่อคุณภาพของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษา พบว่าสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลมีผลทำให้คุณภาพของกล้วยตากในด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* ปริมาณ HMF และเนื้อสัมผัส เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบสีของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลกับกล้วยตากที่แช่ในน้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุมพบว่า กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลก่อนอบแห้ง มีแนวโน้มในการลดลงของค่า L* น้อยกว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่น้ำกลั่น โดยกล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมกรดซิตริก 0.5% และกล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำสับปะรดจะมีการเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำตาลคล้ำน้อยกว่าในตัวอย่างอื่น คือ มีค่า L* และค่า b* สูงกว่าในตัวอย่างอื่น และมีค่า a* ต่ำกว่าในตัวอย่างอื่น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่า HMF ที่วัดได้ (รูปที่ 4.31) โดยกล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมกรดซิตริก 0.5% จะมีปริมาณ HMF น้อยกว่าในตัวอย่างอื่น รองลงมาได้แก่ กล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำสับปะรด การที่มีปริมาณ HMF น้อยกว่าในตัวอย่างอื่น แสดงว่ากล้วยตากมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ดน้อย จึงอาจกล่าวได้ว่าสารทั้งสองชนิดนี้สามารถลดการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลคล้ำของกล้วยตากที่เกิดขึ้นทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษาได้ เมื่อพิจารณาเนื้อสัมผัสพบว่า กล้วยตากทีผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำผึ้ง 5% จะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าในตัวอย่างอื่นๆ อาจเนื่องมาจากภายในชิ้นกล้วยตากมีน้ำตาลอยู่สูงกว่าในตัวอย่างอื่น เนื่องจากผ่านการแช่ในน้ำผึ้งซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง เมื่อเปรียบเทียบผลของการบรรจุกล้วยตากแบบธรรมดากับสุญญากาศต่อคุณภาพของกล้วยตากในด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* เนื้อสัมผัส ปริมาณ HMF พบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)



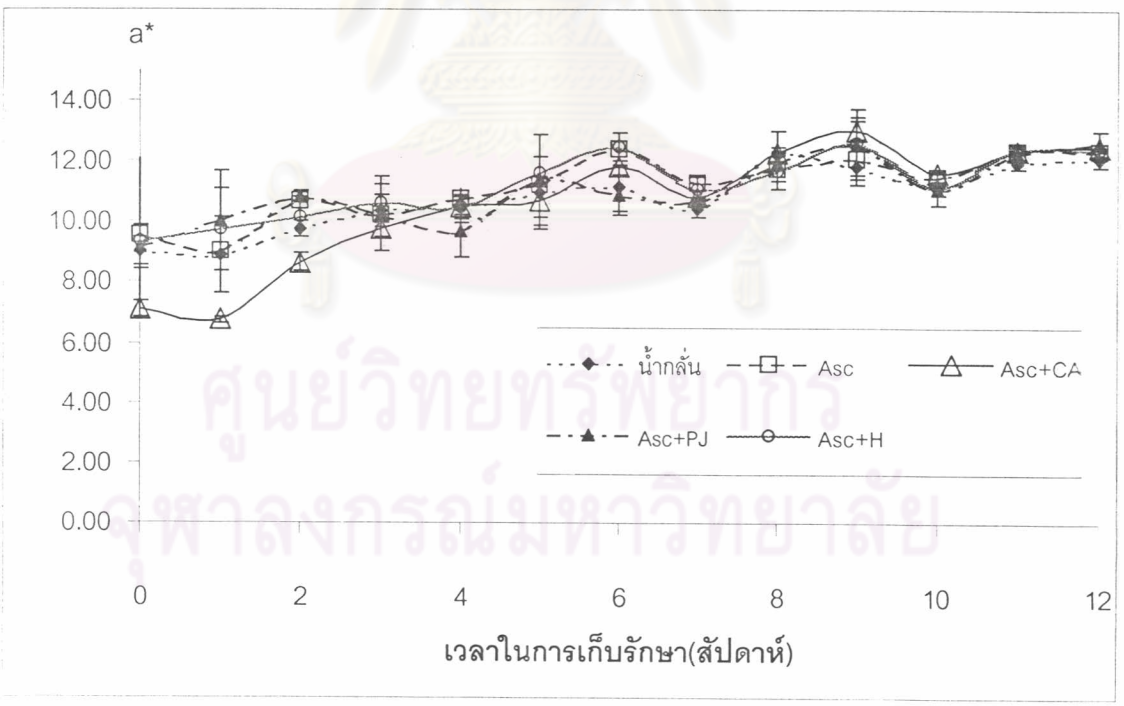
รูปที่ 4.25 ค่า L* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบธรรมดาในระหว่างเก็บรักษา



รูปที่ 4.26 ค่า L* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบสุญญากาศในระหว่างเก็บรักษา

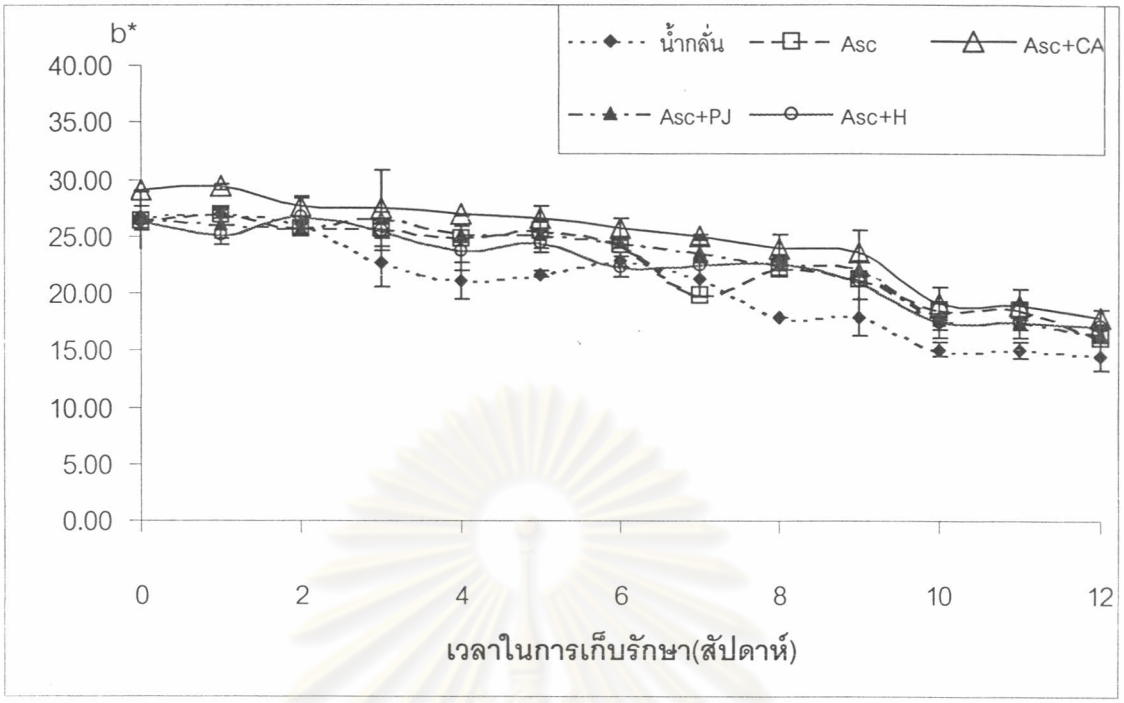


รูปที่ 4.27 ค่า a* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบธรรมดาในระหว่างเก็บรักษา

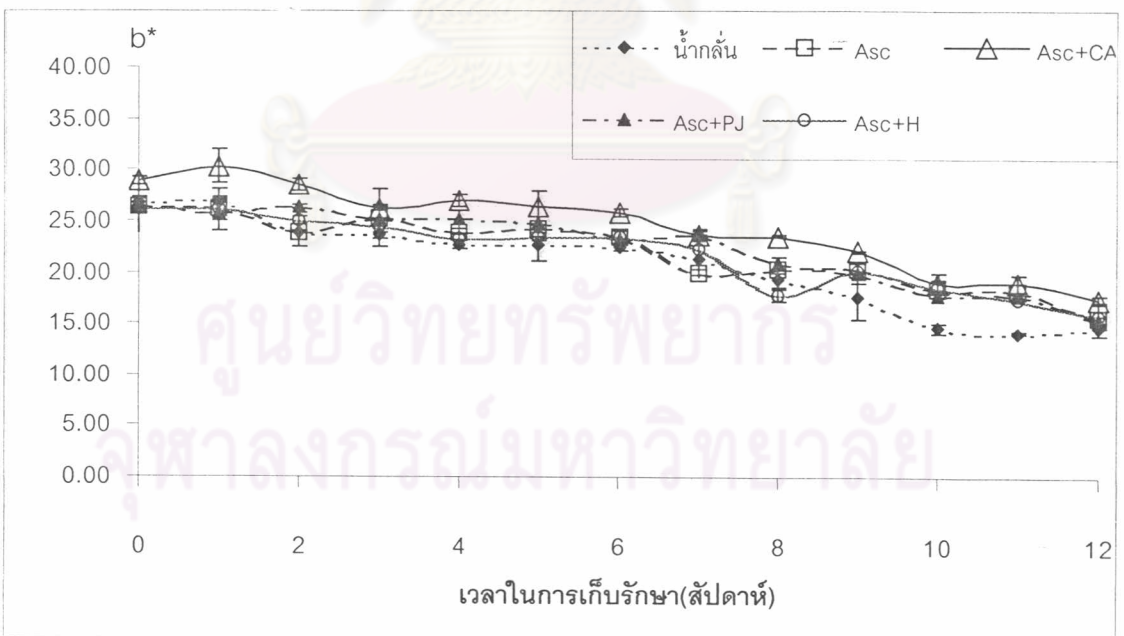


รูปที่ 4.28 ค่า a* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบสุญญากาศในระหว่างเก็บรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

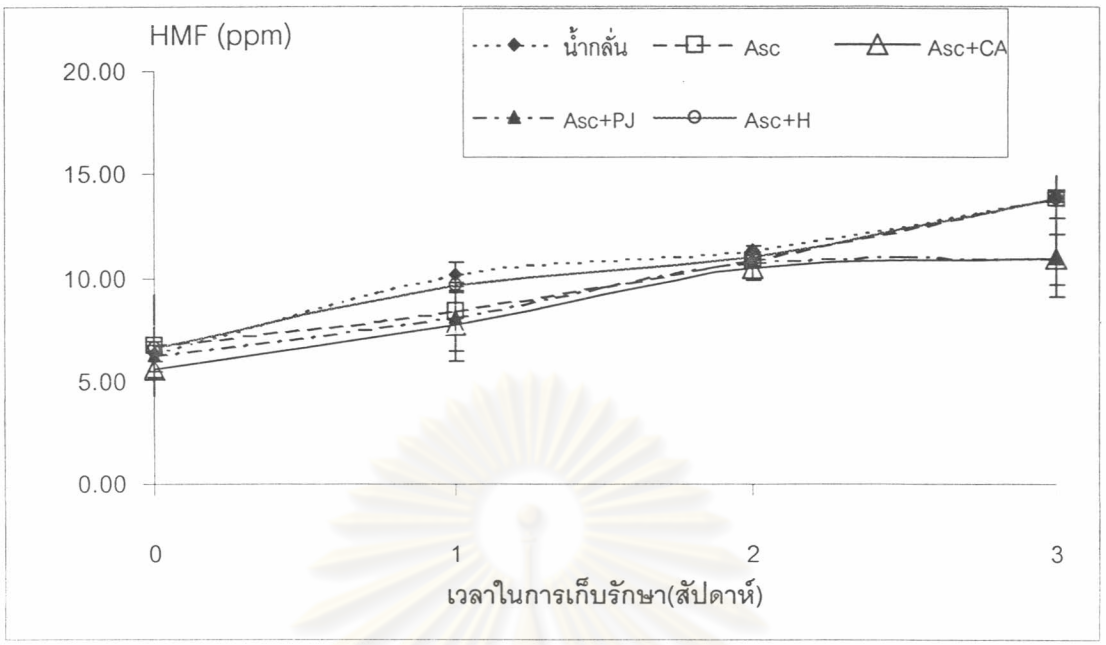


รูปที่ 4.29 ค่า b* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบธรรมดาในระหว่างเก็บรักษา

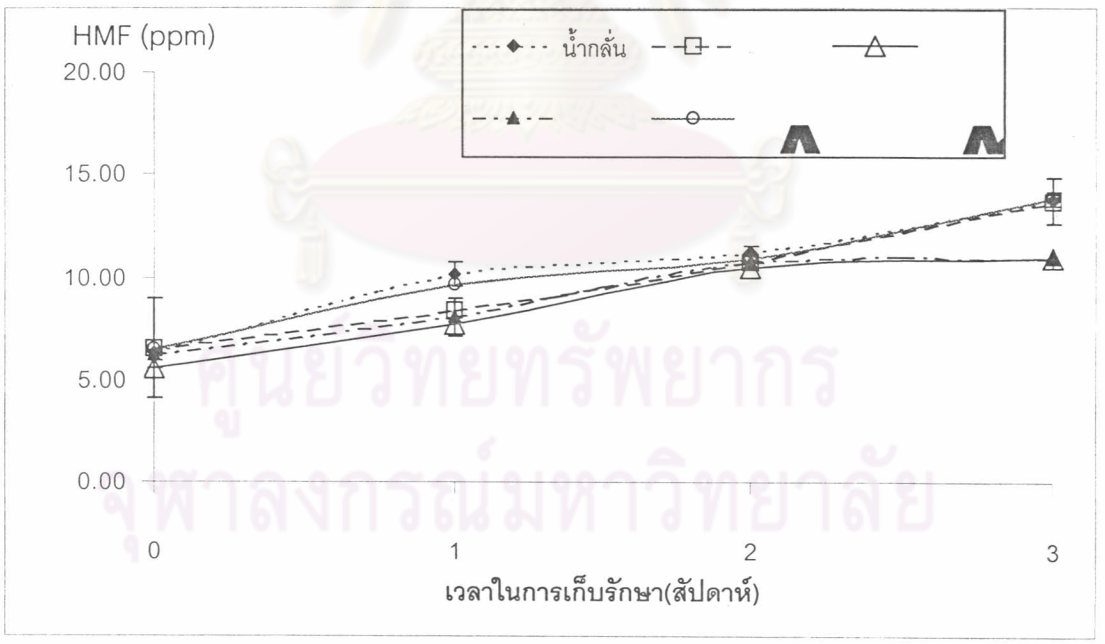


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.30 ค่า b* ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบสุญญากาศในระหว่างเก็บรักษา

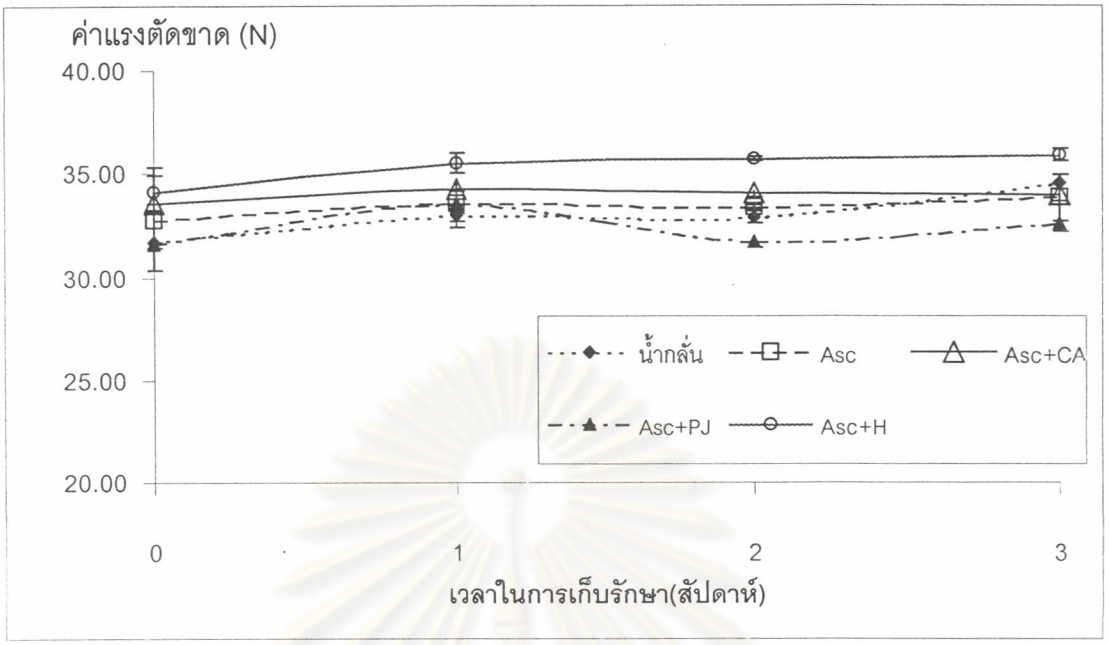


รูปที่ 4.31 ค่า HMF ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบธรรมดาในระหว่างเก็บรักษา

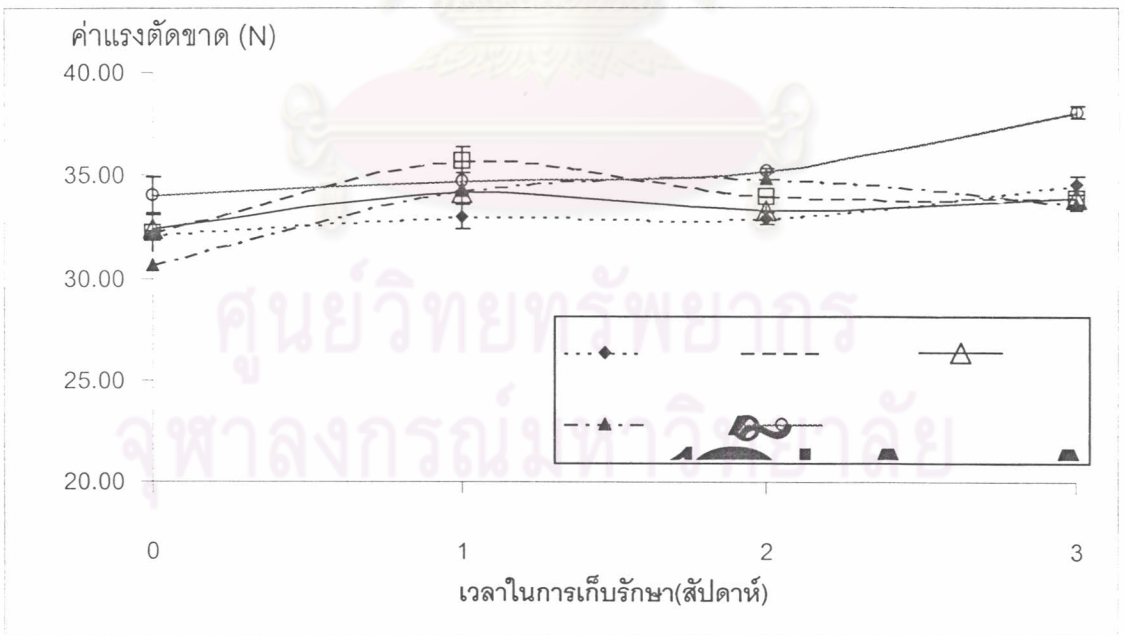


รูปที่ 4.32 ค่า HMF ของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบสุญญากาศในระหว่างเก็บรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.33 ค่าแรงตัดขาดของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบธรรมดาในระหว่างเก็บรักษา



รูปที่ 4.34 ค่าแรงตัดขาดของกล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ และบรรจุแบบสุญญากาศในระหว่างเก็บรักษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากจะพิจารณาอายุการเก็บของกล้วยตากจากสีแล้ว ยังต้องมีการตรวจสอบคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เพื่อให้ทราบว่ากล้วยตากเริ่มเกิดการเสื่อมเสียและเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคหรือไม่ (โดยปกติแล้วอายุการเก็บของกล้วยตากจะอยู่ในระยะ 2-3 เดือน) โดยทำการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 -4.11 จากการตรวจสอบทางด้านจุลินทรีย์พบว่า ตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 10^4 โคโลนี/กรัม ตรวจไม่พบยีสต์และรา ซึ่งไม่เกินจากที่กำหนดไว้ในมอก.กล้วยอบ (586/2528) โดยกำหนดให้สามารถตรวจพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในกล้วยตากได้ไม่เกิน 10^4 โคโลนี/กรัม และตรวจพบยีสต์และราได้ไม่เกิน 10^2 โคโลนี/กรัม การที่กล้วยตากสามารถเก็บไว้ได้โดยไม่เสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ภายในระยะเวลา 3 เดือนที่เก็บรักษา อาจเนื่องมาจากกล้วยตากที่ผลิตมีค่า Aw 0.65 จึงลดการเสี่ยงของการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ได้ จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.12 - 4.16) พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษากล้วยตากมีผลทำให้คะแนนความชอบทางด้านสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) โดยเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น กล้วยตากจะได้รับคะแนนความชอบทางด้านสีลดลง ซึ่งแสดงว่าผู้ทดสอบสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยตากได้ ส่วนการศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล พบว่ากล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมกรดซิตริก 0.5% และกล้วยตากที่ผ่านการแช่กรดแอสคอร์บิก 0.5% ผสมน้ำสับปะรดมีคะแนนความชอบมากกว่าในตัวอย่างอื่น การบรรจุแบบธรรมดาและสุญญากาศได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ผู้บริโภคยังคงให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ เมื่อเก็บรักษากล้วยตากไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยคะแนนอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง

ตารางที่ 4.10 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษาในสภาวะธรรมดา

ระยะเวลา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)				
	น้ำกลั่น	Asc 0.5%	Asc 0.5%+CA 0.5%	Asc 0.5%+PJ	Asc 0.5%+H
0	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	1.2×10^1	1.1×10^1	1.8×10^1	1.5×10^1	$1.1.\times10^1$

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของกล้วยตากในระหว่างเก็บรักษาในสภาวะสุญญากาศ

ระยะเวลา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)				
(เดือน)	น้ำกลั่น	Asc 0.5%	Asc 0.5%+CA 0.5%	Asc 0.5%+PJ	Asc 0.5%+H
0	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	$1.6x10^1$	$1.3x10^1$	$1.3x10^1$	$1.5x10^1$	$1.2.x10^1$

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

จากผลการทดลองซึ่งพบว่ากล้วยตากที่บรรจุในสภาวะธรรมดาและสุญญากาศมีคุณภาพทางด้านต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา โดยเฉพาะการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลคล้ำ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเนื่องมาจาก ถุง HDPE ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ใช้บรรจุกล้วยตากทั้งที่บรรจุในสภาวะธรรมดาและสุญญากาศ สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและป้องกันการซึมผ่านของแสงได้ดีในระดับหนึ่ง ทำให้ลดการดูดความชื้นจากภายนอก จึงช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีไปเป็นสีน้ำตาลคล้ำได้ถึงแม้จะไม่ได้บรรจุในสภาวะสุญญากาศ ซึ่งปฏิกิริยามายล์ลาร์ดจะเกิดได้ดีในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เนื่องจากน้ำจะทำให้สารตั้งต้นเคลื่อนที่ได้เร็วจึงทำปฏิกิริยากันได้มากขึ้น

การควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จากผักผลไม้ ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่อาจช่วยลดอัตราการเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยามายล์ลาร์ดได้ เนื่องจากที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาสูง จะทำให้โมเลกุลของสารตั้งต้นได้แก่ น้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโน, โปรตีน เคลื่อนที่มาทำปฏิกิริยากันได้เร็วขึ้น จึงทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ดังนั้นการลดอุณหภูมิในระหว่างการผลิตและเก็บรักษาอาจทำให้อัตราการเกิดสีน้ำตาลช้าลง จากงานวิจัยของ Joubert, Wium และ Sadie (2001) ซึ่งศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์แพร์อบแห้งในระหว่างเก็บรักษา และศึกษาผลของความชื้นของผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยแปรความชื้นเป็น 16% 18% และ 20% และแปรอุณหภูมิในการเก็บรักษา เป็น 4 °C, 7 °C, 10 °C และ 20 °C พบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น แพร์อบแห้งจะมีค่า L* และ b* ลดลง แต่มีค่า a* เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น โดยค่า L* ที่ลดลงจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นได้เด่นชัดที่สุด และความชื้นของผลิตภัณฑ์และอุณหภูมิในการเก็บรักษาก็มีผลต่อการเปลี่ยนสีของแพร์อบแห้ง โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงและเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง จะมีอัตราการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำกว่าและเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า

ตารางที่ 4.12 คะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา ทดสอบโดยใช้ hedonic scale (9-score)

ระยะเวลา (เดือน)	สภาวะการบรรจุ	น้ำกลั่น^{ns}	Asc 1.0%^{ns}	Asc 0.5% + CA 0.5%^{ns}	Asc 0.5% + PJ^{ns}	Asc 0.5% + H 5%^{ns}
0	ธรรมดา	6.28±1.14	6.43±1.09	6.45±1.43	6.62±1.27	6.38±1.27
	สุญญากาศ	6.37±1.16	6.35±1.14	6.53±1.31	6.48±1.29	6.50±1.05
1	ธรรมดา	6.17±1.13	6.23±1.13	6.40±1.28	6.55±1.22	6.15±1.04
	สุญญากาศ	6.42±1.30	6.48±1.02	6.50±1.25	6.70±1.21	6.28±1.12
2	ธรรมดา	6.52±1.18	6.43±1.06	6.37±1.26	6.40±1.18	6.35±1.03
	สุญญากาศ	6.35±1.24	6.15±1.03	6.50±1.04	6.32±1.02	6.33±1.00
3	ธรรมดา	6.25±1.03	6.25±1.03	6.22±1.00	6.37±1.21	6.38±1.09
	สุญญากาศ	6.43±1.09	6.33±1.34	6.40±1.15	6.47±1.15	6.27±1.00

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.13 คะแนนความชอบทางด้านสีของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา ทดสอบโดยใช้ hedonic scale (9-score)

ระยะเวลา (เดือน)	สภาวะการบรรจุ	น้ำกลั่น	Asc 1.0%	Asc 0.5% + CA 0.5%	Asc 0.5% + PJ	Asc 0.5% + H 5%
0	ธรรมดา	$6.57^{a}\pm1.03$	$6.50^{a}\pm1.00$	$7.02^{a}\pm1.13$	$7.07^{a}\pm1.04$	$6.57^{a}\pm1.06$
	สุญญากาศ	$6.65^{a}\pm1.00$	$6.62^{a}\pm1.04$	$7.00^{a}\pm1.18$	$7.05^{a}\pm1.00$	$6.73^{a}\pm1.02$
1	ธรรมดา	$6.32^{ab}\pm1.12$	$6.20^{ab}\pm1.06$	$6.78^{ab}\pm1.39$	$6.62^{ab}\pm1.23$	$6.20^{ab}\pm1.01$
	สุญญากาศ	$6.25^{abc}\pm1.12$	$6.30^{ab}\pm1.00$	$6.45^{ab}\pm1.17$	$6.53^{ab}\pm1.20$	$6.28^{ab}\pm1.01$
2	ธรรมดา	$6.19^{abc}\pm1.06$	$6.18^{ab}\pm0.94$	$6.42^{ab}\pm1.18$	$6.48^{ab}\pm1.15$	$6.13^{ab}\pm0.96$
	สุญญากาศ	$6.10^{abc}\pm1.07$	$6.00^{ab}\pm1.04$	$6.50^{ab}\pm1.04$	$6.35^{ab}\pm1.04$	$6.18^{ab}\pm0.82$
3	ธรรมดา	$5.61^{c}\pm0.70$	$5.80^{b}\pm0.82$	$6.07^{b}\pm0.87$	$6.17^{b}\pm1.23$	$5.93^{b}\pm0.69$
	สุญญากาศ	$5.83^{c}\pm0.96$b	$5.75^{b}\pm1.07$	$6.15^{b}\pm1.05$	$6.13^{b}\pm0.93$	$5.82^{b}\pm0.74$

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.14 คะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา ทดสอบโดยใช้ hedonic scale (9-score)

ระยะเวลา (เดือน)	สภาวะการบรรจุ	น้ำกลั่น^{ns}	Asc 1.0%^{ns}	Asc 0.5% + CA 0.5%^{ns}	Asc 0.5% + PJ	Asc 0.5% + H 5%^{ns}
0	ธรรมดา	6.45±1.19	6.38±0.92	6.92±1.16	6.95^{a}±1.11	6.45±1.17
	สุญญากาศ	6.48±0.99	6.45±1.13	6.88±1.23	6.98^{a}±0.94	6.58±1.03
1	ธรรมดา	6.22±1.23	6.00±1.17	6.58±1.56	6.42^{ab}±1.32	6.10±1.12
	สุญญากาศ	6.20±1.10	6.10±0.88	6.60±1.02	6.40^{ab}±0.79	6.10±0.84
2	ธรรมดา	6.10±0.97	6.08±0.83	6.32±0.86	6.38^{ab}±1.10	6.02±0.85
	สุญญากาศ	6.00±0.97	6.00±0.81	6.30±1.00	6.30^{ab}±1.00	6.02±0.57
3	ธรรมดา	5.66±0.69	5.90±0.90	6.12±0.90	6.07^{b}±1.05	5.82±0.67
	สุญญากาศ	5.68±0.83	5.803±1.06	6.10±1.08	6.05^{b}±0.92	5.80±0.76

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.15 คะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา ทดสอบโดยใช้ hedonic scale (9-score)

ระยะเวลา (เดือน)	สภาวะการบรรจุ	น้ำกลั่น^{ns}	Asc 1.0%^{ns}	Asc 0.5% + CA 0.5%^{ns}	Asc 0.5% + PJ^{ns}	Asc 0.5% + H 5%^{ns}
0	ธรรมดา	6.37±0.97	6.30±0.91	6.75±1.02	6.75±1.15	6.32±0.75
	สุญญากาศ	6.32±0.96	6.30±0.97	6.70±1.13	6.75±0.98	6.27±0.66
1	ธรรมดา	6.20±0.98	6.13±0.97	6.45±1.35	6.47±1.20	6.13±0.97
	สุญญากาศ	6.25±0.88	6.13±0.86	6.50±1.27	6.53±1.11	6.17±0.94
2	ธรรมดา	6.14±1.11	6.13±0.86	6.35±1.06	6.43±1.10	6.10±1.03
	สุญญากาศ	6.19±1.10	6.15±0.86	6.33±1.16	6.32±1.14	6.13±0.97
3	ธรรมดา	5.74±0.77	5.90±0.87	6.14±0.93	6.25±1.08	6.00±0.78
	สุญญากาศ	5.80±0.75	6.00±0.93	6.22±0.94	6.17±1.10	5.90±0.62

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.16 คะแนนความชอบทางด้านการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์กล้วยตากที่ผ่านการแช่สารป้องกันการเกิดสีน้ำตาลชนิดต่างๆ ในระหว่างเก็บรักษา ทดสอบโดยใช้ hedonic scale (9-score)

ระยะเวลา (เดือน)	สภาวะการบรรจุ	น้ำกลั่น	Asc 1.0% ^{ns}	Asc 0.5% + CA 0.5% ^{ns}	Asc 0.5% + PJ	Asc 0.5% + H 5% ^{ns}
0	ธรรมดา	$6.51^{a}\pm1.08$	6.28 ± 6.87	6.82 ± 1.24	$6.80^{a}\pm1.18$	6.30 ± 1.15
	สุญญากาศ	$6.45^{a}\pm1.07$	6.30 ± 1.07	6.72 ± 1.28	$6.85^{a}\pm1.08$	6.42 ± 1.22
1	ธรรมดา	$6.27^{ab}\pm1.15$	6.05 ± 1.10	6.42 ± 1.56	$6.32^{ab}\pm1.35$	6.05 ± 1.14
	สุญญากาศ	$6.17^{ab}\pm1.12$	6.08 ± 0.91	6.44 ± 1.02	$6.25^{ab}\pm0.75$	6.10 ± 0.84
2	ธรรมดา	$6.07^{ab}\pm0.99$	5.92 ± 0.73	6.22 ± 0.89	$6.22^{ab}\pm1.07$	6.02 ± 0.85
	สุญญากาศ	$6.00^{ab}\pm0.97$	5.98 ± 0.83	6.20 ± 0.99	$6.22^{ab}\pm1.01$	5.92 ± 0.57
3	ธรรมดา	$5.56^{b}\pm0.71$	5.80 ± 0.71	6.02 ± 1.02	$5.97^{b}\pm1.02$	5.68 ± 0.57
	สุญญากาศ	$5.52^{b}\pm0.64$	5.60 ± 0.99	5.95 ± 0.87	$5.95^{b}\pm0.94$	5.60 ± 0.66

(Asc = กรดแอสคอร์บิก, CA = กรดซิตริก, PJ = น้ำสับปะรด, H = น้ำผึ้ง)

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับ (a, b, c...) ต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)