บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์ของลิ้นจี่ต่อองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี

การศึกษาความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์ต่อองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมีของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย เพื่อใช้เป็นดัชนีบ่งบอกคุณภาพที่สำคัญของลิ้นจี่ สำหรับการเก็บเกี่ยว และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประกอบการตัดสินใจคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำไปแปรรูป โดยเฉพาะการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ พบว่า ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี แตกต่างกันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ลักษณะทางกายภาพ	ลิ้นจี่สายพันธุ์			
	กวางเจา	จักรพรรดิ์	โอเฮียะ	ฮงฮวย
ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน)	26.03 ± 3.017^{ab}	29.03 ± 1.169^{a}	20.72 ± 1.040^{c}	24.56 ± 0.918^{b}
ค่าสี L*	78.71 ± 0.864^{c}	84.52 ± 0.411^{a}	80.39 ± 0.649^{b}	74.79 ± 0.820^{d}
ค่าสี a*	1.49 ± 0.250^{c}	-1.86 ± 0.053^{d}	2.18 ± 0.170^{b}	3.25 ± 0.389^{a}
ค่าสี b*	12.11 ± 1.114^{c}	13.72 ± 0.608^{b}	14.04 ± 0.495^{b}	15.49 ± 0.902^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

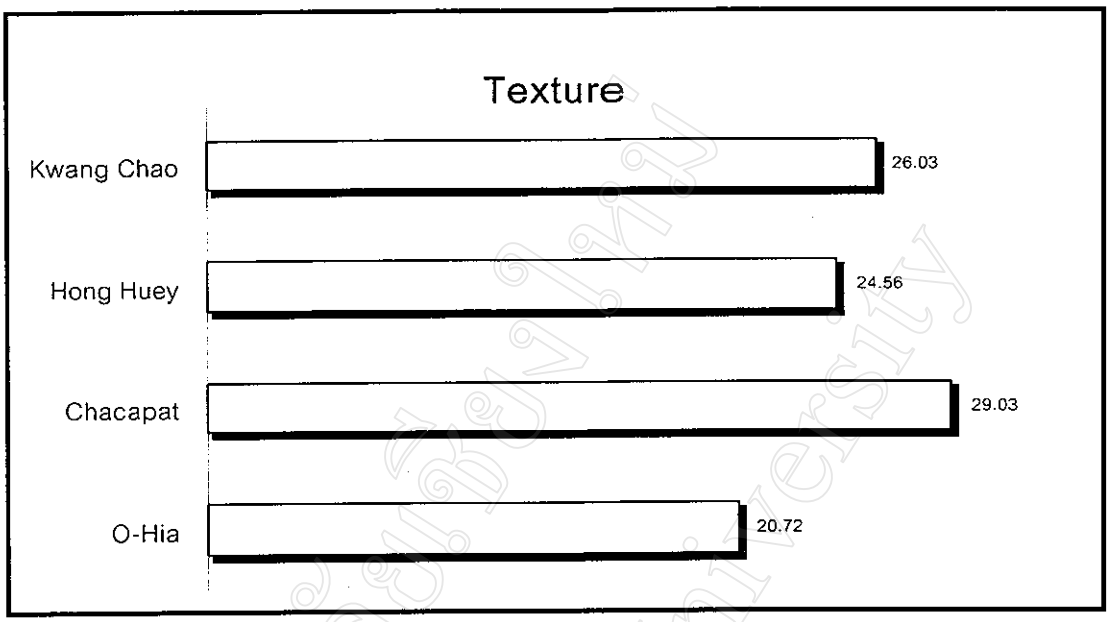
ค่าเนื้อสัมผัส (Texture)

ค่าเนื้อสัมผัสที่วัดออกมาในรูปของ Shear force เป็นค่าที่แสดงถึงความแน่นเนื้อของเนื้อเยื่อผลไม้ ซึ่งใช้บ่งบอกคุณภาพทางด้านความอ่อน-แก่ เพราะเมื่อผลไม้เริ่มแก่และสุกนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์โดยเอนไซม์กลุ่มเพคติเนส เกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพคตินซึ่งไม่ละลายน้ำในผลไม้ดิบไปเป็นเพคติน และกรดเพคติก ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ในผลไม้ที่แก่และสุกตามลำดับ จึงมีผลทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้สุกนั้นอ่อนตัวลง (Buren, 1991)

ผลการวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีค่าเนื้อสัมผัสที่วัดออกมาในรูปของ Shear force แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีค่าเนื้อสัมผัสเท่ากับ 29.03 ± 1.169 นิวตัน ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์กวางเจา ฮงฮวย และโอเฮียะ ที่มีค่าเนื้อสัมผัสเท่ากับ 26.03 ± 3.017, 24.56 ± 0.918 และ 20.72 ± 1.040 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีค่าเนื้อสัมผัสดังกล่าวข้างต้นแตกต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะความแตกต่างทางด้านสรีรวิทยาของลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโครงสร้างของผลไม้

ในระหว่างกระบวนการสุก ลิ้นจี่จะมีการเปลี่ยนแปลงของผนังเซลล์ โดยเฉพาะสารประกอบเพคตินที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของผนังเซลล์ โดยอยู่ในส่วนที่เรียกว่า Middle lamella ทำหน้าที่เชื่อมเซลล์ให้ติดกัน เมื่อผลไม้สุก โปรโตเพคตินจะถูกสลายตัวกลายเป็นเพคติน ซึ่งละลายได้ในน้ำ (Soluble pectin) โดยอาศัยกระบวนการ Depolymerization และ De-esterification มีเอนไซม์ Polygalacturonases และ β-galactosidase ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาการสลายโพลีเมอร์ของโปรโตเพคติน ซึ่งเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ จะทำให้กลุ่มเมธอกซิลแยกตัวออกจากโครงสร้างของสารประกอบเพคติน และทำให้ความยาวของโครงสร้างสั้นลง ทำให้การละลายน้ำของสารประกอบดังกล่าวเกิดได้ง่ายขึ้น และการไฮโดรไลซ์หมู่เมธิลออกจากโมเลกุลของเพคติน ได้เป็นกรดเพคติค ส่งผลให้ผนังเซลล์สลายตัว มีผลให้เนื้อของผลไม้นิ่มลง (Lazan *et al.*, 1993)

นอกจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเพคติน ที่มีส่วนทำให้โครงสร้างของผลไม้นิ่มลงแล้ว การเปลี่ยนแปลงของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสก็มีผลทำให้เกิดการนิ่มของผลไม้เช่นกัน ซึ่งการสลายตัวของเซลลูโลส จะมีความสัมพันธ์กับการอ่อนตัวของเนื้อเยื่อผลไม้ในระหว่างกระบวนการสุก (ดนัย, 2540)



รูปที่ 4.1 ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ค่าสีในระบบฮันเตอร์ (Color)

สีของผลไม้ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อลักษณะปรากฏภายนอก ในการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องวัดสี ซึ่งค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของค่าสี L*, a* และ b* โดยค่าสี L* เป็นค่าของความสว่าง เริ่มจากสีขาว (L* = 100) ไปจนถึงสีดำ (L* = 0) ค่าสี a* เป็นค่าของสีแดง เมื่อ a* มีค่าเป็นบวก หรือเป็นค่าของสีเขียว เมื่อ a* มีค่าเป็นลบ และค่าสี b* เป็นค่าของสีเหลือง เมื่อ b* มีค่าเป็นบวก หรือเป็นค่าของสีน้ำเงิน เมื่อ b* มีค่าเป็นลบ (McGuire, 1992 ; Giese, 1995)

ตารางที่ 4.1 ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีค่าสี L* หรือค่าสีขาว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีค่าสี L* เท่ากับ 84.52 ± 0.411 ซึ่งมีค่ามากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะ กวางเจา และฮงฮวย ที่มีค่าสี L* เท่ากับ 80.39 ± 0.649, 78.71 ± 0.864 และ 74.79 ± 0.820 ตามลำดับ

สำหรับค่าสี a* ซึ่งเป็นค่าของสีแดง-เขียวของตัวอย่าง จากการวิเคราะห์ค่าสี a* พบว่า ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษามีค่าสี a* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย โอเฮียะ และกวางเจา มีค่าสี a* เท่ากับ 3.25 ± 0.389, 2.18 ± 0.170 และ 1.49 ± 0.250 ตามลำดับ ซึ่งค่าสี a* ของลิ้นจี่ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าเป็นบวก แสดงว่า เนื้อลิ้นจี่ทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าสีแดงปนอยู่ด้วย ยกเว้นสายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่มีค่าสี a* เป็นลบ คือมีค่าเท่ากับ -1.86 ± 0.053

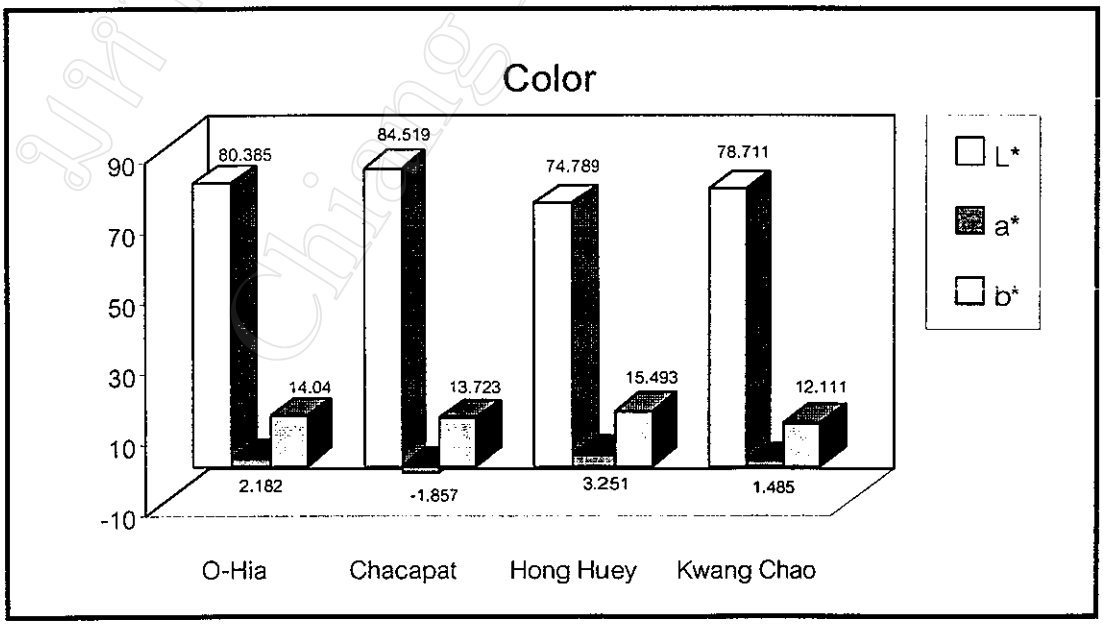
เมื่อพิจารณาค่าสี b* ที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งเป็นค่าของสีเหลือง-น้ำเงินของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า ค่าสี b* ของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์มีค่าเป็นบวก แสดงว่าเนื้อลิ้นจี่มีสีเหลือง โดยลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าสี b* เท่ากับ 15.49 ± 0.902 ซึ่งมีค่ามากกว่าสายพันธุ์โอเฮียะ จักรพรรดิ์ และกวางเจา ที่มีค่าสี b* เท่ากับ 14.04 ± 0.495, 13.72 ± 0.608 และ12.11 ± 1.114 ตามลำดับ แต่ค่าสี b* ของลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะและสายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ถ้าสังเกตจากรูปในภาคผนวก ก จะเห็นว่า เนื้อลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์มีสีขาวมากกว่าสีอื่น ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา มีค่าสี L* มากกว่า ค่าสี a* และ b* จึงทำให้สีของเนื้อลิ้นจี่ที่ปรากฏภายนอกส่วนใหญ่เป็นสีขาว โดยมีสีแดง สีเขียว และสีเหลืองปนอยู่เล็กน้อย ความแตกต่างของค่าสี L*, a* และ b* ในลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ เป็นผลมาจากการมีรงควัตถุ หรือสารให้สีในปริมาณที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความอ่อน-แก่ของลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ด้วย ในช่วงแรกของการเจริญเติบโต ผลลิ้นจี่จะมีสีเขียว เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหลักในคลอโรพลาสต์ ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง แต่เมื่อเข้าสู่กระบวนการสุก ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา ทางกายภาพ และ ทางเคมี เกิดขึ้น คลอโรฟิลล์จะสลายตัว ทำให้สีเขียวหายไป ต่อจากนั้นจะเกิดการสังเคราะห์รงควัตถุที่ให้สีเหลือง ส้ม แดง หรือสีอื่น ๆ

โดยทั่วไปสันนิษฐานว่าการหายไปของสีเขียวในผลลิ้นจี่นั้น เป็นผลมาจากการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ แต่กระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์นั้น ไม่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัว เอนไซม์คลอโรฟิลเลส (Chlorophyllase) เป็นเอนไซม์ที่สลายคลอโรฟิลล์ โดยแยกส่วนที่เป็นไฟทอล (Phytol) ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ ซึ่งคาดกันว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายตัว สีของแอนโธไซยานินจะปรากฏชัดขึ้น ซึ่งรงควัตถุนี้เป็นสารประกอบโพลีฟีนอล (Polyphenol) ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ประกอบด้วยแอนโธไซยานิดิน (Anthocyanidin) ซึ่งเกาะติดกับโมเลกุลของน้ำตาล

แอนโธไซยานินในเซลล์ของพืช หรือในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพืชไม่ค่อยเสถียร เมื่อโครงสร้างเปลี่ยนแปลงไปก็จะทำให้สีเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยสีและการเปลี่ยนแปลงของแอนโธไซยานินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างคือ แสง ออกซิเจน ความร้อน สภาพความเป็นกรด-ด่าง เอนไซม์เปอร์ออกไซด์ วิตามินซี ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไอออนของโลหะ โมเลกุลของน้ำตาล สารประกอบฟีนอล และสารสีอื่น ๆ (จริงแท้, 2541)

แอนโธไซยานิน เป็นรงควัตถุที่พบมากในลิ้นจี่ โดยเฉพาะในช่วงของการสุก มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสีของลิ้นจี่ภายหลังการเก็บเกี่ยวและในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Oxidative browning ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สีของลิ้นจี่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากการเก็บเกี่ยว ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้อายุการจำหน่ายและการเก็บรักษาของลิ้นจี่มีระยะเวลาสั้น นอกจากนี้ Underhill (1990) ได้กล่าวถึงการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่หลังจากการเก็บเกี่ยวว่ามีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำของเปลือก ทำให้เกิด Cell plasmolysis โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเซลล์ในชั้น Mesocarp ของเปลือก เป็นผลให้เซลล์เมมเบรนเสียคุณสมบัติ และเกิดการรั่วไหลของเอนไซม์ Polyphenol oxidase (PPO) และเอนไซม์ Peroxidase (POD) ทำให้เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ ไปกระตุ้นปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแอนโธไซยานินในสภาพที่มีออกซิเจน จนเกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้น



รูปที่ 4.2 **ค่าสี L*, a* และ b* ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย**

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) โดยคิดเทียบเป็นกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์			
	กวางเจา	จักรพรรดิ์	โอเฮียะ	ฮงฮวย
กรดซิตริก	0.46±0.009[a]	0.40±0.002[b]	0.34±0.006[c]	0.32±0.002[d]
กรดทาร์ทาริก	0.48±0.005[a]	0.41±0.003[b]	0.33±0.002[c]	0.33±0.022[d]
กรดมาลิก	0.48±0.010[a]	0.41±0.002[b]	0.35±0.006[c]	0.33±0.005[d]

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

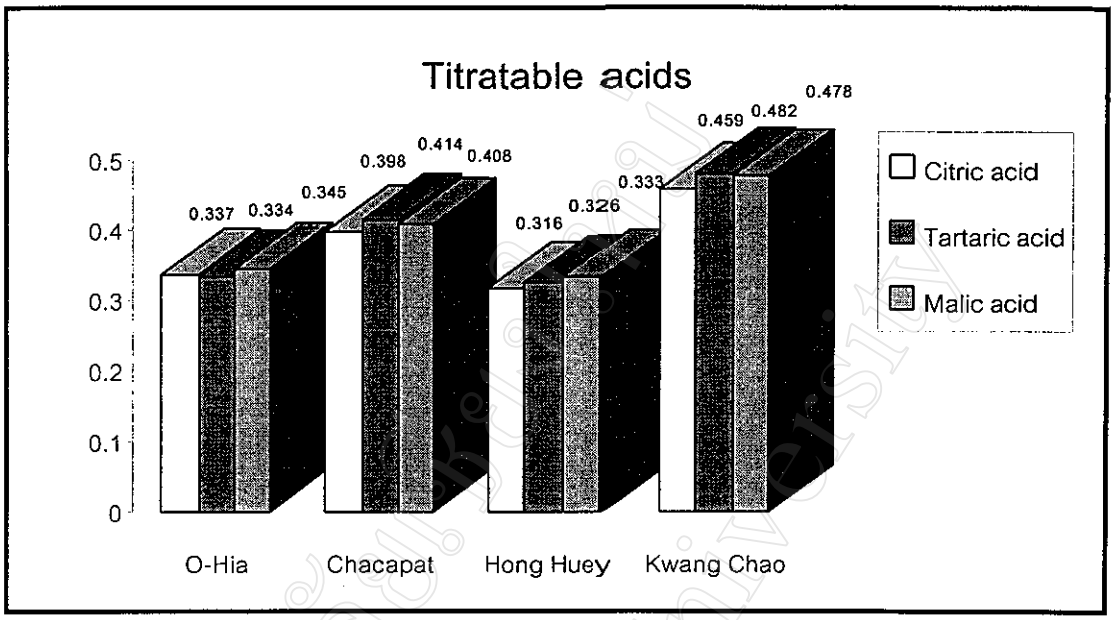
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก

กรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในลิ้นจี่ ได้แก่ กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก (ดนัย และนิธิยา, 2535) จากตารางที่ 4.2 พบว่า ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งได้แก่ สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีปริมาณของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา มีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 0.46±0.009, 0.48±0.005 และ 0.48±0.010 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย ตามลำดับ ปริมาณกรดซิตริกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.40±0.002 ถึง 0.32±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.41±0.003 ถึง 0.33±0.022 กรัม ต่อ 100 กรัม และปริมาณกรดมาลิกที่วิเคราะห์ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.41±0.002 ถึง 0.33±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิกนั้น พบว่า ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์มีปริมาณกรดทาร์ทาริกมากที่สุด รองลงมาได้แก่ กรดมาลิก และกรดซิตริก ตามลำดับ โดยปริมาณกรดซิตริกที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.32-0.46 กรัม ต่อ 100 กรัม กรดทาร์ทาริกอยู่ในช่วง 0.33-0.48 กรัม ต่อ 100 กรัม และกรดมาลิกอยู่ในช่วง 0.33-0.48 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งช่วงของกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chan and Kwok (1974) ที่พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ Brewster มีปริมาณกรดอินทรีย์อยู่ประมาณร้อยละ 0.2-0.6 โดยร้อยละ 80 ของปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในลิ้นจี่เป็นกรดมาลิก ส่วนอีกร้อยละ 20 เป็นกรดซิตริก กรดซักซินิก กรดเลวูลินิก กรดฟอสฟอริค กรดกลูตามิก กรดมาโลนิก และกรดแลคติก และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh and Singh (1954) ซึ่งพบว่า ลิ้นจี่ 12 สายพันธุ์ที่เพาะปลูกได้ในประเทศอินเดีย มีปริมาณกรดอินทรีย์อยู่ร้อยละ 0.20-0.64

กรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เป็นกรดที่ได้จากกระบวนเมตาบอลิสม์ในวิถีเครปส์ (Tricarboxylic acid cycle : TCA cycle) ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการหายใจภายในเซลล์ โดยการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรต หรือเกิดจากการเคลื่อนย้ายกรดจากส่วนอื่น ๆ ของพืชมาที่ผล ซึ่งส่วนใหญ่กรดอินทรีย์จะถูกสะสมอยู่แวคคิวโอของเซลล์ มีความสำคัญต่อรสชาติของลิ้นจี่ โดยเฉพาะรสเปรี้ยว ปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบในลิ้นจี่นั้น จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับฤดูกาลเพาะปลูก สภาพดินที่ปลูก ตลอดจนภูมิอากาศในระหว่างการเพาะปลูก พันธุ์ และความอ่อน-แก่ โดยทั่วไปในระหว่างกระบวนการสุก กรดอินทรีย์จะมีปริมาณลดลง และมีการลดลงอย่างต่อเนื่องภายหลังจากการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมียังคงดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง กรดอินทรีย์บางส่วนถูกนำไปใช้ในการหายใจ และนอกจากนี้ยังเป็นต้นกำเนิดของโมเลกุลของสารอื่น ๆ อีกด้วย เช่น กรดอะมิโน จึงทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งในระหว่างกระบวนการสุกและภายหลังจากการเก็บเกี่ยว (จริงแท้, 2541)



รูปที่ 4.3 ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์			
	กวางเจา	จักรพรรดิ์	โอเฮียะ	ฮงฮวย
กลูโคส	3.720±0.005^{d}	5.921±0.040^{b}	6.132±0.043^{a}	3.930±0.009^{c}
ฟรุกโตส	7.564±0.008^{d}	11.472±0.001^{b}	11.982±0.247^{a}	8.100±0.004^{c}
ซูโครส	3.752±0.193^{b}	4.099±0.150^{a}	0.127±0.054^{c}	3.354±0.158^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำตาล ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส

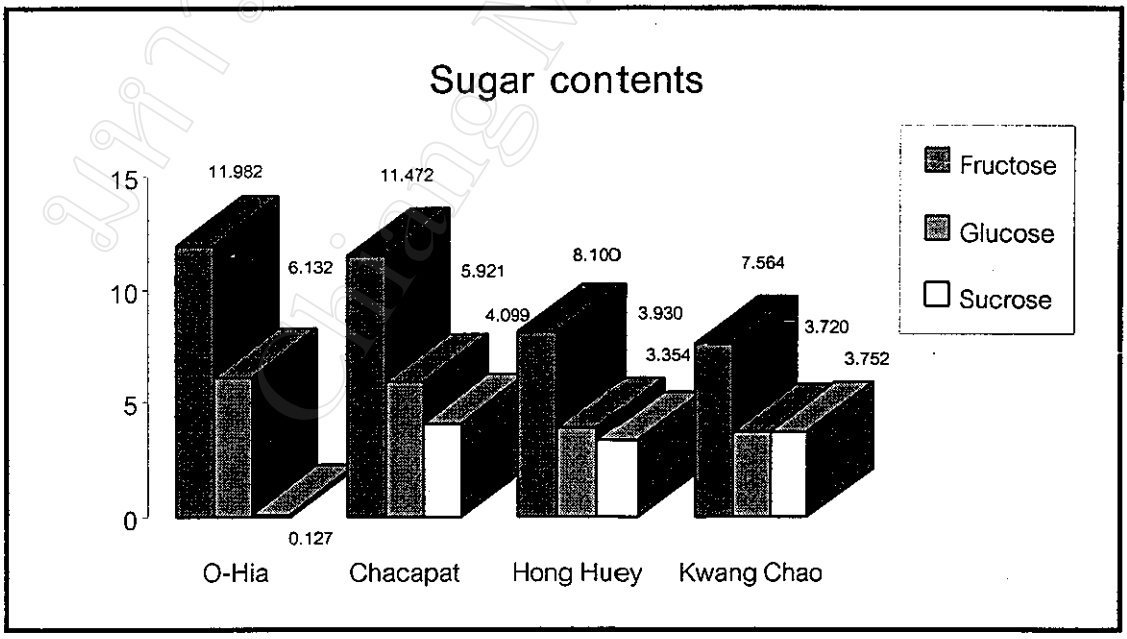
ปริมาณน้ำตาล ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะ มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส มากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 6.132±0.043 และ 11.982±0.247 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำตาลซูโครส มีปริมาณเท่ากับ 0.127±0.054 กรัม ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 4.099±0.150 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส เท่ากับ 5.921±0.040 และ 11.472±0.001 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา และสายพันธุ์ฮงฮวย พบว่า ลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณน้ำตาลซูโครสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจามีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส เท่ากับ 3.720±0.005, 7.564±0.008 และ 3.752±0.193 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส เท่ากับ 3.930±0.009, 8.100±0.004 และ 3.354±0.158 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ในลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมากที่สุด และปริมาณที่พบรองลงมาคือ น้ำตาลกลูโคส และซูโครส โดยปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสที่วิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 7.564-11.982 กรัม ต่อ 100 กรัม น้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 3.930-6.132 กรัม ต่อ 100 กรัม และน้ำตาลซูโครสอยู่ในช่วง 0.127-4.099 กรัม ต่อ 100 กรัม และเมื่อคิดเป็นปริมาณน้ำตาลทั้งหมด จะมีปริมาณอยู่ในช่วง 15.036-21.492 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับรายงานวิจัยหลายฉบับที่อ้างถึง ลิ้นจี่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตในรูปของน้ำตาลประมาณร้อยละ 12-24 ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลรีดิวซ์ (กัลปพฤกษ์, 2534) นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลยังชี้ให้เห็นว่า ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่เพาะปลูกในเขตภาคเหนือของประเทศไทย มีปริมาณน้ำตาลโดยเฉลี่ยมากกว่า ลิ้นจี่ที่เพาะปลูกได้ในประเทศอินเดียที่มีปริมาณน้ำตาลโดยเฉลี่ยร้อยละ 10-13 และลิ้นจี่ที่เพาะปลูกได้ในรัฐฟลอริดา

ประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีปริมาณน้ำตาลโดยเฉลี่ยร้อยละ 12.9-14.12 (Singh and Singh, 1954 : Stahl, 1935) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์ ฤดูกาลเพาะปลูก สภาพดินที่ปลูก ตลอดจนภูมิอากาศในระหว่างการเพาะปลูก และความอ่อน-แก่ มีผลทำให้ลิ้นจี่มีปริมาณน้ำตาลโดยเฉลี่ยแตกต่างกัน

ปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้มีความสัมพันธ์กับรสชาติของลิ้นจี่ โดยเฉพาะรสหวาน ซึ่งเป็นผลมาจากการมีปริมาณของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ที่แตกต่างกัน จึงทำให้ความหวานของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์แตกต่างกันด้วย เพราะน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบมีชนิด และปริมาณแตกต่างกัน นอกจากนี้น้ำตาลแต่ละชนิดมีความหวานไม่เท่ากัน น้ำตาลกลูโคสจะมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 0.7-0.8 เท่า ในขณะที่น้ำตาลฟรุกโตสจะมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครสประมาณ 1.8 เท่า จึงเป็นเหตุให้ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีความหวานแตกต่างกัน (สินธนา, 2543)



รูปที่ 4.4 ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) และปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่สายพันธุ์ กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์			
	กวางเจา	จักรพรรดิ์	โอเฮียะ	ฮงฮวย
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.07±0.015^{c}	4.37±0.012^{b}	4.54±0.032^{a}	4.51±0.012^{a}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	17.12±0.115^{b}	18.35±0.115^{a}	16.07±0.001^{c}	17.13±0.115^{b}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	14.780±0.433^{c}	70.956±0.001^{a}	13.051±0.923^{d}	16.556±0.426^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

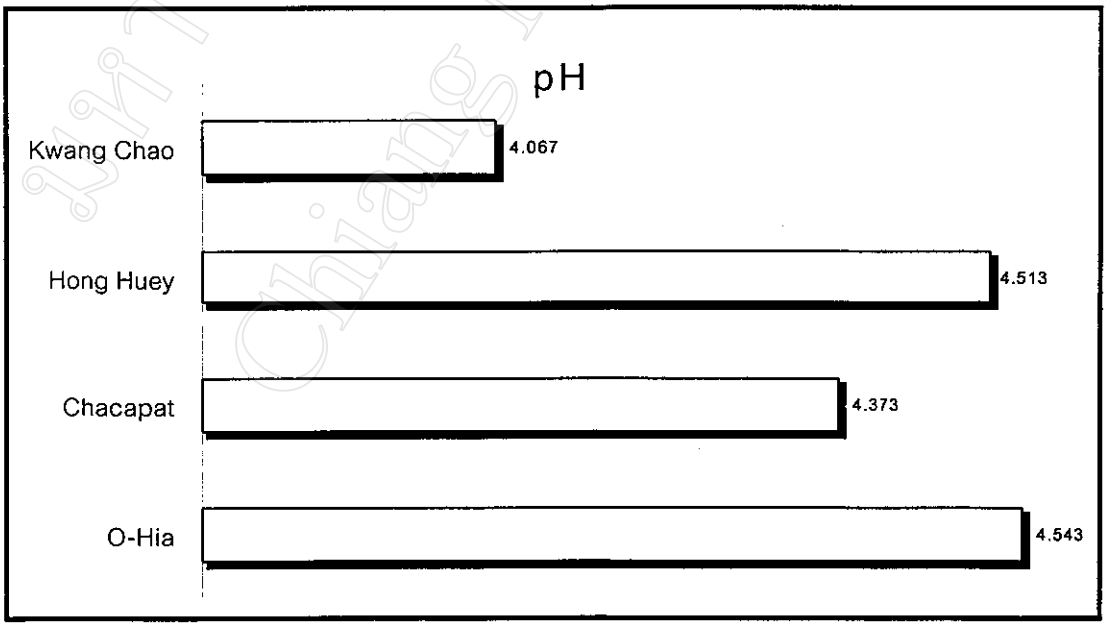
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะ มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 4.54±0.032 ซึ่งมีค่ามากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย จักรพรรดิ์ และกวางเจา ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.51±0.012, 4.37±0.012 และ 4.07±0.015 ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะนั้น มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Tripathi *et al.*, 1987 ที่รายงานว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ Rose scented, Calcuttia, Desi และ Late Bedana มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 4.5 โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ดังกล่าว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในผลไม้ กล่าวคือ ถ้าผลไม้มีปริมาณกรดอินทรีย์อยู่มาก ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลไม้ก็จะต่ำ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดในลิ้นจี่สายพันธุ์พันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย ให้ผลที่สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของลิ้นจี่ ในระหว่างกระบวนการสุก ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลทำให้สีของลิ้นจี่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลมาจากแอนโธไซยานิน ในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ แอนโธไซยานินจะมีสีแดง แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น แอนโธไซยานินจะมีสีน้ำเงิน ในผลไม้บางชนิด พบว่าปริมาณแอนโธไซยานินเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่ไม่มีสี หรือเกิดสีน้ำตาล เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างภายในเซลล์มากกว่า 4 ดังนั้นในการแปรรูปผลไม้ที่มีแอนโธไซยานินสูง โดยเฉพาะลิ้นจี่ จึงควรคำนึงถึงค่าความเป็นกรด-ด่างของสภาพแวดล้อมในขณะนั้น การปนเปื้อนของสารชะล้างที่ใช้ล้างผลไม้ การใช้น้ำกระด้างในการหุงต้ม จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลไม้เพิ่มสูงขึ้น และผลที่ตามมาคือ เกิดการเปลี่ยนสีของแอนโธไซยานิน ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (สินธนา, 2543)

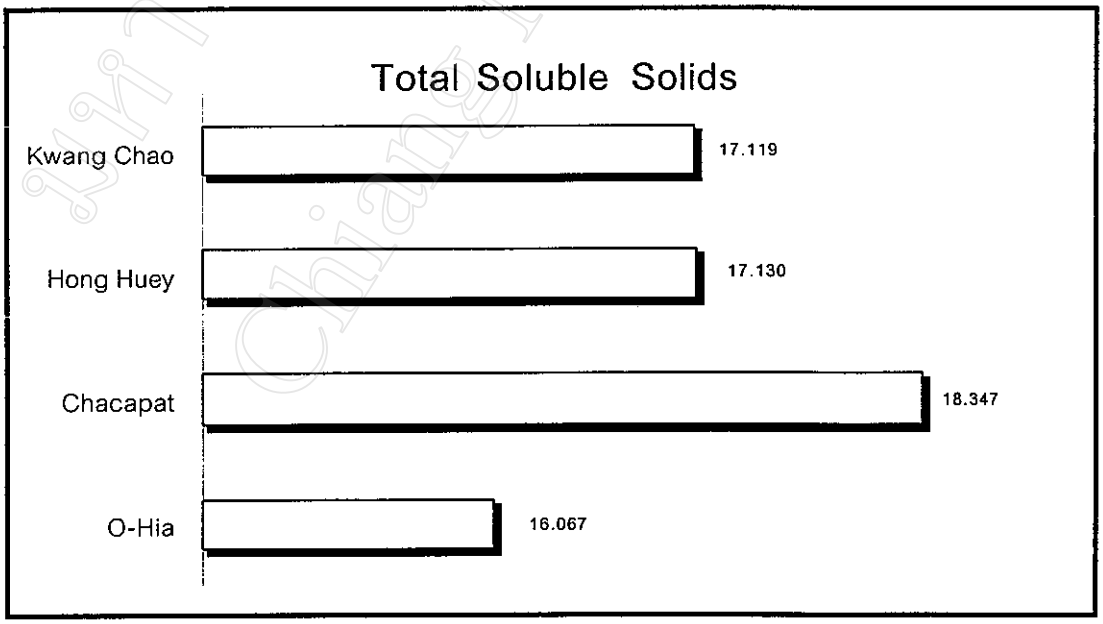


รูปที่ 4.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solids)

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีค่าอยู่ระหว่าง 16.07±0.001 ถึง 18.35±0.115 องศาบริกซ์ ในตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นสายพันธุ์ฮงฮวย และสายพันธุ์กวางเจา ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 18.35±0.115 องศาบริกซ์ รองลงมาได้แก่ สายพันธุ์ฮงฮวย กวางเจา และโอเฮียะ ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ส่วนใหญ่จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส มากกว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ฤดูกาลเพาะปลูก สภาพดินที่ปลูก ตลอดจนภูมิอากาศในระหว่างการเพาะปลูก และความอ่อน-แก่ ด้วย (สินธนา, 2543)

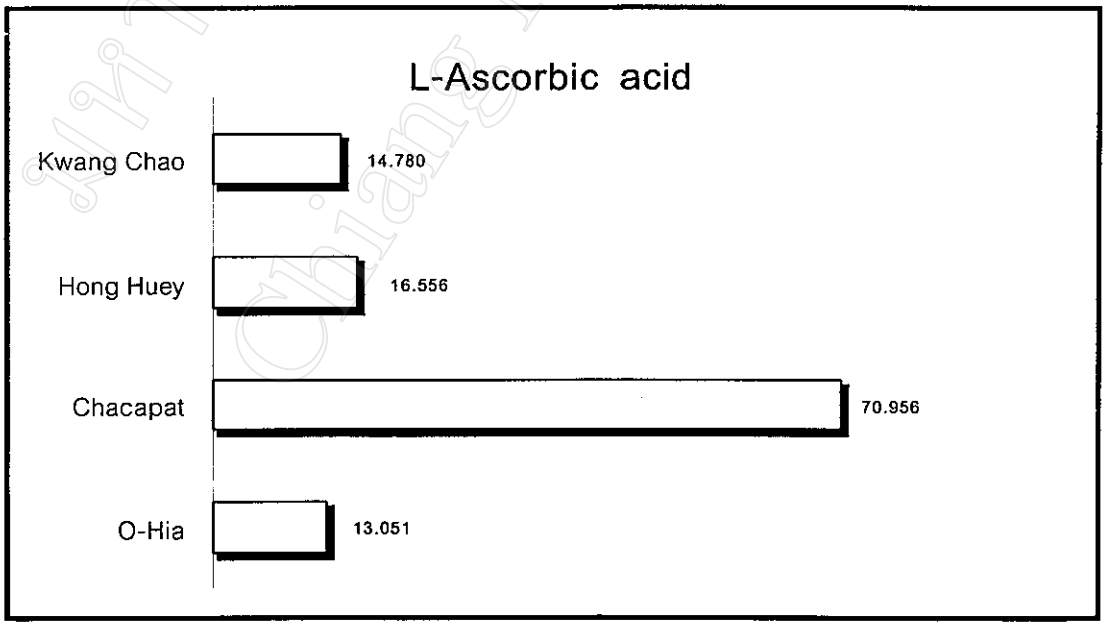


รูปที่ 4.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา มีปริมาณวิตามินซีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีค่าเท่ากับ 14.780 ± 0.433, 70.956 ± 0.001, 13.051 ± 0.923 และ16.556 ± 0.426 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ลิ้นจี่เป็นผลไม้ที่มีวิตามินซีสูงมาก โดยเฉพาะสายพันธุ์จักรพรรดิ์ ซึ่งมีปริมาณวิตามินซีมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ ถึง 4 เท่า

อย่างไรก็ตามปริมาณวิตามินซีในลิ้นจี่เกิดการสูญเสียได้ง่ายภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง มีการสัมผัสกับอากาศ หรือเก็บรักษาไว้นานเกินไป ตลอดจนถ้ามีการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ถูกแสง หรือสัมผัสกับโลหะต่าง ๆ อาทิเช่น ทองแดง สังกะสี เหล็ก (ดนัย และนิธิยา, 2535 ; Gaman and Sherrington, 1990)



รูปที่ 4.7 ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์			
	กวางเจา	จักรพรรดิ์	โอเฮียะ	ฮงฮวย
ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม)	0.83±0.055^{b}	0.84±0.012^{b}	0.87±0.045^{a}	0.96±0.008^{a}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FC-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	146.542±0.832^{b}	94.341±2.698^{d}	106.142±0.433^{c}	185.091±0.870^{a}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FV-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	2.950±0.249^{c}	4.964±0.301^{b}	4.726±0.613^{b}	6.096±0.163^{a}

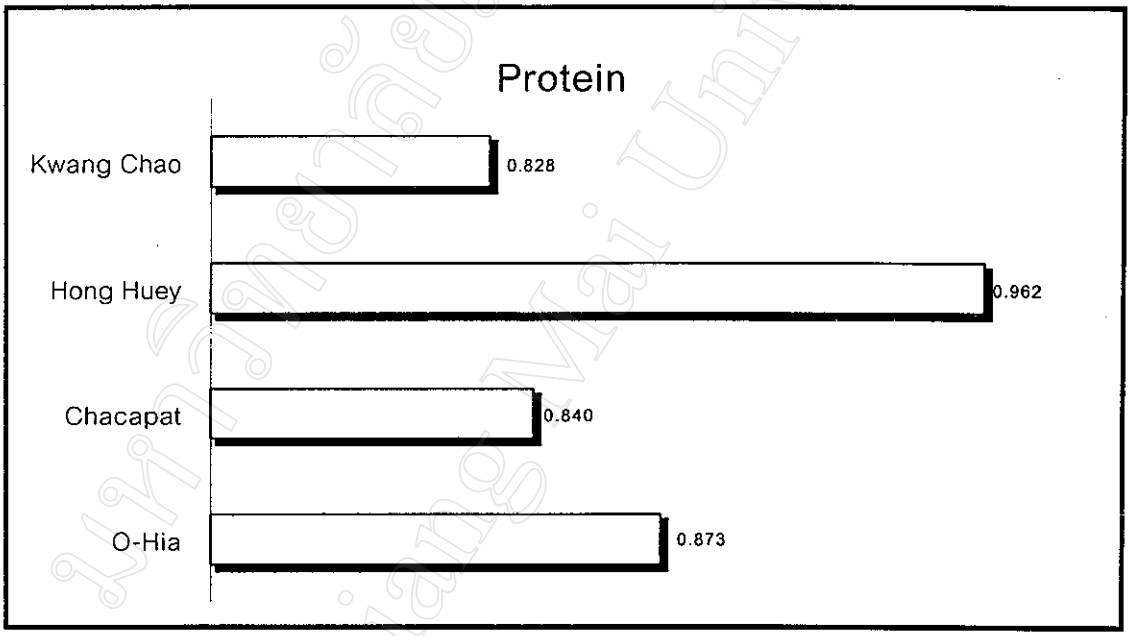
หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณโปรตีน (Protein)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.5 ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณโปรตีนมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 0.96±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่สายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีปริมาณโปรตีน รองลงมา ได้แก่ สายพันธุ์โอเฮียะมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.87±0.045 กรัม ต่อ 100 กรัม สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.84±0.012 กรัม ต่อ 100 กรัม และสายพันธุ์กวางเจามีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.83±0.055 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีปริมาณแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงอาจทำให้ความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยโปรตีนที่พบในลิ้นจี่ส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเอนไซม์ของเซลล์ และมีความสำคัญต่อผลไม้โดยตรง เพราะมีหน้าที่ในการรักษารูปทรงและการจัดเรียงตัวภายในเซลล์ (จริงแท้, 2541) Pantastico (1975) กล่าวว่า ปริมาณของกรดอะมิโน และโปรตีนในลิ้นจี่ จะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา



รูปที่ 4.8 ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ปริมาณสารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

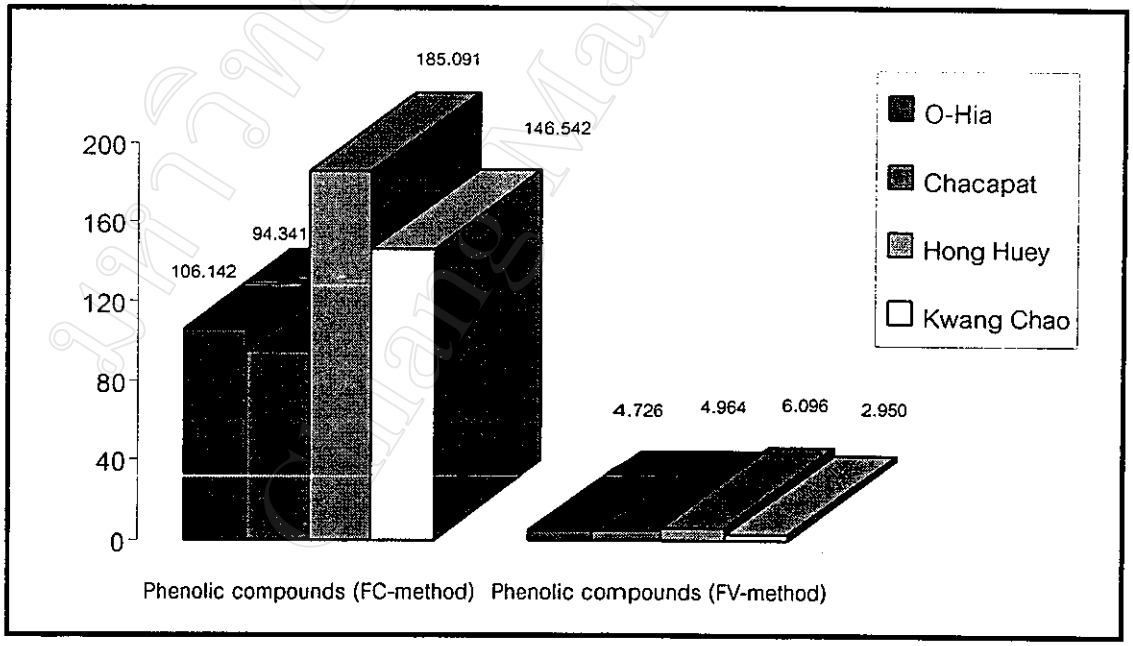
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี Folin - Ciocalteu method (FC) ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.5 ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา มีปริมาณสารประกอบฟีนอลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 185.091 ± 0.870 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่สายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล รองลงมาได้แก่ สายพันธุ์กวางเจา มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 146.542 ± 0.832 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม สายพันธุ์โอเฮียะ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 106.142 ± 0.433 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และสายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 94.341 ± 2.698 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากวิธี Flavonols with vanillin method (FV) พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์มากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 6.096 ± 0.163 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม รองลงมาได้แก่ สายพันธุ์จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และกวางเจา ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และโอเฮียะ ที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

สารประกอบฟีนอล เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีอยู่ในผลไม้ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ ortho–diphenolic ซึ่งถูกออกซิไดซ์ได้โดย phenolase มีขั้นตอนการสังเคราะห์โดยผ่าน Shikimic pathway เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุล Phosphoenol pyruvate จาก Glycolysis กับ Erythrose-4-phosphate จาก Calvin cycle หรือ Pentose phosphate pathway ซึ่งนำไปสู่การสังเคราะห์กรดอะมิโนที่สำคัญได้แก่ Phenylalanine, Tyrosin และ Tryptophan โดยกรดอะมิโน Phenylalanine จะเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ซึ่งมีเอนไซม์ Phenylalanine ammonia-lyase (PAL) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก โดยการดึงเอาหมู่อะมิโนออกจาก Phenylalanine เพื่อสร้างเป็น Cinnamic acid (จริงแท้, 2541)

สารประกอบฟีนอลที่พบในผลไม้มีหลายกลุ่มคือ กลุ่มกรดฟีนอล อนุพันธ์ของกรดฟีนอล และฟลาโวนอยด์ โดยมีความสำคัญและมีผลเกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลภายในผลไม้ ทั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีผลมาจากเอนไซม์และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวกับเอนไซม์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับสารอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำตาลรีดิวซ์ อิออนโลหะต่าง ๆ และโปรตีน เป็นต้น

ผลไม้ที่ยังอ่อนจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสะสมอยู่มาก ทั้งนี้เพื่อเป็นปัจจัยในการป้องกันตัวเองจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น โรค และแมลงต่าง ๆ แต่เมื่อผลไม้เข้าสู่ระยะแก่จัด สารประกอบฟีนอลจะมีปริมาณลดลง โดยรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ (Polymerization) (ดนัย, 2540)



รูปที่ 4.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของ Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkali soluble pectin และ Total pectin ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย

ปริมาณสารประกอบเพคตินในรูปของ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์			
	กวางเจา	จักรพรรดิ์	โอเฮียะ	ฮงฮวย
Water soluble pectin	2.042±0.466	3.324±0.134	2.295±1.143	2.572±0.214
Oxalate soluble pectin	11.240±0.001^{d}	14.293±0.202^{b}	13.088±0.525^{c}	16.121±0.001^{a}
Alkali soluble pectin	16.651±0.016^{b}	35.566±1.344^{a}	17.261±0.309^{b}	18.521±0.275^{b}
Total pectin	29.933±0.450^{d}	53.183±1.008^{a}	32.643±1.360^{c}	37.213±0.061^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณสารประกอบเพคติน (Pectic substances)

เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ (Water soluble pectin)

ตารางที่ 4.6 พบว่า ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย มีค่าอยู่ระหว่าง 2.042±0.466 ถึง 3.324±0.134 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม โดยลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ สายพันธุ์ฮงฮวย โอเฮียะ และกวางเจา ตามลำดับ

เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (Oxalate soluble pectin)

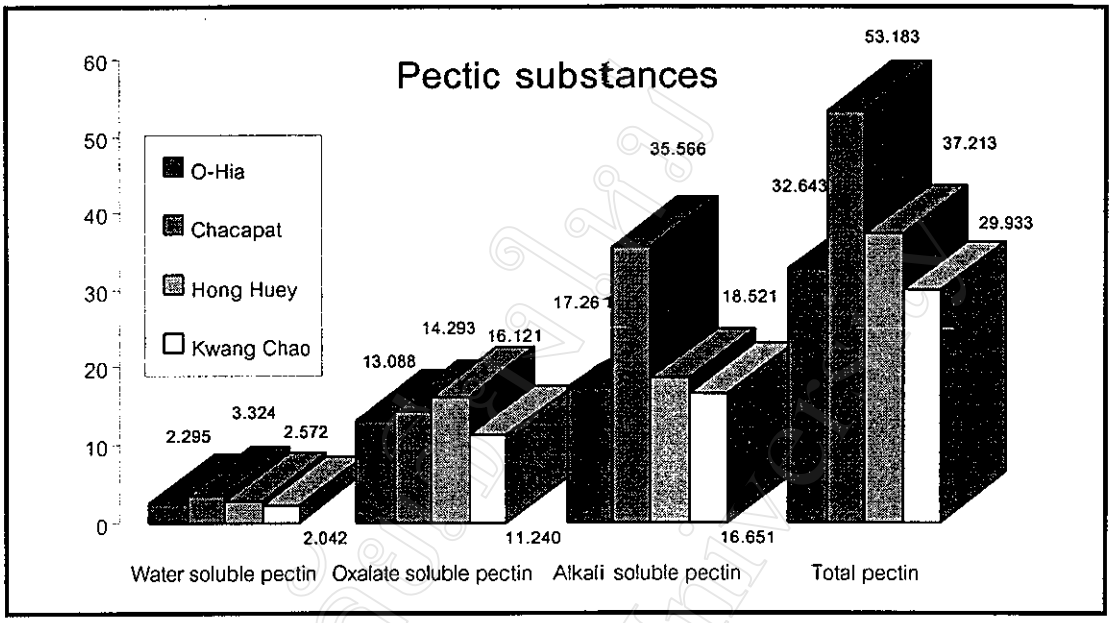
ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย พบว่า ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 11.240±0.001 ถึง 16.121±0.001 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตเท่ากับ 16.121±0.001 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และกวางเจา ตามลำดับ

เพคตินที่ละลายได้ในด่าง (Alkali soluble pectin)

ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่าง ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และ ฮงฮวย มีค่าอยู่ระหว่าง 35.566±1.344 ถึง 16.651±0.016 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างเท่ากับ 35.566±1.344 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา และโอเฮียะ ถึง 2 เท่า

เพคตินทั้งหมด (Total pectin)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินทั้งหมด ในลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.6 ลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ ที่ใช้ในการศึกษา มีปริมาณเพคตินทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณเพคตินทั้งหมดมากที่สุด คือ มีค่าเท่ากับ 53.183±1.008 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่สายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีปริมาณเพคตินทั้งหมด รองลงมาได้แก่ ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณเพคตินทั้งหมดเท่ากับ 37.213±0.061 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม สายพันธุ์โอเฮียะ มีปริมาณเพคตินทั้งหมดเท่ากับ 32.643±1.360 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และสายพันธุ์กวางเจา มีปริมาณเพคตินทั้งหมดเท่ากับ 29.933±0.450 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ



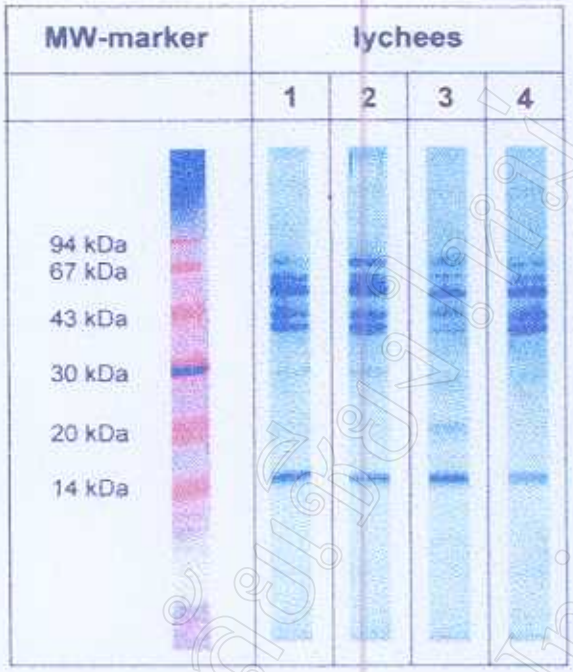
รูปที่ 4.10 ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของ Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkaline soluble pectin **และ**Total pectin **ของลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย**

การสกัดและตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้

ผลจากการสกัดและตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้ ที่สกัดได้จากลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย โดยใช้ SDS-PAGE และการทำ Immunoblotting กับเซรุ่มของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่ จำนวน 18 คน ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่า สารก่อภูมิแพ้ที่สามารถทำปฏิกิริยากับ IgE ของผู้ทดสอบ โดยปรากฏให้เห็นเป็นแถบของปฏิกิริยาอย่างชัดเจนในลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์นั้น ส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ยังพบสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในช่วง 43-67 กิโลดาลตัน เหมือนกันอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kinder *et al.*, (1999) ที่รายงานว่า มะม่วงสายพันธุ์ *Eden, Ngowe, Osteen* และ *Tommy Atkins* มีสารก่อภูมิแพ้อย่างน้อย 5 ชนิด ซึ่งมีขนาดน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14, 30, 40, 43 และ 63 กิโลดาลตัน และมีความสามารถในการทำให้เกิดภูมิแพ้ (Allergenic potency) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในมะม่วงทั้ง 4 สายพันธุ์ และผลจากการตรวจสอบปฏิกิริยาทางอิมมูนระหว่างสารก่อภูมิแพ้ที่

สกัดได้จากลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์กับเซรุ่มของผู้ทดสอบนี้ อาจให้ข้อมูลที่สนับสนุนกับการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในลิ้นจี่ ซึ่งเป็นไปได้ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดอาการแพ้ เนื่องจากสารก่อภูมิแพ้ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 10-70 กิโลดาลตัน (Lehrer *et al.*, 1996) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน พบว่า ลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์มีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงอาจทำให้ความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ของลิ้นจี่ทั้ง 4 สายพันธุ์ ไม่ได้รับผลกระทบจากความแตกต่างทางด้านสายพันธุ์ โดยความสามารถในการทำให้เกิดอาการแพ้ของสารก่อภูมิแพ้ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล และความซับซ้อนของโมเลกุล เพราะถ้ายิ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ และมีความซับซ้อนของโครงสร้างโมเลกุลมาก ก็จะสามารถกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันได้มาก (ทัศนีย์, 2537) โปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แต่ละสายพันธุ์ อาจมีปริมาณและความซับซ้อนของโครงสร้างโมเลกุลไม่แตกต่างกันมาก จึงทำให้ไม่พบความแตกต่างในการทำให้เกิดการแพ้

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



MW-marker : แผ่นน้ำหนักโมเลกุลมาตรฐาน

1 : ลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา

2 : ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์

3 : ลิ้นจี่สายพันธุ์โอเฮียะ

4 : ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย

รูปที่ 4.11 ผลการตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ โอเฮียะ และฮงฮวย โดยใช้ SDS-PAGE และการทำ Immunoblotting กับเซรุ่มของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่จำนวน 18 คน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

4.2 การกระจายขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีในผลลิ้นจี่

การศึกษาการกระจายขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีในผลลิ้นจี่ โดยพิจารณาจากการกระจายขององค์ประกอบดังกล่าวภายในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ ซึ่งการทดลองนี้ใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย เป็นตัวอย่างในการศึกษา เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้ในระดับอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการแปรรูปบรรจุกระป๋อง และอุตสาหกรรมแช่เยือกแข็ง ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ พบว่า เนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี แตกต่างกันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

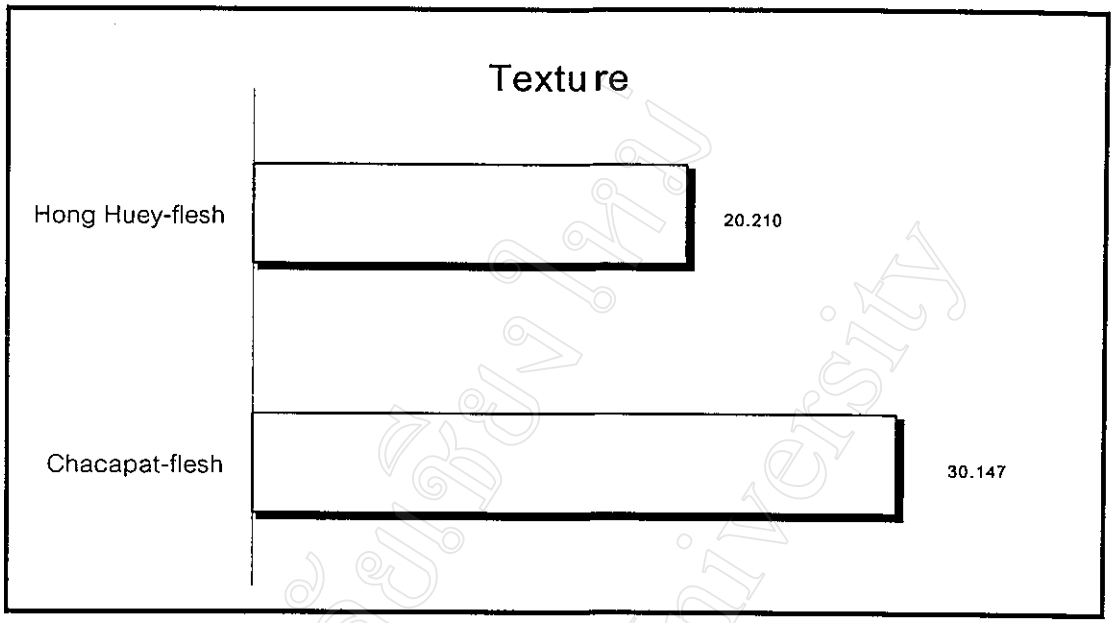
ลักษณะทางกายภาพ	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย	
	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน)	30.15±2.515[a]	-	20.21±0.514[b]	-
ค่าสี L*	85.22±0.289	36.06±0.230[b]	85.69±1.380	37.20±0.169[a]
ค่าสี a*	-1.84±0.063[b]	20.68±0.855[a]	-0.21±0.068[a]	15.62±0.235[b]
ค่าสี b*	11.92±0.591[a]	4.41±0.302[b]	9.11±0.824[b]	9.02±0.661[a]

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าเนื้อสัมผัส (Texture)

ในการทดลองนี้วิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสที่วัดออกมาในรูปของ Shear force เฉพาะเนื้อของลิ้นจี่เท่านั้น ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเนื้อสัมผัสเท่ากับ 30.15±2.515 นิวตัน ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวยที่มีค่าเนื้อสัมผัสเท่ากับ 20.21±0.514 นิวตัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ 4.1



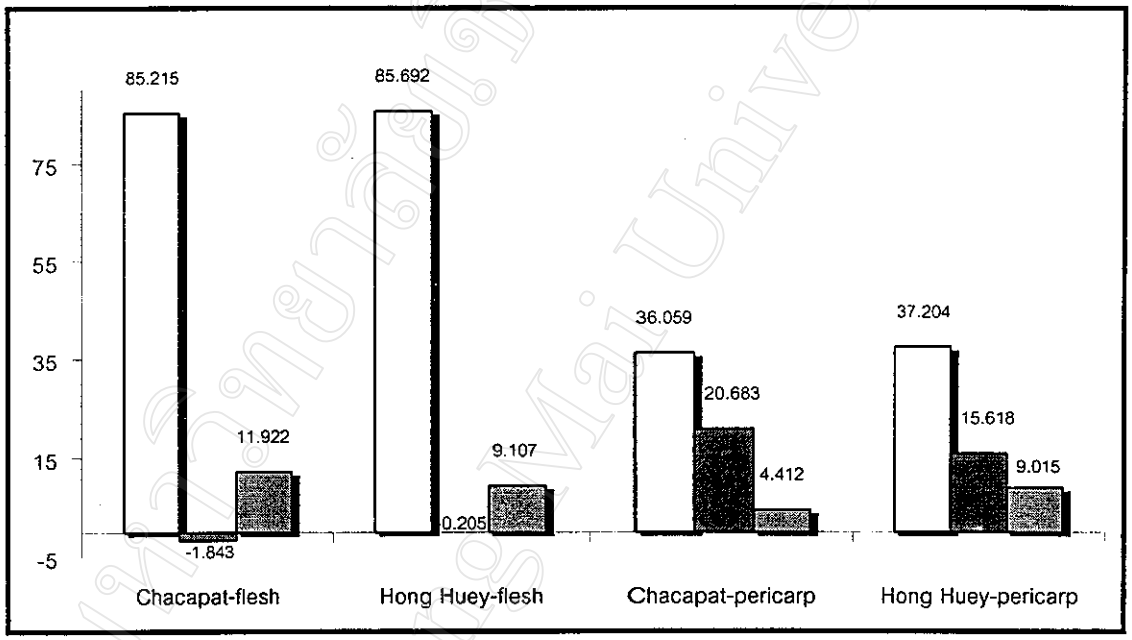
รูปที่ 4.12 ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน) ของเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ค่าสีในระบบฮันเตอร์ (Color)

เนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย และสายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่า L* ที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 85.69±1.380 และ 85.22±0.289 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ซึ่งค่าสี L* ของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าสี L* ที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าสี L* มากกว่าสายพันธุ์จักรพรรดิ์ คือ มีค่าเท่ากับ 37.20±0.169

สำหรับค่าสี a* ที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าเป็นลบ แสดงว่าเนื้อลิ้นจี่มีสีเขียวปนอยู่ด้วย โดยเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าสี a* เท่ากับ -0.21±0.068 ซึ่งมีค่ามากกว่าสายพันธุ์จักรพรรดิ์ ที่มีค่าสี a* เท่ากับ -1.84±0.063 ส่วนค่าสี a* ที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกลิ้นจี่ พบว่าค่าสี a* ของเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าเป็นบวก จึงทำให้เปลือกของลิ้นจี่มีสีแดง ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีสีแดงมากกว่าเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ซึ่งสอดคล้องกับค่าสี a* ที่วิเคราะห์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

เมื่อพิจารณาค่าสี b* ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า เนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีค่าสี b* มากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย ในขณะที่เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าสี b* มากกว่าสายพันธุ์จักรพรรดิ์ โดยค่าสี b* ที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์และสายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.13 ค่าสี L*, a* และ b* ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

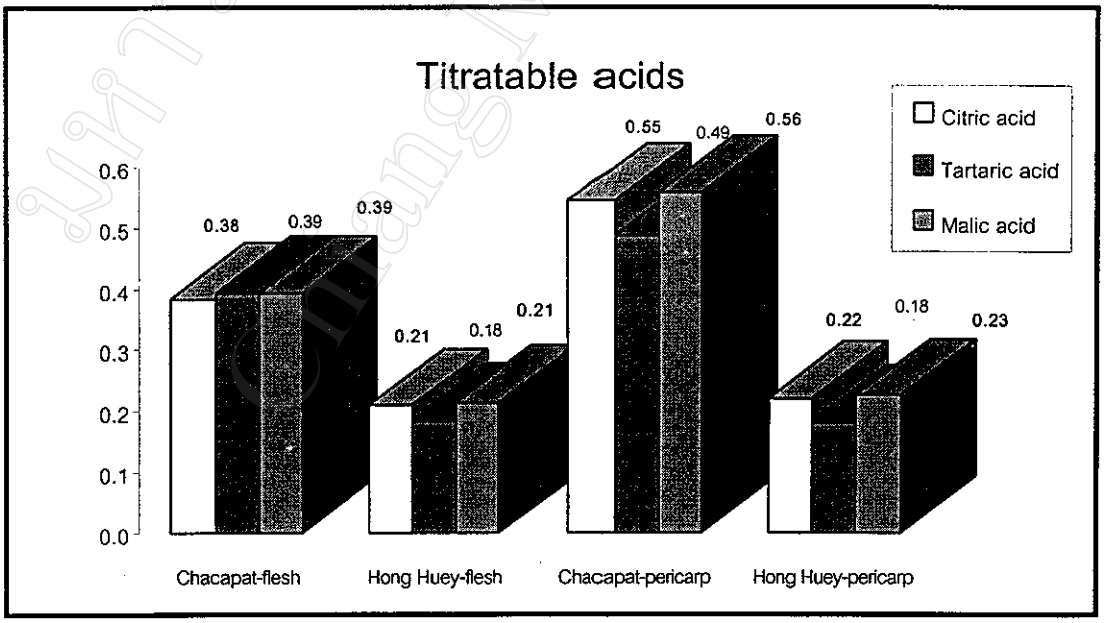
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) โดยคิดเทียบเป็นกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย	
	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
กรดซิตริก	0.38 ± 0.005^{a}	0.55 ± 0.009^{a}	0.21 ± 0.006^{b}	0.22 ± 0.010^{b}
กรดทาร์ทาริก	0.39 ± 0.006^{a}	0.49 ± 0.006^{a}	0.18 ± 0.004^{b}	0.18 ± 0.012^{b}
กรดมาลิก	0.39 ± 0.005^{a}	0.56 ± 0.009^{a}	0.21 ± 0.006^{b}	0.23 ± 0.010^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.14 ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณกรดอินทรีย์ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก เท่ากับ 0.38±0.005, 0.39±0.006 และ 0.39±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย ที่มีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 0.21±0.006, 0.18±0.004 และ 0.21±0.006 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ คือ กรดมาลิก รองลงมา ได้แก่ กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก ตามลำดับ แต่ปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณไม่แตกต่างกันมากในแต่ละสายพันธุ์

เมื่อพิจารณาปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกของลิ้นจี่ พบว่า เปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย ถึง 2 เท่า โดยเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิกเท่ากับ 0.55±0.009, 0.49±0.006 และ 0.56±0.009 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวเท่ากับ 0.22±0.010, 0.18±0.012 และ 0.23±0.010 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

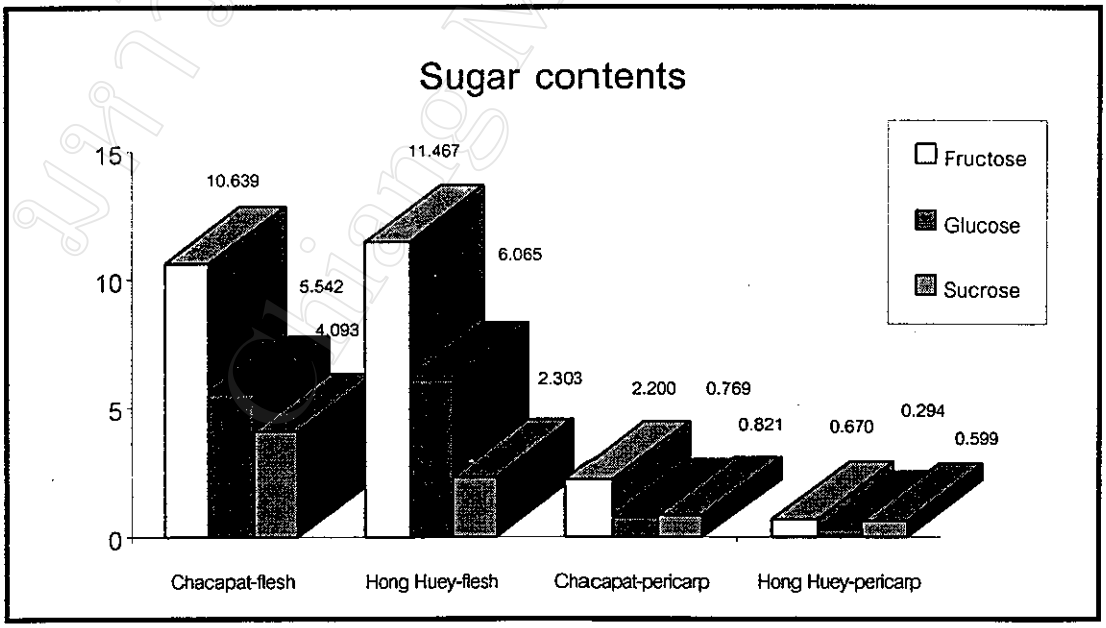
ปริมาณกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเปลือกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสีของเปลือกลิ้นจี่ โดยเฉพาะสีแดง ซึ่งเป็นผลมาจากรงควัตถุที่ให้สี คือ แอนโธไซยานิน การผันแปรของปริมาณกรดอินทรีย์จะทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีผลต่อการเกิดสีของแอนโธไซยานิน ในสภาวะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ หรือมีปริมาณกรดมาก ๆ จะทำให้แอนโธไซยานินมีสีแดง และสีจะจางลงเมื่อความเป็นกรด-ด่างมีค่าเพิ่มขึ้น หรือมีปริมาณกรดลดลง (ชินพันธ์, 2539) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย แสดงให้เห็นว่า เปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีสีแดงกว่าเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย โดยสอดคล้องกับค่าสี a* ที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณกรดอินทรีย์ที่มีอยู่ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณมากกว่าเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย	
	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
กลูโคส	5.542±0.015[b]	0.769±0.025[a]	6.065±0.023[a]	0.294±0.025[b]
ฟรุกโตส	10.639±0.005[b]	2.200±0.025[a]	11.467±0.042[a]	0.670±0.012[b]
ซูโครส	4.093±0.028[a]	0.821±0.070[a]	2.303±0.135[b]	0.599±0.011[b]

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.15 ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ปริมาณน้ำตาล ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส

ปริมาณน้ำตาล ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส ที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.9 เนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส เท่ากับ 6.065±0.023 และ 11.467±0.042 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ยกเว้นน้ำตาลซูโครสที่มีปริมาณน้อยกว่า คือ มีค่าเท่ากับ 2.303±0.135 กรัม ต่อ 100 กรัม และเมื่อพิจารณาสัดส่วนของปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด พบว่า เนื้อลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส และซูโครส ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้ง 3 ชนิด ในเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส มากกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย โดยเฉพาะน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งมีปริมาณมากกว่าถึง 3 เท่า คือ มีค่าเท่ากับ 2.200±0.025 กรัม ต่อ 100 กรัม

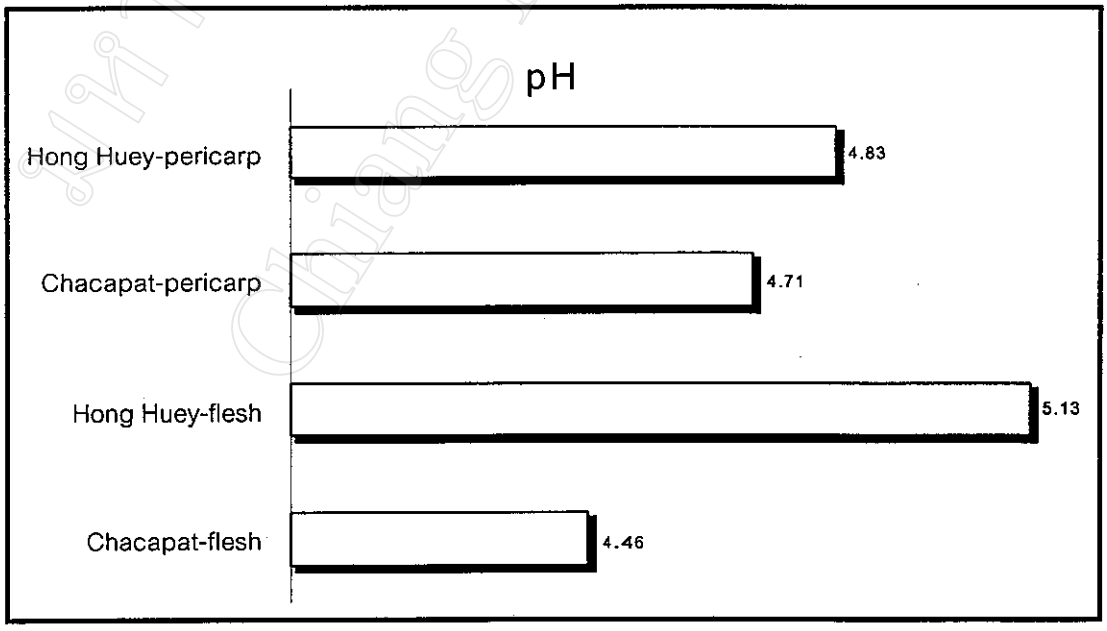
ในระหว่างกระบวนการสุก ลิ้นจี่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและทางชีวเคมีหลายอย่าง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีผลต่อรสชาติของลิ้นจี่เป็นอย่างมาก ความหวานของลิ้นจี่เกิดจากน้ำตาลที่มีโมเลกุลเล็ก ซึ่งได้จากการไฮโดรไลซ์แป้งให้เป็นน้ำตาลในสภาวะที่มีกรด หรือได้จากการสลายตัวของแป้งและคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ โดยน้ำตาลที่ได้จากการสลายตัวนี้ สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาได้ (Conversion) นอกจากนี้อาจเกิดจากการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากใบเข้าสู่ผล จึงทำให้ผลลิ้นจี่มีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการสุก Paull *et al.*, 1984 รายงานว่า ในลิ้นจี่สายพันธุ์ Groff จะมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาภายหลังจากการติดผล และหลังจากการติดผลเป็นเวลา 80 วัน ลิ้นจี่จะมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 6 น้ำตาลกลูโคสร้อยละ 6 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 3.5

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) และปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย	
	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	4.46±0.017^{b}	4.71±0.015^{b}	5.13±0.036^{a}	4.83±0.015^{a}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	18.81±0.115^{a}	1.11±0.001^{a}	18.04±0.001^{b}	0.64±0.001^{b}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	67.021±1.752^{a}	-	13.956±0.466^{b}	-

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

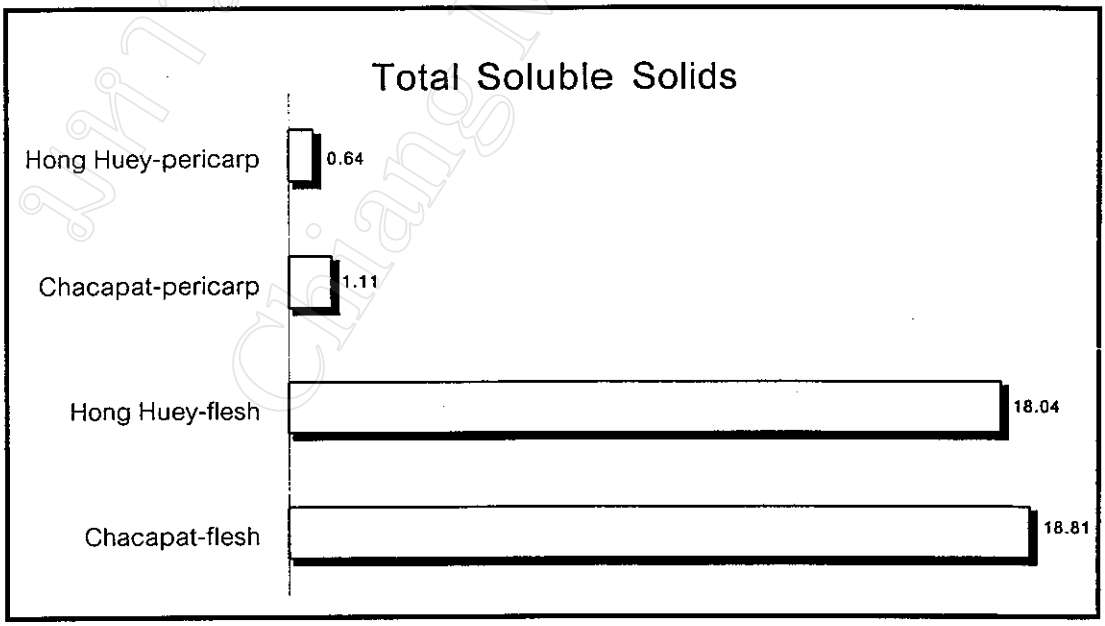


รูปที่ 4.16 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า เนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.13±0.036 และ 4.83±0.015 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าเท่ากับ 4.46±0.017 และ 4.71±0.015 ตามลำดับ

ลิ้นจี่เป็นผลไม้ประเภท Non-climacteric ซึ่งภายหลังจากการเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาปริมาณกรดจะลดลง ส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างนี้ ทำให้ลิ้นจี่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีหลายอย่าง โดยเฉพาะการเปลี่ยนสีของเปลือก

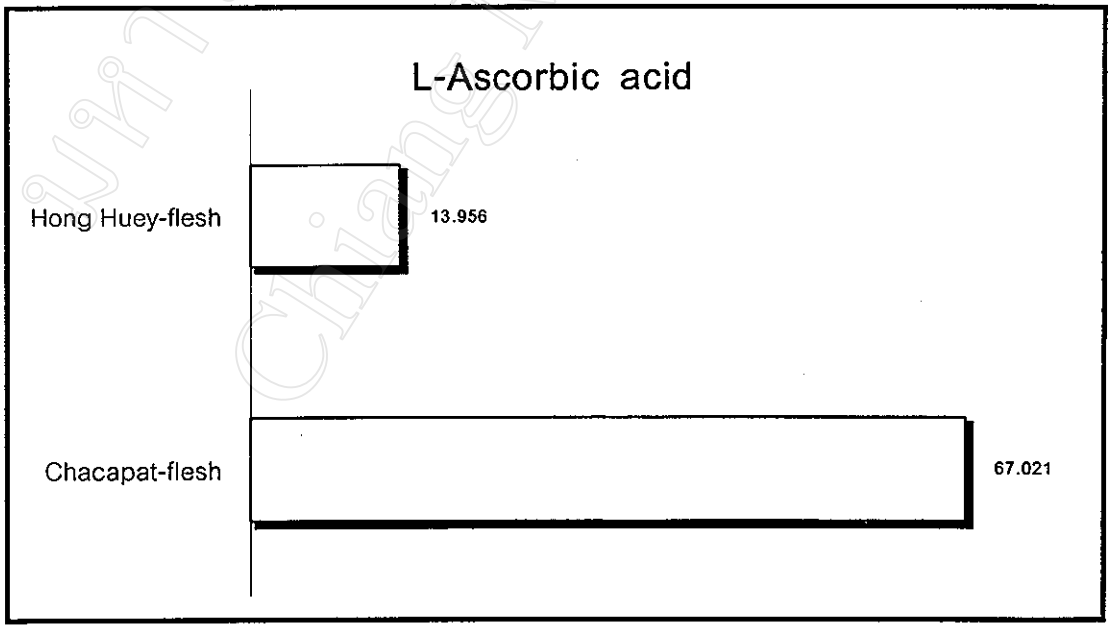


รูปที่ 4.17 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solids)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งได้แก่ สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเท่ากับ 18.81±0.115 องศาบริกซ์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าค่าวิเคราะห์ที่ได้จากเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 18.042±0.001 องศาบริกซ์

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีค่าเท่ากับ 1.11±0.001 องศาบริกซ์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าในเนื้อ 17 เท่า และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณมากกว่าในเนื้อ 28 เท่า คือ มีค่าเท่ากับ 0.64±0.001 องศาบริกซ์



รูปที่ 4.18 ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งได้แก่ สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 67.021±1.752 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 13.956±0.466 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ปริมาณวิตามินซีที่พบในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยถึง 4 เท่า ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 4.1 โดยปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

Kadam *et al.*, (1995) กล่าวว่า ลิ้นจี่เป็นแหล่งวิตามินซีที่ดี แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่สายพันธุ์ด้วย Wenkam and Miller (1965) รายงายว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ Kwai Mi และสายพันธุ์ Brewster มีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 40.2 และ 80.8 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) **และวิธี** Flavonols with vanillin method (FV) **ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย**

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย	
	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม)	0.82±0.011^{b}	3.49±0.005^{a}	0.97±0.008^{a}	1.54±0.051^{b}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FC-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	80.268±0.298^{b}	97305.40±185.71^{a}	107.363±0.397^{a}	53719.87±440.84^{b}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FV-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	5.568±0.598^{a}	24379.06±434.85^{a}	5.062±0.122^{b}	7366.53±241.26^{b}

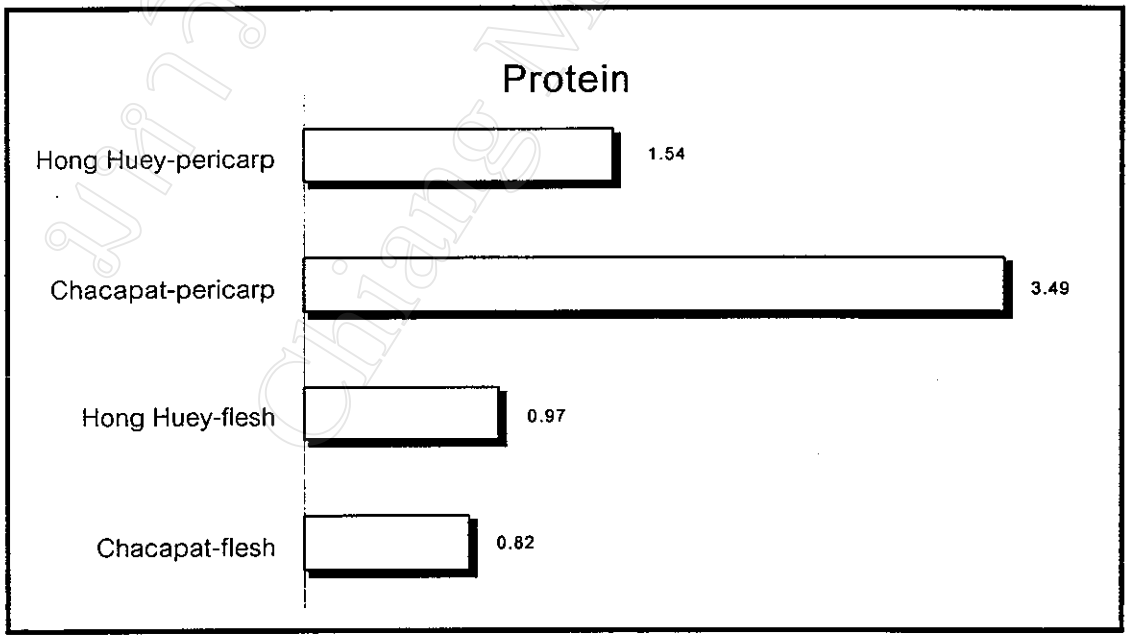
หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณโปรตีน (Protein)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเท่ากับ 0.82±0.011 และ 3.49±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.97±0.008 และ 1.54±0.051 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้ว่า เนื้อของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณโปรตีนมากกว่าในเนื้อของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ในขณะที่เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณโปรตีนมากกว่าเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยถึง 2 เท่า โดยปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.19 ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

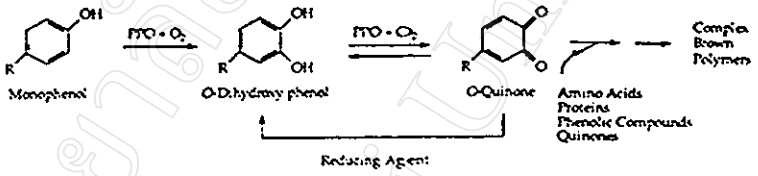
ปริมาณสารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

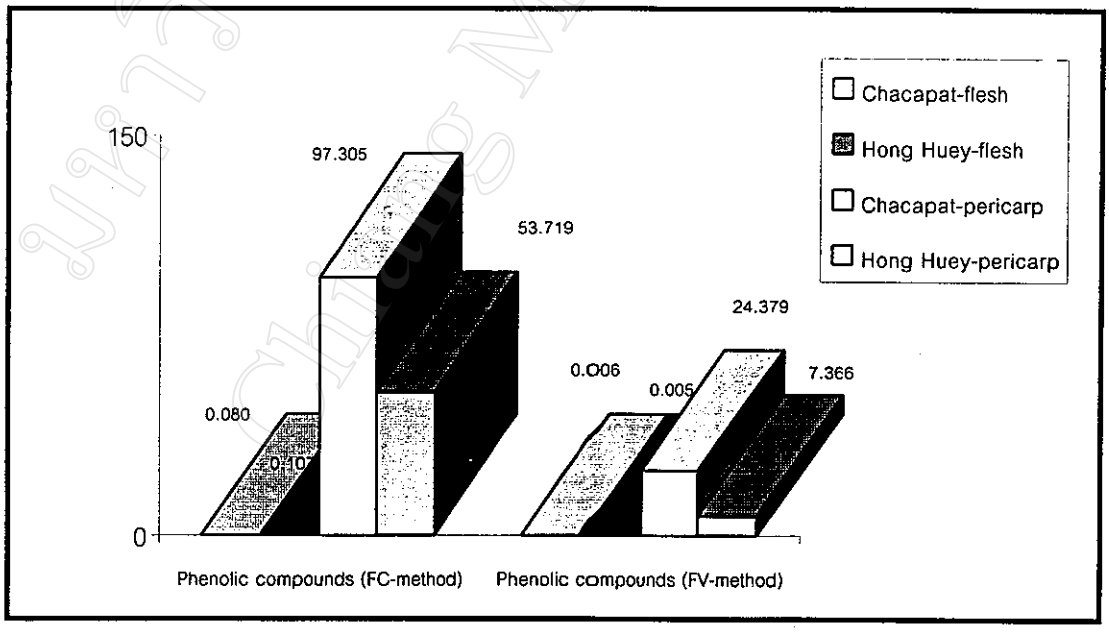
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี Folin - Ciocalteu method (FC) ในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์และสายพันธุ์ฮงฮวย ดังแสดงในตารางที่ 4.11 พบว่า เนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีนี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์และสายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าในเนื้อถึง 1212 และ 500 เท่า ตามลำดับ เนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าในเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ 1.3 เท่า ในขณะที่เปลือกมีปริมาณสารประกอบฟีนอลน้อยกว่า 1.8 เท่า โดยในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 107.363 ± 0.397 และ 53719.87 ± 440.84 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 80.268 ± 0.298 และ 97305.40 ± 185.71 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ปริมาณสารประกอบฟีนอล ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์นั้น มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ทั้งเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์มากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย คือ มีค่าเท่ากับ 5.568 ± 0.598 และ 24379.06 ± 434.85 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ มากกว่าเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย 3.3 เท่า

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารประกอบฟลาโวนอยด์ ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ แสดงให้เห็นว่า เปลือกลิ้นจี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารประกอบฟลาโวนอยด์มากกว่าในส่วนเนื้อ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยหลายฉบับที่กล่าวถึงเปลือกลิ้นจี่ว่ามีสารประกอบฟีนอลสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะแอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ สารประกอบดังกล่าวมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเปลือกลิ้นจี่จากสีแดงไปเป็นสีน้ำตาลภายหลังจากการเก็บเกี่ยวและการเก็บรักษา ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของลิ้นจี่ เป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์ PPO ในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของ monophenol โดยการเติมหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group)

หรือเรียกว่าปฏิกิริยา Hydroxylation ได้สาร O-diphenols ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์โดยปฏิกิริยา Dehydrogenation ต่อไปเป็น O-quinones จากนั้นสาร O-quinones จะเกิดการเปลี่ยนแปลงและทำปฏิกิริยาต่อไปกับสารประกอบฟีนอล กรดอะมิโน และสารอื่น ๆ โดยไม่ใช้เอนไซม์ แล้วเกิดเป็นสารที่มีสีน้ำตาลและมีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งเรียกว่า กระบวนการ Polymerization (McEvily *et al.*, 1992) นอกจากนี้ Underhill (1990) ยังได้กล่าวถึงการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวว่า มีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำของส่วนเปลือกของผล ทำให้เกิด Cell plasmolysis โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเซลล์ในชั้น Mesocarp ของเปลือก เป็นผลให้เซลล์เมมเบรนเสียคุณสมบัติ และเกิดการรั่วไหลของเอนไซม์ PPO และ POD ทำให้เอนไซม์ทั้งสองไปกระตุ้นปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแอนโธไซยานินในสภาพที่มีออกซิเจน จนเกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้น





รูปที่ 4.20 ปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของ Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkali soluble pectin **และ**Total pectin **ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย**

ปริมาณสารประกอบเพคตินในรูปของ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย	
	เนื้อ	เปลือก	เนื้อ	เปลือก
Water soluble pectin	2.145±0.067^{b}	74.554±0.631^{a}	4.949±0.029^{a}	43.081±0.316^{b}
Oxalate soluble pectin	10.817±0.001^{b}	152.23±3.157^{b}	21.471±0.791^{a}	171.43±5.051^{a}
Alkali soluble pectin	41.101±1.314^{a}	548.21±10.10^{a}	10.187±0.293^{b}	199.55±4.419^{b}
Total pectin	54.063±1.247^{a}	775.00±12.63^{a}	36.607±1.113^{b}	414.06±0.947^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณสารประกอบเพคติน (Pectic substances)

เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ (Water soluble pectin)

ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำที่วิเคราะห์ได้ ในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเท่ากับ 2.145±0.067 และ 74.554±0.631 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 4.949±0.029 และ 43.081±0.316 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงให้ว่า เนื้อของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าในเนื้อของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ในขณะที่เปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยถึง 2 เท่า โดยปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในเปลือกลิ้นจี่

สายพันธุ์จักรพรรดิ์มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าในส่วนเนื้อถึง 34 เท่า ส่วนเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมากกว่าในส่วนเนื้อ 8 เท่า

เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (Oxalate Soluble Pectin)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตในส่วนเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย แสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า เนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตเท่ากับ 21.471±0.791 และ 171.43±5.051 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเท่ากับ 10.817±0.001 และ 152.23±3.157 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เพคตินที่ละลายได้ในด่าง (Alkali Soluble Pectin)

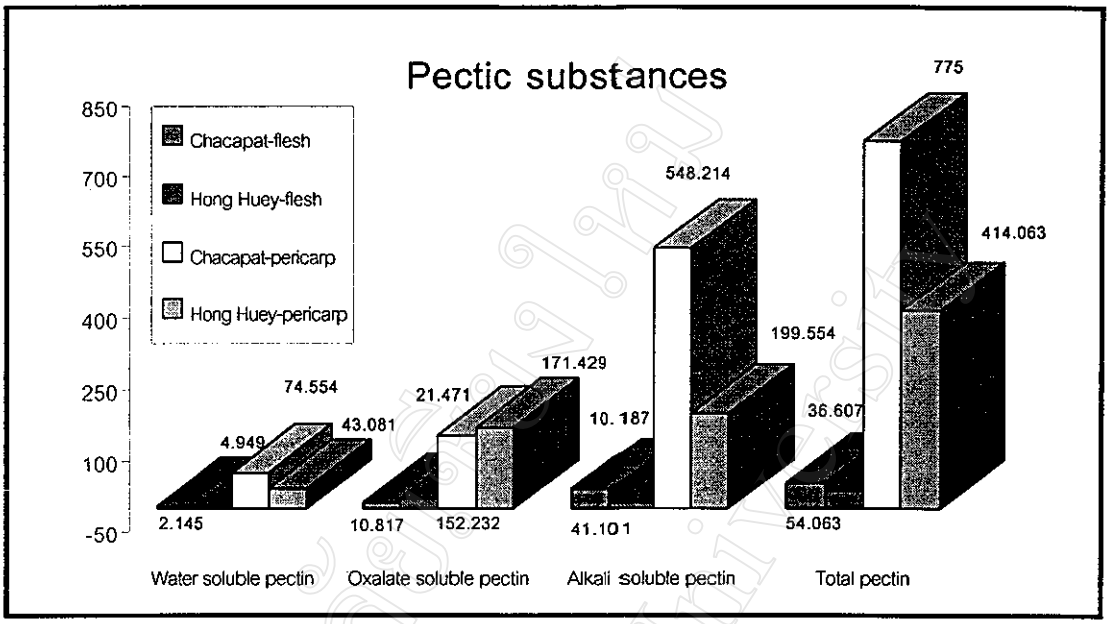
สำหรับปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างที่วิเคราะห์ได้ในเนื้อและเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ทั้งเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย คือ มีค่าเท่ากับ 41.101±1.314 และ 548.21±10.10 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างมากกว่าเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย เกือบ 3 เท่า

เพคตินทั้งหมด (Total Pectin)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินทั้งหมดของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย ดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า ปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ ในเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเท่ากับ 54.063±1.247 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยเนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณเพคตินทั้งหมดเท่ากับ 36.607±1.113 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

เมื่อพิจารณาปริมาณเพคตินทั้งหมดในเปลือกลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่า ปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีค่าเท่ากับ 775.00±12.63 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าในเนื้อ 14 เท่า ส่วนปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณมากกว่าในเนื้อ 11 เท่า คือ มีค่าเท่ากับ 414.06±0.947 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคติน ทั้งในรูปของสารประกอบเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต เพคตินที่ละลายได้ในด่าง และเพคตินทั้งหมด พบว่า เนื้อลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ มีปริมาณของสารประกอบเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ และเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตน้อยกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ในขณะที่เปลือกลิ้นจี่มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ เพคตินที่ละลายได้ในด่าง และเพคตินทั้งหมดมากกว่าเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคตินดังกล่าว โดยเฉพาะปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่มีค่ามากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ทั้งนี้เป็นเพราะผนังเซลล์ที่ส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ยังไม่ถูกไฮโดรไลซ์โดยเอนไซม์ Polygalacturonases และ β-galactosidase กลายเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงทำให้โครงสร้างของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์แข็งแรงกว่าสายพันธุ์ฮงฮวย



รูปที่ 4.21 **ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ** 100 **กรัม) ในรูปของ** Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkali soluble pectin **และ**Total pectin **ของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ และสายพันธุ์ฮงฮวย**

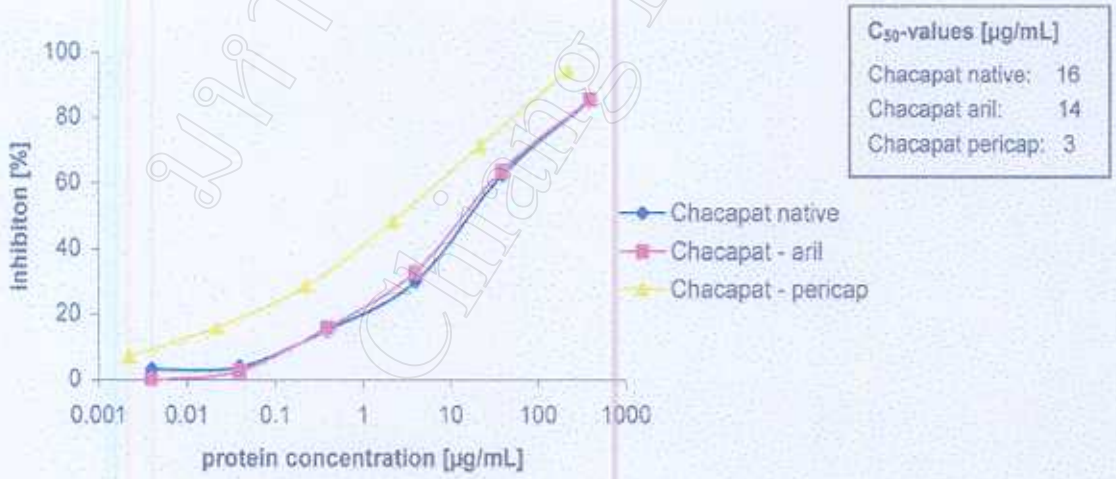
การสกัดและตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้

ผลจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง โปรตีนที่สกัดได้จากเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์และสายพันธุ์ฮงฮวย กับ IgE ของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่จำนวน 18 คน พบว่า เนื้อและเปลือกของลิ้นจี่ทั้ง 2 สายพันธุ์ มีสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14 กิโลดาลตัน นอกจากนี้ยังพบสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอยู่ในช่วง 43-67 กิโลดาลตัน เช่นเดียวกับผลการศึกษาในการทดลองที่ 4.1 อีกด้วย

การทดสอบปฏิกิริยาการยับยั้งของสารก่อภูมิแพ้ โดยวิธี EAST-Inhibition เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ระหว่างเนื้อและเปลือก ซึ่งการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์เฉพาะลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ เนื่องจากเนื้อและเปลือกของลิ้นจี่สายพันธุ์ดังกล่าว มีปริมาณ

โปรตีนแตกต่างกันมาก ในขณะที่ปริมาณโปรตีนของเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ดังนั้นจึงใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์เป็นตัวอย่างในการศึกษาปฏิกิริยาการยับยั้งของสารก่อภูมิแพ้

รูปที่ 4.22 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ระหว่างเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ พบว่า ปฏิกิริยาการยับยั้งของเนื้อและเปลือกมีค่าใกล้เคียงกันมาก ที่ระดับความเข้มข้นของสารก่อภูมิแพ้เดียวกัน แสดงผลร้อยละของการยับยั้งแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยในส่วนเปลือกจะแสดงผลการยับยั้งที่สูงกว่าในส่วนเนื้อ ซึ่งชี้ให้เห็นถึง ความสามารถในการทำให้เกิดการแพ้ที่เพิ่มมากขึ้นในส่วนของเปลือกเมื่อเทียบกับส่วนเนื้อ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากความแตกต่างทางด้านคุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี ของเนื้อและเปลือก โดยเฉพาะโปรตีนที่มีปริมาณแตกต่างกันมาก ซึ่งเป็นไปได้ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องที่ทำให้ความสามารถในการทำให้การแพ้ในส่วนของเปลือกมีมากกว่าในส่วนของเนื้อ



รูปที่ 4.22 แสดงผล EAST-Inhibition ระหว่าง IgE ของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่จำนวน 18 คน กับสารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากเนื้อและเปลือกลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์

4.3 ผลกระทบของกระบวนการแปรรูปลิ้นจี่ด้วยความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการแปรรูปลิ้นจี่ด้วยความร้อน ต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ในรูปแบบของการแปรรูปเป็นลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ซึ่งการทดลองนี้ใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยเป็นตัวอย่างในการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากสายพันธุ์ดังกล่าวมีการเพาะปลูกมากที่สุดในเขตภาคเหนือของประเทศไทย และให้ผลผลิตสม่ำเสมอตลอดทุกปี จึงเหมาะต่อการนำมาแปรรูปในระดับอุตสาหกรรม โดยขั้นตอนการแปรรูปเริ่มจาก การคัดเลือกลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยที่มีความสุกเหมาะสม นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและเจาะเมล็ดออก แล้วแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.3 เป็นเวลา 10-15 นาที ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ บรรจุลงกระป๋องขนาด 307×409 เติมน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นของน้ำตาล 30 องศาบริกซ์ และกรดซิตริก ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 จากนั้นไล่อากาศที่อุณหภูมิ 80-83 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ปิดฝากระป๋อง และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันที ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ผลิตได้จะนำมาศึกษาผลของกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งจากการศึกษาพบว่ากระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบดังกล่าวในลิ้นจี่ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ดังนี้คือ

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ลักษณะทางกายภาพ	ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย		ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน)	25.57±0.271^{a}	27.45±0.433^{a}	23.11±2.370^{b}	22.78±2.299^{b}	21.96±3.935^{b}
ค่าสี L*	78.97±0.531^{a}	78.12±0.694^{b}	76.70±0.605^{c}	79.06±0.263^{a}	78.96±0.435^{a}
ค่าสี a*	1.29±0.300^{d}	4.22±0.226^{c}	5.24±0.261^{b}	5.84±0.276^{a}	5.89±0.274^{a}
ค่าสี b*	13.18±0.532^{e}	13.60±0.301^{d}	15.64±0.269^{c}	18.36±0.186^{b}	20.37±0.185^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

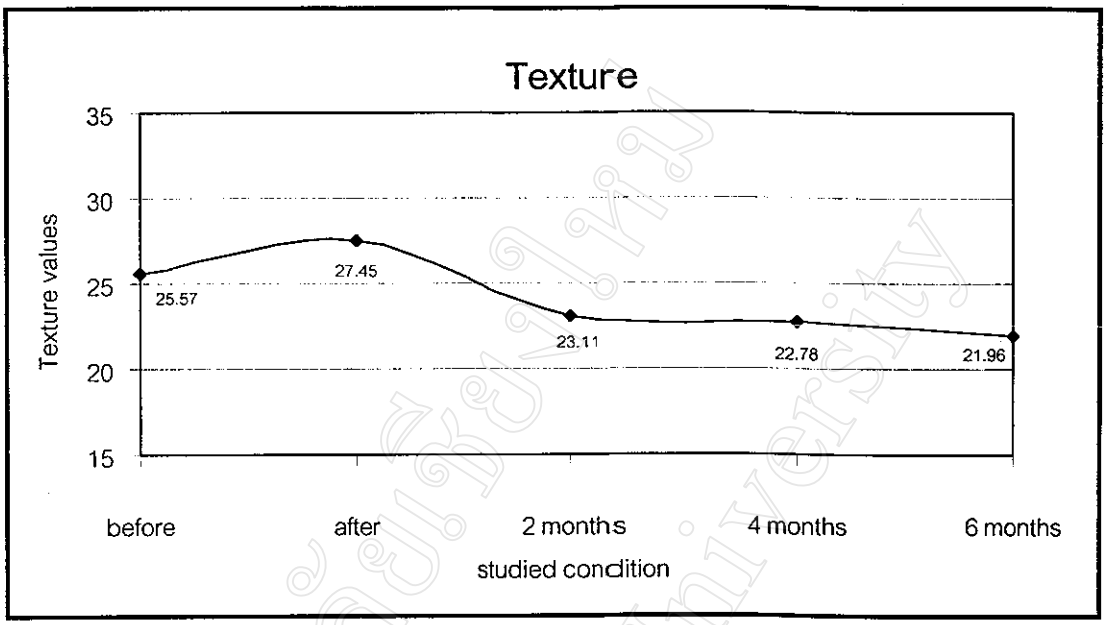
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าเนื้อสัมผัส (Texture)

ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน มีค่าเท่ากับ 25.57±0.271 นิวตัน แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูป ลิ้นจี่มีค่าเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีค่าเท่ากับ 27.45±0.433 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่ที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านกระบวนการแปรรูปนั้น อาจเป็นผลมาจากการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการแช่วัตถุดิบก่อนการบรรจุลงในกระป๋อง ซึ่งสารดังกล่าวมีส่วนช่วยทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้คงตัว เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้อนุมูลแคลเซียมอิสระ สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพคติน เกิดเป็นเกลือเพคเทต ทำให้โครงสร้างของเซลล์แข็งแรงขึ้น และทนต่อความร้อนได้มากยิ่งขึ้น (สินธนา, 2542)

เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ภายหลังจากการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่มีค่าลดลงเท่ากับ 23.11±2.370 นิวตัน หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน และมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 22.78±2.299 และ 21.96±3.935 นิวตัน หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลงของค่าเนื้อสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษา อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของสารประกอบเพคติน อันเนื่องมาจากเอนไซม์ Polygalacturonase และ β-galactosidase ซึ่งเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาการไฮโดรไลซ์สารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ไปเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้เนื้อลิ้นจี่มีความแน่นเนื้อน้อยลง หรือเกิดการนิ่มของผลไม้ (Buren, 1991) นอกจากนี้การสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสร่วมกับการสูญเสียแรงเต่งของเซลล์ อันเป็นผลมาจากการที่เนื้อลิ้นจี่ถูกแช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงอยู่ตลอดเวลาก็มีผลทำให้ลิ้นจี่สูญเสียความแน่นเนื้อ เนื่องจากเกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ ปริมาตรของของเหลวที่มีอยู่ในเซลล์ลดลง จึงส่งผลให้แรงเต่งของเซลล์ลดลงด้วย ดังนั้นจึงทำให้ค่าเนื้อสัมผัสที่วัดได้มีค่าลดลง



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ค่าสีในระบบฮันเตอร์ (Color)

ตารางที่ 4.13 ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง มีค่าสี L* เท่ากับ 78.97±0.531 แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแล้ว ลิ้นจี่มีค่าสี L* ลดลงเท่ากับ 78.12±0.694 และเมื่อวิเคราะห์ค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องหลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าสี L* ที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 76.70±0.605 และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 79.06±0.263 ในเดือนที่ 4 จากนั้นในเดือนที่ 6 ผลิตภัณฑ์มีค่าสี L* ลดลงเท่ากับ 78.96±0.435

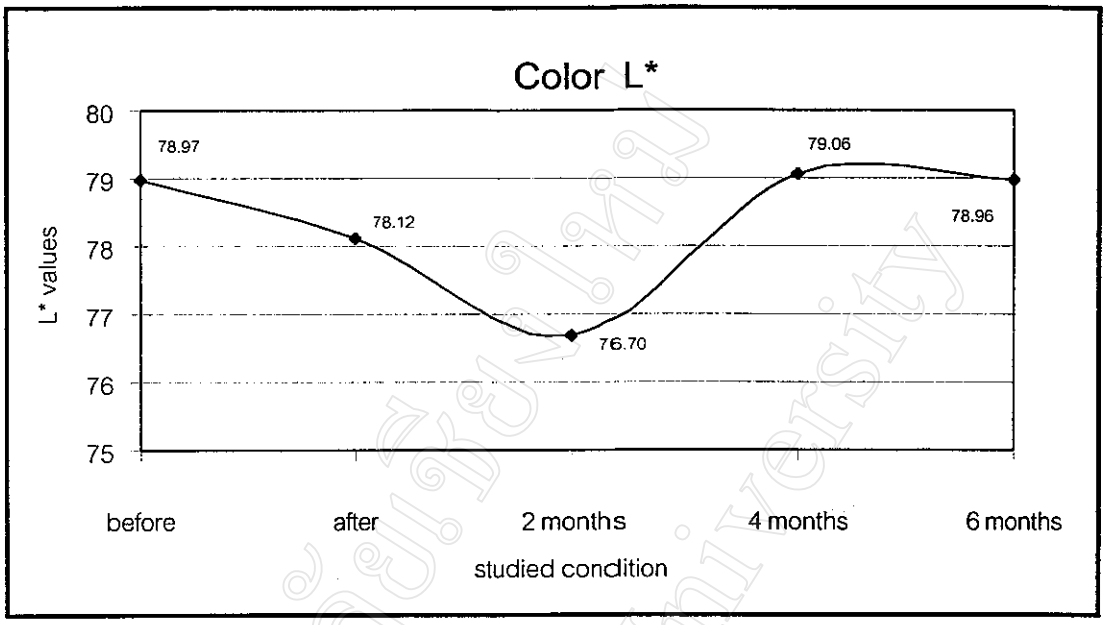
สำหรับค่าสี a* ของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนนำมาแปรรูปบรรจุกระป๋อง มีค่าเป็นบวก คือ มีค่าเท่ากับ 1.29±0.300 แต่เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแล้ว ลิ้นจี่มีค่าสี a* เป็นบวกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากค่าสี a* เริ่มต้น คือ มีค่าเท่ากับ 4.22±0.226 และเมื่อวิเคราะห์

ค่าสี a* ของลิ้นจี่ในเชื่อมบรรจุกระป๋องหลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ในเดือนที่ 2 ผลิตภัณฑ์มีค่าสี a* เท่ากับ 5.24±0.261 และเพิ่มขึ้นเป็น 5.84±0.276 และ 5.89±0.274 หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ

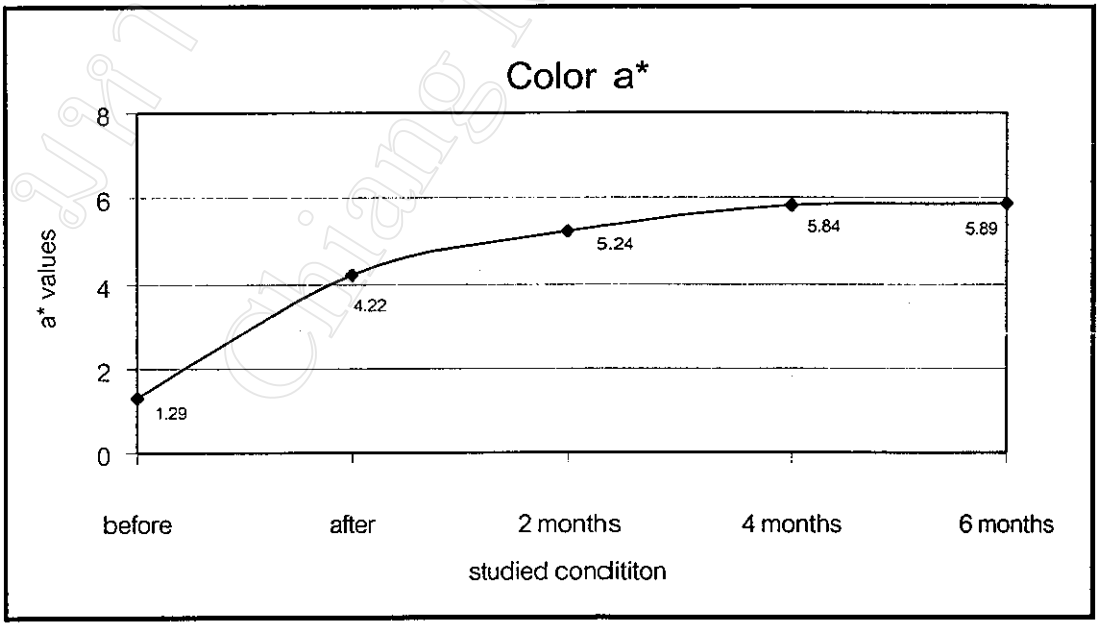
เมื่อพิจารณาค่าสี b* พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีค่าสี b* เริ่มต้นเท่ากับ 13.18±0.532 แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการบรรจุกระป๋องแล้ว ค่าสี b* ของลิ้นจี่มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คือ เท่ากับ 13.60±0.301 และเมื่อวิเคราะห์ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องหลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าสี b* เพิ่มจาก 15.64±0.269 ในเดือนที่ 2 เป็น 18.36±0.186 และ 20.37±0.185 ในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 6 ตามลำดับ

รูปที่ 4.24, 4.25 และ 4.26 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสี L*, a* และ b* ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ลิ้นจี่มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง โดยค่าสี L* ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงในทุกระยะเวลาที่ทำการวิเคราะห์ ยกเว้นในเดือนที่ 4 ที่มีค่าสี L* เพิ่มขึ้น และจากนั้นผลิตภัณฑ์จะมีค่าสี L* ลดลงอีกครั้งในเดือนที่ 6 แต่การลดลงของค่าสี L* ในเดือนที่ 6 นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับค่าสี L* ของลิ้นจี่ก่อนผ่านกระบวนการแปรรูป และค่าสี L* ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องหลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 เดือน ส่วนค่าสี a* และ b* ของลิ้นจี่มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีค่าสี a* และ b* เพิ่มขึ้นในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ($P\leq0.05$) ยกเว้นค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

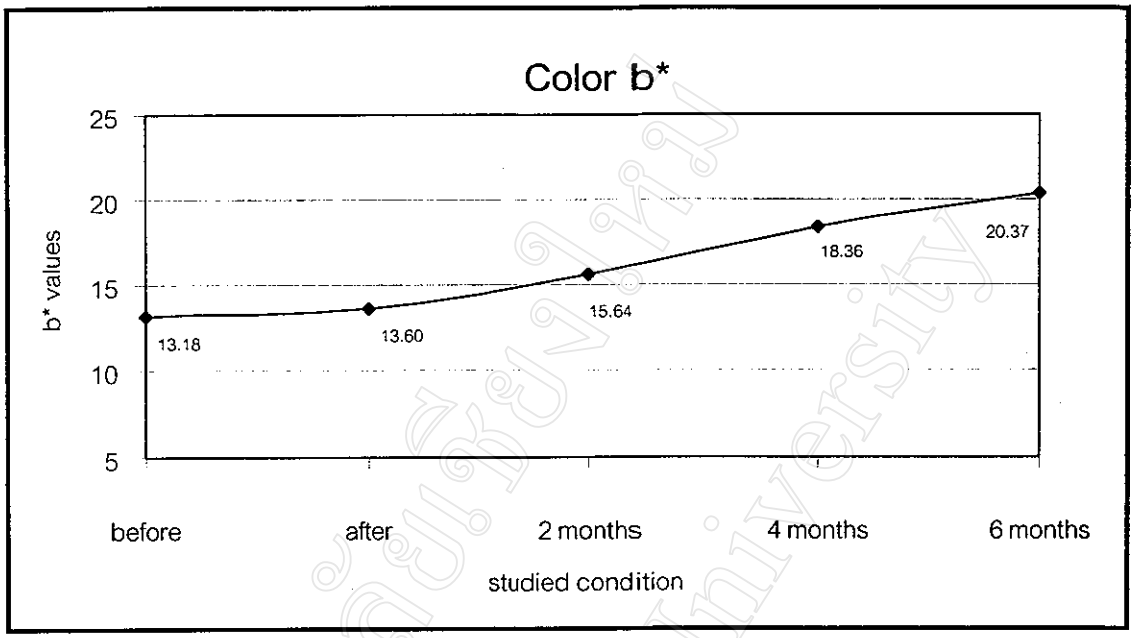
การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา อาจเป็นผลมาจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของรงควัตถุให้สีที่มีอยู่ในลิ้นจี่ โดยเฉพาะแอนโธไซยานิน หรือเกิดจากเหล็ก และดีบุก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระป๋อง เกิดทำปฏิกิริยากับแอนโธไซยานินได้เป็นสีม่วง นอกจากนี้อาจเป็นเพราะสารลูโค-แอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีสี เปลี่ยนไปเป็นสีชมพูของสารแอนโธไซยานินเชิงซ้อน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และการปนเปื้อนของอนุมูลโลหะ ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา (สินธนา, 2542)



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) โดยคิดเทียบเป็นกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิกของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย		ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
กรดซิตริก	0.72±0.004^{a}	0.33±0.002^{b}	0.33±0.006^{b}	0.30±0.002^{c}	0.33±0.004^{b}
กรดทาร์ทาริก	0.78±0.001^{a}	0.36±0.002^{b}	0.35±0.007^{b}	0.32±0.002^{c}	0.35±0.005^{b}
กรดมาลิก	0.75±0.004^{a}	0.34±0.002^{b}	0.34±0.006^{b}	0.31±0.001^{c}	0.34±0.004^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก

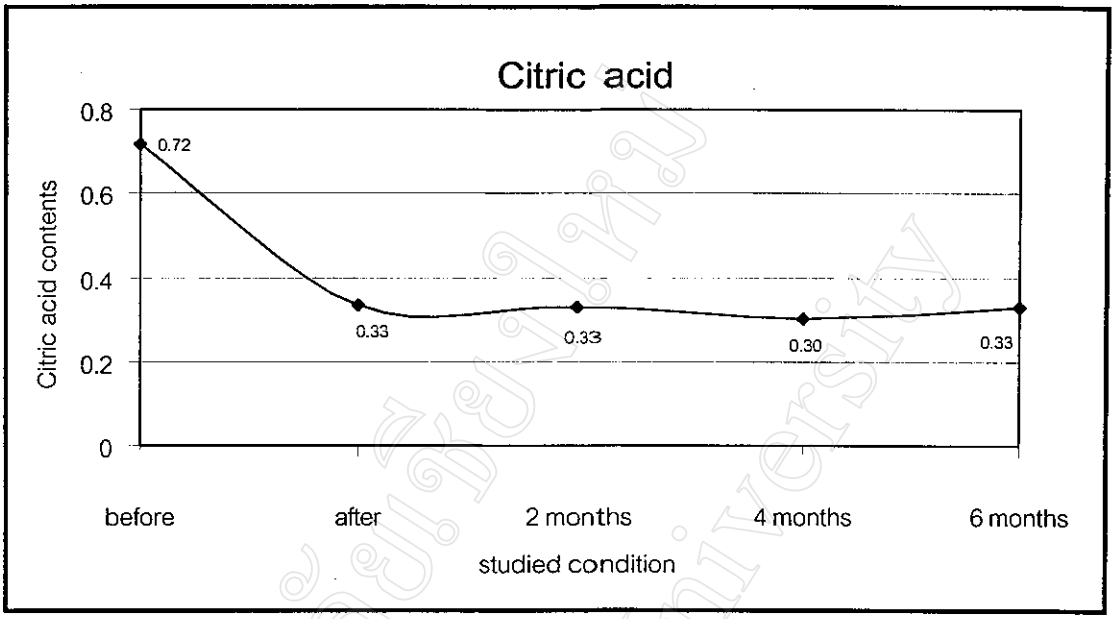
ตารางที่ 4.14 พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง มีปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 0.72±0.004 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิต ปริมาณกรดซิตริก มีค่าลดลงเท่ากับ 0.33±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกในผลิตภัณฑ์หลังจากที่เก็บไว้เป็นเวลา 2 เดือน พบว่า ปริมาณกรดซิตริกมีค่าเท่ากับ 0.33±0.006 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าลดลงเท่ากับ 0.30±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 4 เดือน แต่หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณกรดซิตริกที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 4 เป็น 0.33±0.004 กรัม ต่อ 100 กรัม โดยปริมาณกรดซิตริกที่เพิ่มขึ้นในเดือนที่ 6 นั้น มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กับลิ้นจี่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง และลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน

สำหรับปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนการแปรรูปมีค่าเท่ากับ 0.78±0.001 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีปริมาณลดลงเท่ากับ 0.36±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิต และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริกของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงจาก 0.35±0.007 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 0.32±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และปริมาณกรดทาร์ทาริก มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.35±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดทาร์ทาริกในเดือนที่ 6 นั้น ไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กับลิ้นจี่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง และลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือนเช่นเดียวกับกรดซิตริก

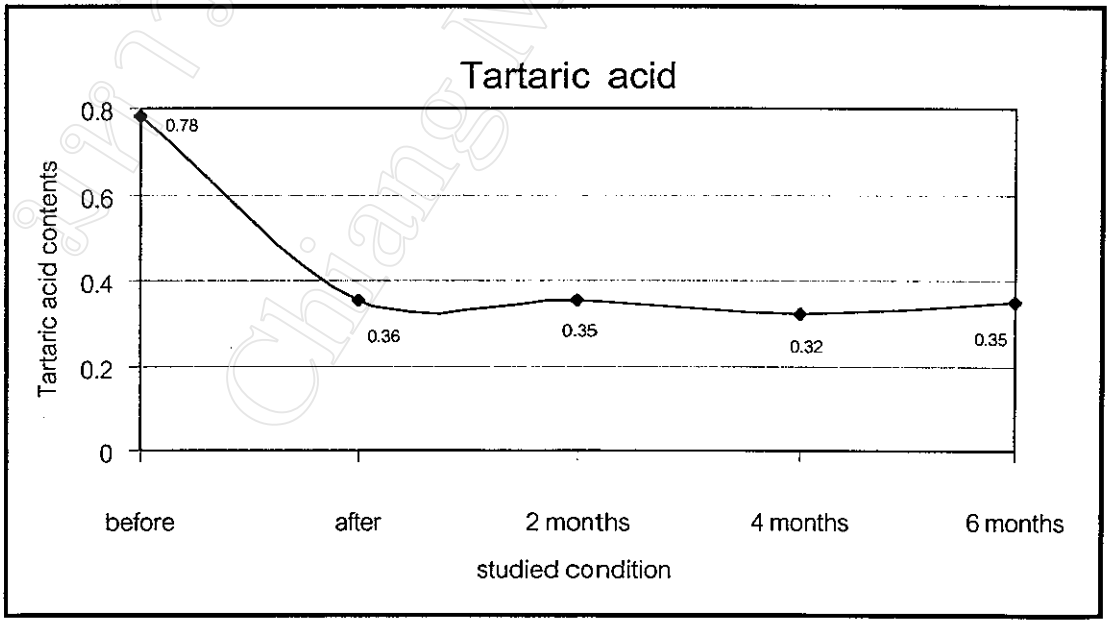
เมื่อพิจารณาปริมาณกรดมาลิกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ก่อนและหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป มีค่าเท่ากับ 0.75±0.004 กรัม ต่อ 100 กรัม และ 0.34±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณกรดมาลิกมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดซิตริก และกรดทาร์ทาริก กล่าวคือ ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง มีปริมาณกรดมาลิกลดลงเท่ากับ 0.31±0.001 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนที่ 6

รูปที่ 4.27, 4.28 และ 4.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ ทั้งในรูปกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน คือ ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวลดลงหลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้ว ทั้งนี้เป็นเพราะกรดอินทรีย์บางส่วนถูกทำลายด้วยความร้อนในระหว่างกระบวนการแปรรูป จึงทำให้ปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณลดลง และเมื่อพิจารณาปริมาณการสูญเสียกรดอินทรีย์ในระหว่างกระบวนการผลิต พบว่า ผลิตภัณฑ์มีปริมาณการสูญเสียกรดซิตริกร้อยละ 53.96 ซึ่งมีค่าการสูญเสียน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรดทาร์ทาริกและกรดมาลิก ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิต มีการเติมกรดซิตริกลงไปด้วย จึงทำให้ปริมาณการสูญเสียของกรดซิตริกมีค่าน้อยกว่ากรดอินทรีย์อีก 2 ชนิด

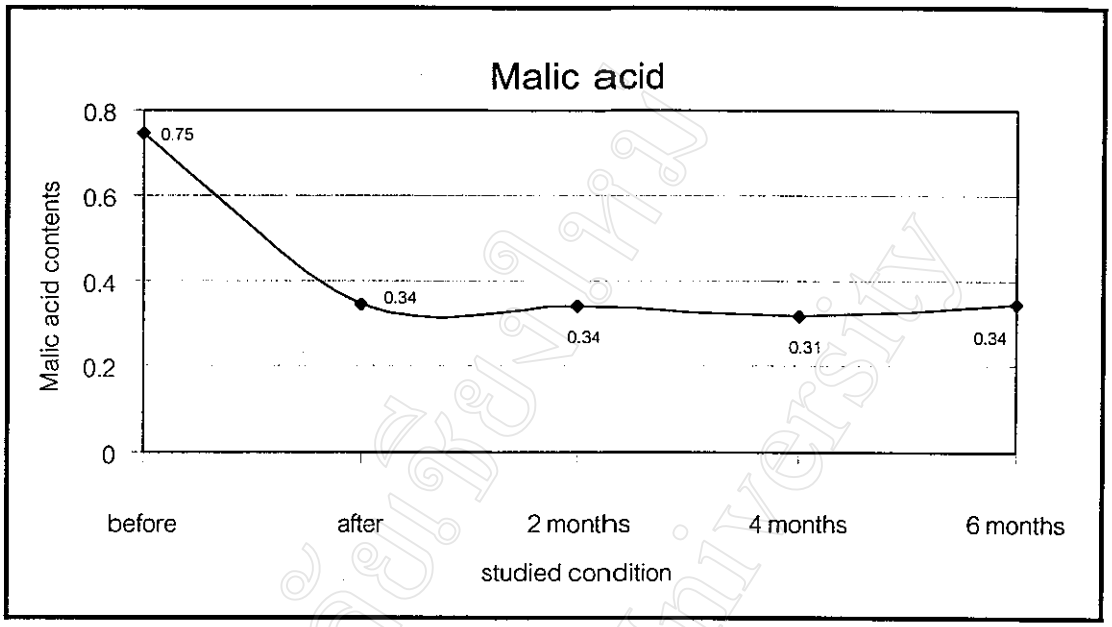
สำหรับปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ที่วิเคราะห์ได้ในระหว่างการเก็บรักษานั้น มีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ ยกเว้นในเดือนที่ 4 ที่มีปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$)



รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทาร์ทาริก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดมาลิก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย		ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
กลูโคส	3.312±0.008^{c}	3.240±0.042^{c}	4.649±0.055^{b}	6.281±0.076^{a}	6.401±0.050^{a}
ฟรุกโตส	6.769±0.017^{d}	6.568±0.113^{d}	9.143±0.132^{c}	12.080±0.016^{a}	11.268±0.008^{b}
ซูโครส	4.991±0.296^{b}	6.592±0.093^{a}	4.665±0.237^{b}	4.390±0.395^{b}	3.654±0.130^{c}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำตาล ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และ ซูโครส

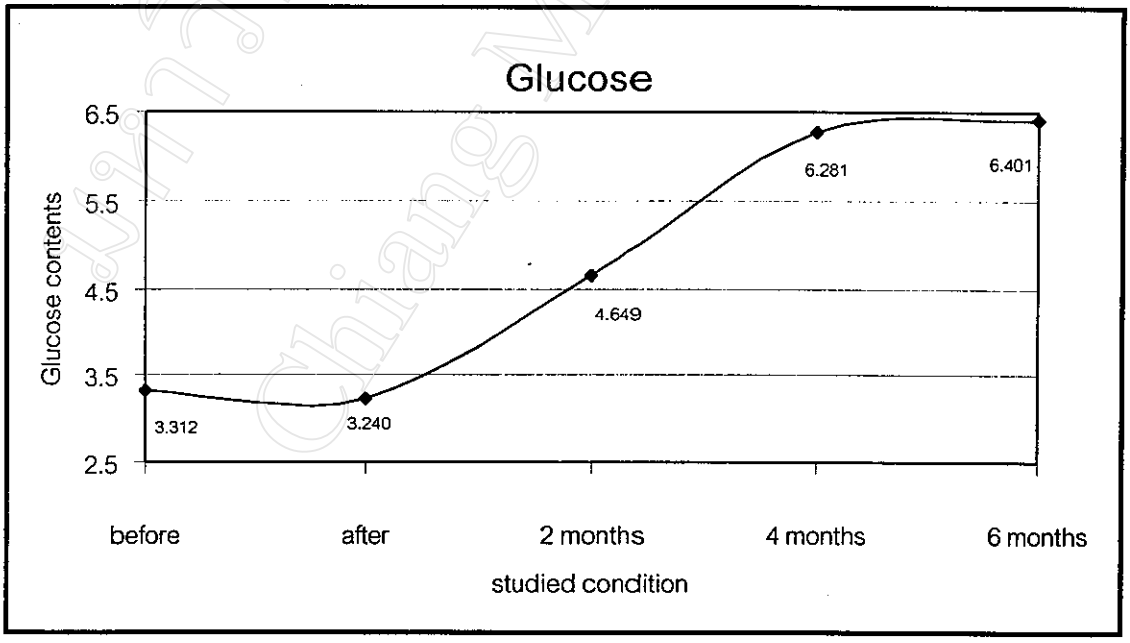
ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีค่าเท่ากับ 3.312±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้ว ปริมาณน้ำตาลกลูโคสมีค่าลดลงเท่ากับ 3.240±0.042 กรัม ต่อ 100 กรัม ทั้งนี้เป็นเพราะมีการสูญเสียและถูกทำลายในระหว่างกระบวนการแปรรูป เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าน้ำตาลกลูโคสมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ โดยในเดือนที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 4.649±0.055 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนเดือนที่ 4 มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 6.281±0.076 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.401±0.050 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6

สำหรับน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่พบมากที่สุดในผลไม้ ตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมากกว่าน้ำตาลกลูโคส และซูโครส ตามลำดับ ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเท่ากับ 6.769±0.017 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้ว ลิ้นจี่มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสลดลงเท่ากับ 6.568±0.113 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมีแนวโน้มเช่นเดียวกับน้ำตาลกลูโคส อันเป็นผลมาจากการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการผลิตดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.143±0.132 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 12.080±0.016 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 ยกเว้นในเดือนที่ 6 ที่มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเท่ากับ 11.268±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม

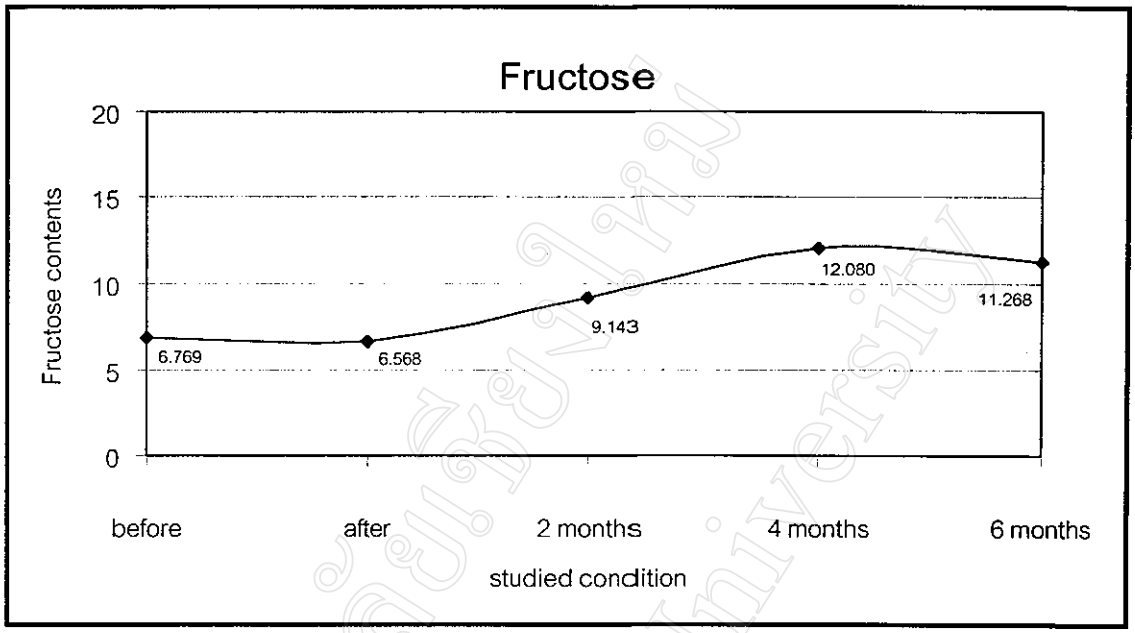
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน พบว่า มีค่าเท่ากับ 4.991±0.296 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูป ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 6.592±0.093 กรัม ต่อ 100 กรัม ทั้งนี้เป็นเพราะในกระบวนการแปรรูปผลไม้กระป๋องนั้น จะมีการเติมน้ำเชื่อมลงไปด้วยเสมอ เพื่อช่วยควบคุมแรงดัน

ออสโมติกของเซลล์ให้คงที่ และเพื่อเป็นการปรุงแต่งรสชาติ โดยส่วนใหญ่น้ำเชื่อมที่ใช้นั้นจะเตรียมจากน้ำตาลซูโครส เนื่องจากหาได้ง่าย และมีราคาค่อนข้างต่ำกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ดังนั้นหลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตแล้ว ผลิตภัณฑ์จึงมีปริมาณน้ำตาลซูโครสมากกว่าในวัตถุดิบเริ่มต้น และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์แปรรูปไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ โดยลดลงจาก 4.665±0.237 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 3.654±0.130 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6

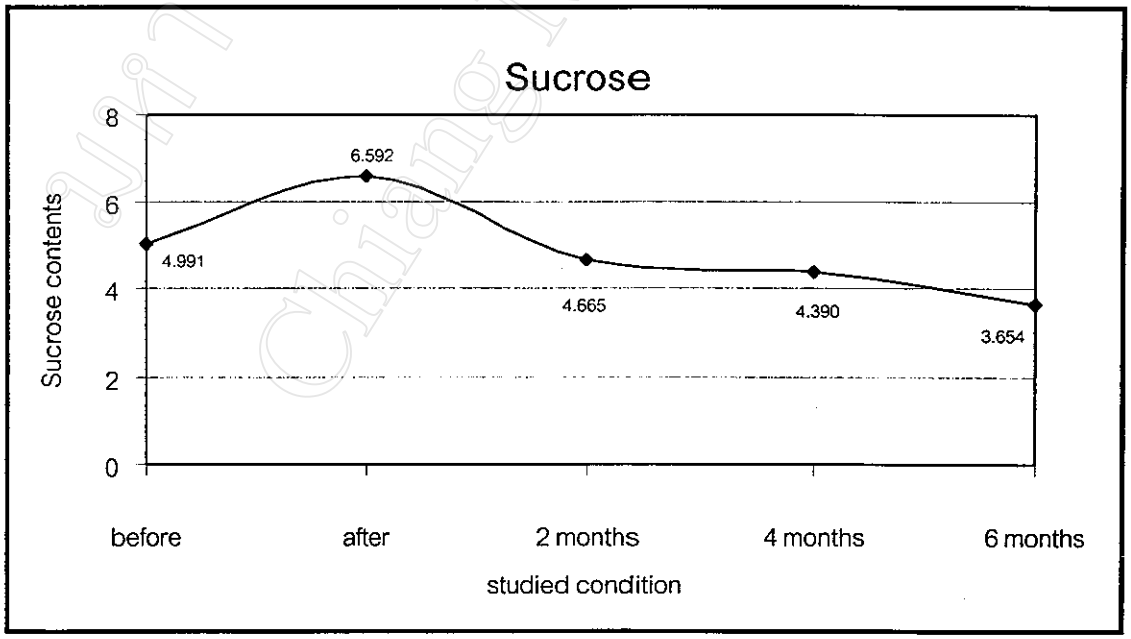
การลดลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา ให้ผลที่สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ที่วิเคราะห์ได้ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำเชื่อมที่เติมลงไปในระหว่างกระบวนการผลิต เกิดการแตกสลายโมเลกุลบางส่วนอันเนื่องมาจากการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการผลิต และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสในสภาวะที่มีกรด กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ได้น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส (สินธนา, 2542) จึงทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์



รูปที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) และปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย		ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.76±0.053^{a}	3.63±0.045^{c}	3.68±0.010^{c}	3.86±0.015^{a}	3.81±0.017^{a}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	18.14±0.001^{c}	22.87±0.200^{b}	24.60±0.115^{a}	24.61±0.115^{a}	24.62±0.115^{a}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	17.985±2.188^{a}	2.348±0.344^{b}	0.798±0.226^{b}	0.609±0.615^{b}	0.573±0.348^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

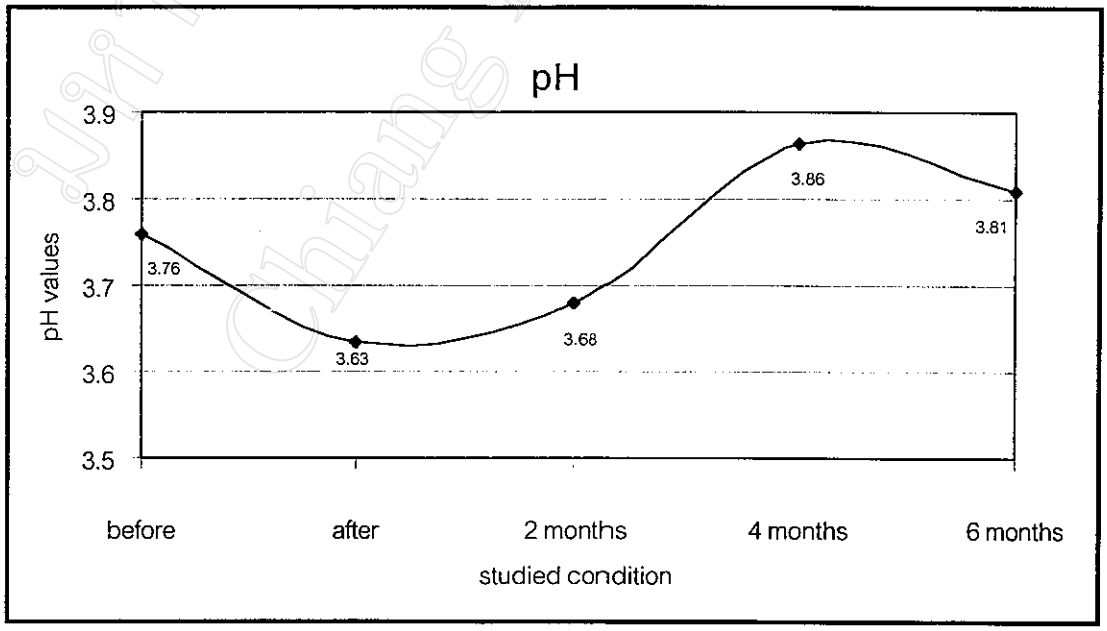
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน พบว่า ลิ้นจี่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.76±0.053 แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูป ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีค่าเท่ากับ 3.63±0.045 การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในลิ้นจี่หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตนั้น อาจเป็นผลมาจากในขั้นตอนการผลิต มีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลงด้วยกรดซิตริก เพื่อช่วยลดอุณหภูมิในกระบวนการฆ่าเชื้อ ซึ่งผลจากการเติมกรดซิตริกนี้ จึงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าต่ำกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของวัตถุดิบเริ่มต้น หรือมีความเป็นกรดมากกว่าลิ้นจี่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแปรรูป

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 4.33 ชี้ให้เห็นว่า ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คือ มีค่าเท่ากับ 3.68±0.010 หลังจากที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือนนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่หลังจากที่ผ่านกระบวนการผลิตทันที แต่เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 6 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าลดลงจาก 3.86±0.015 ในเดือนที่ 4 เป็น 3.81±0.017 ในเดือนที่ 6 แต่การลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 และ 6 เดือนนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรด-ด่างในลิ้นจี่ระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ให้ผลที่สอดคล้องกับปริมาณกรดอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้ ซึ่งมีค่าลดลงภายหลังจากการผ่านกระบวนการผลิต และในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

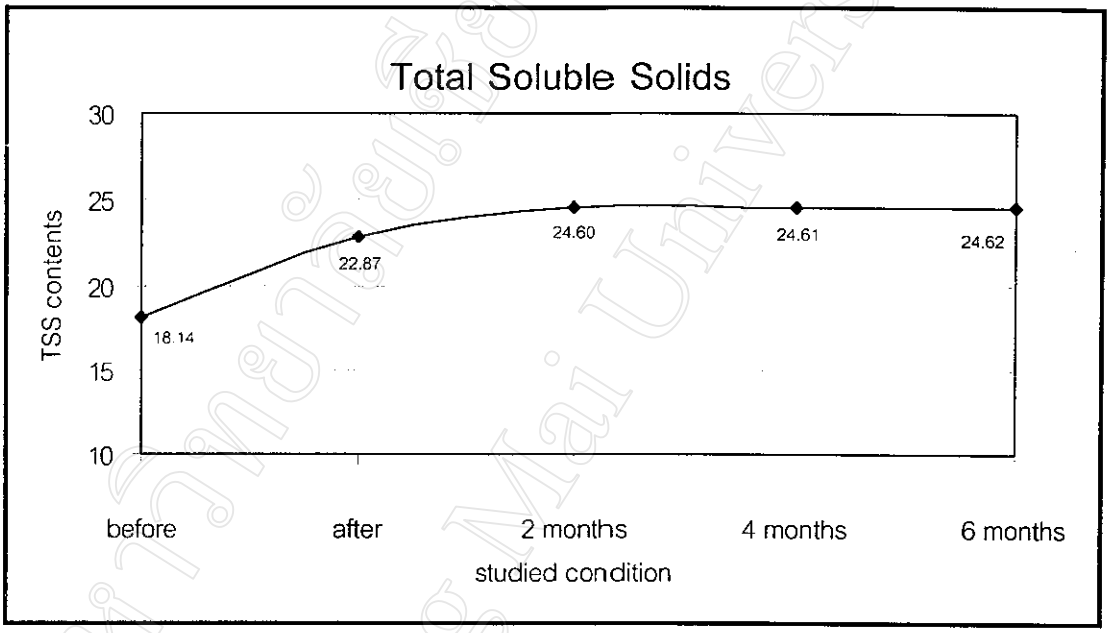
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids)

ตารางที่ 4.16 ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 18.14±0.001 องศาบริกซ์ แต่เมื่อผ่านกระบวนการผลิต ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 22.87±0.200 องศาบริกซ์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวหลังจากที่ผ่านกระบวนการแปรรูปนั้น เป็นผลมาจากการเติมน้ำเชื่อมลงไปในขั้นตอนของกระบวนการผลิต โดยน้ำเชื่อมที่เติมลงไปนั้นเกิดการออสโมซิสเข้าสู่เนื้อของลิ้นจี่ จึงทำให้เนื้อลิ้นจี่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต มีส่วนเร่งให้เกิดการสลายตัวของสารประกอบเพคตินเป็นของแข็งที่ละลายได้ (Prabhakar *et al.*, 1994) ส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์แปรรูป หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่องในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ โดยเพิ่มขึ้นจาก 24.60±0.115 องศาบริกซ์ ในเดือนที่ 2 เป็น 24.61±0.115 และ 24.62±0.115 องศาบริกซ์ ในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 6 ตามลำดับ แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษานั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้งนี้เป็นเพราะองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบของผลิตภัณฑ์เริ่มเข้าสู่สมดุล จึงมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่มากนักในระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ส่วนใหญ่จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณกรดอินทรีย์ และปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ ถ้าปริมาณกรดอินทรีย์และปริมาณน้ำตาลที่วิเคราะห์ได้มีมาก ก็จะทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่ามากด้วย ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์และปริมาณน้ำตาลของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ 4.15 ชี้ให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์และปริมาณน้ำตาล ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา โดยปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลที่ได้มีค่าตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำตาล ทั้งในรูปของน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์

เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลทั้ง 2 ชนิด จะเห็นว่า มีการเพิ่มขึ้นในปริมาณที่มากกว่าการลดลงของปริมาณกรดอินทรีย์ ยกเว้นน้ำตาลซูโครสที่มีปริมาณลดลง เนื่องจากผลของการสลายโมเลกุลบางส่วนไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลเป็นหลักสำคัญ



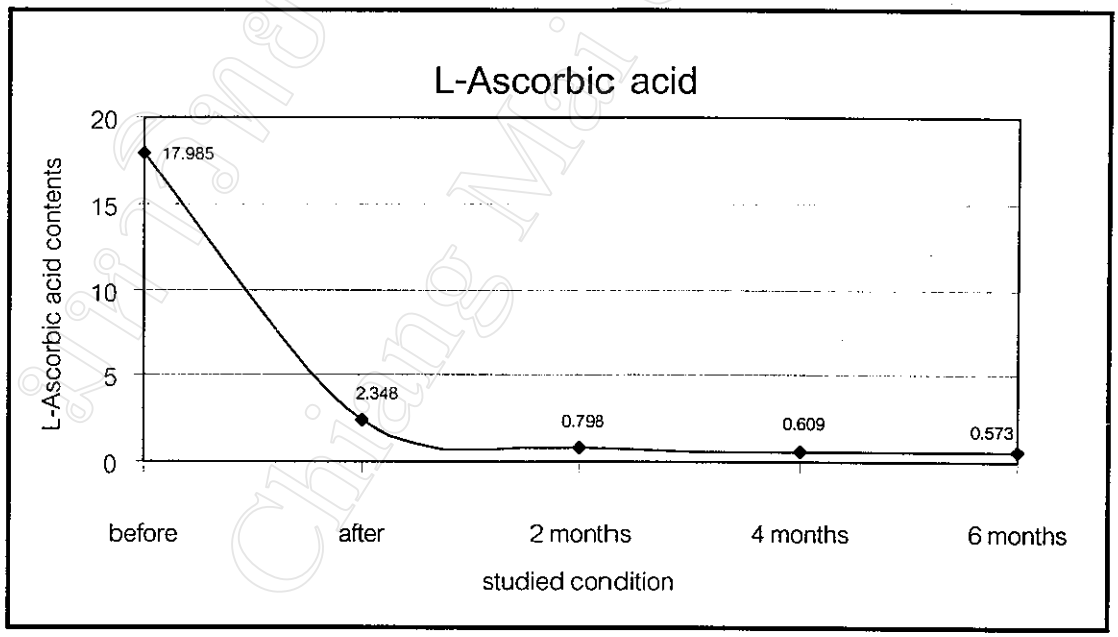
รูปที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$Brix) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ในระหว่างกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงในตารางที่ 4.16 ลิ้นจี่สายพันธุ์ดังกล่าวมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 17.985$\pm$2.188 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากผ่านกระบวนการผลิตปริมาณวิตามินซีมีค่าลดลงเท่ากับ 2.348$\pm$0.344 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน ทำให้ปริมาณวิตามินซีสูญเสียถึงร้อยละ 86.9

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในผลิตภัณฑ์แปรรูป ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องมีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 0.798±0.226 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 0.609±0.615 และ 0.573±0.348 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 6 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณวิตามินซีที่ลดลงในทุกระยะการวิเคราะห์ ระหว่างการเก็บรักษานั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

วิตามินซี เป็นวิตามินที่ละลายน้ำได้ มีความคงตัวต่ำ สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูก แสง อากาศ และความร้อน ดังนั้นในกระบวนการแปรรูปผลไม้บรรจุกระป๋อง ซึ่งมีการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการผลิต จะมีการสูญเสียวิตามินซีอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย		ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม)	1.05±0.025^{a}	0.88±0.016^{b}	0.79±0.001^{c}	0.76±0.040^{c}	0.67±0.006^{d}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FC-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	91.574±0.373^{c}	64.902±0.001^{d}	136.33±6.648^{a}	143.17±5.269^{a}	118.08±4.891^{b}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FV-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	6.949±0.537^{e}	10.870±0.296^{d}	15.264±0.064^{b}	16.494±0.617^{a}	13.502±0.361^{c}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

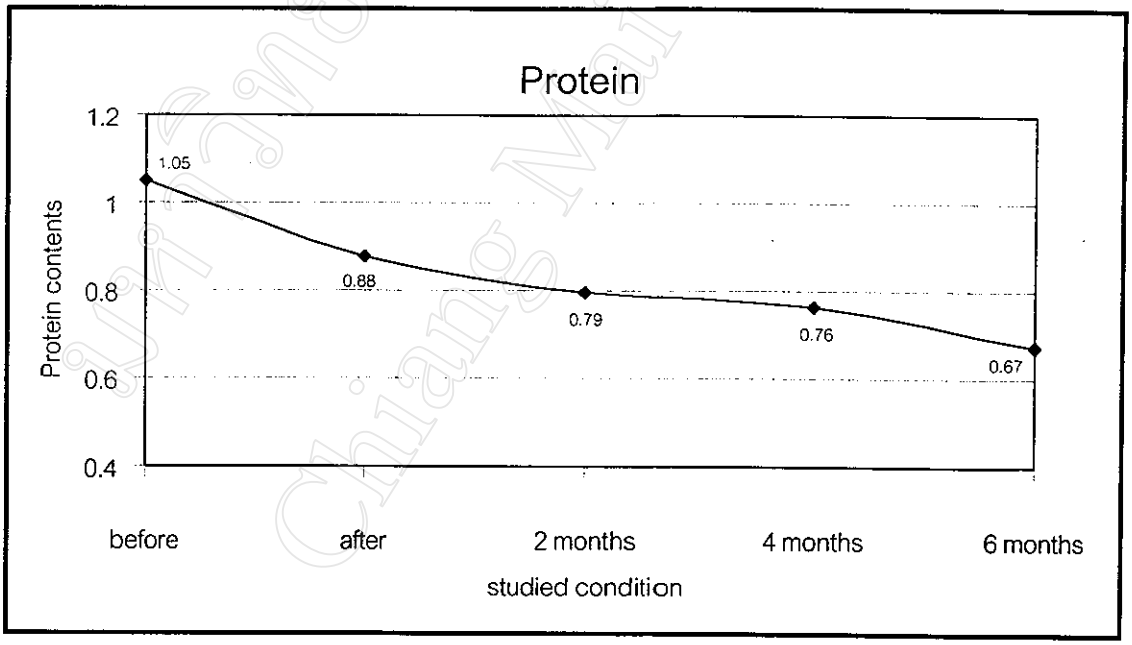
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณโปรตีน (Protein)

ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 1.05±0.025 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน ปริมาณโปรตีนมีค่าลดลงเท่ากับ 0.88±0.016 กรัม ต่อ 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ทั้งนี้ในระหว่างกระบวนการแปรรูป โปรตีนที่มีอยู่ในลิ้นจี่เกิดการเสียสภาพ เนื่องจากถูกทำลายด้วยความร้อน จึงทำให้ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลง แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 2 และ เดือนที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กล่าวคือ ในเดือนที่ 2 มีการลดลงของปริมาณโปรตีนเพียงเล็กน้อย โดยลดลงจาก 0.79±0.001 กรัม ต่อ 100 กรัม เป็น 0.76±0.040 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 แต่หลังจากที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณโปรตีนมีค่าลดลงเท่ากับ 0.67±0.006 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ลดลงในเดือนที่ 6 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05) เมื่อเทียบกับลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่เก็บรักษาเป็นเวลา 2 และ 4 เดือน

การสูญเสียปริมาณโปรตีน หรือการทำให้โปรตีนสูญเสียสภาพธรรมชาติ ในระหว่างกระบวนการใช้ความร้อน และการเก็บรักษา อาจให้ผลดีในแง่ของการลดหรือยับยั้งความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุลอยู่ระหว่าง 10-70 กิโลดาลตัน



รูปที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

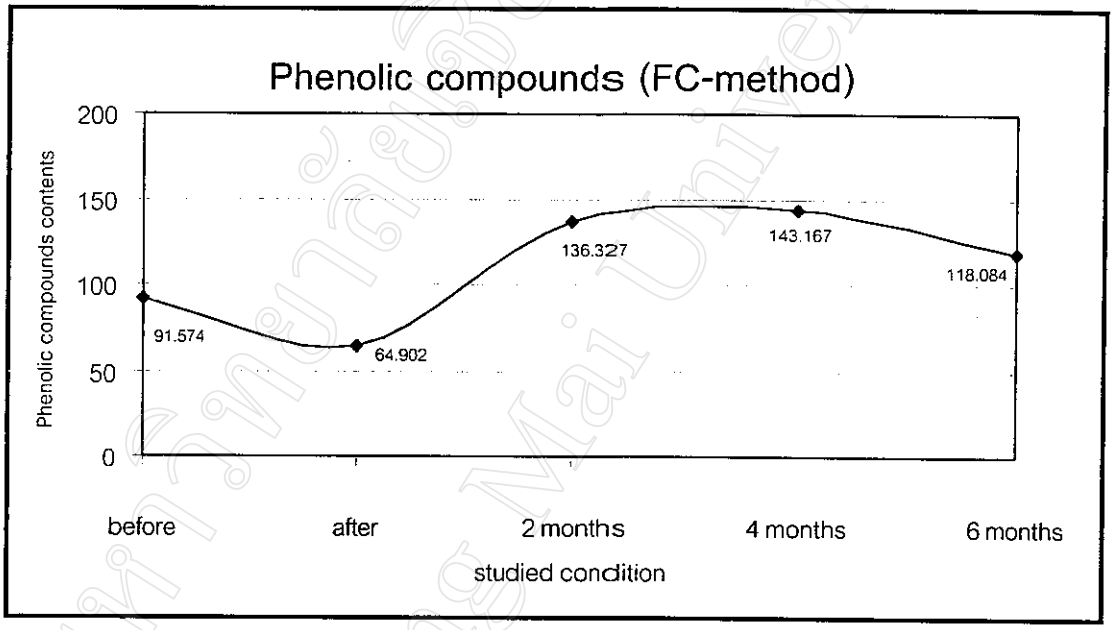
ปริมาณสารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

ปริมาณสารประกอบฟีนอลในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Folin-Ciocalteu (FC) ดังแสดงในตารางที่ 4.17 มีค่าเท่ากับ 91.574±0.373 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังผ่านกระบวนการแปรรูปบรรจุกระป๋อง ค่าที่วิเคราะห์ได้มีปริมาณลดลงจากค่าเริ่มต้นในวัตถุดิบเท่ากับ 64.902±0.001มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารประกอบฟีนอลบางส่วน ถูกทำลายด้วยความร้อนในระหว่างกระบวนการแปรรูป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Talcott *et al.*, (2000) ที่รายงานผลของแครอทที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน มีปริมาณของสารประกอบฟีนอลลดลงเหลือเพียงร้อยละ 58.5

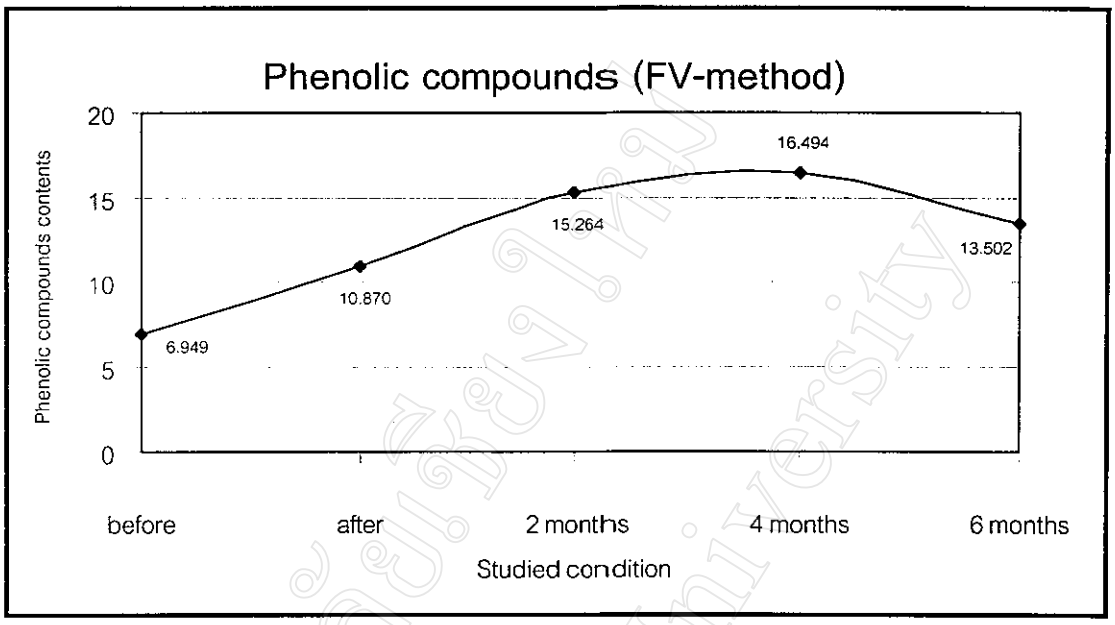
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 136.33±6.648 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 143.17±5.269 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอลในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 4 นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณสารประกอบฟีนอลมีค่าลดลงเท่ากับ 118.08±4.891 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ โดยวิธี Flavonols with vanillin (FV) พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มนี้เท่ากับ 6.949±0.537 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และเมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปโดยการบรรจุกระป๋อง ลิ้นจี่มีปริมาณสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.870±0.296 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.17 ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ความร้อนสูงในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้โมเลกุลของสารประกอบฟีนอลบางส่วนเกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีโมเลกุลเล็กลง (Talcott *et al.*, 2000) จึงทำให้สารประกอบฟีนอลในกลุ่มนี้มีปริมาณเพิ่มขึ้น ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ โดยในเดือนที่ 2 ผลิตภัณฑ์มีสารประกอบฟีนอลในกลุ่มสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 15.264±0.064 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และมีปริมาณเพิ่มเป็น 16.494±0.617 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ใน 4 เดือน แต่ในเดือนที่ 6 มีปริมาณสารดังกล่าวลดลงเท่ากับ 13.502±0.361 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอล ในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ ระหว่างการเก็บรักษา มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Folin–Ciocalteu กล่าวคือ มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงเดือนที่ 4 และมีปริมาณลดลงในเดือนที่ 6



รูปที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของ Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkaline soluble pectin และ Total pectin ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณสารประกอบเพคตินในรูปของ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย		ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
Water soluble pectin	1.292±0.087^{c}	1.461±0.284^{c}	26.043±2.553^{a}	27.392±0.150^{a}	23.231±1.055^{b}
Oxalate soluble pectin	8.178±0.174^{d}	5.070±0.040^{e}	23.361±1.997^{c}	28.561±0.301^{b}	36.525±0.554^{a}
Alkali soluble pectin	17.433±0.652^{b}	13.061±0.325^{c}	9.956±0.379^{c}	43.288±0.210^{a}	42.192±3.612^{a}
Total pectin	26.903±0.565^{c}	19.591±0.081^{d}	59.360±4.171^{b}	99.240±0.240^{a}	101.95±3.111^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

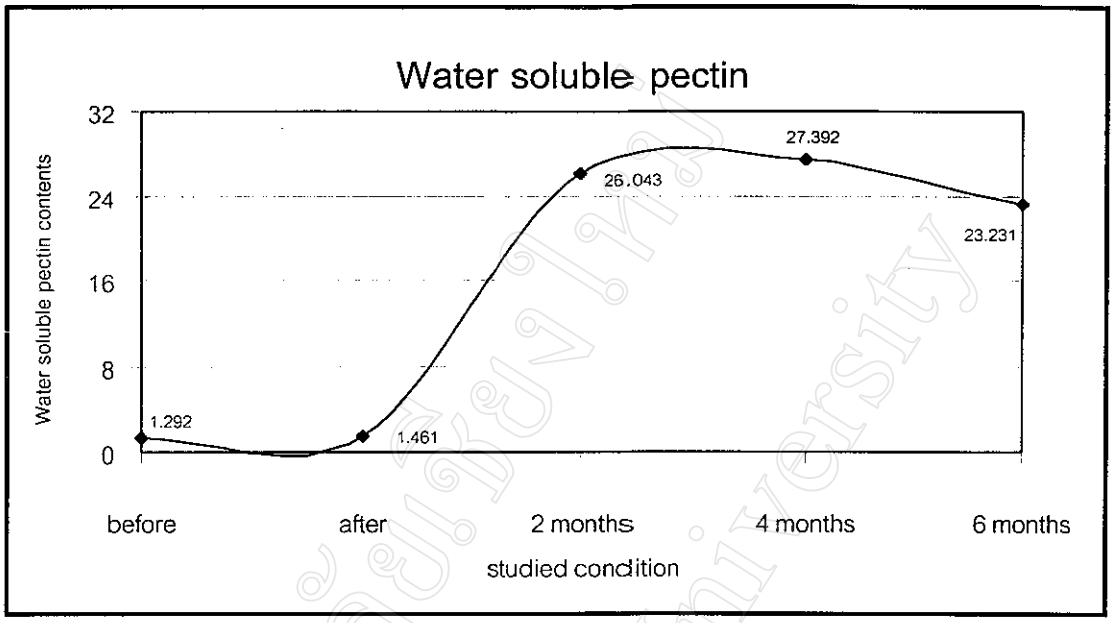
ปริมาณสารประกอบเพคติน (Pectic substances)

เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ *(Water soluble pectin)*

ลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ก่อนและหลังจากการผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน มีปริมาณสารประกอบเพคติน ในรูปเพคตินที่ละลายได้ในน้ำน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต เพคตินที่ละลายได้ในด่าง และเพคตินทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ลิ้นจี่ก่อนผ่านกระบวนการแปรรูปโดยการบรรจุกระป๋อง มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 1.292±0.087 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.461±0.284 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม หลังผ่านกระบวนการแปรรูป

การเพิ่มขึ้นของปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ภายหลังกระบวนการแปรรูป เป็นผลมาจากความร้อนที่ใช้ในขั้นตอนของการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้สารประกอบเพคตินที่อยู่ในรูปอื่น ๆ เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์ นอกจากนี้ยังทำให้สารประกอบเพคตินที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ จึงทำให้สารประกอบเพคตินที่ละลายได้ในน้ำมีปริมาณเพิ่มขึ้น (Buren, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตและเพคตินที่ละลายได้ในด่างที่มีปริมาณลดลงภายหลังการผ่านกระบวนการผลิต

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ผลิตภัณฑ์แปรรูปมีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้นจาก 26.043±2.553 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 27.392±0.150 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 แต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำทั้ง 2 ระยะเวลาดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 23.231±1.055 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

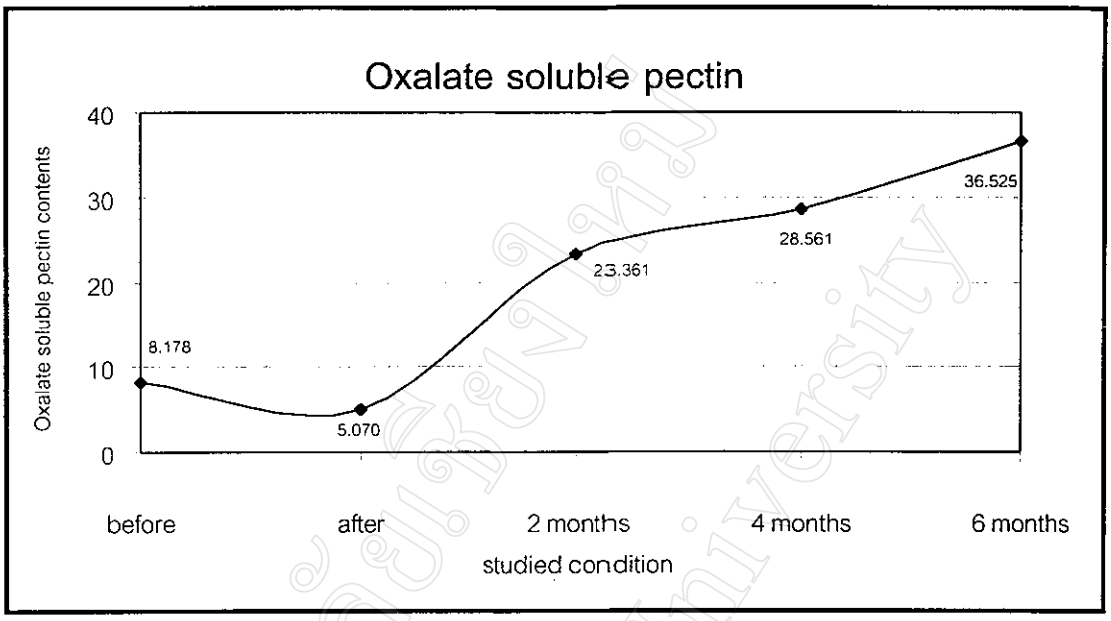


รูปที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (Oxalate soluble pectin)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตของลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงในตารางที่ 4.18 ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตที่วิเคราะห์ได้ ทั้งก่อนและหลังการผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน มีค่าเท่ากับ 8.178±0.174 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และ 5.070±0.040 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องมีปริมาณเพคตินที่ละลายในออกซาเลตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ โดยในเดือนที่ 2, 4 และ 6 มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตเท่ากับ 23.361±1.997, 28.561±0.301 และ 36.525±0.554 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

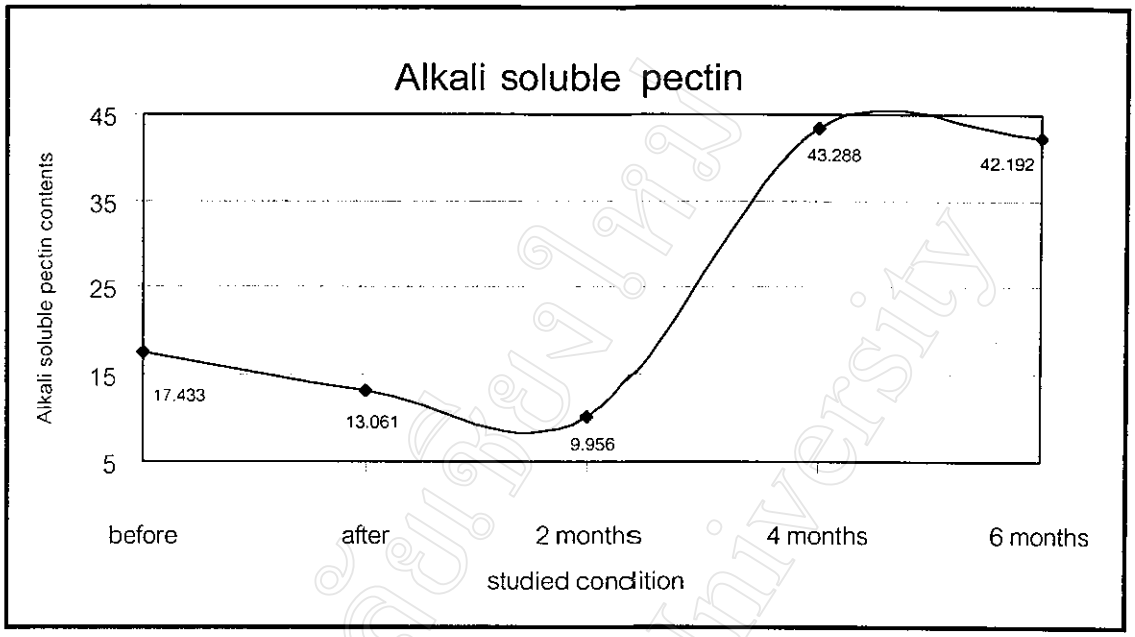


รูปที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เพคตินที่ละลายได้ในด่าง (Alkali soluble pectin)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยก่อนการแปรรูปมีค่าเท่ากับ 17.433±0.652 กรัม ต่อ 100 กรัม และพบว่ามีปริมาณลดลงเท่ากับ 13.061±0.325 กรัม ต่อ 100 กรัม หลังผ่านกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.18

รูปที่ 4.41 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ในเดือนที่ 2 มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างเท่ากับ 9.956±0.379 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 43.288±0.210 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 จากนั้นในเดือนที่ 6 ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างมีค่าลดลงเท่ากับ 42.192±3.612 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งการลดลงของปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์หลังจากที่เก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือนนั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับปริมาณสารดังกล่าวที่วิเคราะห์ได้ภายหลังการเก็บรักษาได้ 4 เดือน



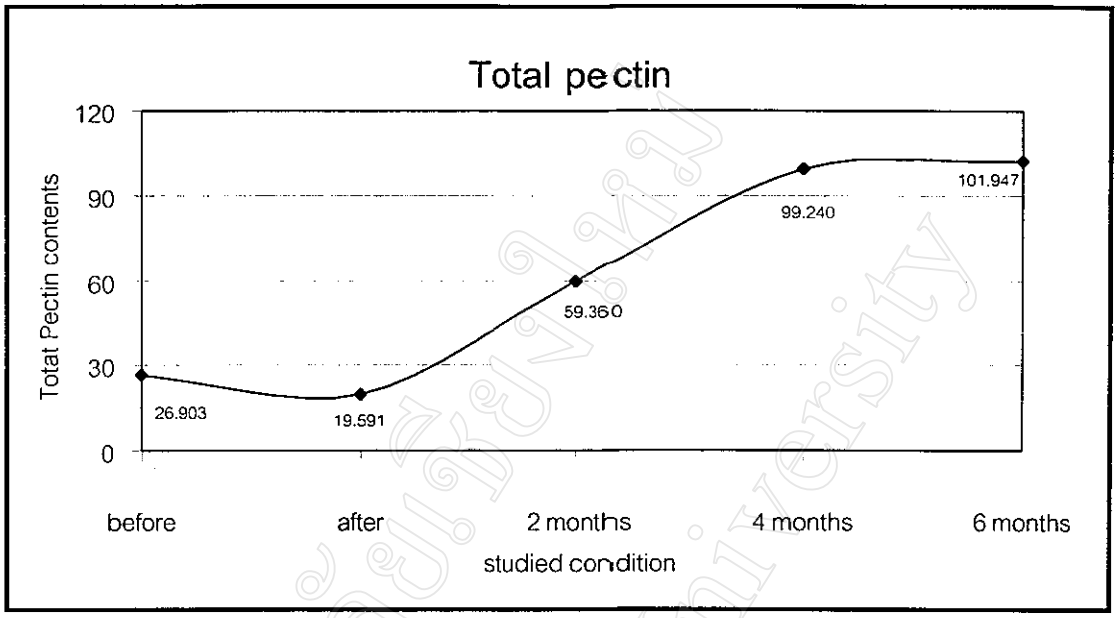
รูปที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่าง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เพคตินทั้งหมด (Total Pectin)

ปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวยทั้งก่อนและหลังการผ่านกระบวนการแปรรูป มีค่าเท่ากับ 26.903±0.565 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และ 19.591±0.081 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ภายหลังการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2, 4 และ 6 เดือน มีค่าเท่ากับ 59.360±4.171, 99.240±0.240 และ 101.95±3.111 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณเพคตินทั้งหมด ส่วนใหญ่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของเพคตินที่ละลายได้ในด่างเป็นสำคัญ



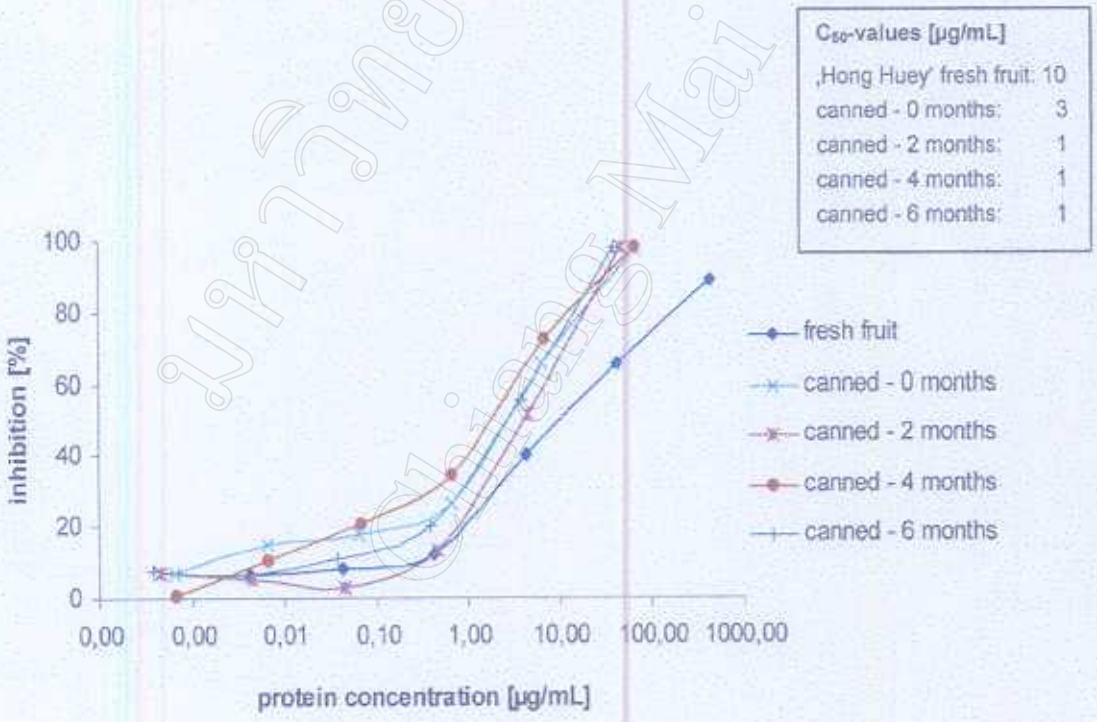
รูปที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินทั้งหมด (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

การสกัดและตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้

ในการสกัดและตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้ ของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง พบว่ากระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารก่อภูมิแพ้ ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา โดยสามารถยับยั้งหรือลดความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ที่พบในลิ้นจี่ลงได้หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป อย่างไรก็ตาม ยังมีสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 14-65 กิโลดาลตัน ที่เสถียรต่อความร้อนในระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อ ปรากฏให้เห็นเป็นแถบของปฏิกิริยาอย่างชัดเจน ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jankiewicz *et al.*, 1996 : 1998 ที่ทำการศึกษา สารก่อภูมิแพ้ใน Celery โดยนำไปผ่านความร้อนภายใต้สภาวะควบคุม และพบว่า Apig-1 เป็นสารก่อภูมิแพ้หลักที่อยู่ใน Celery และเป็นสารที่ไม่ทนต่อความร้อน แต่ Profilin ใน Celery มีคุณสมบัติทนความร้อนมากกว่า ถึงแม้ว่าได้มีการทดลองกระบวนการต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยีหลายอย่างเพื่อการศึกษาเรื่องนี้ใน Celery เช่น การใช้ความร้อน

ดังเช่นวิธีการที่ใช้อยู่ทั่วไป (Conventional heating) การใช้ไมโครเวฟ (Micro-wave treatment) การใช้กระแสไฟฟ้าแรงสูง เช่นเดียวกับที่ใช้ในการผลิตน้ำผัก-ผลไม้ (High electric impulse treatment) การใช้ความดันสูง (High pressure) การหมัก (Fermentation) การฉายรังสี (Irradiation) และการแช่เยือกแข็ง (Freezing) ร่วมด้วย ผลก็คือ สารก่อภูมิแพ้ถูกลดความรุนแรงลง ในขณะที่สาร Profilin นั้น มีคุณสมบัติทนความร้อน และนอกจากนี้ยังพบว่า ภายหลังจากการให้ความร้อนกับ Celery อีกครั้งหนึ่ง ก็พบสารก่อภูมิแพ้ปรากฏให้เห็นเป็นแถบ (Allergen bands) ซึ่งมีค่าน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 30-45 กิโลดาลตันอีกด้วย (Jankiewicz *et al.*,1995)

ผลการทดสอบ EAST-Inhibition แสดงในรูปที่ 4.43 พบว่า สารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากลิ้นจี่สายพันธุ์ฮงฮวย ก่อนและหลังจากกระบวนการแปรรูปโดยใช้ความร้อน และในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงผลการยับยั้งคล้ายกันมากในแต่ละตัวอย่าง ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน สารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ให้ผลการยับยั้งสูงที่สุด



รูปที่ 4.43 แสดงผล EAST-Inhibition ระหว่าง IgE ของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่ จำนวน 18 คน กับสารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

4.4 ผลกระทบของกระบวนการแช่เยือกแข็งลิ้นจี่ และสภาพการเก็บในสภาวะแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี

การศึกษาผลกระทบของกระบวนการแช่เยือกแข็งลิ้นจี่ และสภาพการเก็บในสภาวะแช่แข็งต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมี ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ทั้งผลที่ผ่านการคัด ตัดแต่งขั้ว และแช่ในสารละลายคลอรีนที่มีความเข้มข้น 20 ppm แล้วจึงลดอุณหภูมิให้ต่ำลงในห้องเย็น ก่อนที่จะนำมาผ่านอุปกรณ์แช่เยือกแข็งแบบ IQF ที่ผันแปรเวลาในการแช่แข็งเป็น 2 ระดับ คือ ที่ระดับ 23 นาที ซึ่งเป็นระดับปกติที่ใช้ในอุตสาหกรรม และที่ระดับ 28 นาที เพื่อศึกษาผลกระทบของกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการผันแปรเวลาในการแช่แข็ง ต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีในลิ้นจี่ ระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ลักษณะทางกายภาพ	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน)	31.88±1.339^{a}	29.36±2.830^{b}	28.82±1.729^{b}	26.41±1.969^{c}	23.44±3.012^{c}
ค่าสี L*	82.53±0.448^{d}	83.11±0.395^{c}	82.68±0.213^{d}	84.80±0.367^{a}	83.73±0.302^{b}
ค่าสี a*	-1.57±0.078^{b}	-2.02±0.097^{d}	-0.81±0.088^{a}	-1.82±0.182^{c}	-2.04±0.058^{d}
ค่าสี b*	11.60±0.397^{a}	11.75±0.692^{a}	9.43±0.514^{b}	11.84±2.444^{a}	11.72±0.876^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ลักษณะทางกายภาพ	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน)	31.88±1.339^{a}	31.50±1.208^{a}	31.89±1.525^{a}	27.63±0.241^{b}	26.67±3.241^{b}
ค่าสี L*	82.53±0.448^{d}	81.76±0.399^{e}	83.56±0.232^{c}	85.07±0.369^{a}	84.37±0.128^{b}
ค่าสี a*	-1.57±0.078^{b}	-1.43±0.195^{a}	-1.33±0.047^{a}	-1.83±0.302^{d}	-1.60±0.105^{c}
ค่าสี b*	11.60±0.397^{c}	12.96±0.378^{a}	8.84±0.393^{d}	12.65±1.492^{a}	12.01±0.588^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

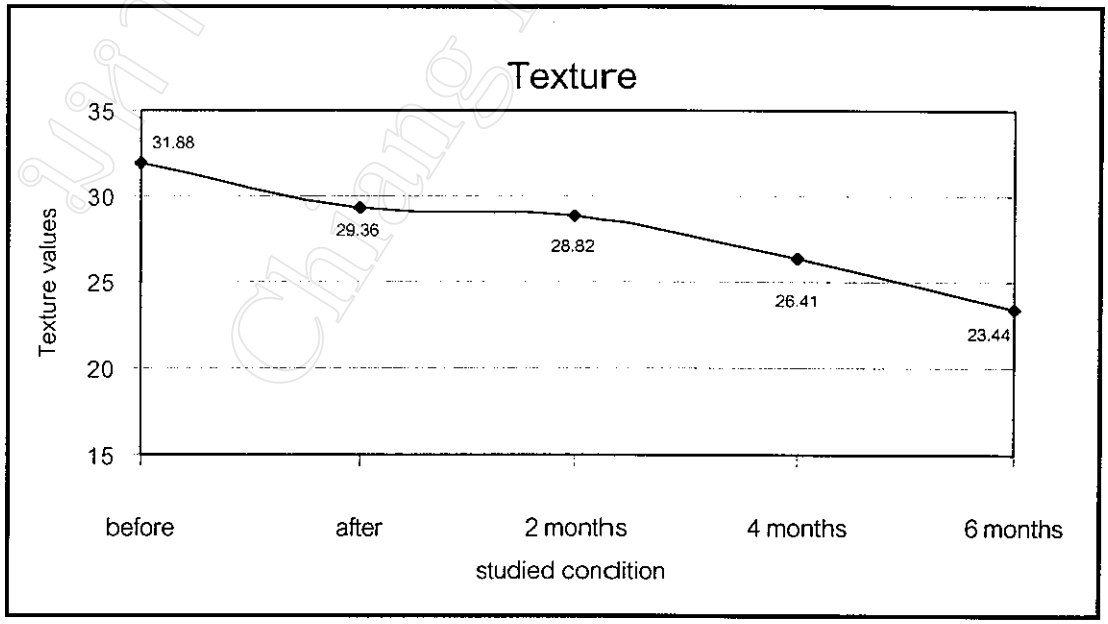
ค่าเนื้อสัมผัส (Texture)

ตารางที่ 4.19 และ 4.20 ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 31.88±1.339 นิวตัน ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีค่าเนื้อสัมผัสเท่ากับ 29.36±2.830 และ 31.50±1.208 นิวตัน ตามลำดับ

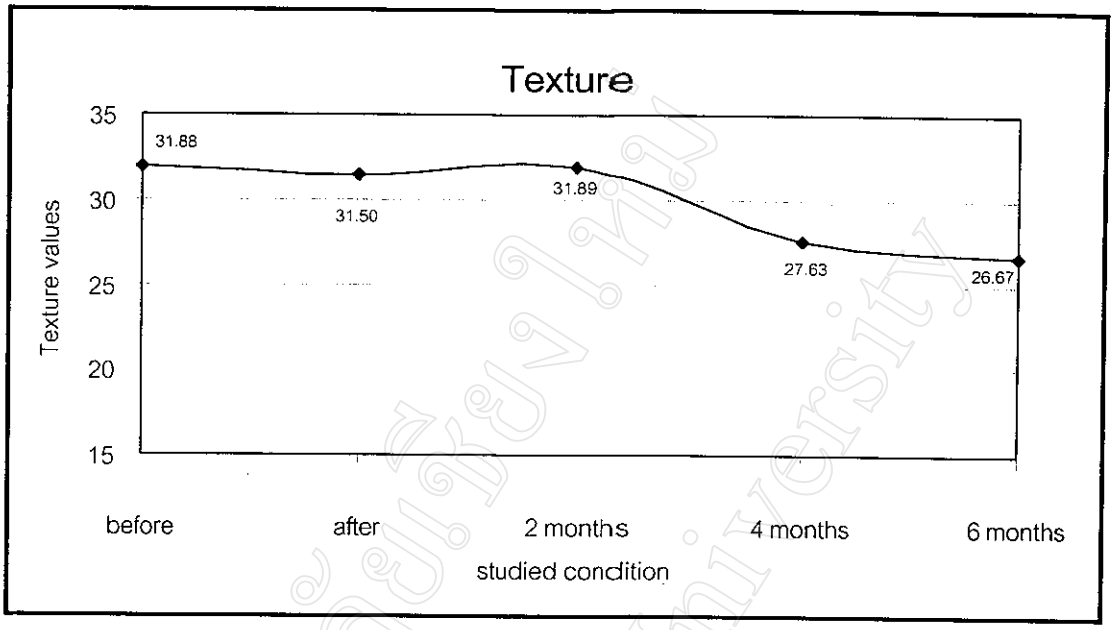
เมื่อวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าเท่ากับ 28.82±1.729, 26.41±1.969 และ 23.44±3.012 นิวตัน หลังเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2, 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ ในขณะที่ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 2 เท่ากับ 31.89±1.525 และมีค่าลดลงจาก 27.63±0.241 นิวตัน ในเดือนที่ 4 เป็น 26.67±3.241 นิวตัน ในเดือนที่ 6 โดยค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีค่าลดลงในทุกระยะการวิเคราะห์ตลอดช่วงเวลาของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า กระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บในสภาวะแช่แข็ง มีส่วนเกี่ยวข้องที่ทำให้ค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะมีค่าลดลง โดยภายหลังจากการผ่าน

กระบวนการแช่เยือกแข็ง ลิ้นจี่มีค่าเนื้อสัมผัสลดลงร้อยละ 7.8 และ 1.2 หลังจากที่ผ่านการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของค่าเนื้อสัมผัส เป็นผลมาจากเนื้อเยื่อของลิ้นจี่ถูกทำลาย หรือเกิดการฉีกขาดในระหว่างการเกิดผลึกน้ำแข็ง ทำให้เซลล์มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไป เพราะเนื้อเยื่อของลิ้นจี่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีเยื้อหุ้มเซลล์ และผนังเซลล์ที่มีความแข็งแรง แต่ไม่ยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังมีแวคคิวโอซึ่งมีของเหลวอยู่ภายในเป็นปริมาณมาก ดังนั้นในระหว่างการแช่เยือกแข็ง จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณมาก พร้อมกับที่ผนังเซลล์ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ ทำให้เกิดการฉีกขาดของเนื้อเยื่อ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของลิ้นจี่ โดยเฉพาะทางด้านเนื้อสัมผัส แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าค่าเนื้อสัมผัสของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์จะได้รับผลกระทบจากกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง แต่ถ้าพิจารณาจากค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 6 ซึ่งยังคงมีค่าสูงกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์อื่น ๆ ทั้งนี้เป็นเพราะกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เป็นแบบ IQF ซึ่งการเกิดผลึกน้ำแข็งภายในเซลล์จะกระจายทั่วไป และมีขนาดเล็ก นอกจากนี้น้ำภายในเซลล์มีการเคลื่อนที่ออกมาภายนอกเซลล์น้อย ทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก (บุญส่ง, 2543) ลิ้นจี่จึงยังคงรักษารูปทรง และมีสภาพใกล้เคียงกับผลสดหลังการละลายน้ำแข็ง



รูปที่ 4.44 การเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.45 การเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัส (นิวตัน) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ค่าสีในระบบฮันเตอร์ (Color)

ค่าสี L* ของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 82.53±0.448 แต่หลังจากผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ลิ้นจี่แช่แข็งมีค่าสี L* เท่ากับ 83.11±0.395 และ 81.76±0.399 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าความสว่าง หรือมีค่าสีขาวมากกว่าลิ้นจี่ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง และลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที

เมื่อวิเคราะห์ค่าสี L* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าสี L* ของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสี L* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าเท่ากับ 82.68±0.213, 84.80±0.367 และ 83.73±0.302 ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2, 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ ในขณะที่ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าสี L* เท่ากับ 83.56±0.232

ในเดือนที่ 2 และเพิ่มขึ้นเป็น 85.07±0.369 ในเดือนที่ 4 จากนั้นในเดือนที่ 6 ค่าสี L* มีค่าลดลงเท่ากับ 84.37±0.128

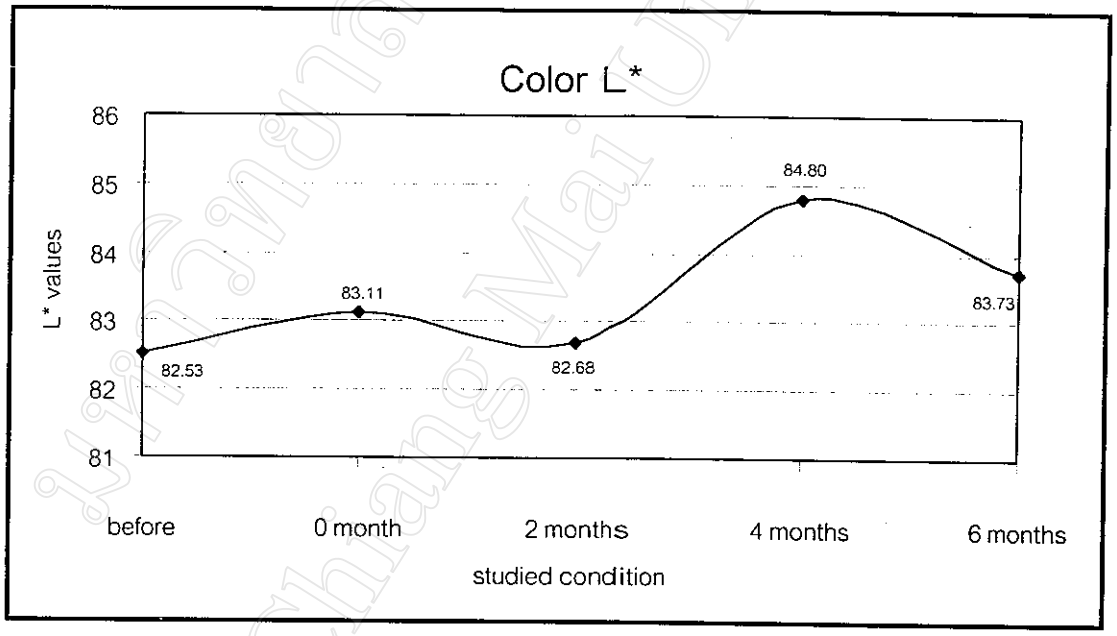
ตารางที่ 4.19 และ 4.20 ค่าสี a* ของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งมีค่าเท่ากับ -1.57±0.078 แต่หลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ลิ้นจี่แช่แข็งมีค่าสี a* เท่ากับ -2.02±0.097 และ -1.43±0.195 ตามลำดับ โดยค่าสี a* ของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในทุกระยะการวิเคราะห์

ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าสี a* เท่ากับ -0.81±0.088, -1.82±0.182 และ -2.04±0.058 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 2, 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าสี a* เท่ากับ -1.33±0.047 หลังเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน และมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -1.83±0.302 ในเดือนที่ 4 เป็น -1.60±0.105 ในเดือนที่ 6

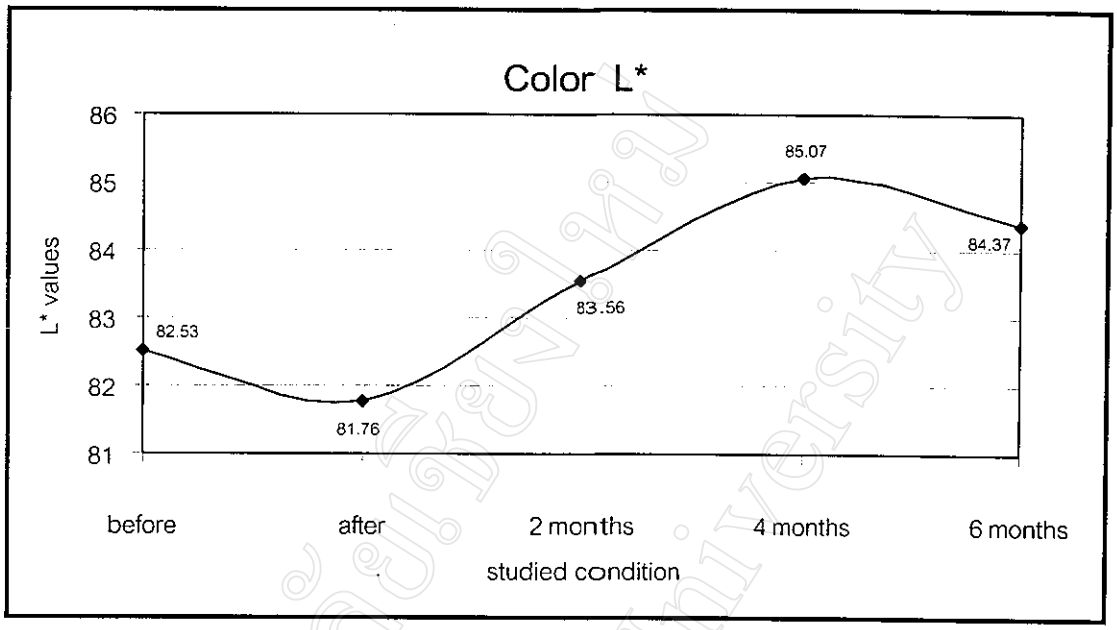
สำหรับค่าสี b* ของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 11.60±0.397 และมีค่าเท่ากับ 11.75±0.692 ภายหลังการผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าสี b* เท่ากับ 12.96±0.378 ซึ่งค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่ามากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที และลิ้นจี่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ค่าสี b* ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.43±0.514 ในเดือนที่ 2 เป็น 11.84±2.444 ในเดือนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) และในเดือนที่ 6 ค่าสี b* มีค่าลดลงเท่ากับ 11.72±0.876 ซึ่งการลดลงของค่าสี b* เดือนที่ 6 นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 เดือน ส่วนค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าเท่ากับ 8.84±0.393, 12.65±1.492 และ 12.01±0.588 หลังจากเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2, 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ โดยค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ในทุกระยะการวิเคราะห์

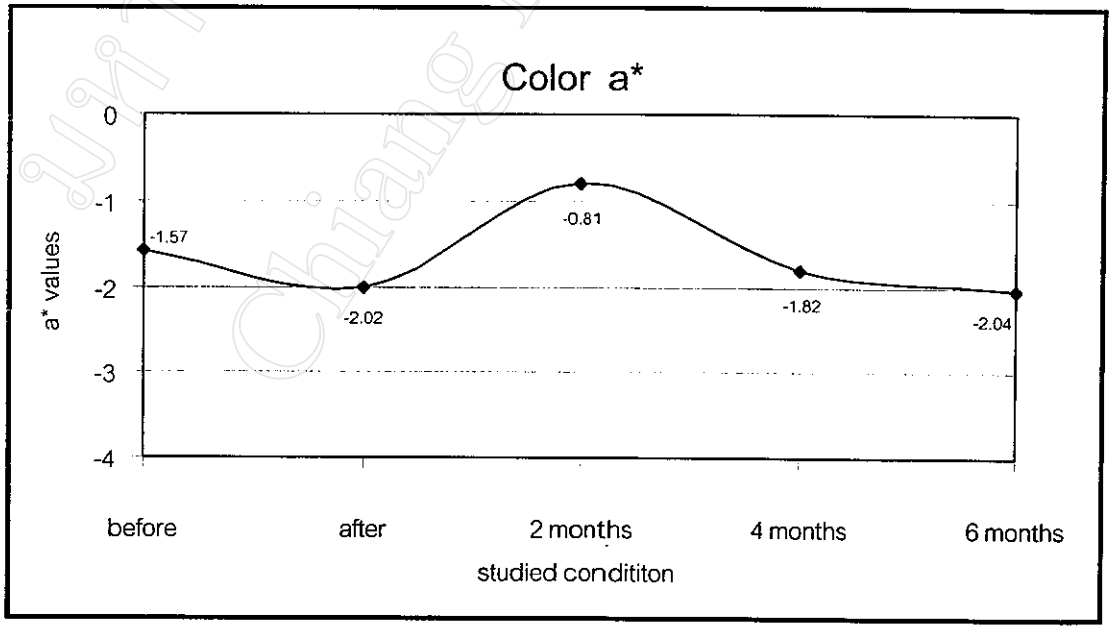
ผลการวิเคราะห์ค่าสี L*, a* และ b* ของลิ้นจี่แช่แข็ง ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่า กระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ไม่ทำให้ค่าสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยยังคงรักษาสีของผลิตภัณฑ์ได้ใกล้เคียงกับค่าสีของลิ้นจี่สด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Venning *et al.*, (1989) ที่ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความคงตัวของเนื้อกีวีฟรุตแช่แข็ง ซึ่งพบว่า ภายหลังการเก็บรักษากีวีฟรุตแช่แข็ง ที่อุณหภูมิ - 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 54 สัปดาห์ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าสีในกีวีฟรุต



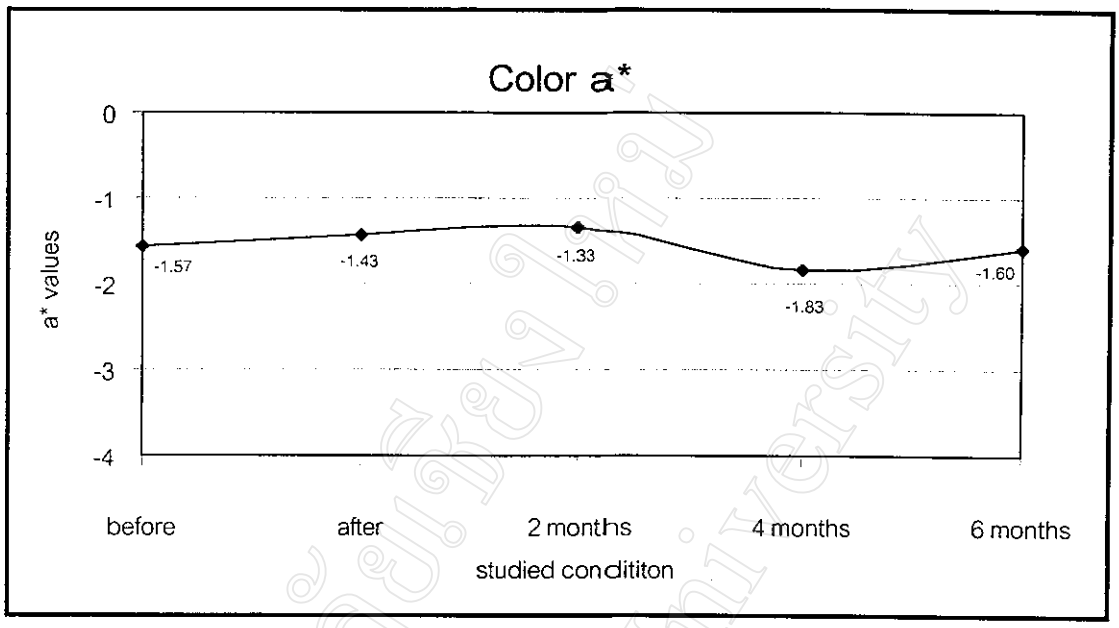
รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



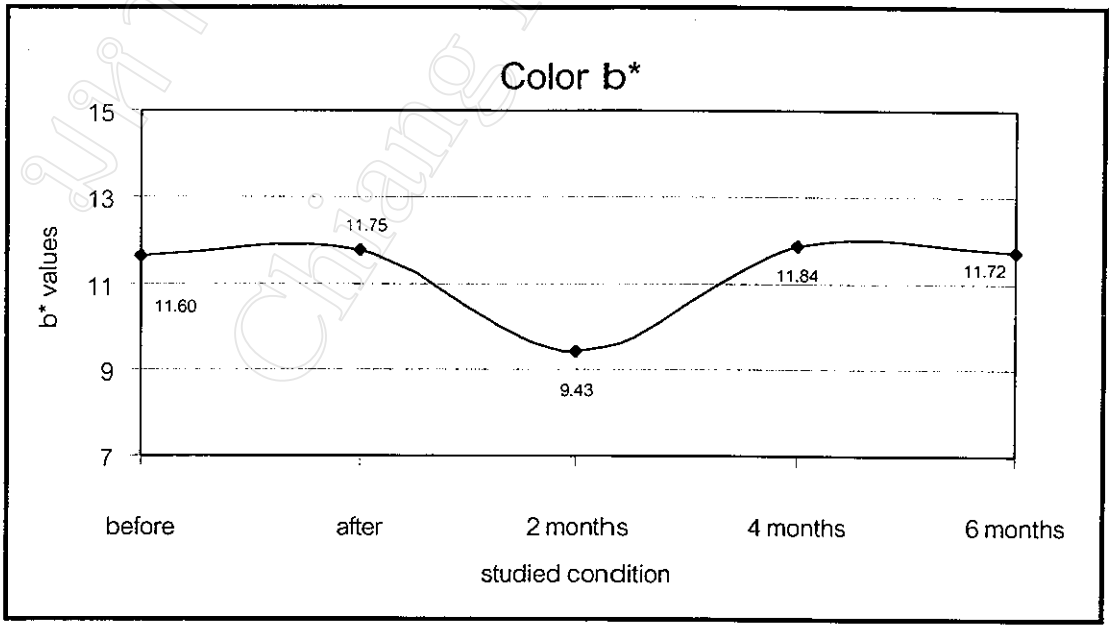
รูปที่ 4.47 **การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน**



รูปที่ 4.48 **การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน**

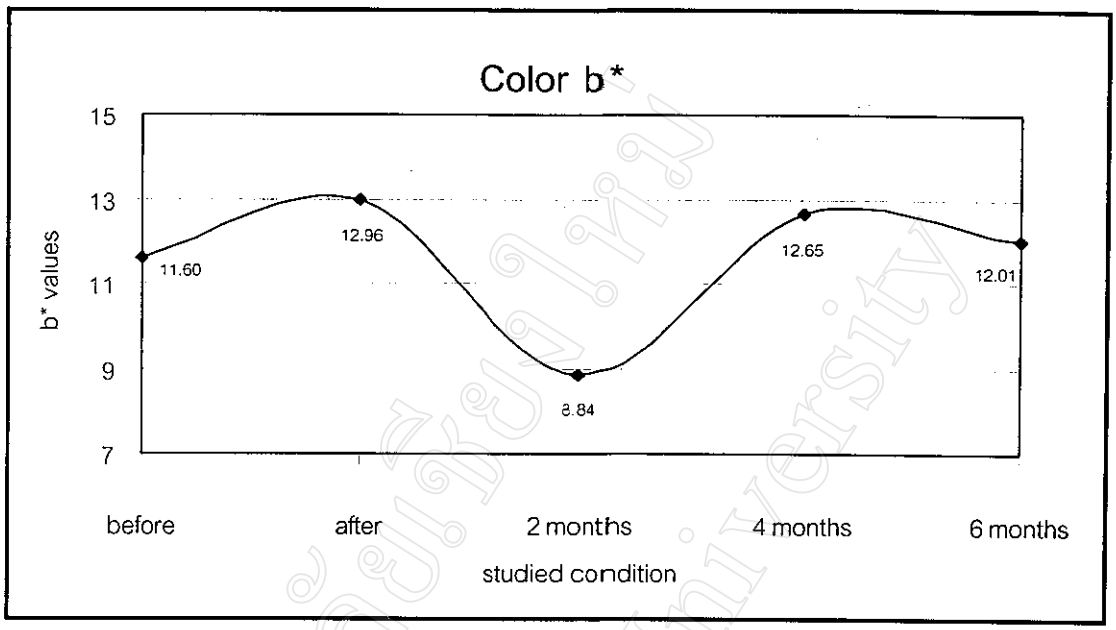


รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.50 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



รูปที่ 4.51 การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) โดยคิดเทียบเป็นกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
กรดซิตริก	0.81 ± 0.006^{d}	0.84 ± 0.001^{c}	0.90 ± 0.010^{b}	0.73 ± 0.005^{e}	0.94 ± 0.004^{a}
กรดทาร์ทาริก	0.90 ± 0.009^{d}	0.93 ± 0.002^{c}	1.00 ± 0.009^{b}	0.81 ± 0.003^{e}	1.05 ± 0.007^{a}
กรดมาลิก	0.85 ± 0.006^{d}	0.88 ± 0.001^{c}	0.93 ± 0.010^{b}	0.77 ± 0.005^{e}	0.98 ± 0.004^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม) โดยคิดเทียบเป็นกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณกรดอินทรีย์ (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
กรดซิตริก	0.81±0.006^{e}	0.91±0.002^{a}	0.85±0.012^{c}	0.83±0.002^{d}	0.87±0.008^{b}
กรดทาร์ทาริก	0.90±0.009^{d}	1.02±0.002^{a}	0.92±0.020^{c}	0.91±0.001^{c}	0.98±0.005^{b}
กรดมาลิก	0.85±0.006^{e}	0.95±0.002^{a}	0.88±0.013^{c}	0.86±0.002^{d}	0.91±0.008^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณกรดอินทรีย์ ในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก

ผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22 พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 0.91±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที และลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ โดยปริมาณกรดซิตริกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าเท่ากับ 0.84±0.001 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งมีปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 0.81±0.006 กรัม ต่อ 100 กรัม

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกของลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณกรดซิตริกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณกรดซิตริกเท่ากับ 0.90±0.010 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 และมีค่าลดลงเท่ากับ 0.73±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 จากนั้นปริมาณกรดซิตริกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.94±0.004 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6 ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณ

กรดซิตริกเท่ากับ 0.85±0.012 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 จากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริกในเดือนที่ 4 จาก 0.83±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม เป็น 0.87±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6

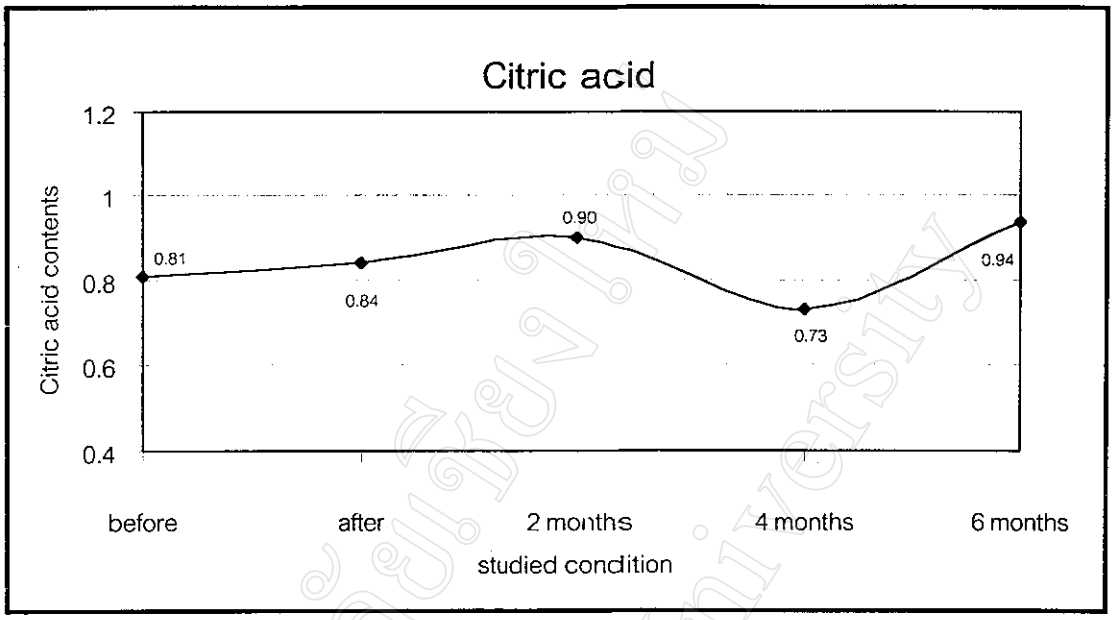
สำหรับปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าเท่ากับ 1.02±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมีมากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที (0.93±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม) และลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง (0.90±0.009 กรัม ต่อ 100 กรัม) ตามลำดับ รูปที่ 4.54 และ 4.55 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทาร์ทาริกของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา ซึ่งมีแนวโน้มในการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดซิตริก กล่าวคือ ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นหลังผ่านกระบวนแช่เยือกแข็งแล้ว และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.00±0.009 กรัม ต่อ 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน จากนั้นในเดือนที่ 4 ปริมาณกรดทาร์ทาริกมีค่าลดลงเท่ากับ 0.81±0.003 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในเดือนที่ 6 คือ มีปริมาณกรดทาร์ทาริกเท่ากับ 1.05±0.007 กรัม ต่อ 100 กรัม การเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณกรดทาร์ทาริกในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สำหรับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณกรดทาร์ทาริกเพิ่มขึ้น หลังผ่านกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที แต่ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 และ 4 เดือน พบว่า ปริมาณกรดทาร์ทาริกของลิ้นจี่แช่แข็งที่สภาวะดังกล่าวมีค่าลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) คือ มีปริมาณกรดทาร์ทาริกลดลงจาก 0.92±0.020 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 0.91±0.001 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริกของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที หลังเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณกรดทาร์ทาริกที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 2 และเดือนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีค่าเท่ากับ 0.98±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม

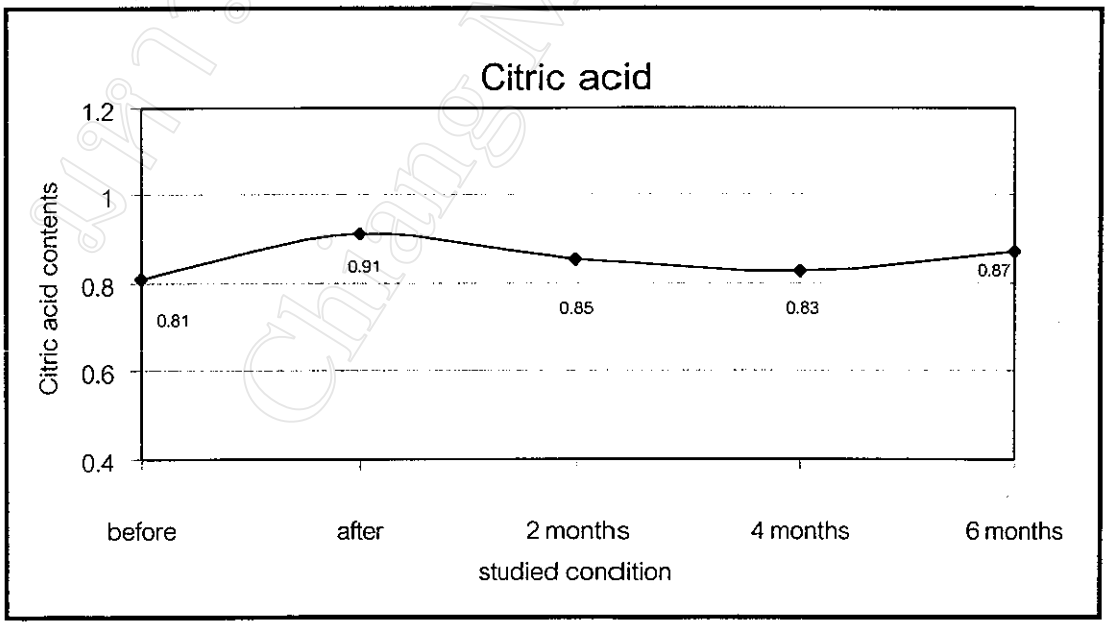
เมื่อพิจารณาปริมาณกรดมาลิกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 0.85±0.006 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ลิ้นจี่แช่แข็งมีปริมาณกรดมาลิกเท่ากับ 0.88±0.001 และ 0.95±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณกรดมาลิกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในระหว่างกระบวนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4.21 และ 4.22

ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณกรดมาลิกที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าลดลงจาก 0.93±0.010 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 0.77±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($P \leq 0.05$) และในเดือนที่ 6 ปริมาณกรดมาลิกที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.98±0.004 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณกรดมาลิกเท่ากับ 0.88±0.013 กรัม ต่อ 100 กรัม หลังเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน และมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.86±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 เป็น 0.91±0.008 ในเดือนที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เช่นเดียวกับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที

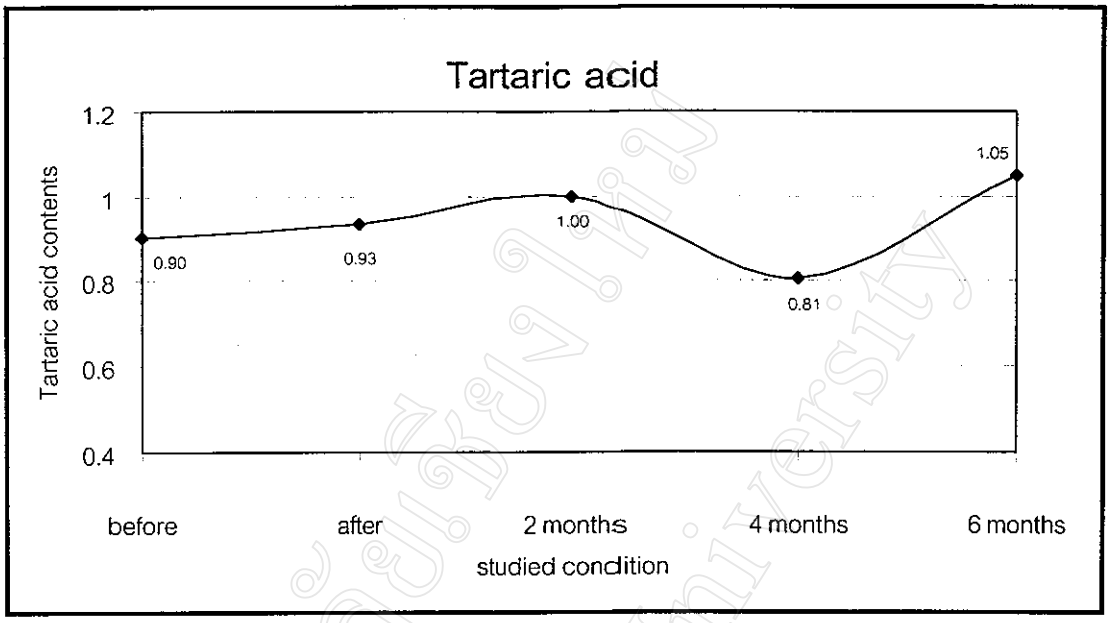
การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของปริมาณกรดอินทรีย์ ทั้งในรูปของกรดซิตริก กรดทาร์ทาริก และกรดมาลิก ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษานั้นเป็นผลมาจากการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกรดอินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดภายหลังกระบวนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งให้ผลการทดลองที่คล้ายกับงานวิจัยของ บุญส่ง (2543) ที่พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์กวางเจา จักรพรรดิ์ และฮงฮวย มีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้เพิ่มขึ้นหลังจากที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบ Cryogenic Freezing โดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารทำความเย็น และให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของผลราส-เบอร์รี่ 5 สายพันธุ์ ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 1, 6 และ 9 เดือน ของ Bushway *et al.*, (1992) ซึ่งพบว่า ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ในผลราสเบอร์รี่ทั้ง 5 สายพันธุ์ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษา



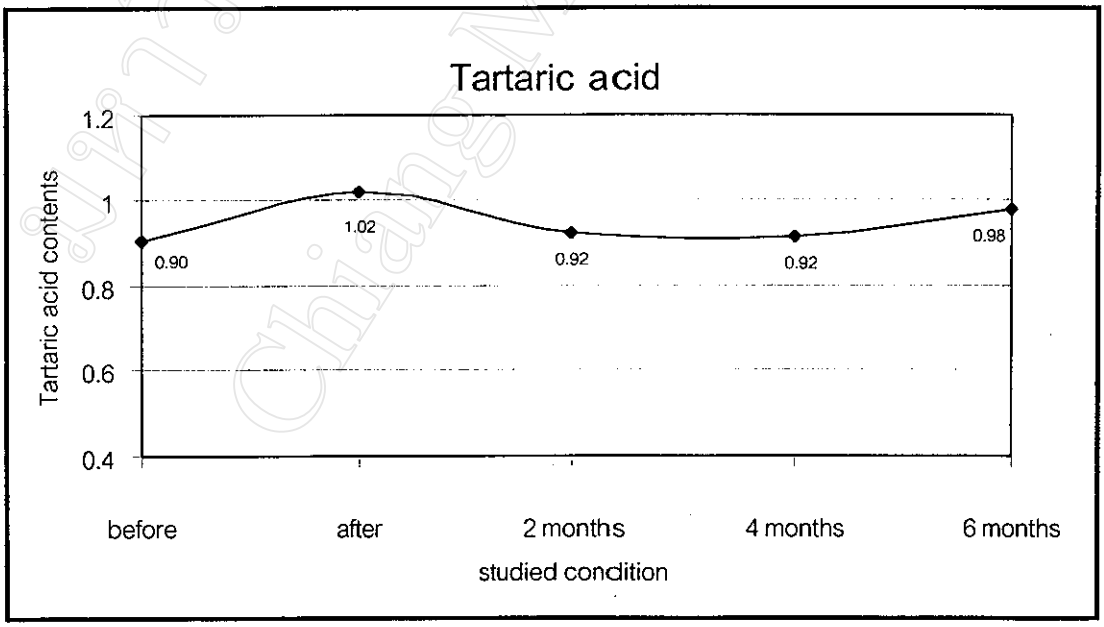
รูปที่ 4.52 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



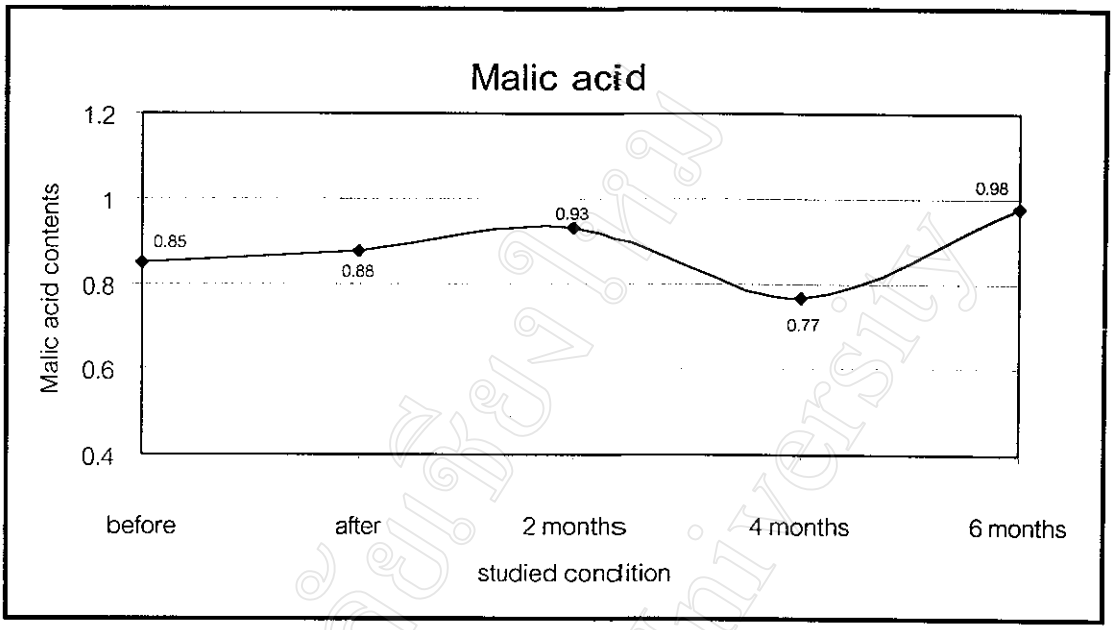
รูปที่ 4.53 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดซิตริก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



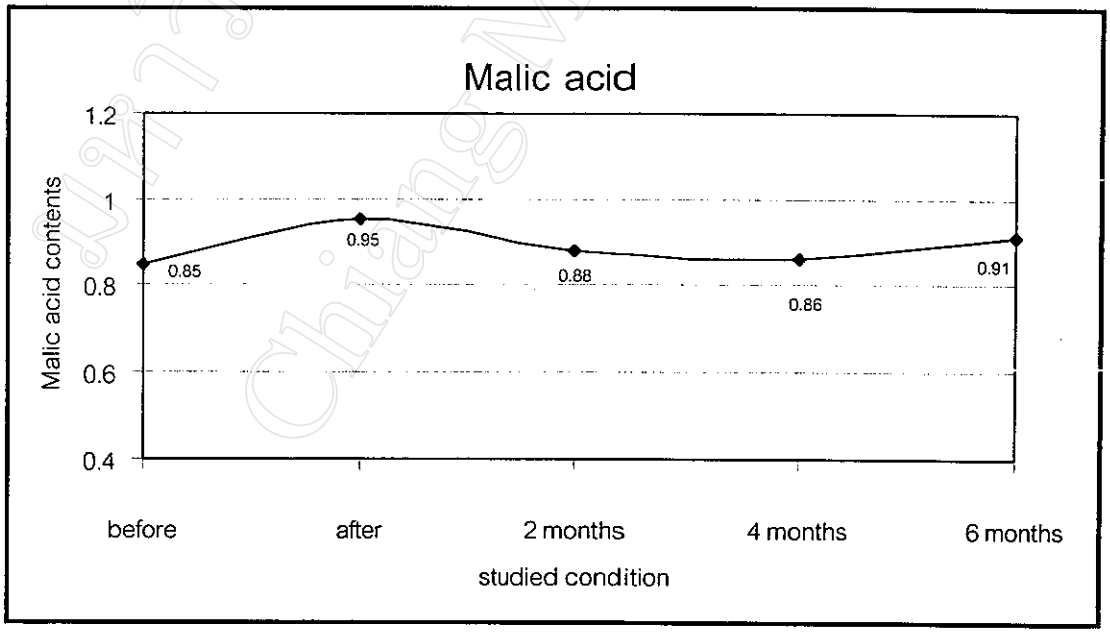
รูปที่ 4.54 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทาร์ทาริก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.55 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทาร์ทาริก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดมาลิก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.57 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดมาลิก (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
กลูโคส	2.243±0.008^{e}	2.745±0.175^{d}	3.624±0.013^{c}	4.460±0.014^{b}	4.812±0.013^{a}
ฟรุกโตส	6.102±0.046^{d}	7.069±0.339^{c}	7.244±0.009^{c}	9.000±0.028^{b}	9.715±0.023^{a}
ซูโครส	12.277±2.518^{a}	9.449±0.537^{a}	4.154±0.153^{b}	4.223±0.036^{b}	4.810±0.392^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณน้ำตาล (กรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
กลูโคส	2.243±0.008^{e}	2.680±0.019^{d}	3.782±0.028^{c}	3.963±0.004^{b}	4.406±0.005^{a}
ฟรุกโตส	6.102±0.046^{e}	7.021±0.047^{d}	7.600±0.103^{c}	7.999±0.009^{b}	8.884±0.019^{a}
ซูโครส	12.277±2.518^{a}	9.761±0.027^{a}	3.847±0.114^{b}	3.788±0.043^{b}	4.601±0.322^{b}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณน้ำตาล ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส และ ซูโครส

ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็ง 23 นาที มีค่าเท่ากับ 2.745±0.175 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมีปริมาณมากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที และลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ตามลำดับ โดยลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง 28 นาที มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 2.680±0.019 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการผลิต มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 2.243±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ในทุกระยะการวิเคราะห์ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคสในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 3.624±0.013 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 4.460±0.014 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 เป็น 4.812±0.013 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6 ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 3.782±0.028 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 3.963±0.004 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 เป็น 4.406±0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6

ปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 6.102±0.046 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งแล้ว ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีปริมาณเท่ากับ 7.069±0.339 และ 7.021±0.047 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเท่ากับ 7.244±0.009 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเดือนที่ 6 โดยในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 6 มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเท่ากับ 9.000±0.028 และ 9.715±0.023 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเพิ่มขึ้นในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที โดยในเดือนที่ 2 มีปริมาณน้ำตาลฟรุกโตสเท่ากับ 7.600±0.103 กรัม ต่อ 100 กรัม และมีค่า

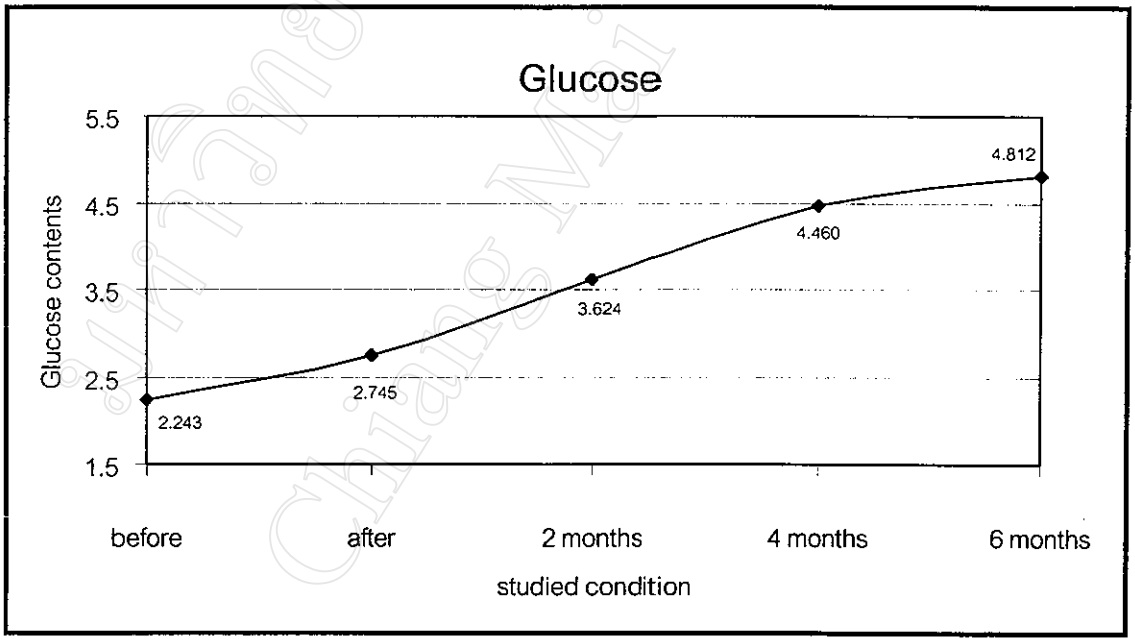
เพิ่มขึ้นจาก 7.999±0.009 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 เป็น 8.884±0.019 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6

สำหรับปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 12.277±2.518 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ มีปริมาณน้ำตาลซูโครสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีค่าเท่ากับ 9.449±0.537 กรัม ต่อ 100 กรัม และ 9.761±0.027 กรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

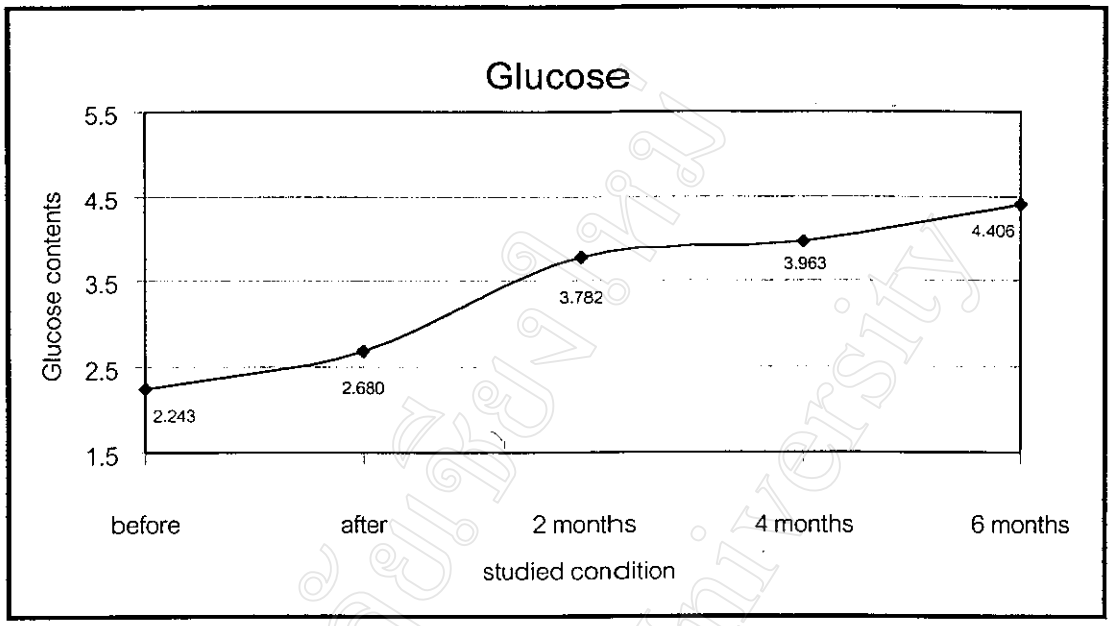
การเก็บรักษาลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่แข็งแล้วเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็งทั้ง 2 ระยะเวลา มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยในเดือนที่ 2 ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 4.154±0.153 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 3.847±0.114 กรัม ต่อ 100 กรัม และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลซูโครสในเดือนที่ 4 พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.223±0.036 กรัม ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลซูโครสของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณลดลงเท่ากับ 3.788±0.043 กรัม ต่อ 100 กรัม และภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.810±0.392 กรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นเท่ากับ 4.601±0.322 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลซูโครสในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ ตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษานั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

การเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาทั้ง 2 สภาวะการแช่แข็ง ดังแสดงในตารางที่ 4.23 และ 4.24 เป็นผลมาจากการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป โดยปริมาณกรดอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นพร้อมกับค่าความ

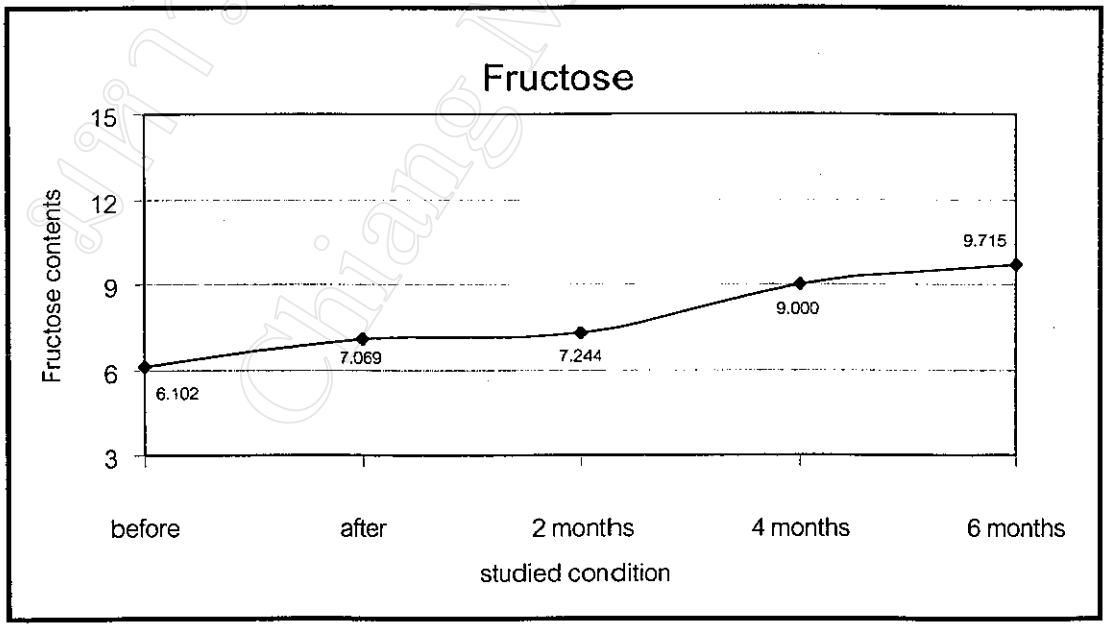
เป็นกรด-ด่างที่ต่ำลง ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์อินเวอร์ชั่นของน้ำตาลซูโครสในสภาวะที่เป็นกรด กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว คือ น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาด้วย ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณน้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Bushway *et al.*, (1992) ที่ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส ของผลราสเบอรี่ 5 สายพันธุ์ ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งเป็นเวลา 1 , 6 และ 9 เดือน ซึ่งพบว่า น้ำตาลซูโครสที่วิเคราะห์ได้ในผลราสเบอรี่ทั้ง 5 สายพันธุ์ มีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา



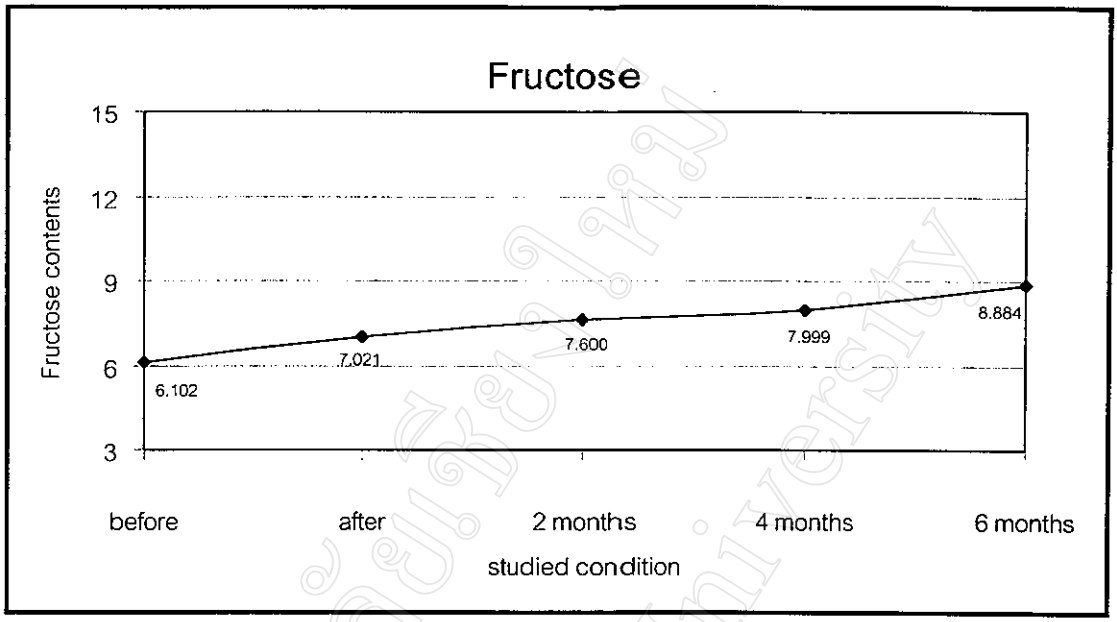
รูปที่ 4.58 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



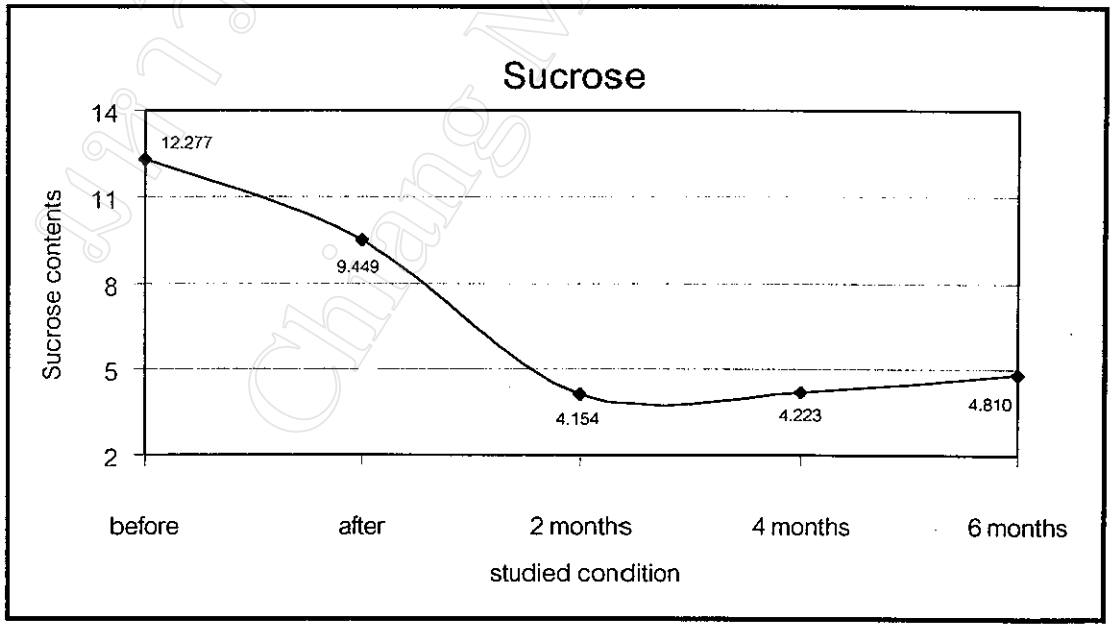
รูปที่ 4.59 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



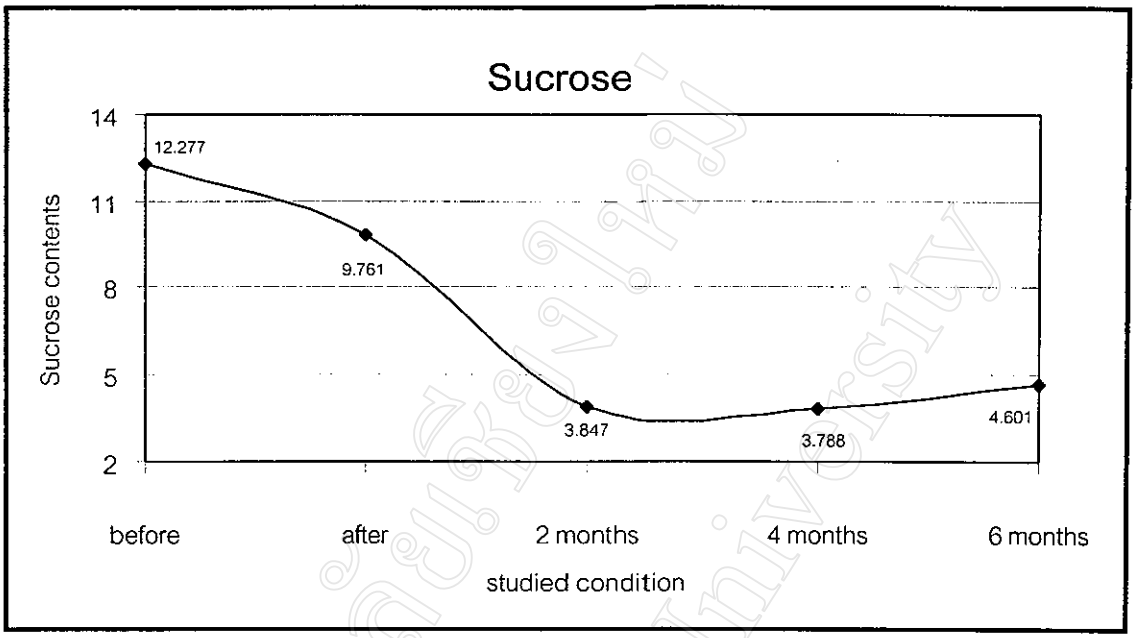
รูปที่ 4.60 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.61 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.62 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.63 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) และปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.58±0.015^{c}	3.59±0.010^{c}	3.59±0.010^{c}	3.71±0.006^{a}	3.62±0.012^{b}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	17.70±0.115^{b}	17.77±0.001^{b}	17.85±0.115^{b}	18.15±0.001^{a}	17.72±0.115^{b}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100กรัม)	65.373±3.734^{a}	57.377±0.146^{b}	56.606±0.873^{b}	52.622±0.153^{c}	47.657±0.156^{d}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) และปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.58±0.015^{c}	3.54±0.010^{d}	3.76±0.032^{a}	3.79±0.006^{a}	3.72±0.012^{b}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix)	17.70±0.115^{c}	17.78±0.001^{c}	18.10±0.115^{b}	18.63±0.115^{a}	18.11±0.115^{b}
ปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100กรัม)	65.373±3.734^{a}	56.216±0.460^{b}	55.971±0.751^{b}	51.084±2.225^{c}	50.639±0.156^{d}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

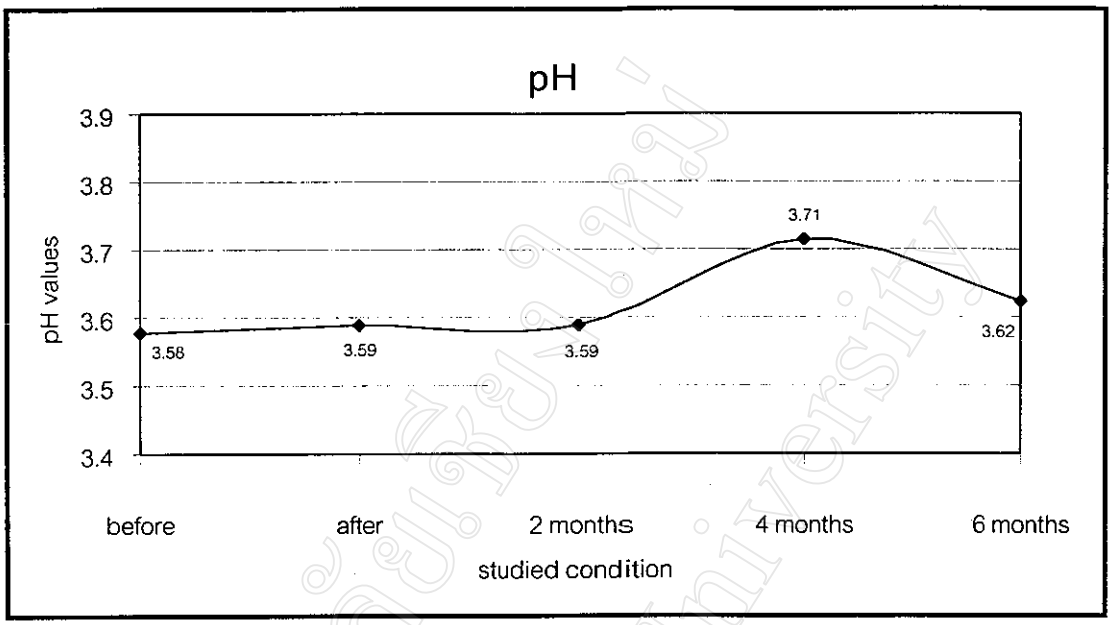
- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

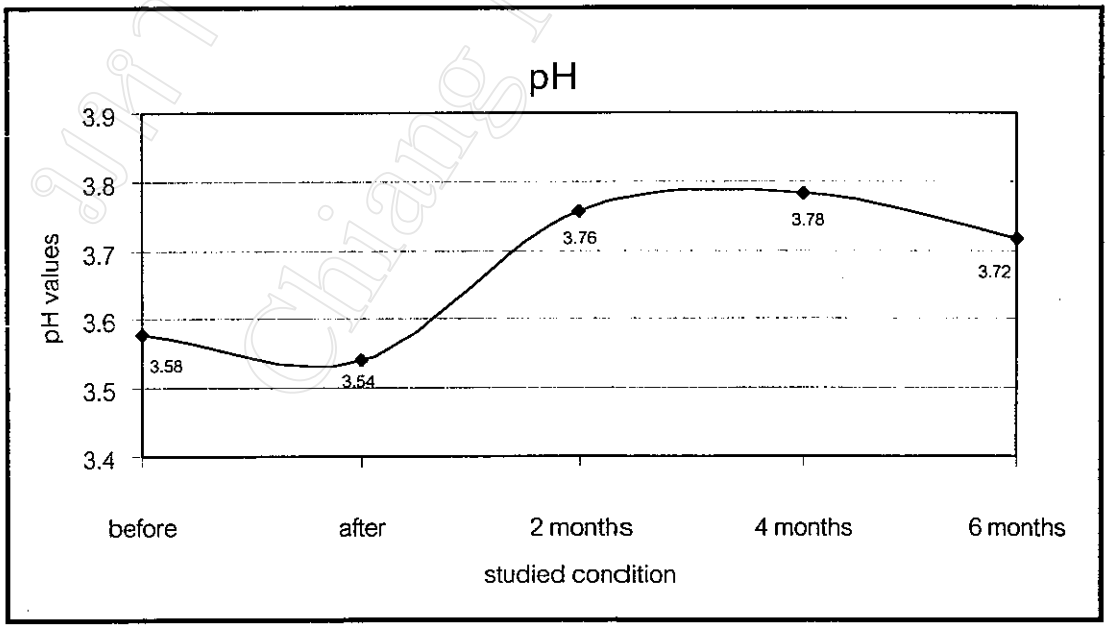
ค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนและหลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งทั้ง 2 สภาวะ แสดงในตารางที่ 4.25 และ 4.26 จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ลิ้นจี่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.58±0.015, 3.59±0.010 สำหรับการใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที และเท่ากับ 3.54±0.010 สำหรับการใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที ตามลำดับ

ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่แช่แข็งเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเดิมที่วิเคราะห์ได้หลังจากที่เพิ่งผ่านกระบวนการผลิต คือ มีค่าเท่ากับ 3.59±0.010 แต่หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จาก 3.71±0.006 ในเดือนที่ 4 เป็น 3.62±0.012 ในเดือนที่ 6 ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Van der Berg (1961) ที่ทำศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของมะเขือเทศ ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษา พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างในมะเขือเทศไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการแช่เยือกแข็ง หรือในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน

สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงเดือนที่ 4 โดยที่ในเดือนที่ 2 ลิ้นจี่แช่แข็งดังกล่าว มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3.76±0.032 และเพิ่มขึ้นเป็น 3.78±0.006 ในเดือนที่ 4 แต่การเพิ่มขึ้นหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 และ 4 เดือนนั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากเดือนที่ 2 และเดือนที่ 4 เป็น 3.72±0.012 การเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ให้ผลที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็ง เพราะน้ำที่เป็นองค์ประกอบของสารละลายจะตกผลึกเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงกว่าจุดเยือกแข็ง ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มสูงขึ้น และเป็นเหตุให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดอินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป (ไพบูลย์, 2532)



รูปที่ 4.64 **การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน**



รูปที่ 4.65 **การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน**

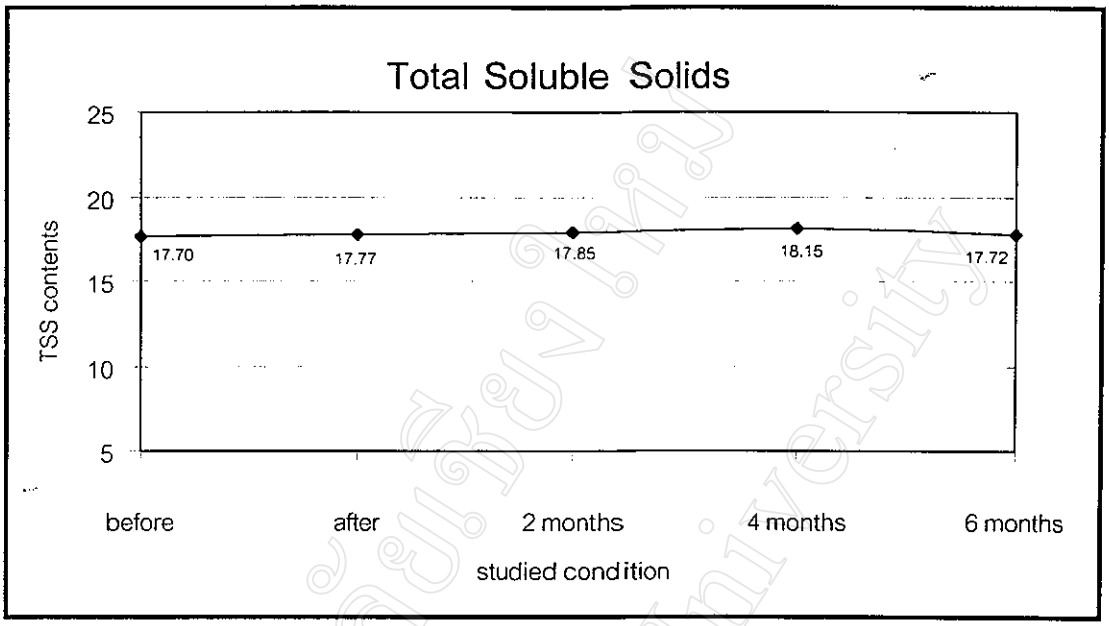
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solids)

ตารางที่ 4.25 และ 4.26 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 17.70±0.115 องศาบริกซ์ เมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 17.77±0.001 และ 17.78±0.001 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่เพิ่มขึ้นนี้มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

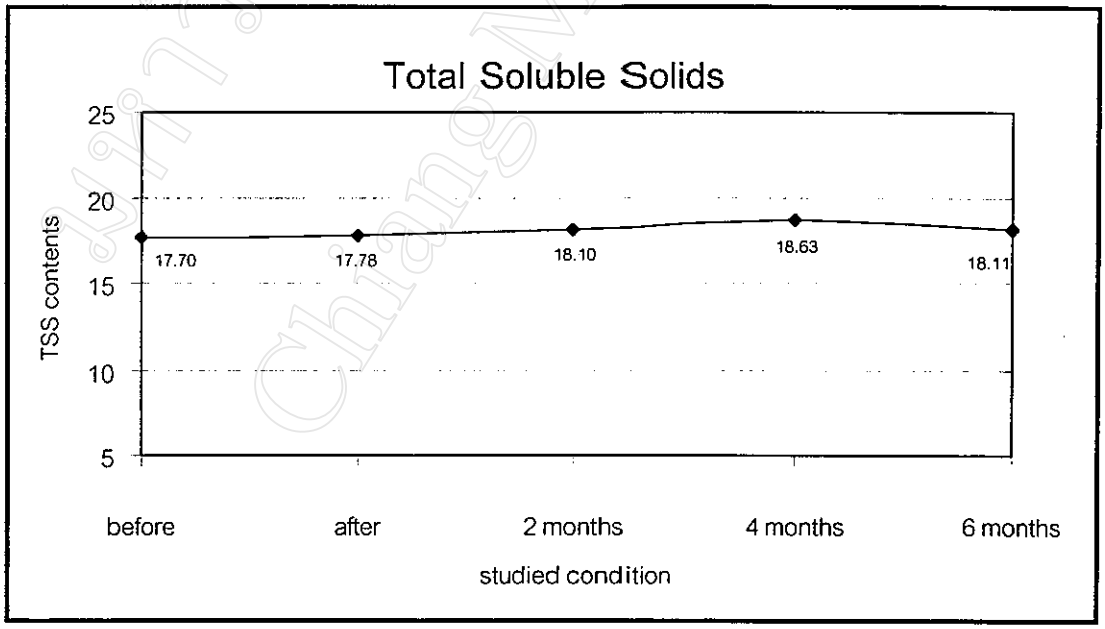
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็งเป็นเวลา 23 นาที ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ในเดือนที่ 2 และเดือนที่ 4 ลิ้นจี่แช่แข็งที่สภาวะดังกล่าว มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มขึ้นจาก 17.85±0.115 องศาบริกซ์ ในเดือนที่ 2 เป็น 18.15±0.001 องศาบริกซ์ ในเดือนที่ 4 แต่การเพิ่มขึ้นของค่าดังกล่าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และภายหลังจากการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่สภาวะดังกล่าว มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวในลิ้นจี่แช่แข็งหลังเก็บรักษาได้ 4 เดือน แต่เมื่อเทียบกับค่าดังกล่าวในลิ้นจี่ก่อนและหลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง และภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

สำหรับลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที และเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้หลังจากที่เก็บรักษาไว้ 2 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 18.10±0.115 องศาบริกซ์ เป็น 18.63±0.115 องศาบริกซ์ เมื่อครบ 4 เดือน แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ 6 เดือน ค่าดังกล่าวมีปริมาณลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 18.11±0.115 องศาบริกซ์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะการแช่แข็ง พบว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการเก็บรักษานั้น จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.66 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



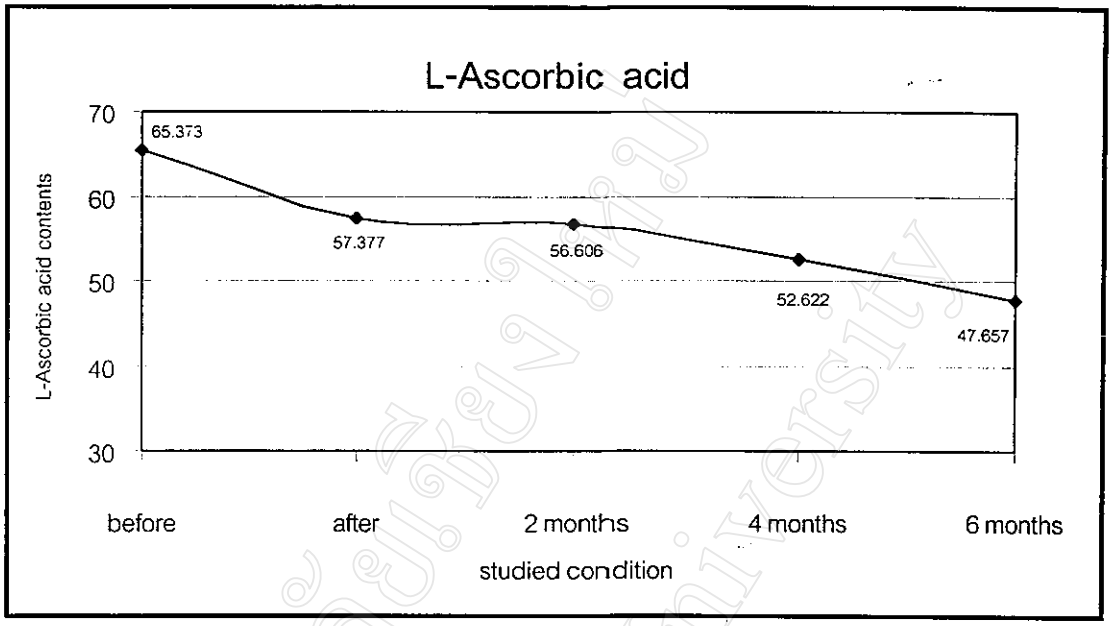
รูปที่ 4.67 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (^{o}Brix) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณวิตามินซี (Vitamin C)

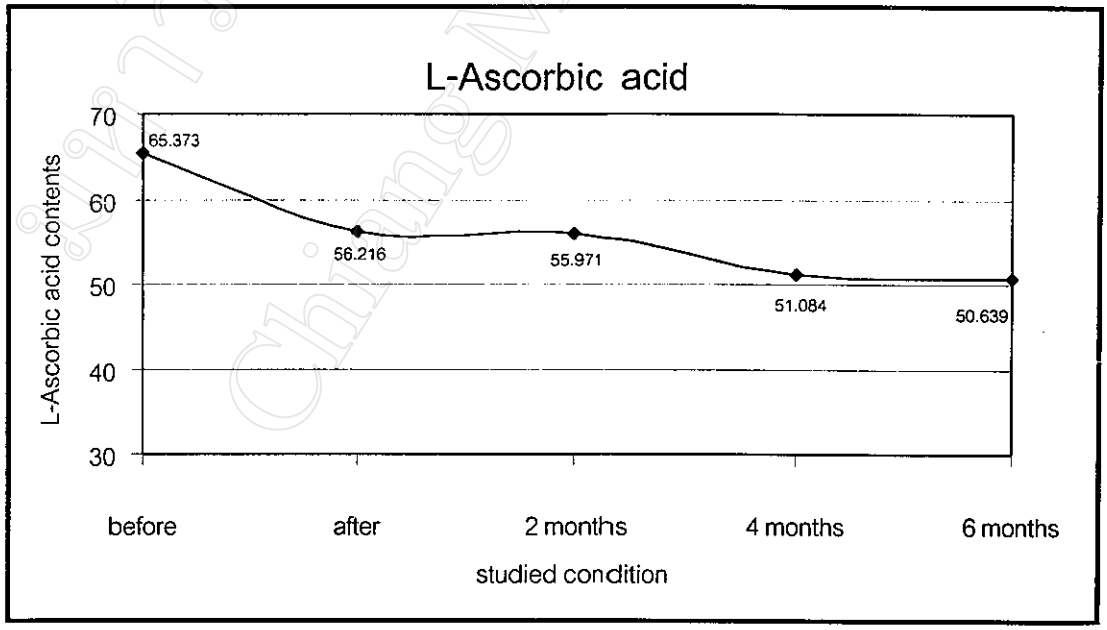
ผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินซีในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงในตารางที่ 4.25 และ 4.26 พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์ดังกล่าวมีปริมาณวิตามินซีเท่ากับ 65.373±3.734 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที ลิ้นจี่มีปริมาณวิตามินซีลดลงเท่ากับ 57.377±0.146 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และมีปริมาณลดลงเท่ากับ 56.216±0.460 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม เมื่อใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที

สำหรับปริมาณวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งมีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ โดยในเดือนที่ 2 มีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 56.606±0.873 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม เป็น 52.622±0.153 ในเดือนที่ 4 และเท่ากับ 47.657±0.156 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6 ตามลำดับ ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณวิตามินซีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ เช่นเดียวกับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที คือ มีปริมาณวิตามินซีลดลงจาก 55.971±0.751 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 51.084±2.225 ในเดือนที่ 4 และเท่ากับ 50.639±0.156 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 6 ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีการสูญเสียวิตามินซีน้อยกว่ากระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในกระบวนการผลิตด้วย กล่าวคือ เมื่อเปรียบเทียบสภาวะที่ทำการศึกษาทั้ง 2 สภาวะ พบว่า ลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีน้อยกว่าการใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที โดยปริมาณการสูญเสียคิดเป็นร้อยละ 12 และ 14 ตามลำดับ และในระหว่างการเก็บรักษา ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็งทั้ง 2 ระยะเวลาในการแช่แข็ง มีแนวโน้มในการสูญเสียอย่างต่อเนื่องภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน โดยคิดเป็นร้อยละ 27 และ 22.5 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปริมาณวิตามินซีของลิ้นจี่ที่ใช้เวลาในการแช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ยังคงมีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งกล่าวได้ว่าลิ้นจี่แช่แข็งสามารถคงคุณค่าทางโภชนาการ และเป็นแหล่งวิตามินซีที่ดีเช่นเดียวกันกับผลสด



รูปที่ 4.68 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.69 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม)	0.81±0.008^{a}	0.80±0.011^{a}	0.77±0.011^{b}	0.73±0.005^{c}	0.72±0.012^{c}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FC-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	79.412±0.573^{d}	119.50±0.412^{c}	252.45±4.429^{a}	252.65±4.714^{a}	228.30±4.328^{b}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FV-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	4.100±0.048^{c}	4.250±0.168^{c}	7.641±0.038^{b}	8.678±0.812^{a}	8.363±0.336^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) และปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ผลการวิเคราะห์	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม)	0.81±0.008^{a}	0.76±0.002^{b}	0.75±0.004^{b}	0.75±0.025^{b}	0.75±0.025^{b}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FC-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	79.412±0.573^{d}	130.56±1.793^{c}	276.24±7.302^{a}	267.53±9.183^{a}	250.90±2.722^{b}
ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี FV-method (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	4.100±0.048^{d}	5.705±0.626^{c}	8.957±0.236^{b}	8.677±0.080^{b}	10.980±0.195^{a}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณโปรตีน (Protein)

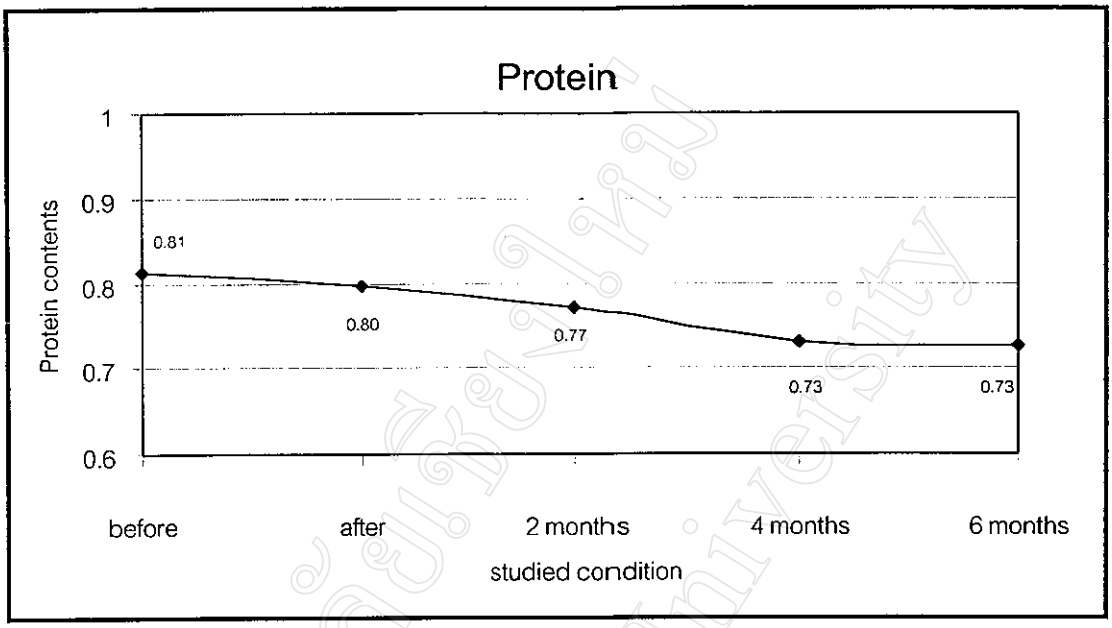
ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 0.81±0.008 กรัม ต่อ 100 กรัม แต่หลังจากที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที พบว่า มีปริมาณโปรตีนลดลงเท่ากับ 0.80±0.011 กรัม ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณโปรตีนลดลงเท่ากับ 0.76±0.002 กรัม ต่อ 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 ซึ่งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) แต่ลิ้นจี่

แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง

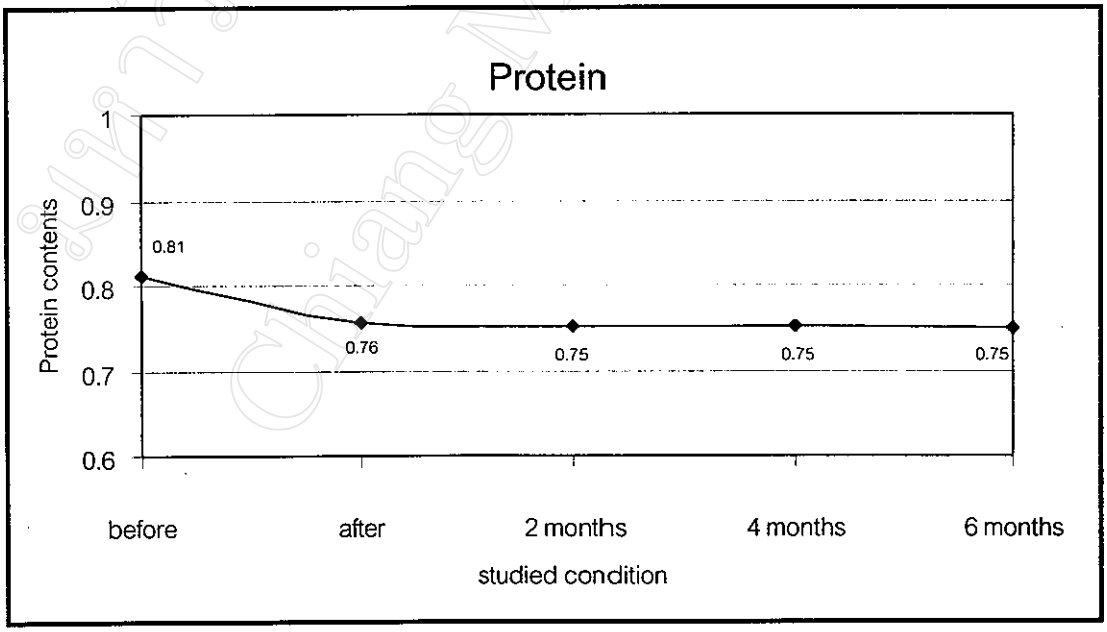
เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ ภายหลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณโปรตีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) ภายหลังเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 เดือน ปริมาณโปรตีนมีค่าลดลงจาก 0.77 ± 0.011 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 0.73 ± 0.005 กรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่สภาวะดังกล่าว มีปริมาณโปรตีนลดลงเพียงเล็กน้อย กล่าวคือ มีค่าเท่ากับ 0.72 ± 0.012 กรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งปริมาณโปรตีนที่ลดลงนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 4 ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณโปรตีนลดลงเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ตลอดช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษา

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ลิ้นจี่แช่แข็งมีการสูญเสียปริมาณโปรตีนเพียงเล็กน้อยภายหลังการผ่านกระบวนแช่เยือกแข็ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10.6 และ 7.8 สำหรับลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ตามลำดับ นอกจากนี้สามารถกล่าวได้ว่า การลดลงของปริมาณโปรตีนในลิ้นจี่แช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นไปอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lee *et. al.*, (1983) ที่ทำการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสาวรส (passion fruit juice) โดยใช้กระบวนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งพบว่า น้ำเสาวรสที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอะมิโนเพียงเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในระหว่างการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษา

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนดังกล่าวข้างต้น ยังให้ข้อมูลที่สนับสนุนกับการตรวจสอบปฏิกิริยาทางอิมมูนของสารก่อภูมิแพ้ ซึ่งอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้กระบวนการแช่เยือกแข็งไม่สามารถลดปริมาณหรือยับยั้งความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ลงได้ เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 4.70 **การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน**



รูปที่ 4.71 **การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีน (กรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน**

ปริมาณสารประกอบฟีนอล (Phenolic compounds)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) และวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน แสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 พบว่า หลังจากที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะการแช่แข็ง มีการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลที่ทำการวิเคราะห์ได้ โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีดังกล่าวเท่ากับ 130.561±1.793 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณเท่ากับ 119.502±0.412 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม โดยลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากกว่าลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 79.412±0.573 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลในลิ้นจี่แช่แข็งระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ในเดือนที่ 2 ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 252.45±4.429 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และเพิ่มขึ้นเป็น 252.65±4.714 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีค่าเท่ากับ 228.30±4.328 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที หลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลเท่ากับ 276.24±7.302 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และภายหลังจากการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 4 และ 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่สภาวะดังกล่าว มีปริมาณสารประกอบฟีนอลลดลงเท่ากับ 267.53±9.183 และ 250.90±2.722 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลที่ลดลงในเดือนที่ 4 นั้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้ในเดือนที่ 2

สำหรับสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์โดยวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.27 และ 4.28 พบว่า ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์

เท่ากับ 5.705±0.626 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งมากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที ที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 4.250±0.168 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง ที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เท่ากับ 4.100±0.048 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ โดยปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับสารประกอบฟลาโวนอยด์ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง

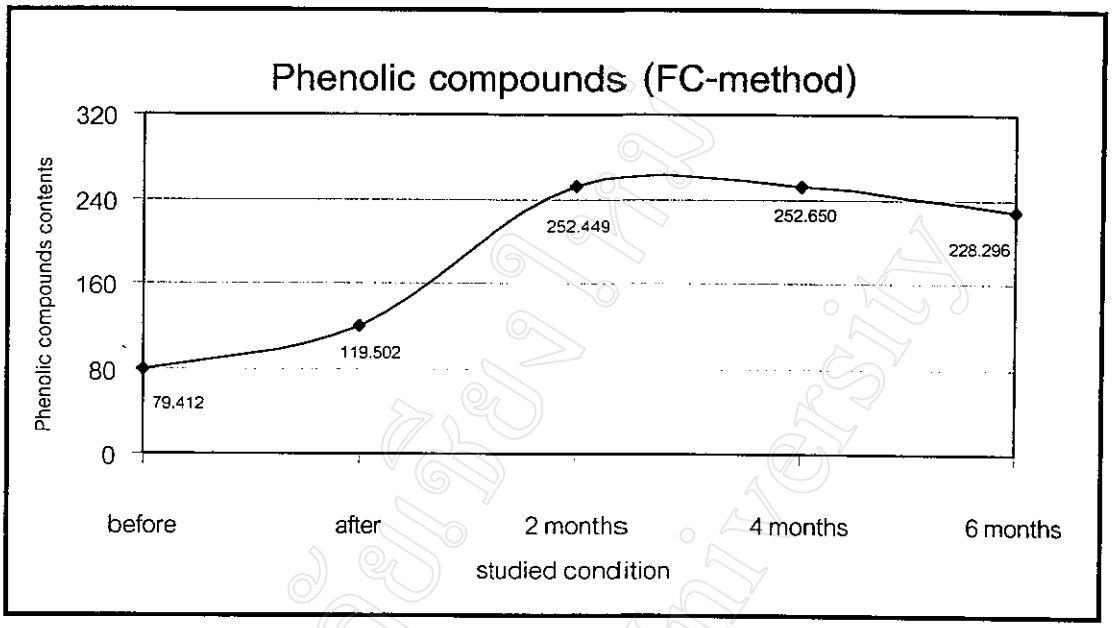
ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่ที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) โดยเพิ่มจาก 7.641±0.038 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 8.678±0.812 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และในเดือนที่ 6 พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ลดลงเท่ากับ 8.363±0.336 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งการลดลงของสารประกอบฟลาโวนอยด์ในเดือนที่ 6 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อเทียบกับปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็ง หลังจากที่เก็บรักษาไว้นาน 4 เดือน ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลในกลุ่มของสารประกอบฟลาโวนอยด์ลดลงจาก 8.957±0.236 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 8.677±0.080 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 แต่หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ มีค่าเท่ากับ 10.980±0.195 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

ปัญหาที่พบในลิ้นจี่แช่แข็งภายหลังจากการละลายน้ำแข็งคือ การเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความผิดปกติทางด้านสีเปลือก โดยเฉพาะการเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของลิ้นจี่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค (บุญส่ง, 2543)

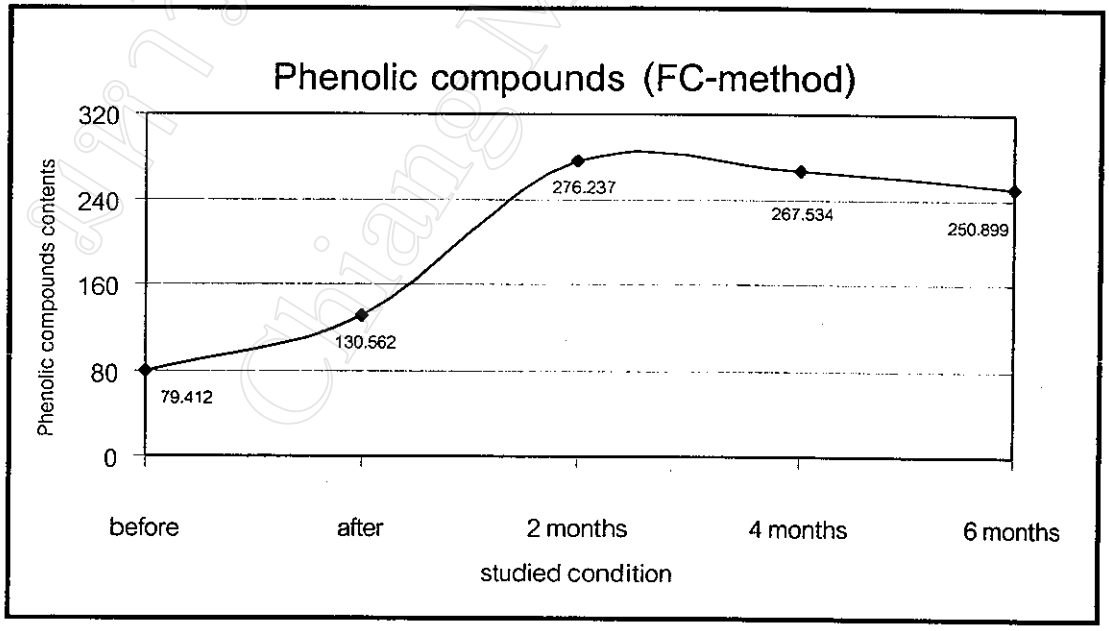
การเกิดสีน้ำตาลที่เปลือกของลิ้นจี่แช่แข็งภายหลังจากการละลายน้ำแข็ง เชื่อว่าเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ โดยที่ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะทำให้เอนไซม์กลุ่ม Hydrolytic หรือ Oxidative รั่วไหลออกจากเซลล์ แล้วทำปฏิกิริยากับสับสเตรท ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟีนอล เช่น แอนโธไซยานิน ซึ่ง

จะได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีน้ำตาล แต่เนื่องจากสารประกอบฟีนอลและเอนไซม์ในกลุ่ม Hydrolytic หรือ Oxidative ที่พบในลิ้นจี่มีหลายชนิด จึงอาจเป็นไปได้ว่า การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่ อาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของสารประกอบฟีนอลชนิดอื่นที่ไม่ใช่แอนโธไซยานิน โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาจากเอนไซม์ชนิดอื่นที่ไม่ใช่ POD และ PPO ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Underhill and Critchley (1993) ที่พบว่า แอคติวิตีของเอนไซม์ PPO ลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยวลิ้นจี่มาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องใน 24 ชั่วโมงแรก พร้อมกับการลดลงของแอนโธไซยานิน และมีการเพิ่มขึ้นของสีน้ำตาลที่เปลือกลิ้นจี่ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปลือกเกิดสีน้ำตาลทั่วทั้งผลขณะที่มีปริมาณแอนโธไซยานินเหลืออยู่มากกว่าร้อยละ 70 แสดงให้เห็นว่า เอนไซม์ PPO อาจไม่ใช่ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัวของแอนโธไซยานินและเกิดสีน้ำตาล นอกจากนี้ยังพบว่าการเกิดสีน้ำตาลจะพบในชั้น Epidermis และ Exocarp แต่ไม่พบในชั้น Mesocarp ซึ่งเป็นชั้นเนื้อเยื่อที่มีการสะสมของแอนโธไซยานิน ดังนั้นการเกิดสีน้ำตาลอาจเกิดจากการสลายตัวของสารอื่นที่มีเอนไซม์ PPO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรืออาจเกิดจากเอนไซม์ตัวอื่น เช่น POD และ Ascorbic acid oxidase เป็นต้น ในกระบวนการ Oxidation ของกรดแอสคอร์บิกสามารถชักนำให้เกิดการสลายตัวของแอนโธไซยานินได้ กลไกการชักนำดังกล่าวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกิดจากกระบวนการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก พร้อมกับการสลายตัวของแอนโธไซยานิน (Jurd, 1972) โดยโมเลกุลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถเร่งให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ POD

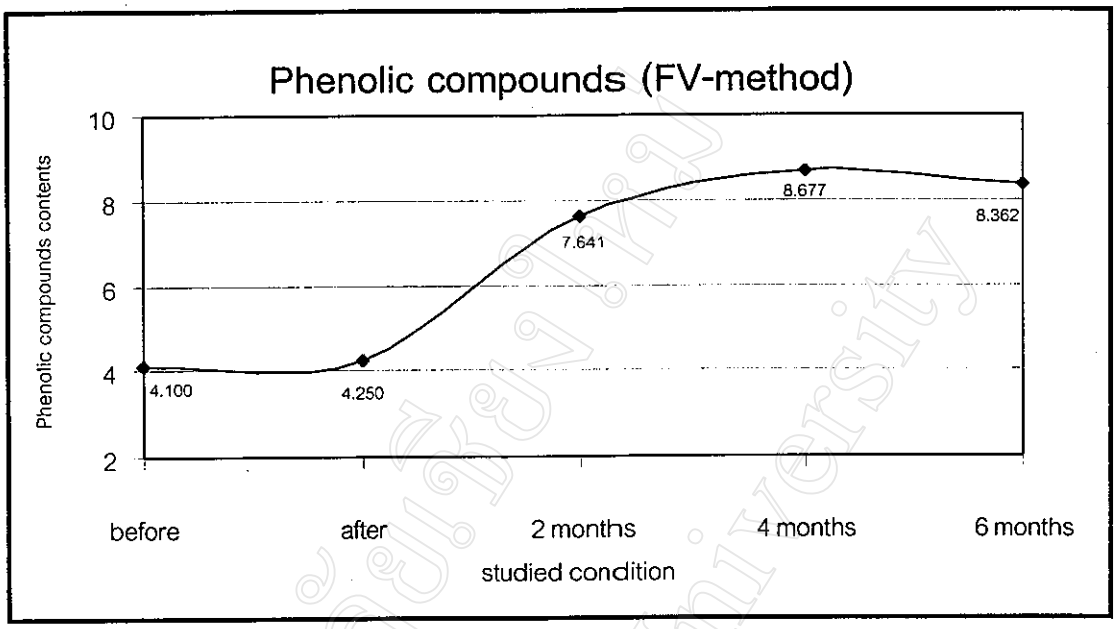
ผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษา ทั้ง ๆ ที่น่าจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากถูกใช้เป็นสับสเตรทในปฏิกิริยา Oxidation ของเอนไซม์ในกลุ่ม Phenolase ได้สารประกอบสุดท้ายที่มีสีน้ำตาล อย่างไรก็ตาม แม้ว่าสีเปลือกของลิ้นจี่จะเป็นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลทั่วทั้งผลภายหลังจากการละลายน้ำแข็ง แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลและสารประกอบฟลาโวนอยด์ที่วิเคราะห์ได้กลับมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าในการเกิดสีน้ำตาล ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่เข้าทำปฏิกิริยามีปริมาณเพียงพอระดับหนึ่ง โดยสารประกอบฟีนอลจะเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับ O-quinone ที่เกิดขึ้น ได้เป็นสารประกอบใหม่ที่มีค่า Molar extinction coefficients สูงกว่า O-quinone มาก หรือบางครั้งสูงกว่ากระบวนการสร้างสารประกอบเชิงซ้อนของ O-quinone มาก (บุญส่ง, 2543) จึงทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลที่วิเคราะห์ได้มีค่าเพิ่มขึ้น



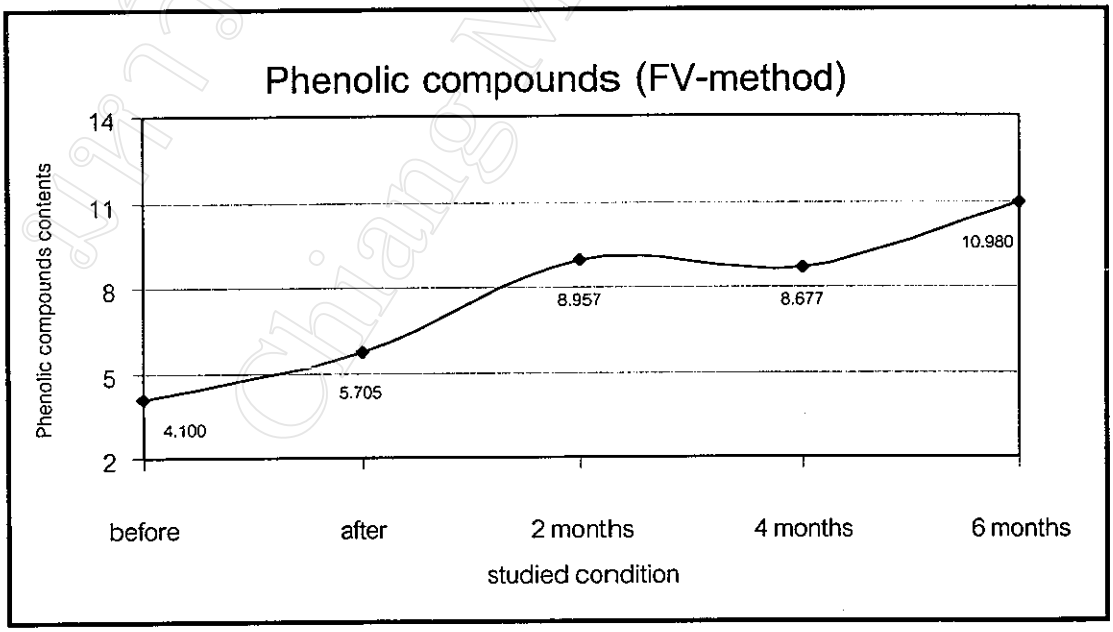
รูปที่ 4.72 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.73 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Folin-Ciocalteu method (FC) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.74 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.75 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอล (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ที่วิเคราะห์ได้โดยวิธี Flavonols with vanillin method (FV) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของ Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkali soluble pectin และ Total pectin ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณสารประกอบเพคตินในรูปของ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
Water soluble pectin	1.694±0.065^{b}	1.015±0.059^{d}	1.457±0.032^{c}	2.006±0.001^{a}	1.756±0.066^{b}
Oxalate soluble pectin	5.746±0.097^{a}	1.523±0.001^{e}	4.661±0.190^{c}	4.935±0.037^{b}	4.134±0.033^{d}
Alkali soluble pectin	57.821±0.065^{b}	23.240±1.226^{d}	25.434±0.475^{d}	64.367±2.202^{a}	51.505±0.001^{c}
Total pectin	65.260±0.226^{b}	25.777±1.167^{e}	31.552±0.254^{d}	71.308±2.239^{a}	57.395±0.098^{c}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเพคติน (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ในรูปของ Water soluble pectin, Oxalate soluble pectin, Alkali soluble pectin และ Total pectin ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

ปริมาณสารประกอบเพคตินในรูปของ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม)	ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์		ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษาเป็นเวลา		
	ก่อนแปรรูป	หลังแปรรูป	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
Water soluble pectin	1.694±0.065^{b}	1.810±0.163^{b}	1.444±0.059^{c}	2.511±0.217^{a}	1.865±0.035^{b}
Oxalate soluble pectin	5.746±0.097^{a}	4.353±0.065^{b}	4.022±0.029^{b}	5.816±0.254^{a}	6.030±0.103^{a}
Alkali soluble pectin	57.821±0.065^{b}	23.256±0.227^{d}	19.883±1.050^{e}	68.097±0.942^{a}	51.432±0.343^{c}
Total pectin	65.260±0.226^{b}	29.419±0.324^{d}	25.348±1.137^{e}	76.423±1.413^{a}	59.326±0.274^{c}

หมายเหตุ - ตัวเลขที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถว แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ปริมาณสารประกอบเพคติน (Pectic substances)

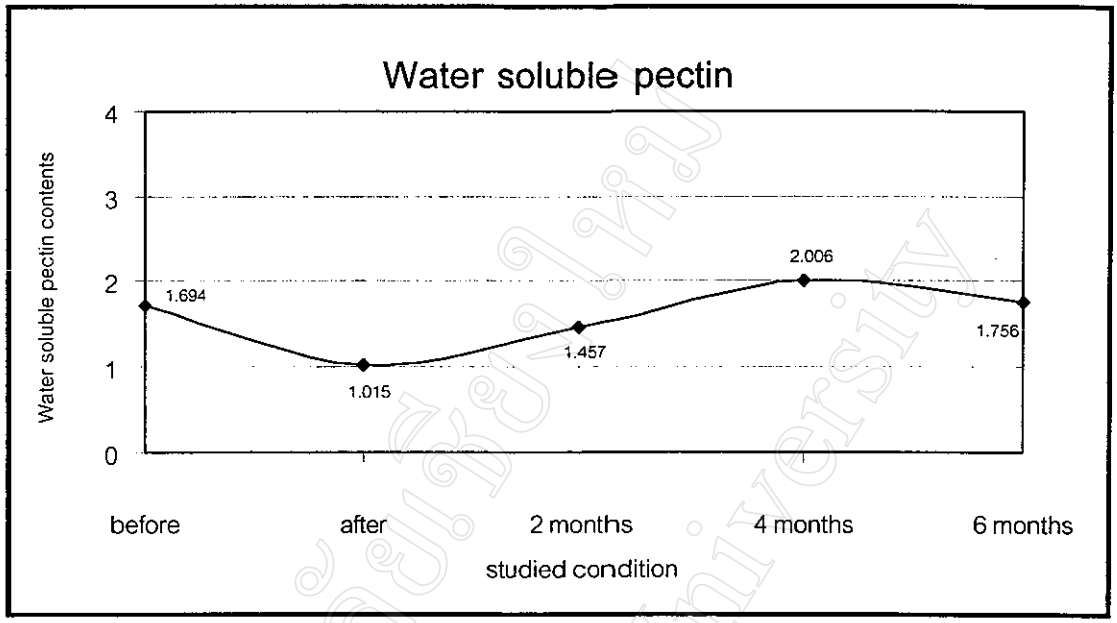
เพคตินที่ละลายได้ในน้ำ (Water soluble pectin)

ตารางที่ 4.29 และ 4.30 แสดงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำของลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 1.694±0.065 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ลิ้นจี่แช่แข็งมีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 1.015±0.059 และ 1.810±0.163 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

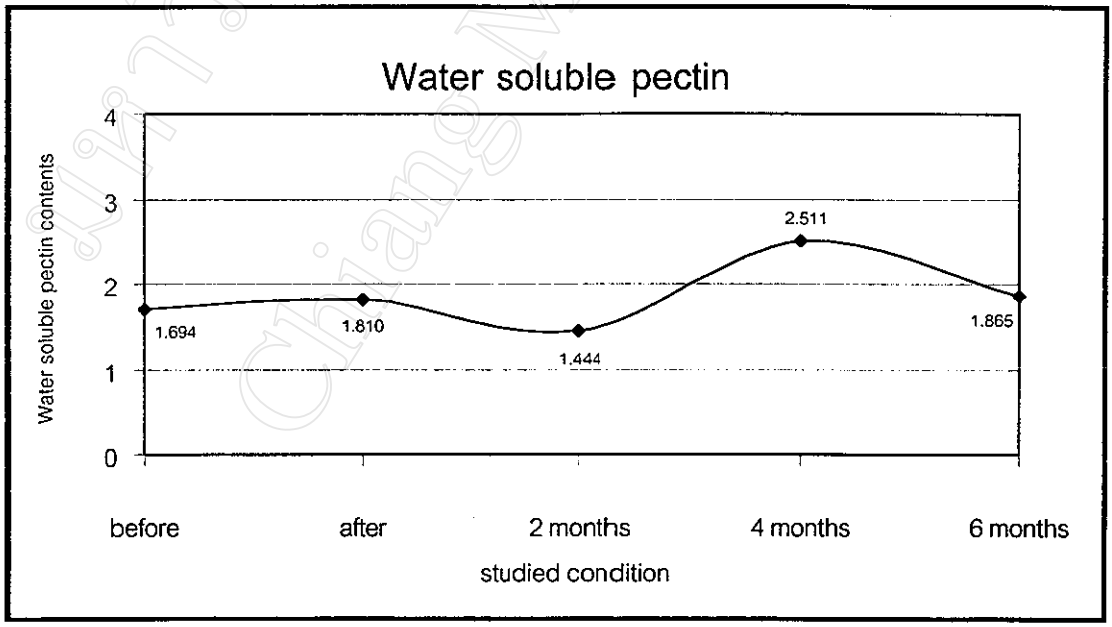
ภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 1.457±0.032, 2.006±0.001 และ 1.756±0.066 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2, 4 และ 6 เดือน ตามลำดับ ส่วนลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเท่ากับ 1.810±0.163 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม หลังจากที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน เมื่อเก็บรักษาครบ 4 เดือน มีค่าลดลงเป็น 2.511±0.217 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และเมื่อเก็บไว้ครบ 6 เดือน มีค่าลดลงเท่ากับ 1.865±0.035 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำของลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะการแช่แข็ง เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นเหตุให้ค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณกรดเปลี่ยนแปลงไป ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นพร้อมกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำลง ทำให้ผนังเซลล์ของลิ้นจี่ ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยสารประกอบเพคติน กลูแคน กาแลคแตน และโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ ถูกไฮโดรไลซ์ในสภาวะที่เป็นกรดโดยเอนไซม์ Polygalacturonase, PG และเอนไซม์ β-galactosidase ซึ่งเอนไซม์ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเร่งการไฮโดรไลซ์สารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำเป็นสารประกอบเพคตินที่ละลายน้ำได้ จึงส่งผลให้มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำเพิ่มขึ้น (Buren, 1991) ลิ้นจี่จะสูญเสียความแน่นเนื้อ

นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ ยังสอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ที่มีค่าลดลงหลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง และมีการลดลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 4.76 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



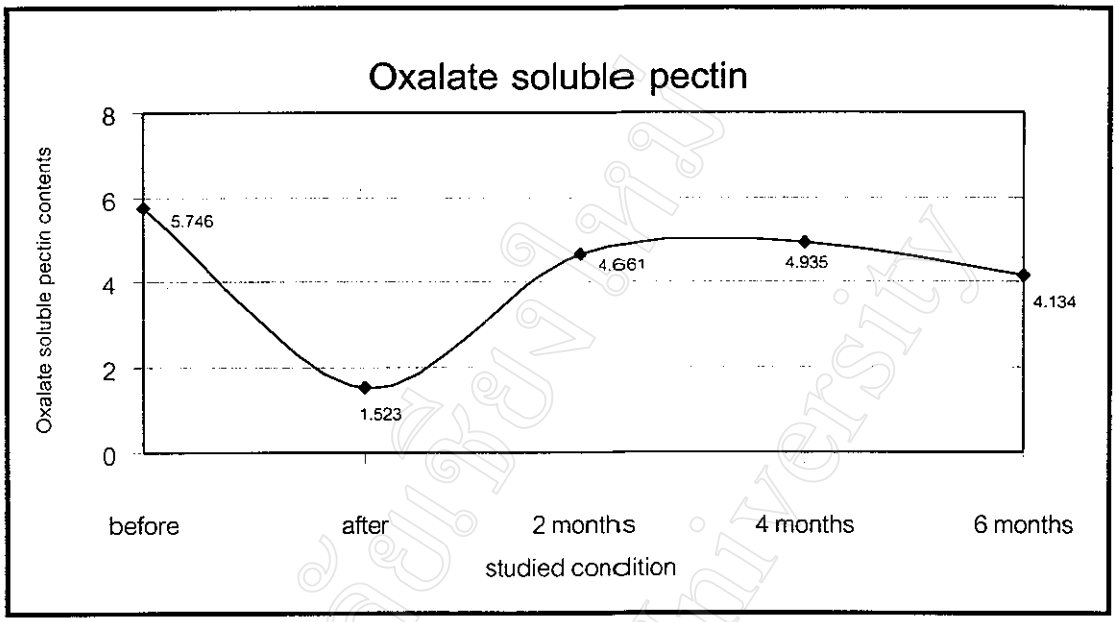
รูปที่ 4.77 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (Oxalate soluble pectin)

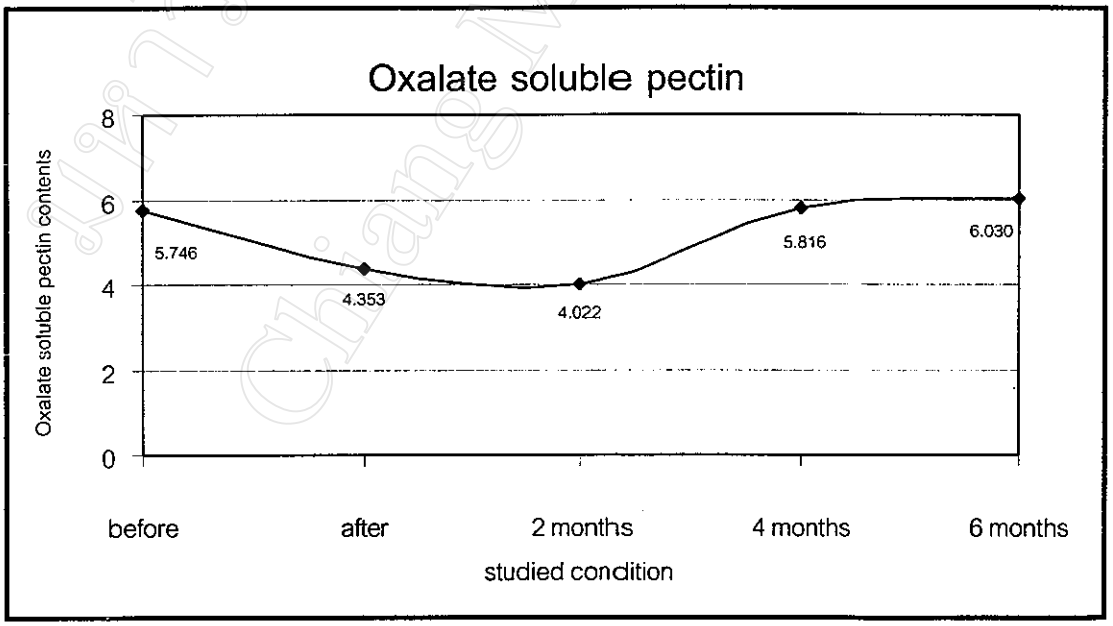
ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 5.746±0.097 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตลดลงเท่ากับ 1.523±0.001 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในขณะที่ลิ้นจี่แช่แข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตลดลงเท่ากับ 4.353±0.065 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.29 และ 4.30 ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตในลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่แข็งทั้ง 2 สภาวะ หลังการเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยภายหลังการเก็บรักษาไว้ 2 เดือน มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 4.661±0.190 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และเพิ่มเป็น 4.935±0.037 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตของผลิตภัณฑ์ หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่สภาวะดังกล่าวมีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตลดลงเพียงเล็กน้อย คือ มีค่าเท่ากับ 4.134±0.033 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

สำหรับปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในทุกระยะที่ทำการวิเคราะห์ตลอดช่วงเวลาของการเก็บรักษา โดยมีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 4.022±0.029 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 5.816±0.254 และ 6.030±0.103 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.78 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



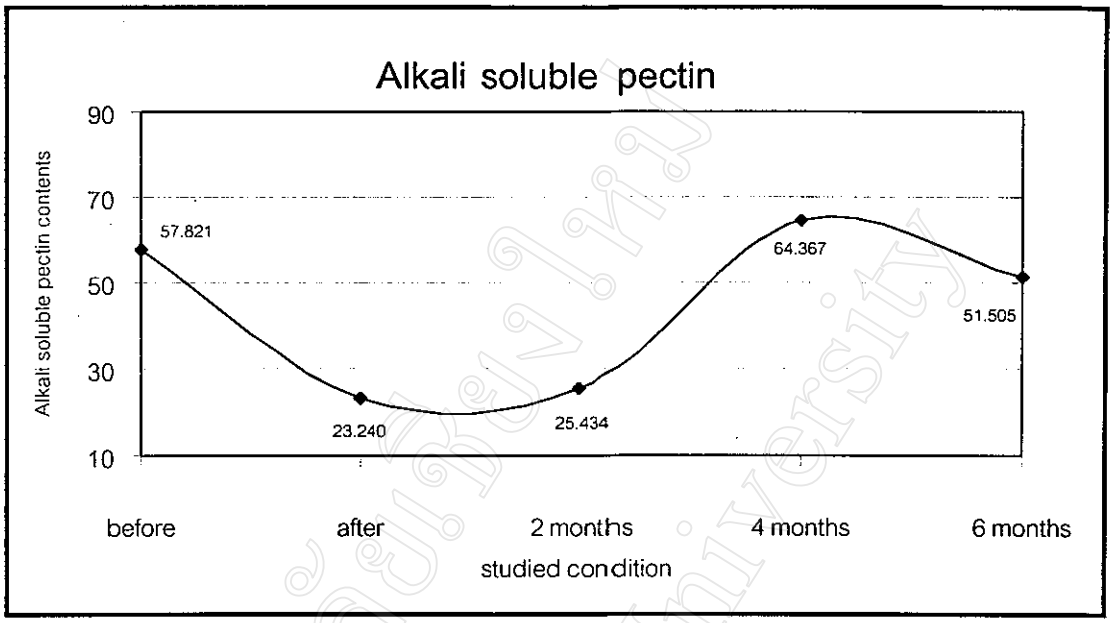
รูปที่ 4.79 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในออกซาเลต (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เพคตินที่ละลายได้ในด่าง (Alkali soluble pectin)

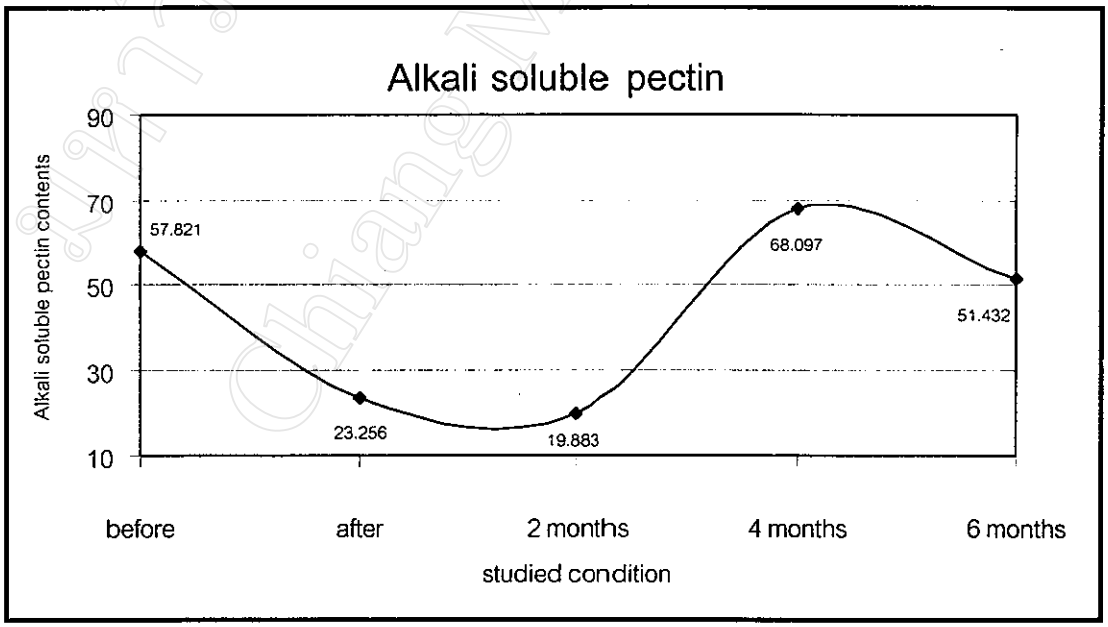
ผลการวิเคราะห์ปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.29 และ 4.30 พบว่า ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่าง เท่ากับ 57.821±0.065 มิลลิกรัม ต่อ 100 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ที่มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างเท่ากับ 23.256±0.227 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างเท่ากับ 23.240±1.226 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้ เวลาในการแช่แข็ง 23 นาที มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) จาก 25.434±0.475 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 2 เป็น 64.367±2.202 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 และในเดือนที่ 6 มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างลดลง เท่ากับ 51.505±0.001 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณเพคติน ที่ละลายได้ในด่างในเดือนที่ 2 เท่ากับ 19.883±1.050 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และเพิ่มเป็น 68.097±0.942 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 6 เดือน ลิ้นจี่ แช่แข็ง มีปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq0.05$) คือ มีค่า เท่ากับ 51.432±0.343 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม



รูปที่ 4.80 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่าง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน



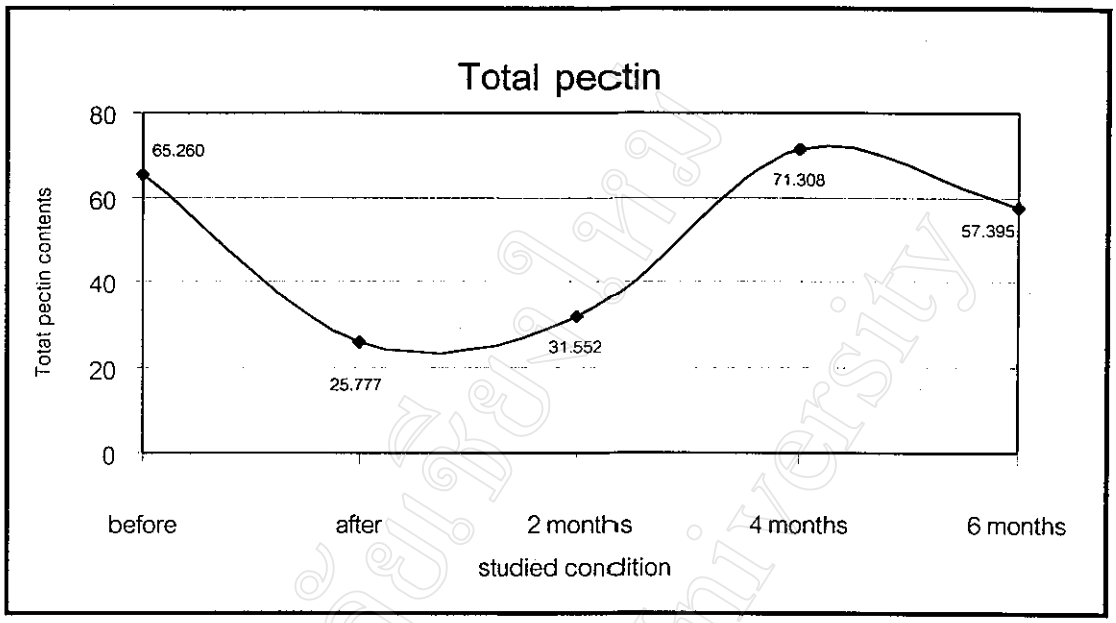
รูปที่ 4.81 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินที่ละลายได้ในด่าง (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

เพคตินทั้งหมด (Total pectin)

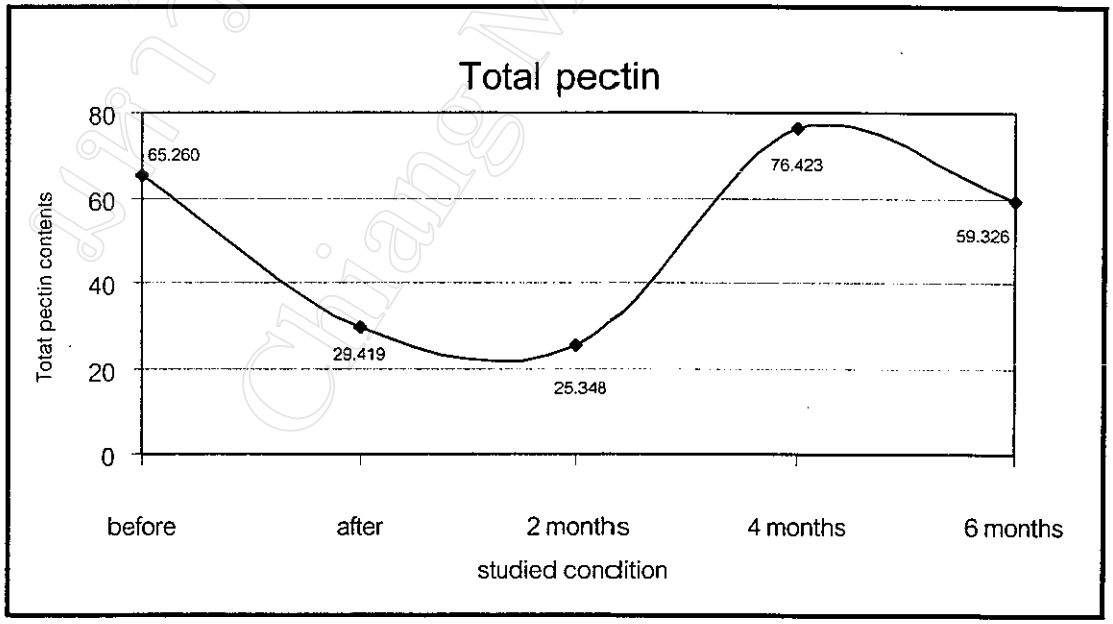
ปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 65.260±0.226 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม แต่เมื่อผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที ลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะนั้น มีปริมาณเพคตินทั้งหมดลดลงเท่ากับ 25.777±1.167 และ 29.419±0.324 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาปริมาณเพคตินทั้งหมดในลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเพคตินทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา กล่าวคือ ในเดือนที่ 2 มีปริมาณเพคตินทั้งหมดเท่ากับ 31.552±0.254 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเท่ากับ 71.308±2.239 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ในเดือนที่ 4 แต่ภายหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน ปริมาณเพคตินทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือ มีค่าเท่ากับ 57.395±0.098 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม

สำหรับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที มีปริมาณเพคตินทั้งหมดเท่ากับ 25.348±1.137 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 2 เดือน และในเดือนที่ 4 มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เท่ากับ 76.423±1.413 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ส่วนในเดือนที่ 6 ปริมาณเพคตินทั้งหมดมีค่าลดลงเช่นเดียวกับลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 59.326±0.274 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม



รูปที่ 4.82 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินทั้งหมด (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

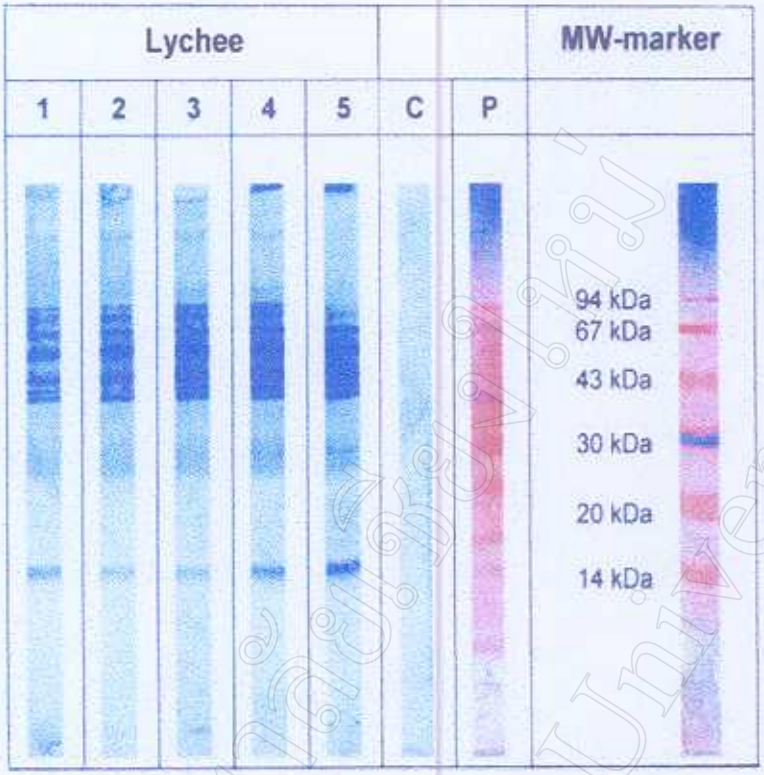


รูปที่ 4.83 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเพคตินทั้งหมด (มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม) ของลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน

การสกัดและตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารก่อภูมิแพ้ในลิ้นจี่ ระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษา พบว่า กระบวนการแช่เยือกแข็งแบบ IQF ที่ใช้เวลาในการแช่แข็ง 2 สภาวะ ไม่สามารถลด หรือ/และยับยั้งความรุนแรงของสารก่อภูมิแพ้ลงได้

เมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง พบว่า ลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านอัตราการแช่แข็ง 23 และ 28 นาที มีรูปแบบของสารก่อภูมิแพ้ที่คล้ายกัน โดยโปรตีนที่จับกับ IgE มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14 กิโลดาลตัน ซึ่งสามารถมองเห็นแถบของปฏิกิริยาอย่างชัดเจน เช่นเดียวกันกับสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 35 กิโลดาลตัน ดังแสดงในรูปที่ 4.84 และ 4.85 นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาวะแช่แข็งไม่ทำให้ความสามารถในการทำให้เกิดอาการแพ้ของสารก่อภูมิแพ้ลดลงหรือหมดไป ทั้งนี้เพราะในระหว่างการเก็บรักษาไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสารก่อภูมิแพ้ให้เห็นอย่างชัดเจน โดยยังพบสารก่อภูมิแพ้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลคล้ายกับลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ก่อนและหลังกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นไปได้ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ในลิ้นจี่แช่แข็งทั้ง 2 สภาวะการแช่แข็งที่พบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเช่นเดียวกัน



MW-marker : แผ่นน้ำหนักโมเลกุลมาตรฐาน

P : โปรตีนสกัดจากลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ (Colloidal gold stained)

C : ชุดควบคุม

1 : ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง

2 : ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ หลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง (0 เดือน)

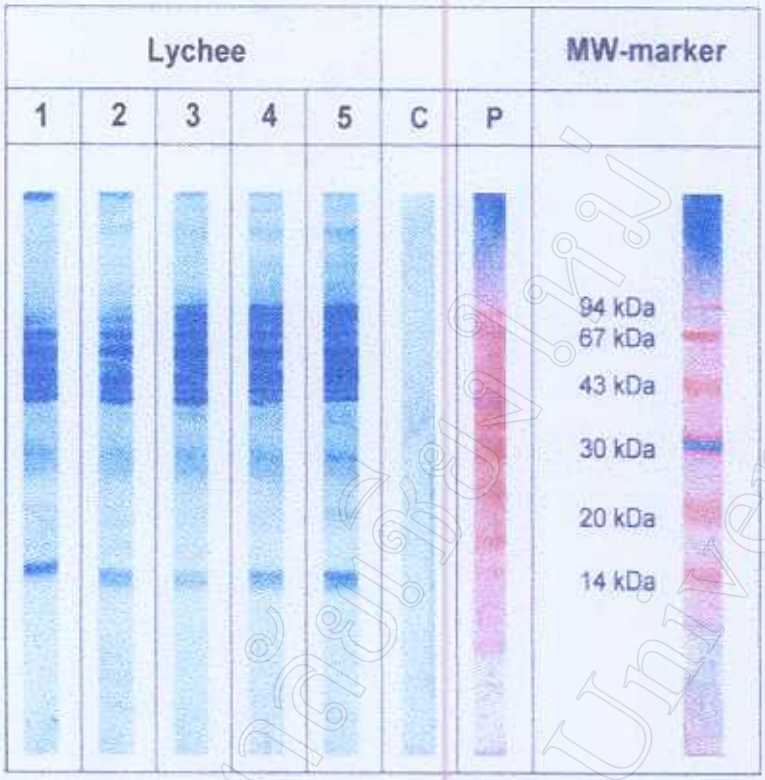
3 : ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษา 2 เดือน

4 : ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน

5 : ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษา 6 เดือน

รูปที่ 4.84 ผลการตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 23 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน โดยใช้ SDS-PAGE และการทำ Immunoblotting กับเซรุ่มของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่จำนวน 18 คน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University



MW-marker : แผ่นน้ำหนักโมเลกุลมาตรฐาน

P : โปรตีนสกัดจากลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ (Colloidal gold stained)

C : ชุดควบคุม

1 : ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ ก่อนผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง

2 : ลิ้นจี่สายพันธุ์จักรพรรดิ์ หลังผ่านกระบวนการแช่เยือกแข็ง (0 เดือน)

3 : ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษา 2 เดือน

4 : ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษา 4 เดือน

5 : ลิ้นจี่แช่แข็งที่อายุการเก็บรักษา 6 เดือน

รูปที่ 4.85 ผลการตรวจสอบสารก่อภูมิแพ้ที่สกัดได้จากลิ้นจี่แช่แข็งที่ผ่านการแช่แข็ง 28 นาที ในระหว่างกระบวนการผลิต และการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน โดยใช้ SDS-PAGE และการทำ Immunoblotting กับเซรุ่มของผู้ทดสอบที่มีอาการแพ้ลิ้นจี่จำนวน 18 คน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University