บทที่ 4

ผลและวิจารณ์การทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับระยะเวลาที่ใช้ในการแช่สารละลายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

ทำการศึกษาผลของการใช้กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์ต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่ 3 ระดับความเข้มข้น ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) กรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5,1.5 และ 2.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ร่วมกับระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่สารละลาย 1 และ 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2 ได้ผลการทดลองดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ

1.1 สีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

ผลของกรดแอสคอร์บิก

การเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำพิจารณาได้จากค่า L^* (ค่าความสว่าง) พบว่า เมื่อเก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ค่า L^*มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา (ภาพ 2 และ 3) ซึ่งผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 จะมีค่า L^* (วันเริ่มต้น) มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่าสีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีสีผิวคล้ำน้อยกว่าหรือมีความสว่างมากกว่าชุดควบคุม ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลคล้ำที่มีสาเหตุเกิดจากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสด้วยการลดสารควิโนนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสารโพลีฟีนอล (ศิวาพร ศิวเวชช , 2546) และเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้สีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำมีความสว่างเพิ่มขึ้น โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกที่

ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 1.0

อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำเป็นเวลา 3 วัน ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 1 นาที มีอัตราการลดลงของค่า L* มากกว่าเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 (ร้อยละ 8.52 และ 5.95 สำหรับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 1.0 ตามลำดับ) (ตาราง 4) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้กรดแอสคอร์บิกในปริมาณที่มากเกินไปทำให้ถูกออกซิไดส์เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกแล้วทำปฏิกิริยาต่อกับกรดอะมิโนทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำขึ้นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) ผลของกรดแอสคอร์บิกต่อการเปลี่ยนแปลงค่า L* เห็นได้ชัดเจนขึ้นเมื่อใช้เวลาในการแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำนาน 2 นาที (ตาราง 5) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีอัตราการลดลงของค่า L* ต่ำสุดคิดเป็นร้อยละ 3.37 จากเริ่มต้น

การเปลี่ยนแปลงของค่า L* มีความสอดคล้องกับค่า BI (Browning index) และค่า ΔE นั่นคือ ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกทุกระดับความเข้มข้นมีค่า BI ต่ำกว่าชุดควบคุม (ภาพ 4 และ 5) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 1 นาที และ 2 นาที มีค่า BI น้อยกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 9.74 และ 12.57 ตามลำดับ (ตาราง 6 และ 7) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ใช้แช่มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำโดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 2 นาที สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าใช้เวลาในการแช่นาน 1 นาที เช่นเดียวกับค่า ΔE ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของสีโดยรวม พบว่า เมื่อเพิ่มระยะการเก็บรักษามากขึ้นผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มของค่า ΔE เพิ่มขึ้น (ภาพ 6 และ 7) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 นาน 1 นาที มีค่า ΔE เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 27.78 (ตาราง 8) แต่เมื่อใช้เวลาการแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำในกรดแอสคอร์บิก นาน 2 นาที ค่า ΔE เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นเพียงร้อยละ 17.08 เท่านั้น (ตาราง 9)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 แช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ นาน 2 นาที มีผลต่อการชะลอการเปลี่ยนแปลงของสีผิว (ค่า L*, BI และ ΔE) ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำและสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดในทำนองเดียวกับ Sapers & Miller (1992) ศึกษาประสิทธิภาพของกรดแอส

คอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ในการแช่ชิ้นแอปเปิ้ลและมันฝรั่ง นาน 3 นาที และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ภายใน 20 นาที ชิ้นแอปเปิ้ลและมันฝรั่งที่แช่ในกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลได้ดีกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นน้อยกว่าร้อยละ 1.0 ซึ่งสังเกตได้จากมีการพัฒนาการเกิดสีน้ำตาลบริเวณผิวของชิ้นแอปเปิ้ลและมันฝรั่งที่เพิ่มมากขึ้น และการลดลงของค่า L*

ผลของกรดซิตริก

ในทำนองเดียวกับผลของการใช้กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริกมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำโดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดซิตริกจะมีค่า L* มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อมีการใช้กรดซิตริกในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่า L* ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดซิตริกได้ดีขึ้น ทั้งที่ใช้เวลาในการแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ นาน 1 นาที และ 2 นาที (ภาพ 8 และ 9) ทั้งนี้เนื่องจากกรดซิตริกมีคุณสมบัติช่วยปรับค่าความเป็นกรด – ด่าง และยังช่วยรักษากรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ในธรรมชาติในผลไม้ให้มีความคงตัวดีขึ้นจึงส่งผลถึงความคงตัวของสีในผลไม้ซึ่งกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันหืนตามธรรมชาติจะช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (Wiley, 1994) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า L* มีความสอดคล้องกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า BI และ ค่า ΔE โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 2 นาที จะมีค่า BI น้อยกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 3.40 (ตาราง 13) และค่า ΔE เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 29.61 (ตาราง 15) ดังนั้นสำหรับการทดลองนี้การใช้กรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 2 นาที มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ ในทำนองเดียวกัน Gunes & Lee (1997) รายงานว่า เมื่อใช้กรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 2 ในการแช่มันฝรั่งที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำเป็นเวลานาน 3 นาที จะสามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลบริเวณรอยปอกที่ใช้วิธีการปอกเปลือกด้วยมือแล้วนำไปบรรจุในภาชนะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

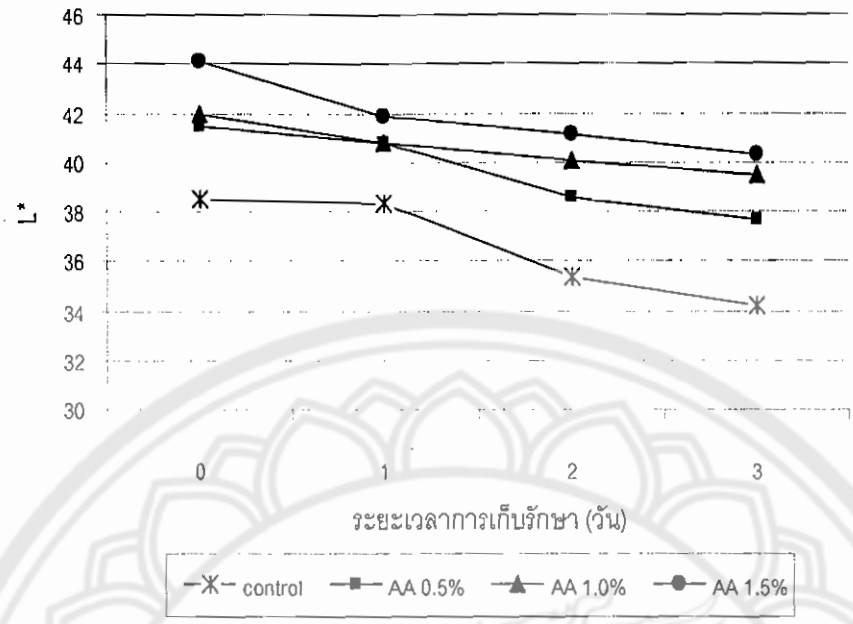
เมื่อเปรียบเทียบการใช้กรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 2 นาที กับกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกกับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกมีสีน้ำตาลคล้ำมากกว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่

ด้วยแอสคอร์บิก ทั้งที่กรดซิตริกสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase) ได้ (Pizzocaro, Torreggini & Gilardi,1993) ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็น Reducing agent ที่แรงกว่ากรดซิตริกจึงสามารถเปลี่ยน Quinone กลับเป็น Diphenol ทำให้ไม่มีการสูญเสียสารประกอบฟีนอลจากการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นในผักและผลไม้ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536) ดังนั้นกรดซิตริกจึงมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้น้อยกว่าการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน

ผลของแคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำเช่นกันแต่น้อยกว่ากรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 2 นาที (ตาราง 17) มีค่า L* มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า BI และ ΔE

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า L* ของการใช้แคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 2 นาที กับกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์จะมีความสว่างน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Luna-Gutzman et al. (1999) ที่รายงานว่า การแช่ผลแคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 และ 5 สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าชิ้นผลแคนตาลูปได้ ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพจนไม่สามารถเข้าจับกับสับสเตรท (substrate) ทำให้ไม่เกิดสีน้ำตาลที่ผิวหน้าของผลแคนตาลูป

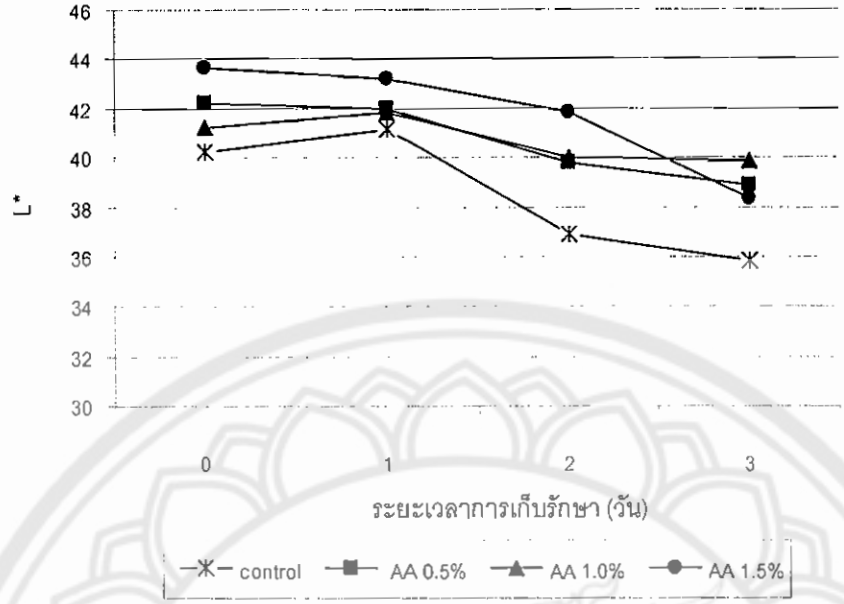


ภาพ 2 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 4 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	38.46 ^{c} ± 1.04	38.34 ^{c} ± 0.22	35.35 ^{d} ± 0.71	34.23 ^{d} ± 0.46
0.5%	41.48 ^{b} ± 0.58	40.83 ^{b} ± 0.77	38.61 ^{c} ± 0.70	37.71 ^{c} ± 0.39
1.0%	41.97 ^{b} ± 1.24	40.80 ^{b} ± 0.52	40.09 ^{b} ± 0.25	39.47 ^{b} ± 0.16
1.5%	44.09 ^{a} ± 0.83	41.86 ^{a} ± 0.59	41.10 ^{a} ± 1.60	40.33 ^{a} ± 0.62

a – d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

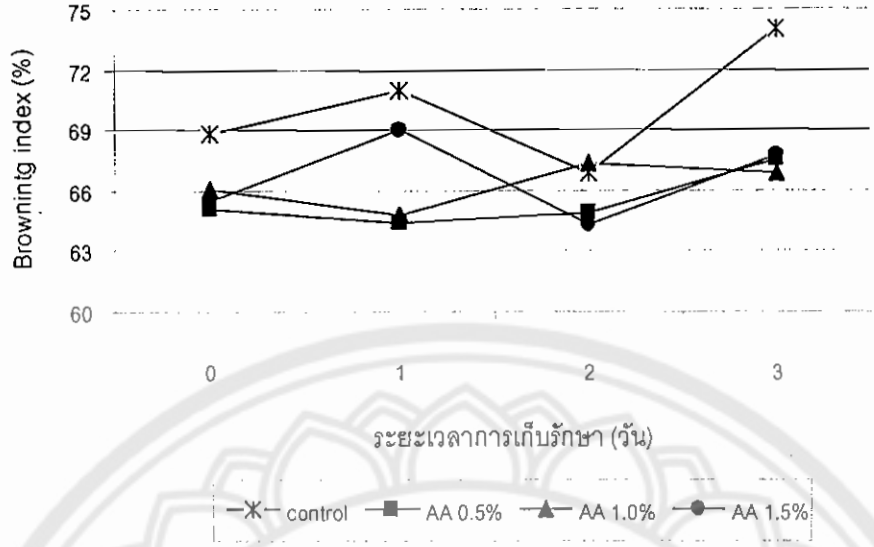


ภาพ 3 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 5 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีดเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$40.23^{d} \pm 0.46$	$41.16^{b} \pm 1.30$	$36.87^{c} \pm 0.99$	$35.81^{c} \pm 0.64$
0.5%	$42.23^{b} \pm 0.60$	$42.00^{b} \pm 0.38$	$39.81^{b} \pm 0.83$	$38.86^{b} \pm 1.54$
1.0%	$41.23^{c} \pm 0.90$	$41.84^{b} \pm 1.68$	$40.01^{b} \pm 0.65$	$39.84^{a} \pm 1.01$
1.5%	$43.65^{a} \pm 0.82$	$43.17^{a} \pm 1.23$	$41.80^{a} \pm 0.52$	$38.37^{b} \pm 1.11$

a – d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

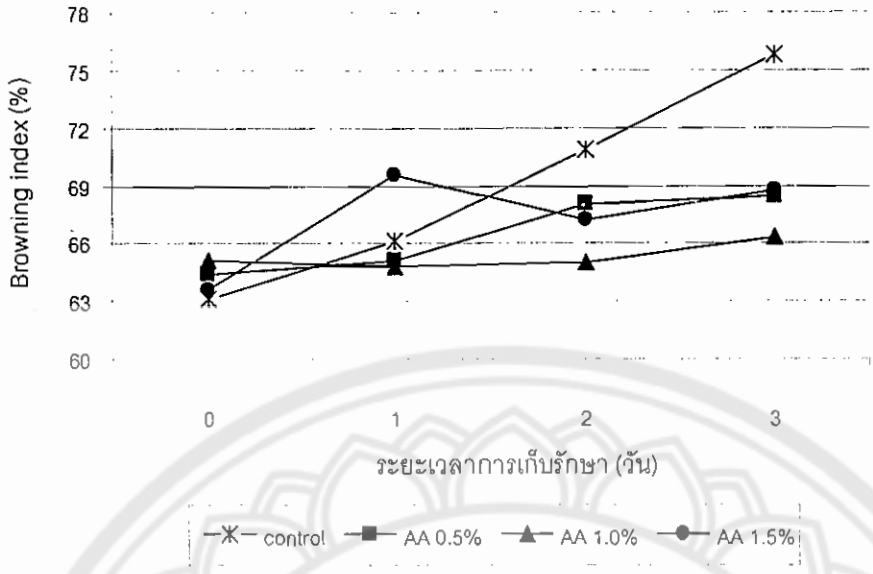


ภาพ 4 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 6 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	68.78 ^{a} ± 1.06	70.97 ^{a} ± 0.78	66.84 ^{a} ± 1.32	74.06 ^{a} ± 1.96
0.5%	65.09 ^{b} ± 3.58	64.39 ^{c} ± 1.40	64.87 ^{b} ± 1.77	67.52 ^{b} ± 3.81
1.0%	66.09 ^{b} ± 1.90	64.76 ^{c} ± 1.17	67.39 ^{a} ±3 .27	66.85 ^{b} ± 4.42
1.5%	65.45 ^{b} ± 2.00	68.99 ^{b} ± 4.29	64.30 ^{b} ± 4.41	67.73 ^{b} ± 3.29

a –c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



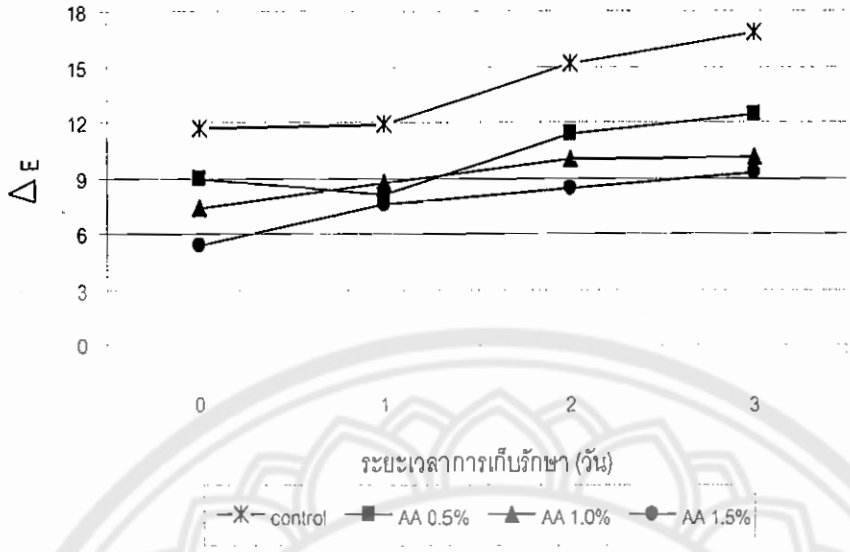
ภาพ 5 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะ เวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 7 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะ เวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	63.13 ^{ns} ±1.47	66.16 ^{b} ±4.51	70.88 ^{a} ± 4.13	75.82 ^{a} ± 2.57
0.5%	64.38 ^{ns} ±1.55	65.13 ^{b} ± 1.52	68.06 ^{b} ± 1.70	68.40 ^{b} ± 4.50
1.0%	65.11 ^{ns} ±3.20	64.78 ^{b} ±3.39	65.05 ^{c} ±0.54	66.29 ^{c} ± 1.64
1.5%	63.57 ^{ns} ±1.98	69.51 ^{a} ± 3.08	67.20 ^{b} ± 1.45	68.79 ^{b} ± 1.75

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

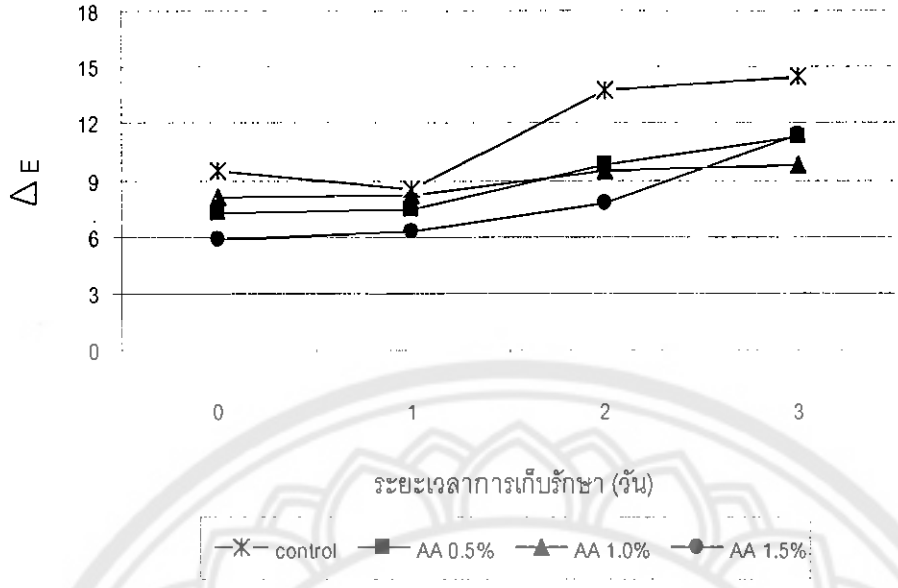


ภาพ 6 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 8 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	11.72 ^{a} ±0.79	11.88 ^{a} ± 0.35	15.18 ^{a} ± 0.89	16.86 ^{a} ± 0.82
0.5%	8.98 ^{b} ± 1.02	8.08 ^{c} ± 0.66	11.42 ^{b} ± 0.86	12.43 ^{b} ± 0.56
1.0%	7.33 ^{c} ± 1.22	8.71 ^{b} ± 0.68	9.97 ^{c} ± 0.54	10.15 ^{c} ± 1.40
1.5%	5.41 ^{d} ± 0.98	7.62 ^{c} ± 0.96	8.39 ^{d} ± 1.47	9.28 ^{d} ± 0.82

a – d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

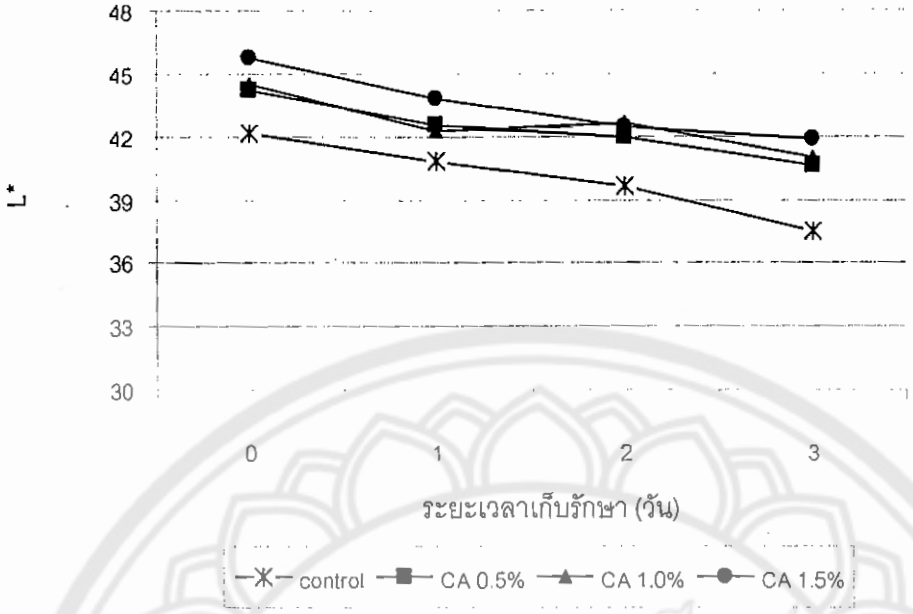


ภาพ 7 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 9 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	9.53 ^{a} ± 0.62	8.57 ^{a} ± 1.49	13.70 ^{a} ± 1.02	14.51 ^{a} ± 0.70
0.5%	7.23 ^{c} ± 0.45	7.43 ^{b} ± 0.43	9.79 ^{b} ± 1.07	11.31 ^{b} ± 2.06
1.0%	8.11 ^{b} ± 1.07	8.19 ^{ab} ± 1.64	9.46 ^{c} ± 0.71	9.78 ^{c} ± 1.04
1.5%	5.86 ^{d} ± 0.93	6.25 ^{c} ± 1.62	7.82 ^{d} ± 0.49	11.43 ^{b} ± 1.30

a –d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

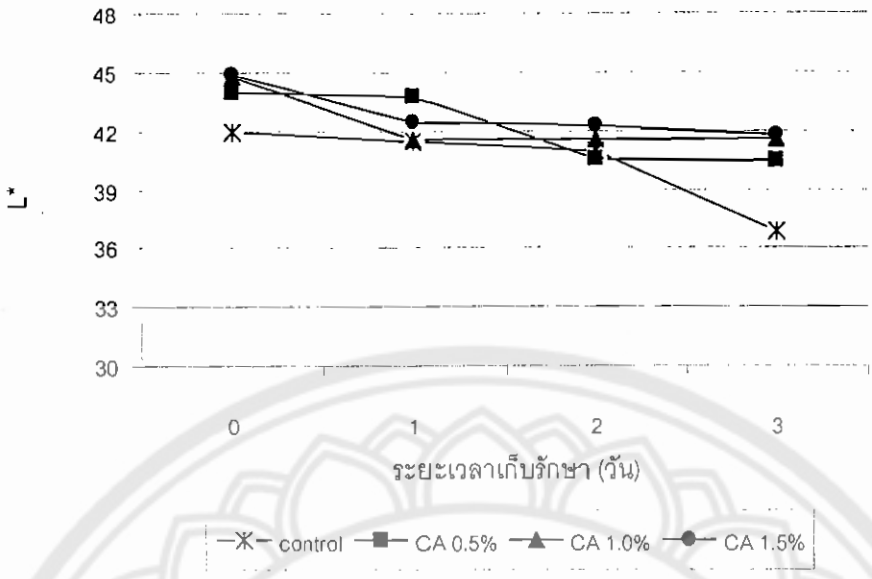


ภาพ 8 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 10 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	42.19 ^{c} ± 0.34	40.78 ^{c} ± 0.37	39.68 ^{b} ±1.48	37.50 ^{c} ± 2.11
0.5%	44.18 ^{b} ± 0.89	42.55 ^{b} ± 0.46	41.94 ^{a} ± 0.84	40.59 ^{b} ± 1.84
1.0%	44.48 ^{b} ± 0.52	42.27 ^{b} ± 1.46	42.61 ^{a} ±1.19	40.98 ^{ab} ± 0.54
1.5%	45.71 ^{a} ± 0.60	43.85 ^{a} ± 0.52	42.44 ^{a} ±0.57	41.91 ^{a} ± 0.97

a –c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

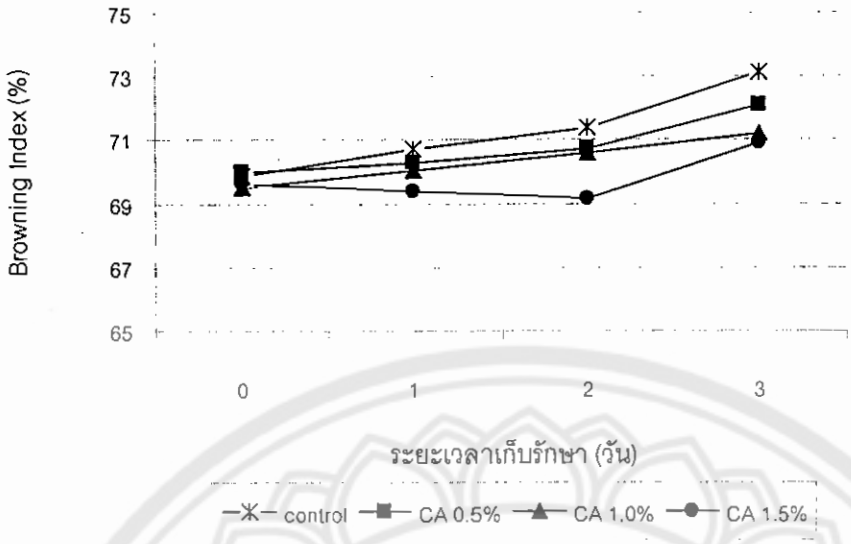


ภาพ 9 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 11 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	41.98 ^{b} ± 0.96	41.50 ^{c} ± 0.52	41.00 ^{bc} ± 1.12	36.82 ^{c} ± 1.07
0.5%	43.95 ^{a} ± 1.21	43.75 ^{a} ± 0.71	40.55 ^{c} ± 0.59	40.45 ^{b} ± 0.81
1.0%	44.81 ^{a} ± 2.38	41.54 ^{c} ± 0.54	41.52 ^{ab} ± 1.35	41.53 ^{a} ± 1.29
1.5%	44.87 ^{a} ± 3.38	42.51 ^{b} ± 0.81	42.27 ^{a} ± 1.36	41.73 ^{a} ± 0.63

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



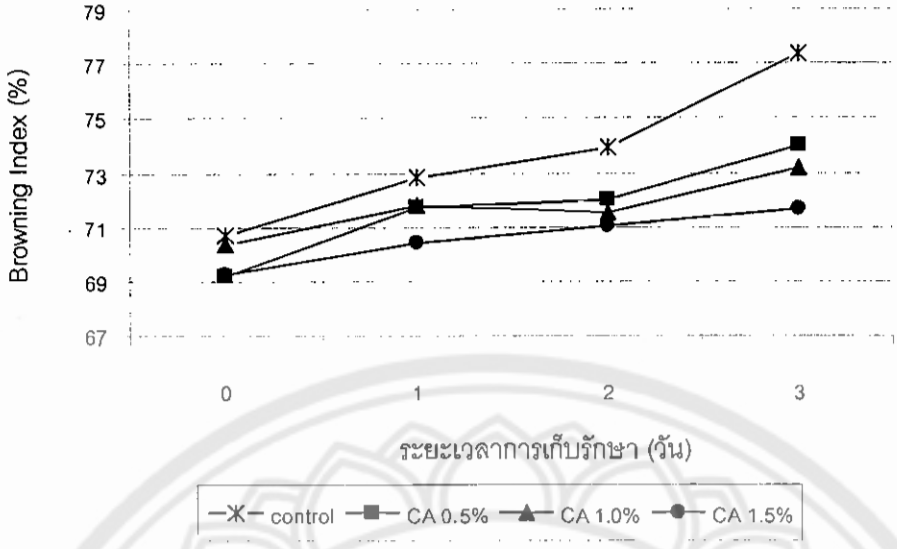
ภาพ 10 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 12 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	69.88 ^{ns} ±1.73	70.74 ^{ns} ± 1.41	71.36 ^{ns} ±1.80	73.12 ^{a} ± 3.57
0.5%	69.97 ^{ns} ±2.27	70.32 ^{ns} ± 1.39	70.71 ^{ns} ±2.83	72.12 ^{ab} ±1.59
1.0%	69.54 ^{ns} ± 2.05	70.08 ^{ns} ± 2.75	70.61 ^{ns} ± 1.92	70.21 ^{b} ±2.33
1.5%	69.62 ^{ns} ± 2.78	69.37 ^{ns} ± 1.70	69.14 ^{ns} ± 2.71	70.93 ^{b} ±2.33

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

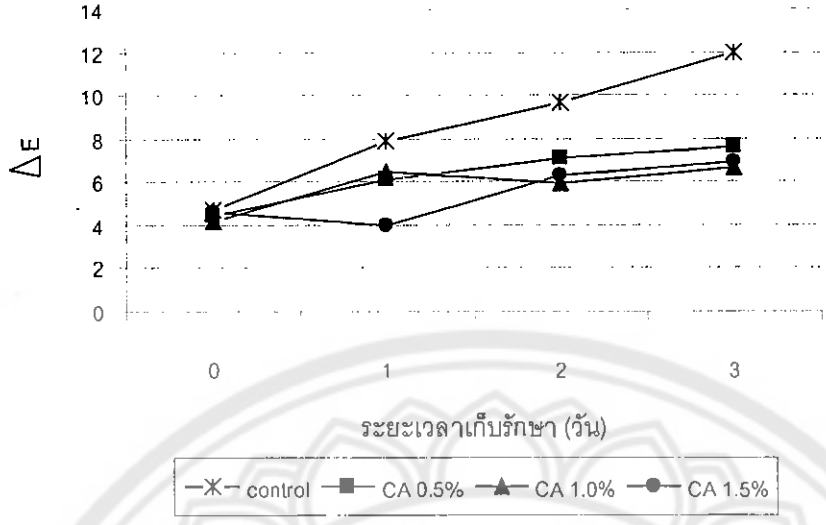


ภาพ 11 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 13 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	70.69 ^{a} ± 1.44	72.86 ^{a} ± 1.68	73.96 ^{a} ± 1.92	77.38 ^{a} ± 4.07
0.5%	69.19 ^{b} ± 0.91	71.74 ^{a} ± 1.32	72.02 ^{b} ± 0.89	73.98 ^{b} ± 2.03
1.0%	70.36 ^{a} ± 0.65	71.80 ^{a} ± 1.06	71.54 ^{b} ± 1.89	73.14 ^{b} ±1.78
1.5%	69.25 ^{b} ± 1.89	70.46 ^{b} ± 0.55	71.07 ^{b} ± 2.20	71.69 ^{c} ± 1.34

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



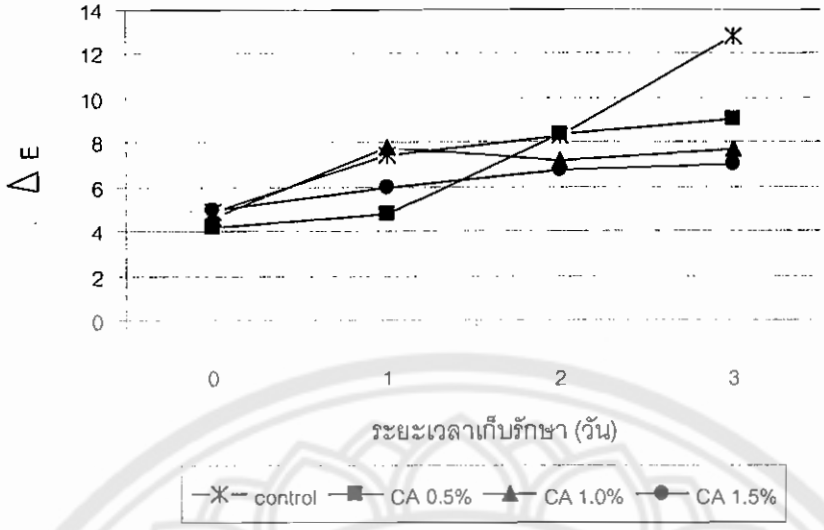
ภาพ 12 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 14 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	4.73 ^{ns} ± 0.42	7.93 ^{a} ± 0.36	9.68 ^{a} ± 1.58	11.99 ^{a} ± 2.41
0.5%	4.41 ^{ns} ± 1.09	6.14 ^{b} ± 0.61	7.05 ^{b} ± 1.05	7.63 ^{b} ± 1.92
1.0%	4.17 ^{ns} ± 0.73	6.48 ^{b} ± 1.66	5.93 ^{c} ± 1.58	6.65 ^{b} ± 0.54
1.5%	4.64 ^{ns} ± 0.53	4.01 ^{c} ± 0.60	6.32 ^{bc} ± 1.02	6.94 ^{b} ± 1.05

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

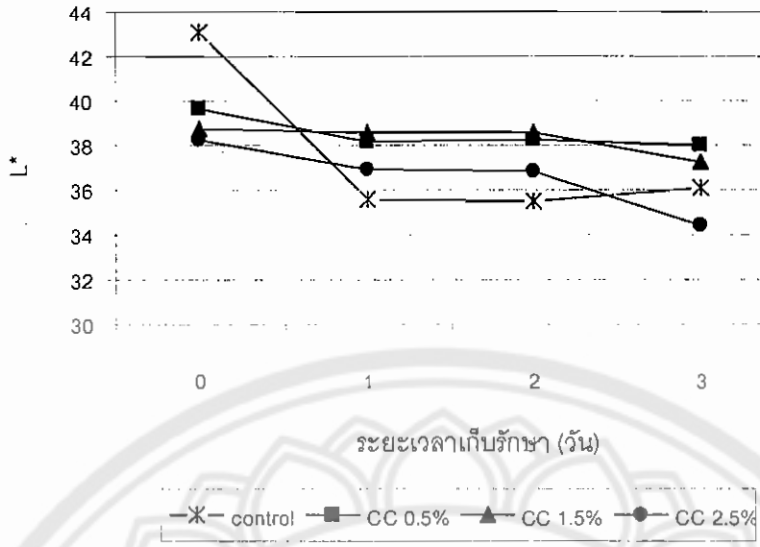


ภาพ 13 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปชั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 15 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปชั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	4.86 ^{a} ± 1.00	7.39 ^{a} ± 0.54	8.28 ^{a} ± 1.21	12.78 ^{a} ± 1.10
0.5%	4.21 ^{b} ± 1.21	4.79 ^{c} ± 0.92	8.33 ^{a} ± 0.75	9.09 ^{b} ± 1.15
1.0%	4.65 ^{b} ± 1.48	7.81 ^{a} ± 1.17	7.15 ^{b} ± 1.59	7.69 ^{c} ± 1.39
1.5%	4.92 ^{b} ± 2.61	5.94 ^{b} ± 0.84	6.75 ^{b} ± 1.60	6.99 ^{c} ± 0.76

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

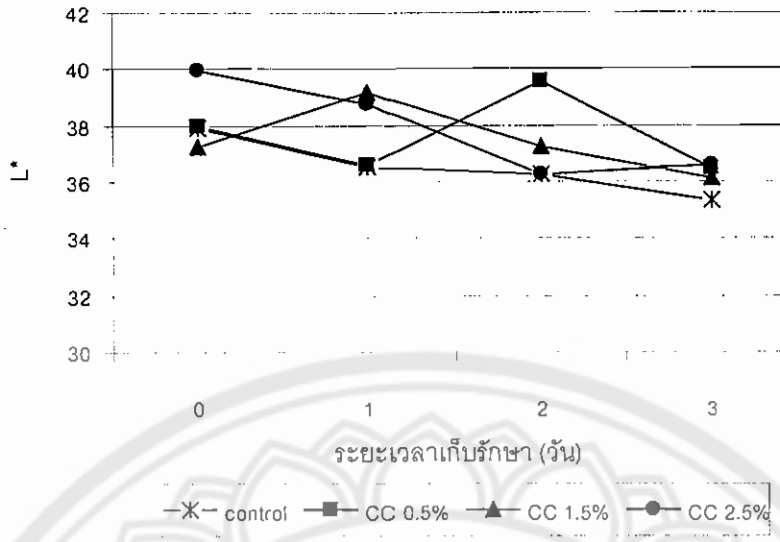


ภาพ 14 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 16 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	43.04 ^{a} ± 3.07	35.57 ^{c} ± 1.24	35.54 ^{c} ± 0.46	36.10 ^{b} ± 1.88
0.5%	39.65 ^{b} ± 0.89	38.13 ^{a} ± 1.66	38.25 ^{a} ± 0.85	37.97 ^{a} ± 0.99
1.5%	38.73 ^{bc} ± 0.94	38.59 ^{a} ± 0.36	38.62 ^{a} ± 0.69	37.22 ^{ab} ± 1.74
2.5%	38.28 ^{c} ± 0.81	36.93 ^{b} ± 2.29	36.84 ^{b} ± 0.64	34.44 ^{c} ± 2.19

a –c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

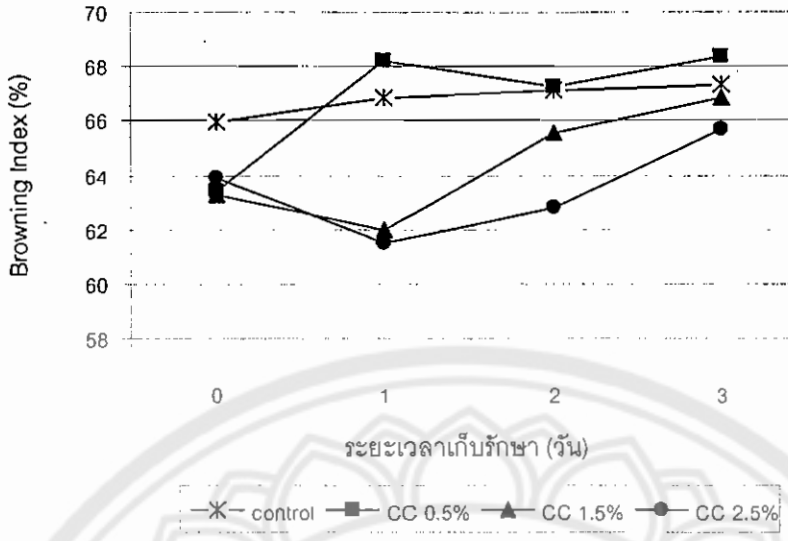


ภาพ 15 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 17 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	37.90 ^{b} ± 1.03	36.55 ^{b} ± 0.40	36.28 ^{b} ± 0.88	35.32 ^{c} ± 0.58
0.5%	37.99 ^{b} ± 0.41	36.60 ^{b} ±1.06	39.52 ^{a} ± 2.27	36.48 ^{ab} ± 0.44
1.5%	37.28 ^{c} ± 1.17	39.14 ^{a} ± 0.79	37.22 ^{b} ± 0.64	36.14 ^{b} ± 0.44
2.5%	39.92 ^{a} ± 0.49	38.79 ^{a} ± 0.57	36.28 ^{b} ± 2.33	36.61 ^{a} ± 0.89

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

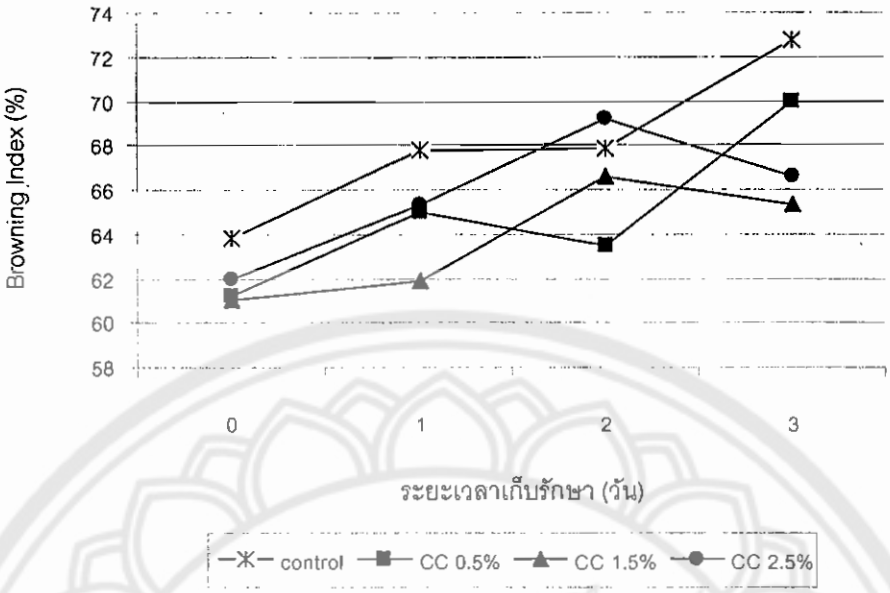


ภาพ 16 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 18 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	65.94 ^{a} ± 4.05	66.86 ^{a} ± 1.86	67.12 ^{a} ± 1.73	67.32 ^{ab} ± 2.67
0.5%	63.44 ^{b} ± 1.19	68.25 ^{a} ± 3.42	67.23 ^{a} ± 2.56	68.35 ^{a} ± 5.02
1.5%	63.26 ^{b} ± 3.46	62.00 ^{b} ± 1.63	65.53 ^{b} ± 1.64	66.88 ^{ab} ± 2.04
2.5%	63.90 ^{ab} ± 2.25	61.49 ^{b} ± 5.37	62.78 ^{c} ± 2.22	65.69 ^{b} ± 1.04

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

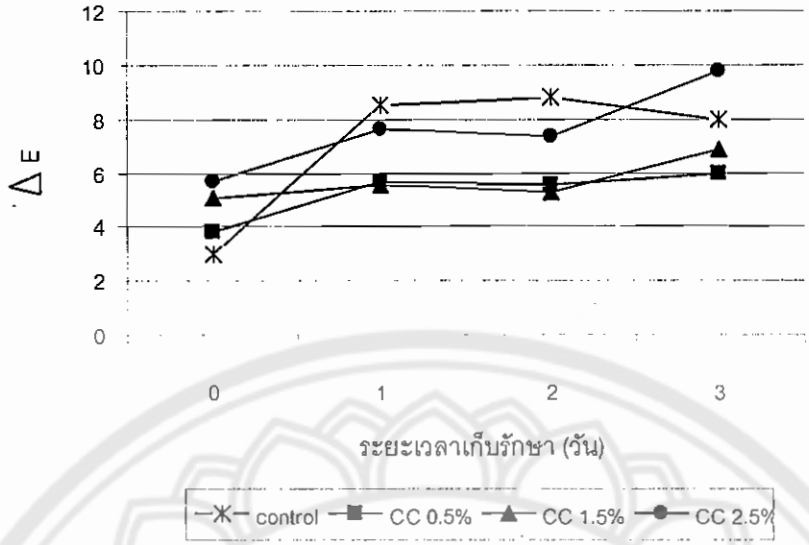


ภาพ 17 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 19 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	63.81 ^{a} ± 1.70	67.76 ^{a} ± 1.82	67.87 ^{ab} ± 2.79	72.74 ^{a} ± 2.13
0.5%	61.19 ^{b} ± 4.03	65.02 ^{b} ± 2.73	63.48 ^{c} ± 2.07	69.96 ^{b} ± 2.07
1.5%	61.02 ^{b} ± 3.19	61.87 ^{c} ± 2.58	66.59 ^{b} ± 2.59	65.35 ^{c} ± 3.29
2.5%	61.98 ^{ab} ± 2.38	65.31 ^{b} ± 1.89	69.23 ^{a} ± 0.76	66.61 ^{c} ± 3.96

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

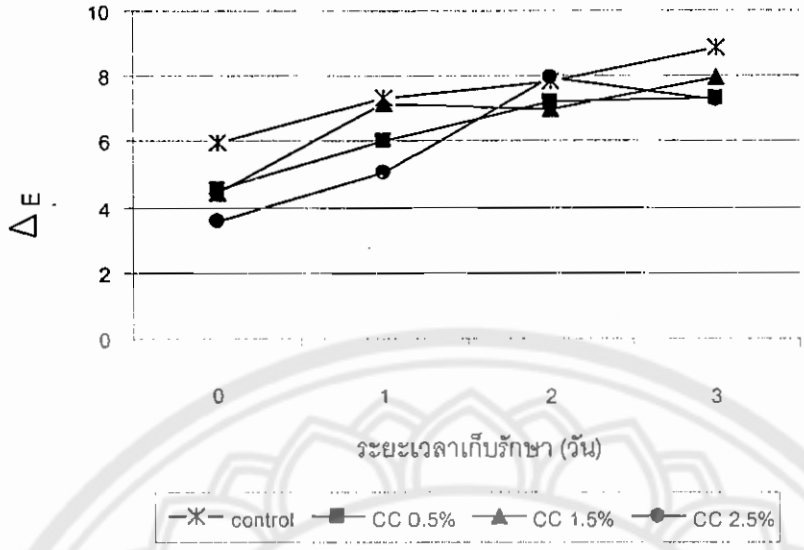


ภาพ 18 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 20 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	3.01 ^{b} ± 1.70	8.56 ^{a} ± 1.44	8.78 ^{a} ± 0.55	7.97 ^{b} ± 2.17
0.5%	3.84 ^{b} ± 1.06	5.67 ^{b} ± 1.87	5.52 ^{c} ± 1.15	5.98 ^{c} ± 1.09
1.5%	5.04 ^{a} ± 1.06	5.56 ^{b} ± 0.38	5.29 ^{c} ± 0.97	6.84 ^{bc} ± 2.13
2.5%	5.69 ^{a} ± 0.93	7.66 ^{a} ± 2.01	7.37 ^{b} ± 0.65	9.78 ^{a} ± 2.40

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพ 19 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 21 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$5.94^{a} \pm 1.31$	$7.35^{a} \pm 0.50$	$7.86^{ns} \pm 1.03$	$8.85^{a} \pm 0.65$
0.5%	$4.56^{b} \pm 2.88$	$6.04^{b} \pm 0.58$	$7.21^{ns} \pm 1.26$	$7.35^{c} \pm 0.48$
1.5%	$4.42^{b} \pm 0.60$	$7.16^{a} \pm 1.08$	$6.99^{ns} \pm 0.92$	$7.97^{b} \pm 0.52$
2.5%	$3.58^{b} \pm 0.56$	$5.03^{c} \pm 0.61$	$7.97^{ns} \pm 2.59$	$7.30^{c} \pm 1.14$

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

1.2 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

ผลของกรดแอสคอร์บิก

ความแน่นเนื้อหรือเนื้อสัมผัสของผลไม้เป็นลักษณะบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของผลไม้ โดยสามารถบอกถึงคุณภาพและอายุการเก็บรักษา การที่เนื้อสัมผัสของผลไม้อ่อนตัวลงเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบหลายอย่าง โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรตที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับเอนไซม์ในผนังเซลล์ เช่น เพกติน โดยในระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้เพกตินจะเกิดดีพอลิเมอไรเซชัน (depolymerization) เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณเพกตินที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ลดลง (Fischer & Bennett,1991) นอกจากนั้นผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำจะมีเนื้อเยื่อที่เกิดบาดแผลขึ้นทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ยอมให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้มากและส่งผลทำให้เกิดการเร่งอัตราการหายใจและการเสื่อมสลายได้เร็วขึ้นจึงทำให้เนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มลงอย่างรวดเร็ว (Kim, Smith & Lee, 1993)

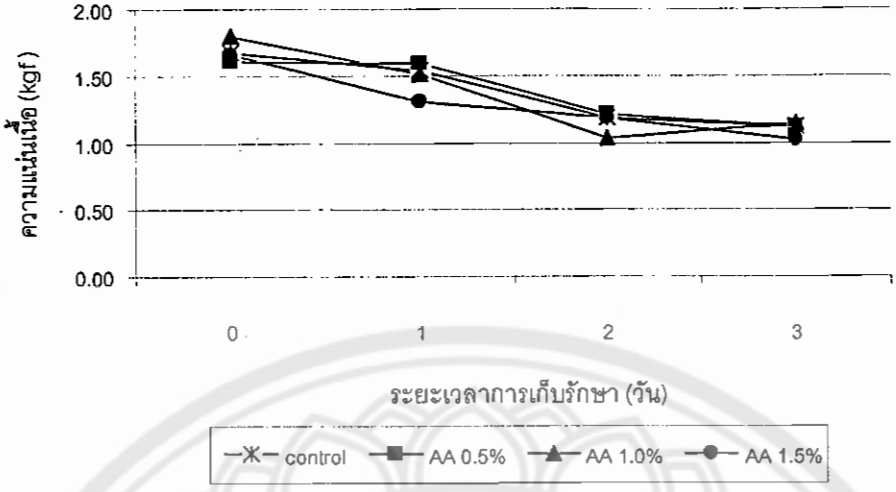
จากภาพ 20 และ 21 จะเห็นได้ว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำจะสูญเสียความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพกติน (protopectin) ไปเป็นเพกติน (pectin) ที่อยู่ในรูปละลายน้ำได้ ทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์เป็นไปอย่างหลวม ๆ จึงทำให้ค่าความแน่นเนื้อลดลง (Hulme, 1971) โดย 2 วันแรกของการเก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดควบคุม ในวันที่ 3 ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 1 นาที สูญเสียความแน่นเนื้อคิดเป็นร้อยละ 38.55 (ตาราง 22) และสูญเสียมากกว่าเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกที่มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่าและชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แนวโน้มทำนองเดียวกับในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกเป็นเวลา 2 นาที แสดงให้เห็นว่ากรดแอสคอร์บิกไม่มีผลในการชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

ผลของกรดซิตริก

ในทำนองเดียวกับกรดแอสคอร์บิกจากผลการทดลอง พบว่า เมื่อเก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำเป็นเวลา 3 วัน ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกทุกระดับความเข้มข้น นาน 1 นาที และ 2 นาที มีความแน่นเนื้อไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดควบคุม (ตาราง 24 และ 25)

ผลของแคลเซียมคลอไรด์

แคลเซียมคลอไรด์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเนื้อสัมผัส โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ นาน 2 นาที ในทุกระดับความเข้มข้นมีความแน่นเนื้อมากกว่าชุดควบคุม (ตาราง 27) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน และเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์จะช่วยชะลอการสูญเสียความแน่นเนื้อได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามผลของระยะเวลาการแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำจะเห็นได้ชัดเจนในกรณีของการใช้แคลเซียมคลอไรด์แช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ นาน 1 นาที เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่แคลเซียมคลอไรด์ทุกระดับความเข้มข้นกับชุดควบคุม (ตาราง 26) ทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์ช่วยให้ผลไม้มีความแข็งแรงและทนต่อการย่อยของเอนไซม์ที่หลั่งออกมาจากเนื้อเยื่อที่เสียหายจากการแปรรูปขั้นต่ำโดย Ca^{2+} สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกตินบริเวณ middle lamella และผนังเซลล์เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (crosslink) ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) บนสาย polygalacturonides และประจุคู่ของ Ca^{2+} โดย Ca^{2+} ทำหน้าที่ดึงหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides สายหนึ่งให้จับกับหมู่คาร์บอกซิลของสาย polygalacturonides อีกสายหนึ่งเกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า egg-box model เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมเพคเตท ที่ไม่ละลายน้ำ (Luna-Gutzman et al.; 1999) ซึ่งแตกต่างกับการทดลองของ Luna-Guzman et al. (1999) ที่พบว่าเวลาที่ใช้ในการแช่ผลแคนตาลูปในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีผลต่ออัตราการหายใจ การแช่แคนตาลูปที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 2.5 เป็นเวลานาน 1 นาทีและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถรักษาความแน่นเนื้อได้เช่นเดียวกับการนำไปแช่เป็นเวลานาน 5 นาที และสามารถเก็บรักษาได้เป็นเวลานาน 10 วัน



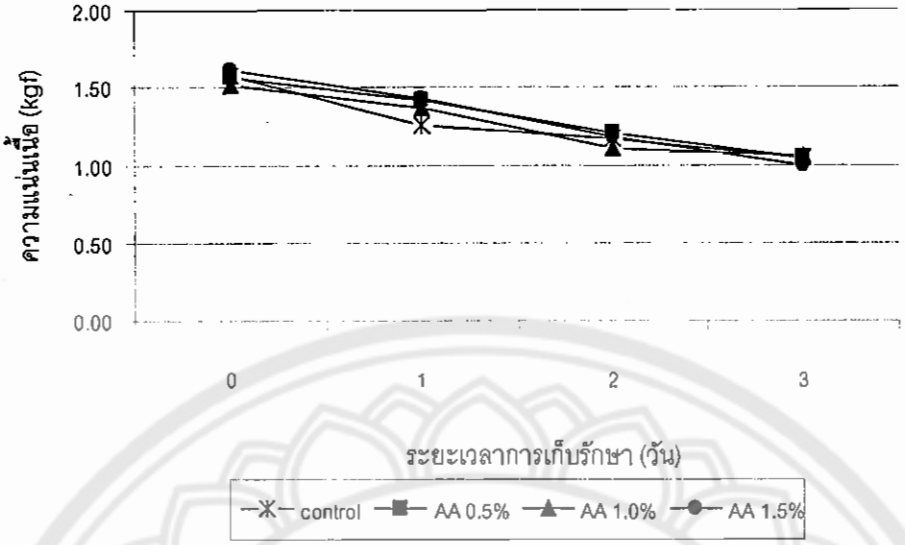
ภาพ 20 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 22 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	1.67 ^{ns} ± 0.13	1.54 ^{ns} ± 0.30	1.19 ^{ns} ± 0.18	1.12 ^{a} ± 0.09
0.5%	1.61 ^{ns} ± 0.15	1.59 ^{ns} ± 0.11	1.21 ^{ns} ± 0.02	1.11 ^{a} ± 0.05
1.0%	1.80 ^{ns} ± 0.25	1.51 ^{ns} ± 0.24	1.04 ^{ns} ± 0.02	1.14 ^{a} ± 0.03
1.5%	1.66 ^{ns} ± 0.07	1.30 ^{ns} ± 0.08	1.18 ^{ns} ± 0.11	1.02 ^{b} ± 0.03

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



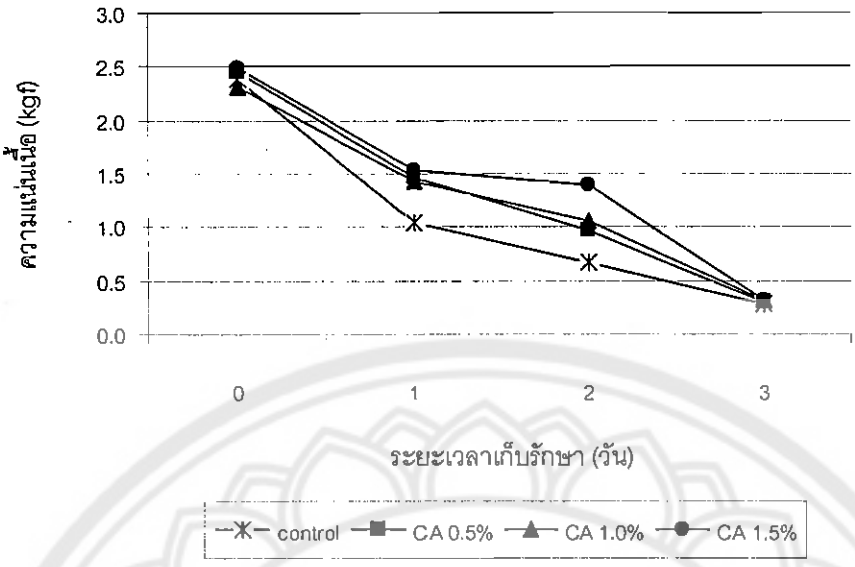
ภาพ 21 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 23 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	1.58 ^{ns} ± 0.02	1.25 ^{ns} ± 0.06	1.17 ^{ns} ± 0.15	1.04 ^{ab} ± 0.02
0.5%	1.57 ^{ns} ± 0.11	1.41 ^{ns} ± 0.64	1.20 ^{ns} ± 0.18	1.04 ^{ab} ± 0.02
1.0%	1.51 ^{ns} ± 0.14	1.37 ^{ns} ± 0.17	1.11 ^{ns} ± 0.21	1.05 ^{a} ± 0.05
1.5%	1.62 ^{ns} ± 0.19	1.43 ^{ns} ± 0.11	1.18 ^{ns} ± 0.12	0.99 ^{b} ± 0.03

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



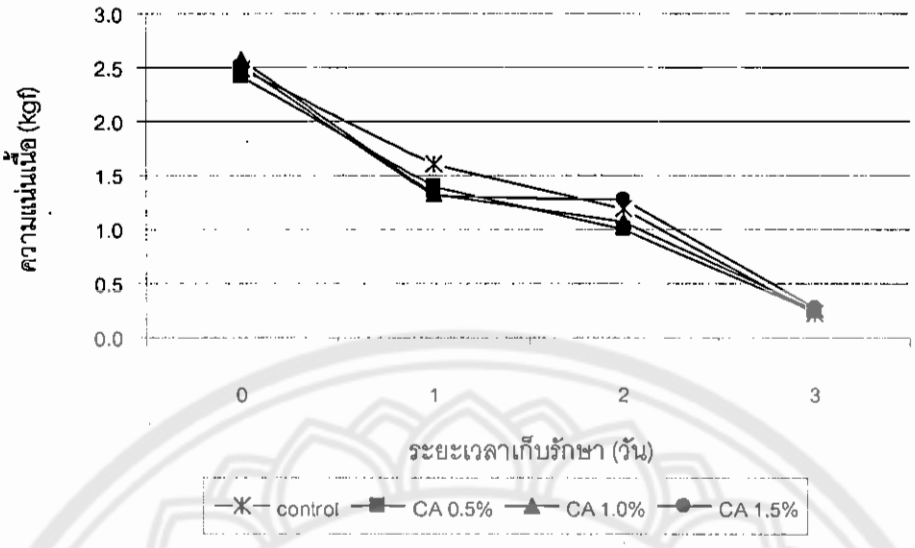
ภาพ 22 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 24 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	2.38 ^{ns} ± 0.31	1.04 ^{b} ± 0.03	0.67 ^{c} ± 0.08	0.29 ^{ns} ± 0.05
0.5%	2.45 ^{ns} ± 0.24	1.47 ^{a} ± 0.27	0.97 ^{bc} ± 0.27	0.31 ^{ns} ± 0.09
1.0%	2.31 ^{ns} ± 0.23	1.42 ^{a} ± 0.01	1.06 ^{ab} ± 0.09	0.32 ^{ns} ± 0.15
1.5%	2.20 ^{ns} ± 0.09	1.54 ^{a} ± 0.12	1.39 ^{a} ± 0.33	0.32 ^{ns} ± 0.09

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



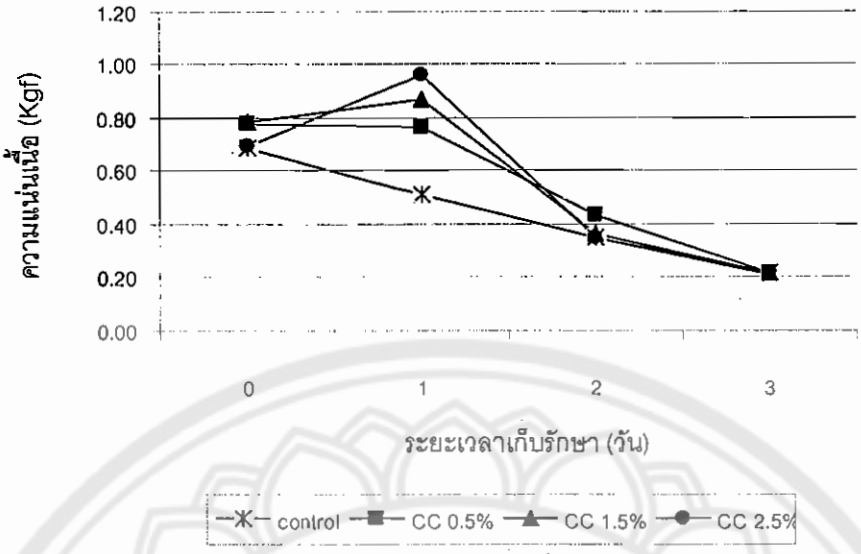
ภาพ 23 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 25 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$2.48^{ns} \pm 0.38$	$1.61^{a} \pm 0.19$	$1.19^{ns} \pm 0.34$	$0.23^{ns} \pm 0.13$
0.5%	$2.42^{ns} \pm 0.17$	$1.40^{b} \pm 0.02$	$1.00^{ns} \pm 0.07$	$0.24^{ns} \pm 0.02$
1.0%	$2.57^{ns} \pm 0.14$	$1.33^{b} \pm 0.03$	$1.07^{ns} \pm 0.09$	$0.26^{ns} \pm 0.02$
1.5%	$2.51^{ns} \pm 0.05$	$1.32^{b} \pm 0.06$	$1.28^{ns} \pm 0.42$	$0.28^{ns} \pm 0.13$

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



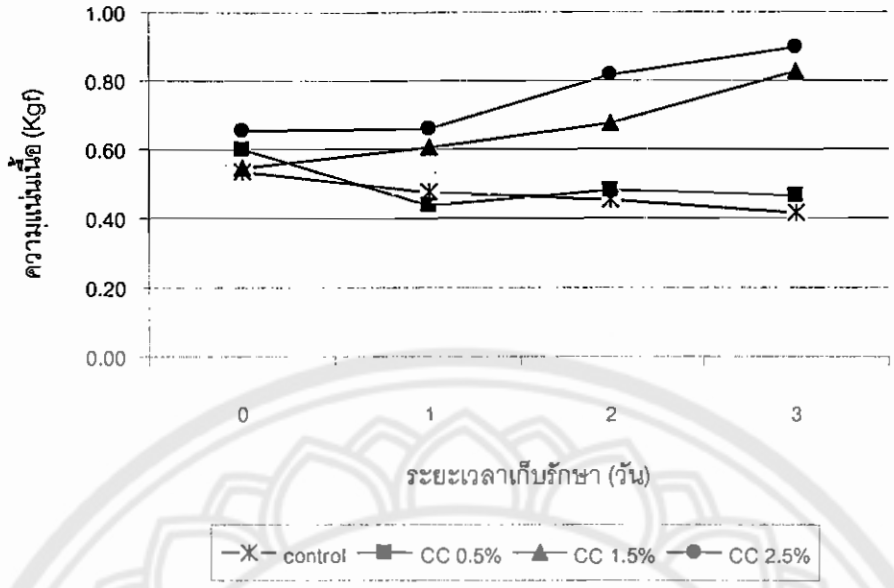
ภาพ 24 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 26 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$0.68^{ns} \pm 0.06$	$0.51^{c} \pm 0.08$	$0.35^{ns} \pm 0.79$	$0.22^{ns} \pm 0.11$
0.5%	$0.77^{ns} \pm 0.07$	$0.76^{b} \pm 0.08$	$0.43^{ns} \pm 0.32$	$0.21^{ns} \pm 0.14$
1.5%	$0.78^{ns} \pm 0.06$	$0.86^{ab} \pm 0.06$	$0.36^{ns} \pm 0.76$	$0.22^{ns} \pm 0.15$
2.5%	$0.69^{ns} \pm 0.06$	$0.96^{a} \pm 0.12$	$0.35^{ns} \pm 0.17$	$0.21^{ns} \pm 0.06$

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 25 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 27 ค่าความแน่นเนื้อค่าของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$0.53^{b} \pm 0.07$	$0.47^{bc} \pm 0.06$	$0.45^{c} \pm 0.06$	$0.41^{b} \pm 0.04$
0.5%	$0.59^{ab} \pm 0.10$	$0.43^{c} \pm 0.07$	$0.47^{c} \pm 0.09$	$0.46^{b} \pm 0.07$
1.5%	$0.54^{ab} \pm 0.09$	$0.60^{ab} \pm 0.15$	$0.67^{b} \pm 0.13$	$0.82^{a} \pm 0.06$
2.5%	$0.65^{a} \pm 0.07$	$0.65^{a} \pm 0.16$	$0.81^{a} \pm 0.12$	$0.89^{a} \pm 0.08$

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. การเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี

2.1 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส

ผลของกรดแอสคอร์บิก

การเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณผิวของผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ มีหลายปัจจัยและสาเหตุหนึ่งที่สำคัญมาจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่มีอากาศทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสารควิโนนกับกรดอะมิโนก่อให้เกิดเป็นสารสีน้ำตาลที่ไม่ละลายน้ำซึ่งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อลักษณะปรากฏและทำให้อายุการเก็บรักษาของผลไม้สั้นลง (Sapers& Miller,1998)

จากผลการทดลองพบว่า ในวันแรก (วันที่ 0) ของการเก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 1.5 นาน 1 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ภาพ 28) ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีคุณสมบัติเป็น Reducing agent (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2536) ที่สามารถเปลี่ยน o – quinine กลับเป็น Phenolic compound ก่อนที่จะเกิดการรวมตัวเป็นสีน้ำตาลเข้มของสารประกอบ Malanin จึงทำให้สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลได้ (Gil, Jamrs & Adel, 1998) ในขณะที่เพิ่มเวลาในการแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำเป็นเวลา 2 นาที กลับพบว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกทุกระดับความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดควบคุม ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากรดแอสคอร์บิกเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอากาศและแสงเป็นเวลานานจะถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2541) ทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ อุไรวรรณ เทิดบารมี (2543) ที่ทำการทดลองนำผลลิ้นจี่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 10, 20 และ 30 นาที พบว่าผลลิ้นจี่ที่ผ่านการแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิก นาน 30 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสูงกว่าผลลิ้นจี่ที่ใช้เวลาในการแช่กรดแอสคอร์บิก นาน 10 และ 20 นาที ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกเกิดการสลายตัว โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน แล้วให้ H_2O_2 ซึ่งมีผลให้แอนโทไซยานินเสียสภาพไปเป็นผลให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับแอนโทไซยานินที่เสียสภาพนี้ได้ง่ายขึ้น และการเพิ่มระดับความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกสูงขึ้นมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสเห็นได้ชัดเจนในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 นาน 2 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับชุดควบคุมโดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรด

แอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ไม่สอดคล้องกับค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 2 นาที ซึ่งมีค่า BI สูงกว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 29) จึงทำให้เห็นสีน้ำตาลคล้ำบนผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้อย่างชัดเจน อาจเป็นไปได้ว่าการเกิดสีน้ำตาลคล้ำนอกจากมีสาเหตุเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสแล้วยังมีสาเหตุมาจากการใช้กรดแอสคอร์บิกในปริมาณมากเกินไปจึงทำให้เกิดสีน้ำตาลขึ้นได้จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) หรือจากเอนไซม์ตัวอื่น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ผลของกรดซิตริก

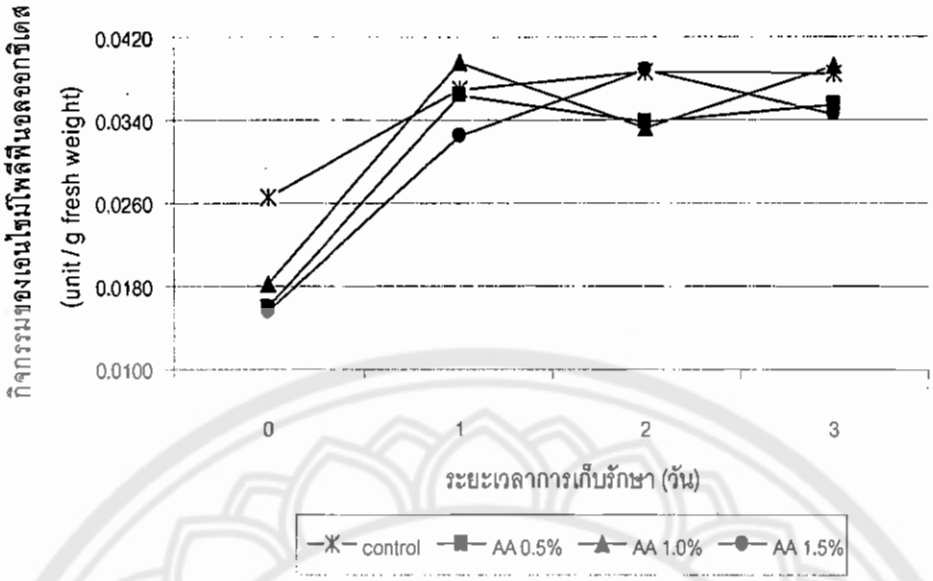
การใช้กรดซิตริกมีผลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส พบว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 - 1.5 ทั้งนาน 1 และ 2 นาที มีกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสต่ำกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 30 และ 31) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 นาน 1 นาที มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสน้อยกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 39.49 เนื่องจากกรดซิตริกนอกจากใช้เป็นสารเพิ่มความเป็นกรดในอาหารแล้วยังมีประสิทธิภาพดีมากในการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส โดยกรดซิตริกจะไปจับกับโลหะที่ปนเปื้อนมา (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) เกิด chelation กับโมเลกุลของทองแดงที่เป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเพิ่มเวลาและระดับความเข้มข้นมากขึ้น (Wiley, 1994) และในวันแรก (วันที่ 0) สามารถเห็นความแตกต่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกได้ทันทีซึ่งแตกต่างจากการแช่กรดแอสคอร์บิกที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดควบคุม ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่ากรดซิตริกช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ดีกว่ากรดแอสคอร์บิกเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอากาศและแสงเป็นเวลานาน (Berg & Akiyoshi, 1956) ในทำนองเดียวกัน Yueming, Litao & Jianrong (2004) รายงานว่า การใช้กรดซิตริก 0.1 โมลาร์ แช่ผลเกาลัดแปรรูปขั้นต่ำเป็นเวลานาน 3 นาที และวางให้แห้งในอากาศ 30 นาที บรรจุใส่ถาดปิดด้วยฟิล์มเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและสามารถรักษาคุณภาพของผลเกาลัดที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำได้นาน 12 วัน สังเกตได้จากสี

บริเวณผิวของผลเกาลัดเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้แช่กรดซิตริกซึ่งมีการเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลหลังจากวันที่ 6 ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส ได้สอดคล้องกับ ค่า BI นั่นคือเมื่อเพิ่มเวลาและระดับความความเข้มข้นของกรดซิตริกให้สูงขึ้นจะลดอัตราการเกิดสีน้ำตาลได้ดีขึ้น แสดงว่าสามารถใช้สารละลายกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นได้มากถึงระดับร้อยละ 1.5 แช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำเป็นเวลา นาน 2 นาที จะสามารถช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลได้

ผลของแคลเซียมคลอไรด์

การนำผลไม้แปรรูปขั้นต่ำไปแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ นอกจากช่วยปรับปรุงความกรอบหรือความแน่นเนื้อแล้วสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ยังช่วยลดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้อีกด้วย Luna -Gutzman et al. (1999) จากผลการทดลอง พบว่า ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสน้อยกว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นอื่น ๆ และชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 32) อย่างไรก็ตามแคลเซียมคลอไรด์มีอิทธิพลต่อการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสน้อยกว่ากรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการควบคุมการเกิดสีน้ำตาลเป็นผลทางอ้อม โดยแคลเซียมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์เป็นผลให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลที่เป็นสารตั้งต้นได้ช้าลง (Bangerth, 1979)



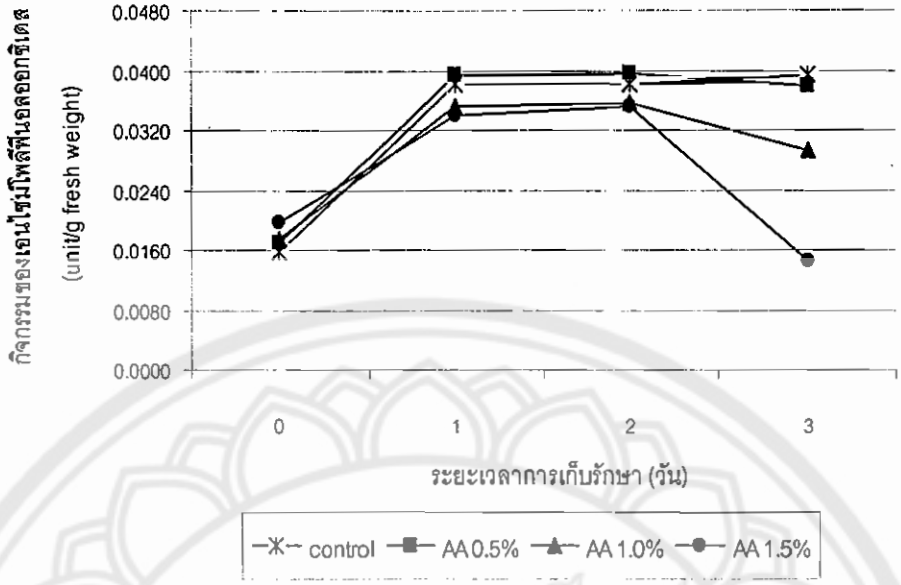
ภาพ 26 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 28 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0265 ^{a}± 0.0083	0.0369 ^{ab}±0.0014	0.0387 ^{a}± 0.0018	0.0385 ^{ns}±0.0036
0.5%	0.0159^{b} ± 0.0028	0.0364 ^{ab}±0.0004	0.0339 ^{ab}±0.0013	0.0354 ^{ns}±0.0028
1.0%	0.0182 ^{b}± 0.0004	0.0395 ^{a}± 0.0029	0.0332 ^{b}± 0.0013	0.0392 ^{ns}±0.0013
1.5%	0.0156 ^{b}± 0.0034	0.0326 ^{b} ±0.0054	0.0389 ^{a}± 0.0012	0.0346 ^{ns}±0.0047

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



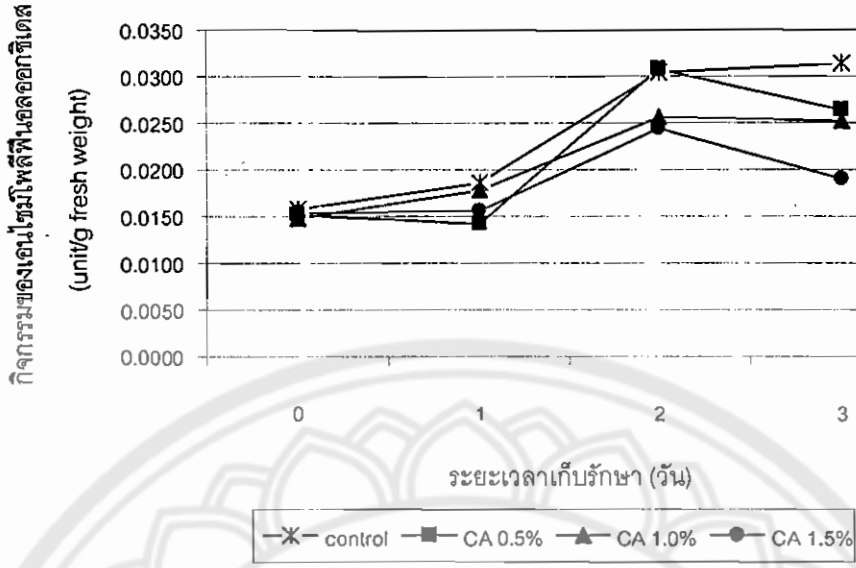
ภาพ 27 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 29 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0158 ^{ns}±0.0046	0.0381 ^{ns}±0.0017	0.0382 ^{ns}±0.0028	0.0394 ^{a}±0.0050
0.5%	0.0171 ^{ns}±0.0030	0.0393 ^{ns}±0.0016	0.0397 ^{ns}±0.0007	0.0379 ^{a}±0.0007
1.0%	0.0176 ^{ns}±0.0022	0.0352 ^{ns}±0.0047	0.0358 ^{ns}±0.0027	0.0292 ^{b}±0.0040
1.5%	0.0197 ^{ns}±0.0002	0.0339 ^{ns}±0.0072	0.0353 ^{ns}±0.0065	0.0146 ^{c}±0.0007

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



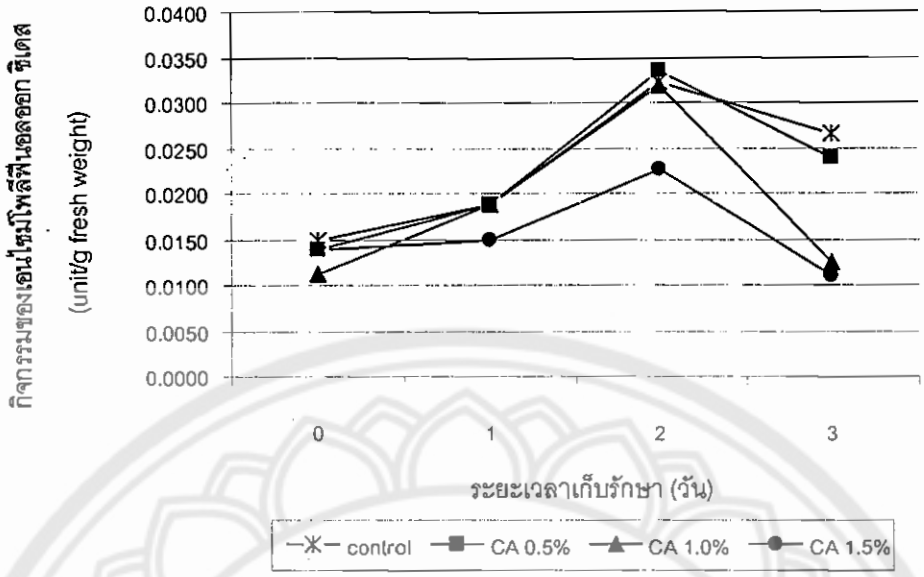
ภาพ 28 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 30 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0158 ^{ns}±0.0009	0.0186 ^{a}± 0.0008	0.0304 ^{a}± 0.0014	0.0314 ^{a}± 0.0014
0.5%	0.0153 ^{ns}±0.0007	0.0142 ^{b}± 0.0004	0.0308 ^{a}± 0.0029	0.0265 ^{b}± 0.0019
1.0%	0.0149 ^{ns}±0.0007	0.0179 ^{a}± 0.0009	0.0257 ^{b}± 0.0006	0.0253 ^{b}± 0.0012
1.5%	0.0155 ^{ns}±0.0014	0.0157 ^{b} ±0.0015	0.0245 ^{b}± 0.0013	0.0190 ^{c}± 0.0005

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

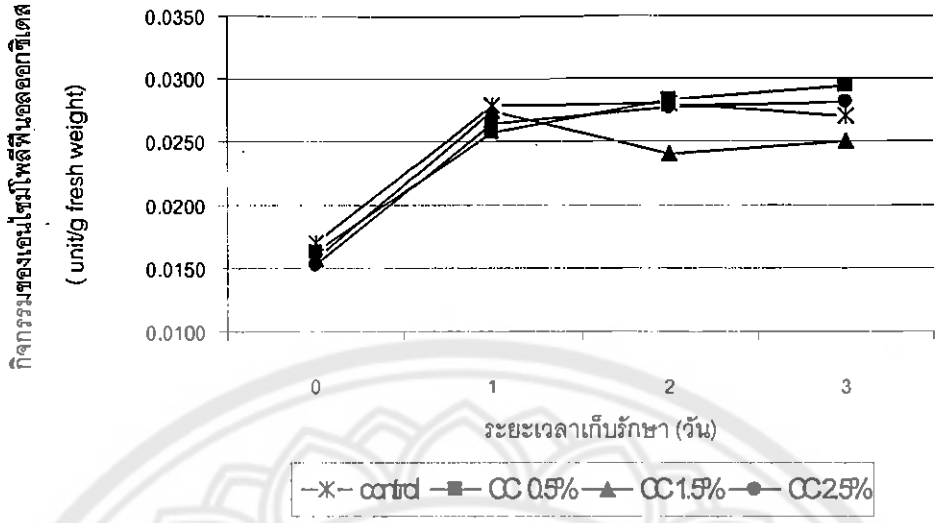


ภาพ 29 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 31 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0150 ^{a}± 0.0015	0.0187 ^{a}±0.0012	0.0322 ^{b}± 0.0005	0.0266 ^{a}±0.0005
0.5%	0.0139 ^{a}± 0.0010	0.0187 ^{a}±0.0009	0.0335 ^{a}±0.0008	0.0238 ^{a}±0.0093
1.0%	0.0113 ^{b}± 0.0005	0.0188 ^{a}± 0.0007	0.0319 ^{b}± 0.0003	0.0125 ^{b}±0.0022
1.5%	0.0138 ^{a}± 0.0013	0.0149 ^{b} ±0.0015	0.0227 ^{c}± 0.0002	0.0110 ^{b}±0.0032

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

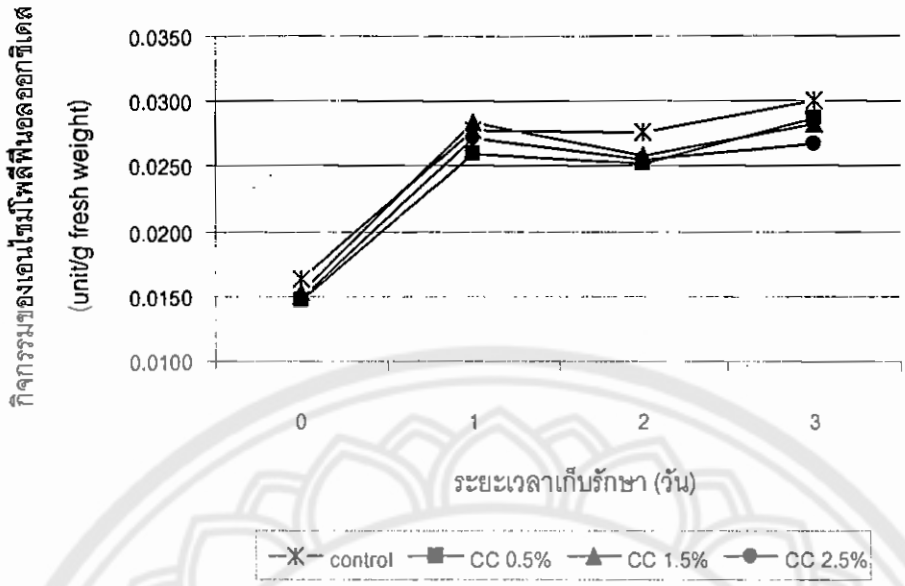


ภาพ 30 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 32 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0169 ^{a}± 0.0011	0.0279 ^{a}± 0.0008	0.0280 ^{a}± 0.0004	0.0271 ^{ab}± 0.0039
0.5%	0.0163 ^{ab}±0.0005	0.0258 ^{b}± 0.0021	0.0283 ^{a}± 0.0012	0.0295 ^{a}± 0.0018
1.5%	0.0157 ^{ab}±0.0006	0.0275 ^{ab}±0.0008	0.0241 ^{b}± 0.0013	0.0251 ^{b}± 0.0019
2.5%	0.0152 ^{b}± 0.0011	0.0265 ^{ab}±0.0006	0.0277 ^{a}± 0.0025	0.0282 ^{ab}±0.0012

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพ 31 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 33 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0164 ^{a}± 0.0012	0.0277 ^{a}±0.0006	0.0276 ^{ns}±0.0009	0.0301 ^{ns}±0.0009
0.5%	0.0147 ^{b}±0.0007	0.0259 ^{b}±0.0014	0.0252 ^{ns}±0.0020	0.0287 ^{ns}±0.0006
1.5%	0.0153 ^{ab}±0.0009	0.0284 ^{a}±0.0009	0.0258 ^{ns}±0.0024	0.0282 ^{ns}±0.0011
2.5%	0.0148 ^{ab}±0.0012	0.0271 ^{ab}±0.0004	0.0255 ^{ns}±0.0005	0.0267 ^{ns}±0.0039

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และค่าความเป็นกรด – ด่าง

ผลของกรดแอสคอร์บิก

นอกจากความแน่นเนื้อที่สามารถบอกถึงความสุกของผลไม้แล้ว ปริมาณ ของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และค่าความเป็นกรด – ด่าง ก็เป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับการสุกของผลไม้ด้วยเช่นกัน โดยแป้งที่สะสมในผลจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยการย่อยสลายของเอนไซม์อะไมเลส (สายชล เกตุษา, 2528) ในผลไม้สุกจะมีน้ำตาลส่วนใหญ่ในรูปของกลูโคสและฟรุกโตส (Wiley, 1994) ทั้งสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ จากนั้นน้ำตาลจะถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจซึ่งมีกรดอินทรีย์เป็นสับสเตรท ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ลดลงจึงส่งผลให้กับค่าความเป็นกรด-ด่างในผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

จากผลการทดลอง พบว่า ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 1.5 นาน 1 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 34) ทั้งนี้เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกมีส่วนช่วยให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง ในอาหารลดลง (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) จึงมีผลต่อกระบวนการหายใจของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำทำให้เอนไซม์ Phosphofructokinase (PFK) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่ควบคุมในวิถี Glycolysis มีกิจกรรมลดลงและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์ Succinic acid dehydrogenase (SDH) ใน Kreb's cycle ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีความไวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด - ด่าง (Mathooko, 1996) ทำให้ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกมีอัตราการหายใจช้ากว่าชุดควบคุมโดยสามารถชะลอการสร้างน้ำตาลได้ (Paterson, 1970) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดที่ไตเตรทได้จะมีปริมาณมากขึ้นเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นสูงขึ้น (ตาราง 36) จึงส่งผลให้ค่าความเป็นกรด – ด่าง มีน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 38) แสดงว่ากรดแอสคอร์บิกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำโดยกรดแอสคอร์บิกจะชะลอการสุกของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้มากกว่าชุดควบคุม สอดคล้องกับผลการทดลองของ อุไรวรรณ เทิดบารมี (2543) รายงานว่า ผลลิ้นจี่แปรรูปขั้นต่ำแช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ1.0 โมลาร์ นาน 10, 20 และ 30 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 28 วัน จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทำให้ชุดควบคุมมีอัตราการหายใจสูงเนื่องจากมีการผลิตเอทิลีนสูงกว่าผลลิ้นจี่แปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิก ในขณะที่เพิ่มเวลาในการแช่กรดแอสคอร์บิก นาน 2 นาที

พบว่า ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 1.5 กับชุดควบคุมมีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตาราง 35) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ากรดแอสคอร์บิกเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอากาศและแสงเป็นเวลานานจะถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็ว (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) ทำให้ไม่สามารถชะลอการสร้างน้ำตาลได้ ในขณะที่ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้และค่าความเป็นกรด – ด่าง (ตาราง 37 และ 39) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกับการใช้เวลาในการแช่ นาน 1 นาที

ผลของกรดซิตริก

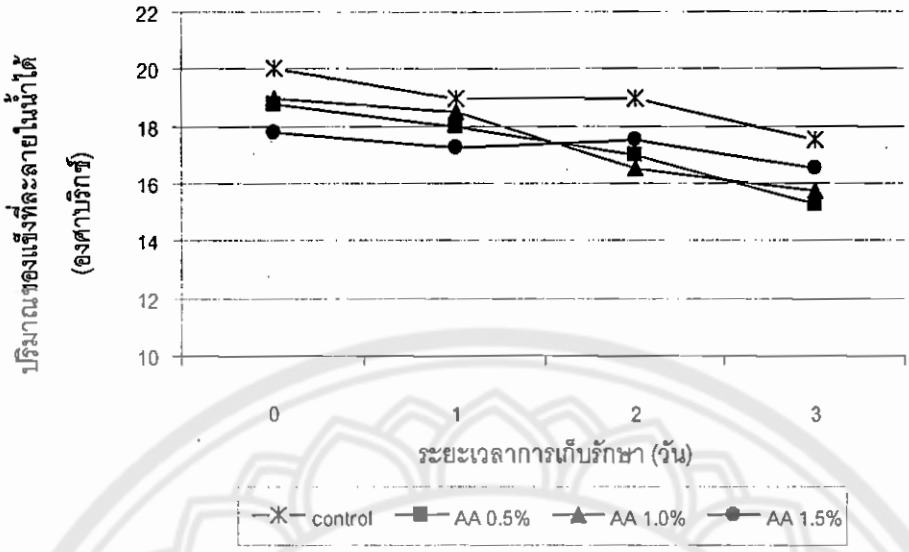
การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ และค่าความเป็นกรด – ด่าง สำหรับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยกรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกับการใช้กรดแอสคอร์บิกแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากกรดซิตริกและกรดแอสคอร์บิกทำหน้าที่ Acidulant ด้วยการลดค่าความเป็นกรด-ด่างเหมือนกัน (Michael, 1991) จึงส่งผลให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตาราง 40 และ 41) และมีปริมาณกรดที่ไตเตรทได้มีปริมาณมากกว่าชุดควบคุม (ตาราง 42 และ 43) โดยจะเห็นผลของกรดซิตริกได้อย่างชัดเจนเมื่อแช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูงสุดเป็นเวลา 2 นาที ที่ทำการศึกษาในที่นี้ คือ ร้อยละ 1.5 ในทำนองเดียวกับการศึกษาของ อุไรวรรณ์ เทิดบารมี (2543) ได้รายงานว่า ผลลิ้นจี่ที่แช่กรดซิตริกความเข้มข้น 0.5 และ1.0 โมลาร์ นาน 10, 20 และ 30 นาที มีการสร้างน้ำตาลหรือปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้น้อยกว่าชุดควบคุมในช่วงแรกของการเก็บรักษาเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิกแต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นผลลิ้นจี่จะมีความหวานเพิ่มขึ้นในขณะที่มีรสเปรี้ยวลดลง โดยกรดซิตริกสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานถึง 42 วัน ซึ่งแตกต่างจากการใช้กรดแอสคอร์บิกที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้เพียง 28 วัน เท่านั้น

ผลของแคลเซียมคลอไรด์

ในทำนองเดียวกับผลของกรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริก ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 2.5 นาน 1 นาที มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้น้อยกว่าชุดควบคุม (ตาราง 46) หรือผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยแคลเซียมคลอไรด์มีการสร้างน้ำตาลสำหรับกระบวนการหายใจน้อยกว่าชุดควบคุมทั้งนี้เนื่องจากสารละลาย

แคลเซียมคลอไรด์สามารถช่วยชะลอเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ผลไม้ได้จึงมีผลให้อัตราการหายใจต่ำลง (รัชฎา ตั้งวงค์ไชย และ นัฏชรี ศรีบูรณศร, 2548) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ มนตรี กลิ่นระรวย (2543) ที่รายงานว่าผลฝรั่งแช่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 นาน 2 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สามารถลดอัตราการหายใจการผลิตเอทิลินได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่า

อย่างไรก็ตามปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่แคลเซียมคลอไรด์มีน้อยกว่าและมีค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p. < 0.05$) (ตาราง 48 ถึง 51) ซึ่งแตกต่างกับการใช้กรดแอสคอร์บิกและกรดซิตริกในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไม่มีคุณสมบัติในการลดค่าความเป็นกรด - ด่าง กรดอินทรีย์จึงถูกใช้เป็นสับสเตรทในกระบวนการหายใจ ทำให้ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ลดลง ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในผลไม้มีค่าเพิ่มขึ้น (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542)

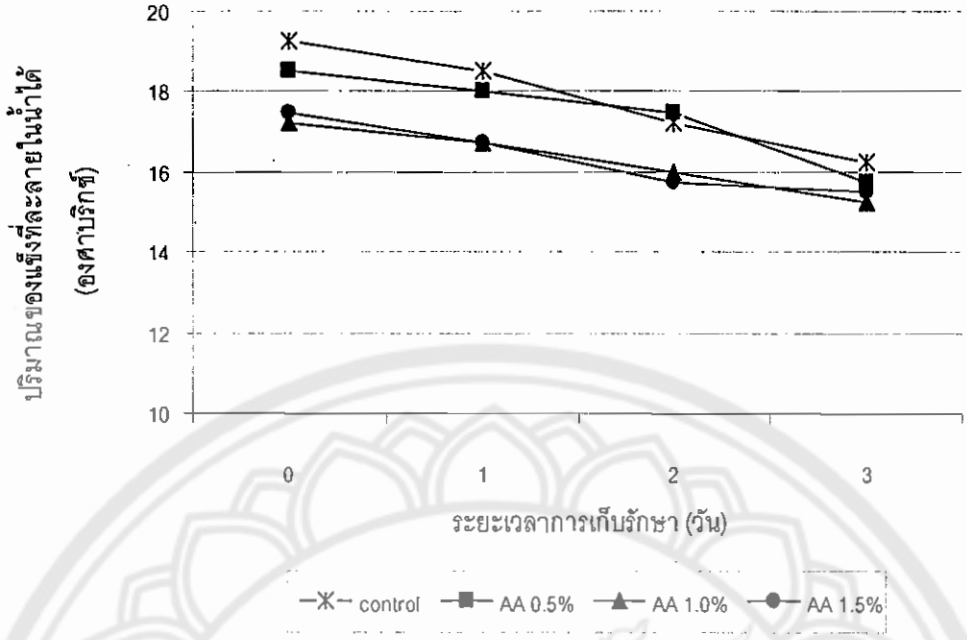


ภาพ 32 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 34 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	20.00 ^{a} ± 0.82	19.00 ^{a} ± 0.82	19.00 ^{a} ± 1.15	17.50 ^{a} ± 0.58
0.5%	18.75 ^{bc} ± 0.96	18.00 ^{ab} ± 0.82	17.00 ^{b} ± 0.82	15.25 ^{c} ± 0.50
1.0%	19.00 ^{ab} ± 0.00	18.50 ^{ab} ± 0.58	16.50 ^{b} ± 1.29	15.75 ^{bc} ± 0.50
1.5%	17.75 ^{c} ± 0.50	17.25 ^{c} ± 0.96	17.50 ^{ab} ± 0.58	16.50 ^{b} ± 0.58

a-c ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



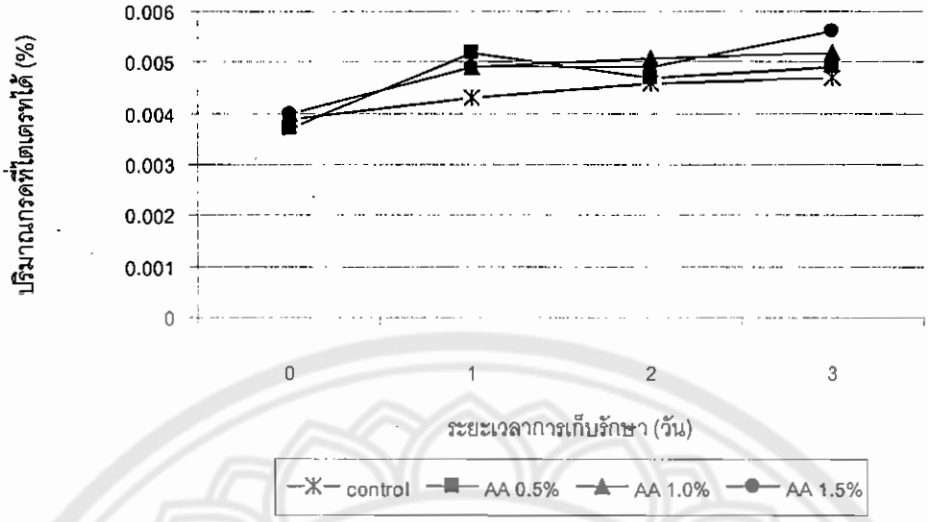
ภาพ 33 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 35 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	19.25 ^{a} ± 0.50	18.50 ^{a} ± 0.58	17.25 ^{a} ± 0.50	16.25 ^{ns} ± 0.50
0.5%	18.50 ^{a} ± 0.58	18.00 ^{a} ± 0.82	17.50 ^{a} ± 0.58	15.75 ^{ns} ± 0.96
1.0%	17.25 ^{b} ± 0.50	16.75 ^{b} ± 0.96	16.00 ^{b} ± 0.82	15.25 ^{ns} ± 0.50
1.5%	17.50 ^{b} ± 0.58	16.75 ^{b} ± 0.50	15.75 ^{b} ± 0.96	15.50 ^{ns} ± 0.58

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



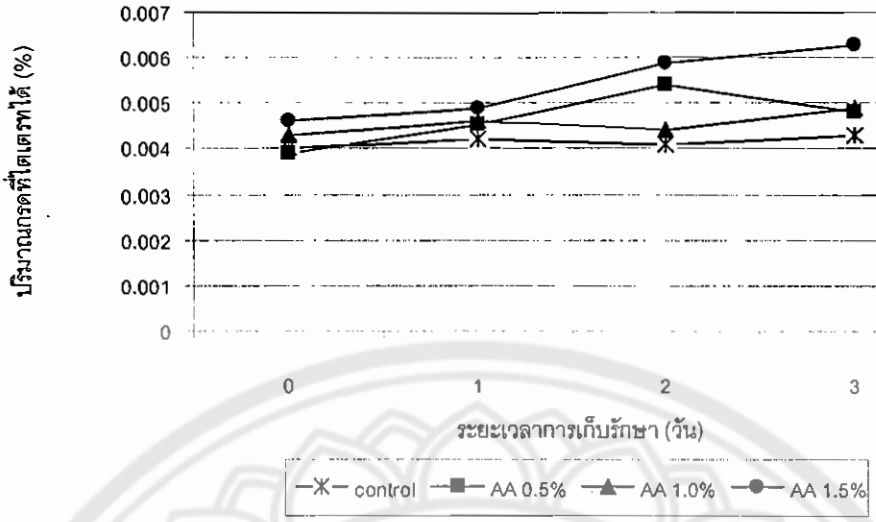
ภาพ 34 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 36 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0039 ^{ns}±0.0053	0.0043 ^{ns}±0.0003	0.0046 ^{ns}±0.0003	0.0047 ^{b}± 0.0002
0.5%	0.0037 ^{ns}±0.0034	0.0052 ^{ns}±0.0003	0.0047 ^{ns}±0.0002	0.0049 ^{b}± 0.0003
1.0%	0.0040 ^{ns}±0.0020	0.0049 ^{ns}±0.0002	0.0051 ^{ns}±0.0005	0.0052 ^{b}± 0.0003
1.5%	0.0040 ^{ns}±0.0020	0.0049 ^{ns}±0.0003	0.0049 ^{ns}±0.0002	0.0056 ^{a}± 0.0003

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

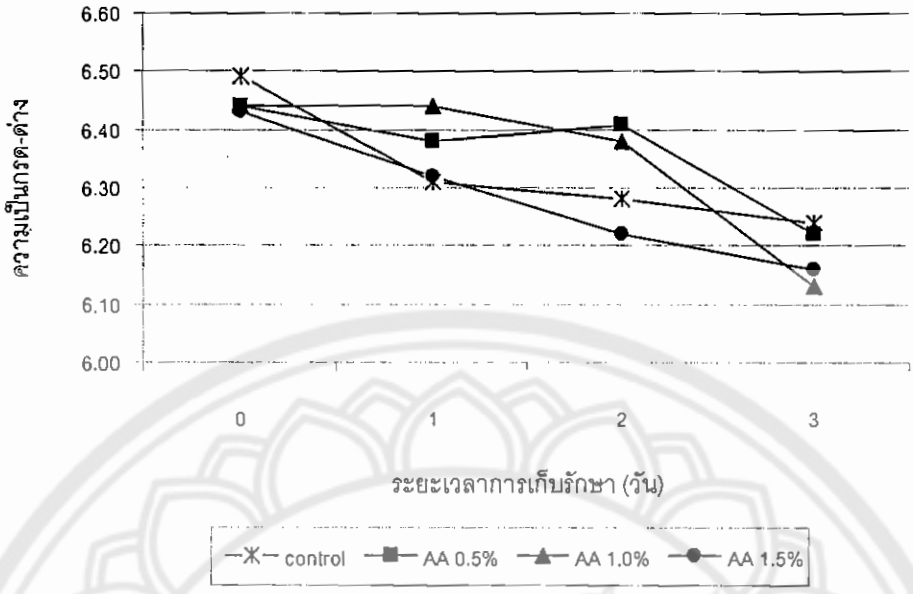


ภาพ 35 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 37 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0040 ^{ab}±0.0005	0.0042 ^{a}±0.0003	0.0041 ^{c}±0.0002	0.0043 ^{c}± 0.0002
0.5%	0.0039 ^{b}±0.0003	0.0045 ^{a}±0.0002	0.0054 ^{b}±0.0002	0.0048 ^{b}± 0.0002
1.0%	0.0043 ^{ab}±0.0003	0.0046 ^{ab}±0.0003	0.0044 ^{c}±0.0002	0.0049 ^{b}± 0.0003
1.5%	0.0046 ^{a}±0.0006	0.0049 ^{a}±0.0003	0.0059 ^{a}±0.0003	0.0063 ^{a}± 0.0003

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



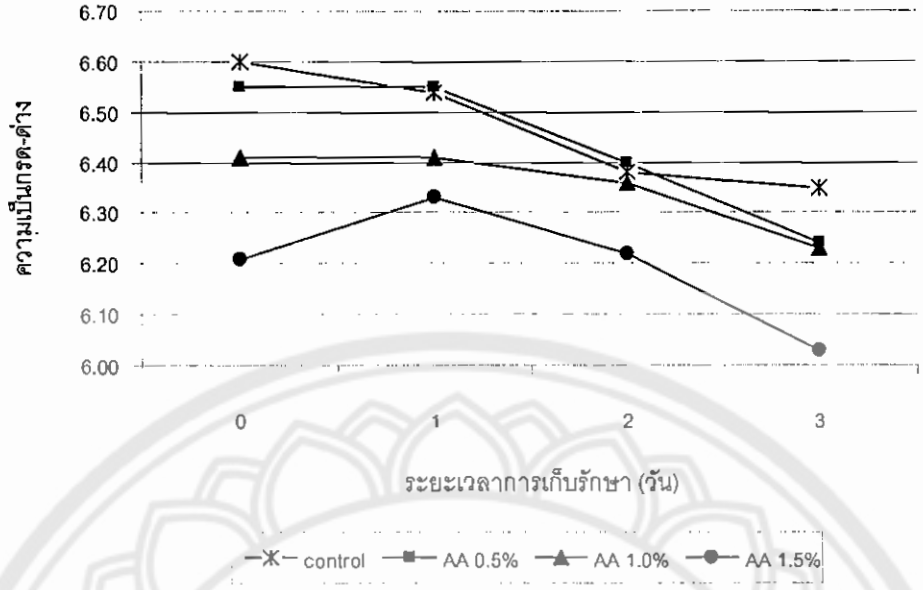
ภาพ 36 ค่าความเป็นกรด -ด่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 38 ค่าความเป็นกรด - ด่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$6.49^{ns} \pm 0.02$	$6.31^{c} \pm 0.02$	$6.28^{b} \pm 0.02$	$6.24^{a} \pm 0.01$
0.5%	$6.44^{ns} \pm 0.05$	$6.38^{b} \pm 0.03$	$6.41^{a} \pm 0.02$	$6.22^{a} \pm 0.02$
1.0%	$6.44^{ns} \pm 0.01$	$6.44^{a} \pm 0.01$	$6.38^{a} \pm 0.01$	$6.13^{b} \pm 0.02$
1.5%	$6.43^{ns} \pm 0.05$	$6.32^{c} \pm 0.01$	$6.22^{c} \pm 0.01$	$6.16^{b} \pm 0.03$

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

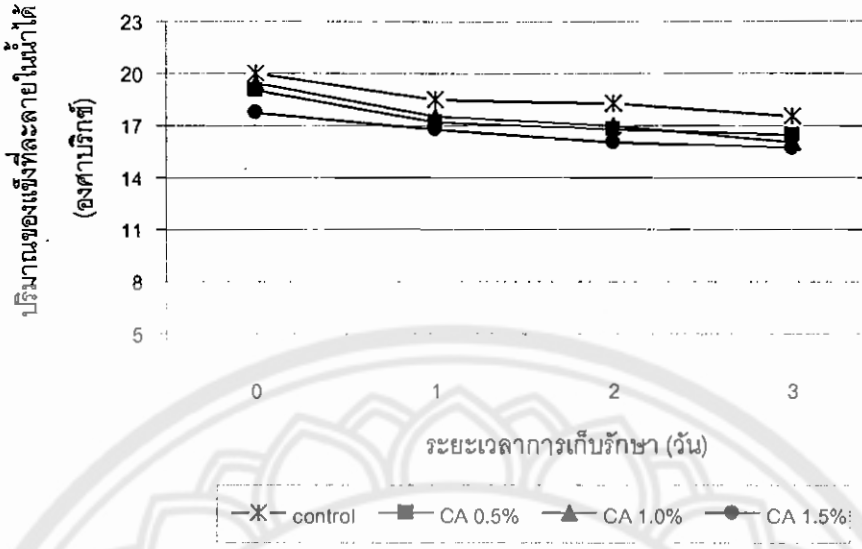


ภาพ 37 ค่าความเป็นกรด - ด่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 39 ค่าความเป็นกรด – ด่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	6.60 ^{a} ± 0.01	6.54 ^{a} ± 0.01	6.38 ^{ab} ± 0.03	6.35 ^{a} ± 0.03
0.5%	6.55 ^{b} ± 0.01	6.55 ^{a} ± 0.03	6.40 ^{a} ± 0.01	6.24 ^{b} ± 0.01
1.0%	6.41 ^{c} ± 0.01	6.41 ^{b} ± 0.01	6.36 ^{b} ± 0.01	6.23 ^{b} ± 0.01
1.5%	6.21 ^{d} ± 0.03	6.33 ^{c} ± 0.01	6.22 ^{c} ± 0.02	6.03 ^{c} ± 0.02

a – d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

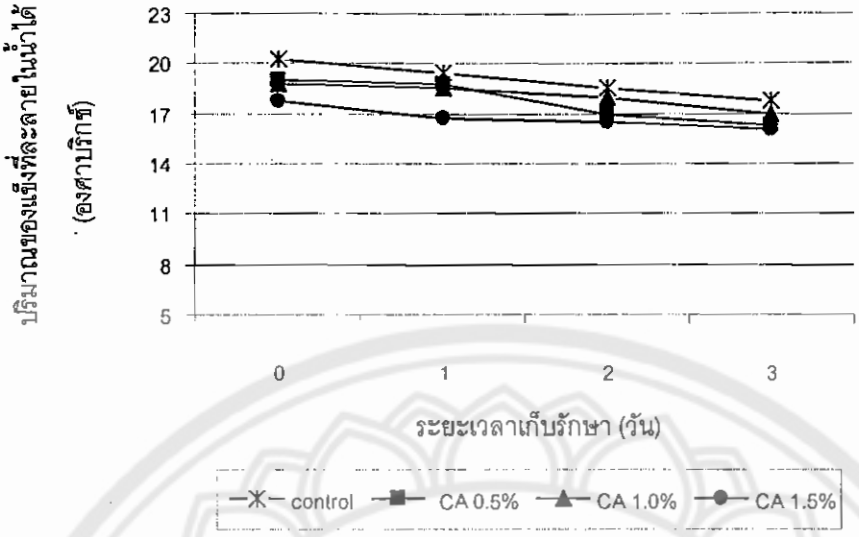


ภาพ 38 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 40 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	20.00 ^{a} ± 0.82	18.50 ^{a} ± 0.58	18.25 ^{a} ± 0.96	17.50 ^{a} ± 0.58
0.5%	19.00 ^{a} ± 0.82	17.25 ^{b} ± 0.50	16.75 ^{b} ± 0.50	16.50 ^{b} ± 0.58
1.0%	19.50 ^{a} ± 0.58	17.50 ^{ab} ±0.58	17.00 ^{b} ± 0.00	16.00 ^{b} ± 0.82
1.5%	17.75 ^{b} ± 0.96	16.75 ^{b} ±0.96	16.00 ^{b} ± 0.82	15.75 ^{b} ± 0.50

a-b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

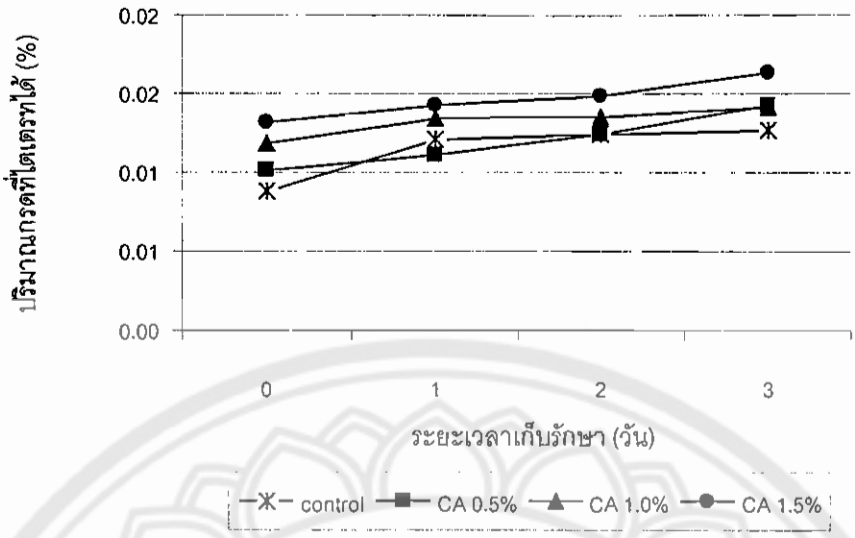


ภาพ 39 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 41 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	20.25 ^{a} ± 0.50	19.50 ^{a} ±0.58	18.50 ^{a} ±0.58	17.75 ^{a} ± 0.96
0.5%	19.00 ^{ab} ±0.82	18.75 ^{a} ± 0.96	17.00 ^{bc} ±0.82	16.25 ^{b} ± 0.50
1.0%	18.75 ^{b} ± 0.96	18.50 ^{a} ± 0.58	18.00 ^{b} ±0.82	17.00 ^{ab} ±0.82
1.5%	17.75 ^{b} ± 0.06	16.75 ^{b} ±0.96	16.50 ^{c} ±1.29	16.00 ^{c} ± 0.82

a-c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



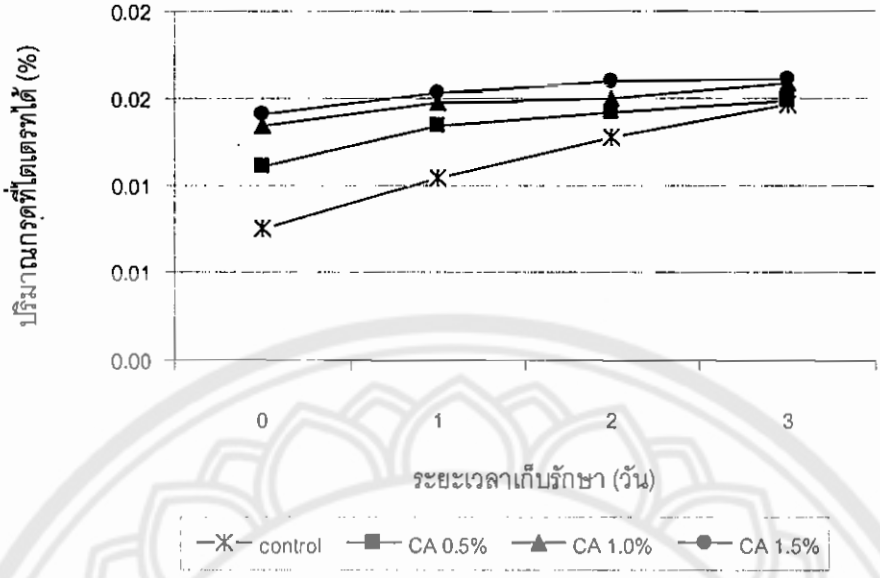
ภาพ 40 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 42 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0088 ^{d} ± 0.0003	0.0121 ^{b} ± 0.0011	0.0124 ^{c} ± 0.0003	0.0127 ^{c} ±0.0005
0.5%	0.0101 ^{c} ±0.0004	0.0111 ^{b} ± 0.0005	0.0124 ^{c} ±0.0003	0.0143 ^{b} ±0.0008
1.0%	0.0118 ^{b} ± 0.0005	0.0134 ^{a} ± 0.0003	0.0135 ^{b} ± 0.0004	0.0142 ^{b} ±0.0004
1.5%	0.0132 ^{a} ±0.0006	0.0143 ^{a} ± 0.0003	0.0149 ^{a} ± 0.0004	0.0163 ^{a} ±0.0004

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

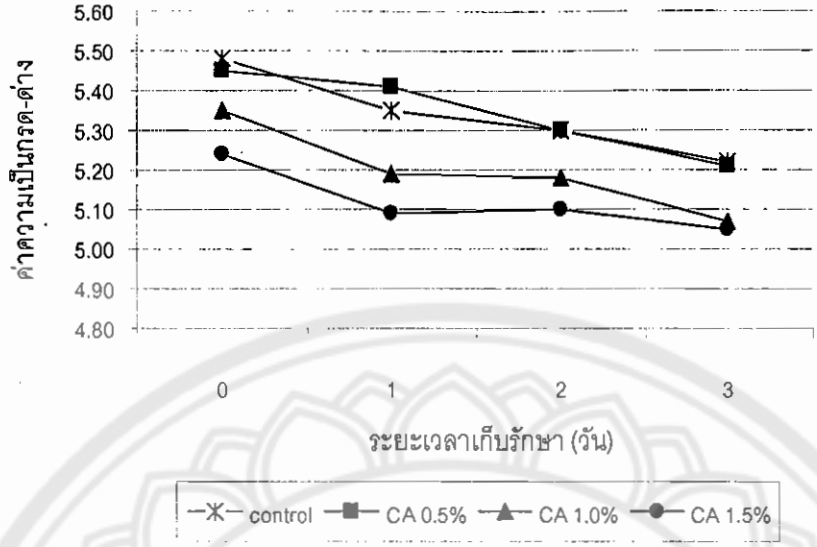


ภาพ 41 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 43 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริก ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0075 ^{c} ± 0.0003	0.0104 ^{c} ± 0.0007	0.0127 ^{c} ± 0.0003	0.0146 ^{b} ± 0.0005
0.5%	0.0111 ^{b} ± 0.0009	0.0134 ^{b} ± 0.0004	0.0142 ^{b} ± 0.0004	0.0149 ^{b} ± 0.0004
1.0%	0.0134 ^{a} ± 0.0004	0.0148 ^{a} ± 0.0003	0.0150 ^{b} ± 0.0008	0.0159 ^{a} ± 0.0003
1.5%	0.0141 ^{a} ± 0.0005	0.0153 ^{a} ± 0.0005	0.0160 ^{a} ± 0.0003	0.0161 ^{a} ± 0.0006

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

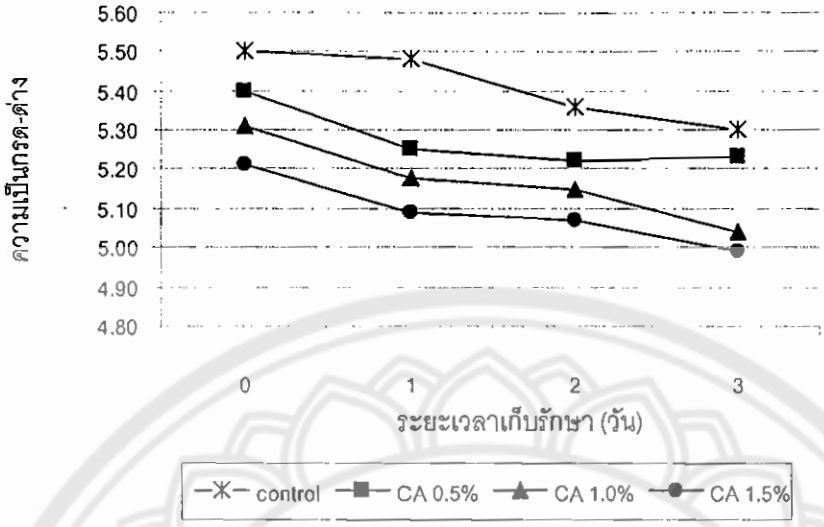


ภาพ 42 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 44 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	5.48 ^{a} ± 0.06	5.35 ^{a} ± 0.06	5.30 ^{a} ± 0.01	5.22 ^{a} ± 0.04
0.5%	5.45 ^{a} ± 0.03	5.41 ^{a} ± 0.08	5.30 ^{a} ± 0.01	5.21 ^{a} ± 0.03
1.0%	5.35 ^{b} ± 0.04	5.19 ^{b} ± 0.05	5.18 ^{b} ± 0.02	5.07 ^{b} ± 0.13
1.5%	5.24 ^{c} ± 0.04	5.09 ^{c} ± 0.02	5.10 ^{c} ± 0.01	5.05 ^{b} ± 0.04

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

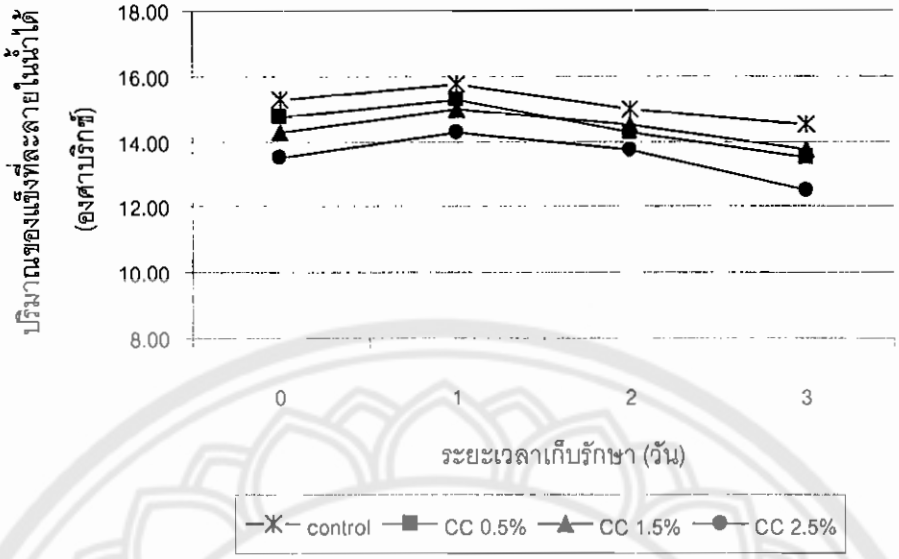


ภาพ 43 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 45 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายกรดซิตริกระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	5.50 ^{a} ± 0.02	5.48 ^{a} ± 0.02	5.36 ^{a} ± 0.05	5.30 ^{a} ± 0.03
0.5%	5.40 ^{b} ± 0.01	5.25 ^{b} ± 0.09	5.22 ^{b} ± 0.02	5.23 ^{b} ± 0.06
1.0%	5.31 ^{c} ± 0.05	5.18 ^{c} ± 0.01	5.15 ^{c} ± 0.05	5.04 ^{c} ± 0.05
1.5%	5.21 ^{d} ± 0.03	5.09 ^{d} ± 0.02	5.07 ^{d} ± 0.02	4.99 ^{c} ± 0.02

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

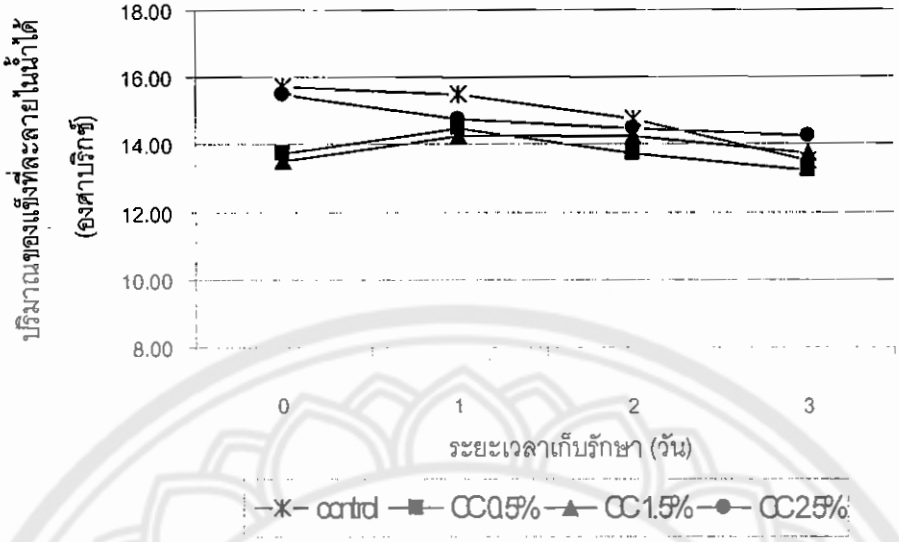


ภาพ 44 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 46 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	15.25^{a} ± 0.50	15.75^{a} ± 0.50	15.00^{a} ± 0.82	14.50^{a} ± 0.58
0.5%	14.75^{ab} ± 0.50	15.25^{a} ± 0.50	14.25^{ab} ± 0.50	13.50^{b} ± 0.58
1.5%	14.25^{bc} ± 0.50	15.00^{ab} ± 0.82	14.50^{ab} ± 0.58	13.75^{bc} ± 0.50
2.5%	13.50^{c} ± 0.58	14.25^{b} ± 0.50	13.75^{b} ± 0.50	12.50^{c} ± 0.58

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

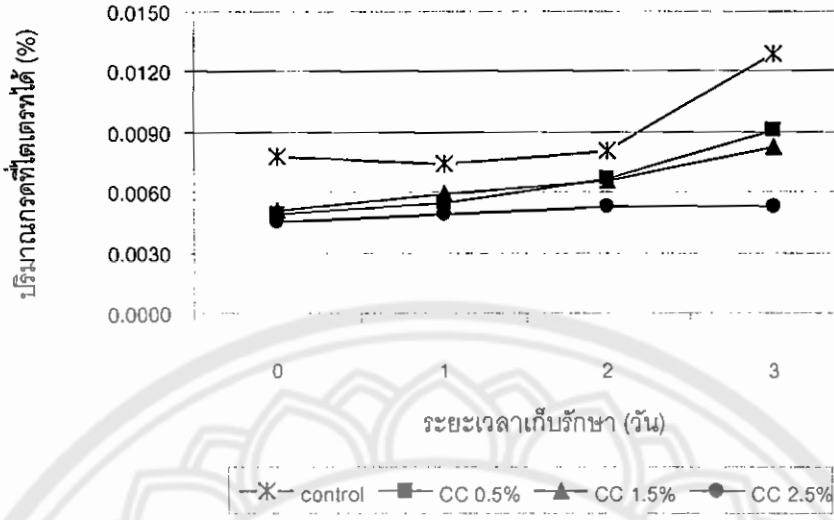


ภาพ 45 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 47 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$15.75^{a} \pm 0.50$	$15.50^{a} \pm 0.58$	$14.75^{a} \pm 0.50$	$13.50^{ab} \pm 0.58$
0.5%	$13.75^{b} \pm 0.50$	$14.50^{ab} \pm 0.58$	$13.75^{b} \pm 0.50$	$13.25^{b} \pm 0.50$
1.5%	$13.50^{b} \pm 0.58$	$14.25^{b} \pm 0.50$	$14.25^{ab} \pm 0.50$	$13.75^{ab} \pm 0.50$
2.5%	$15.50^{a} \pm 0.58$	$14.75^{ab} \pm 0.96$	$14.50^{ab} \pm 0.58$	$14.25^{a} \pm 0.50$

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

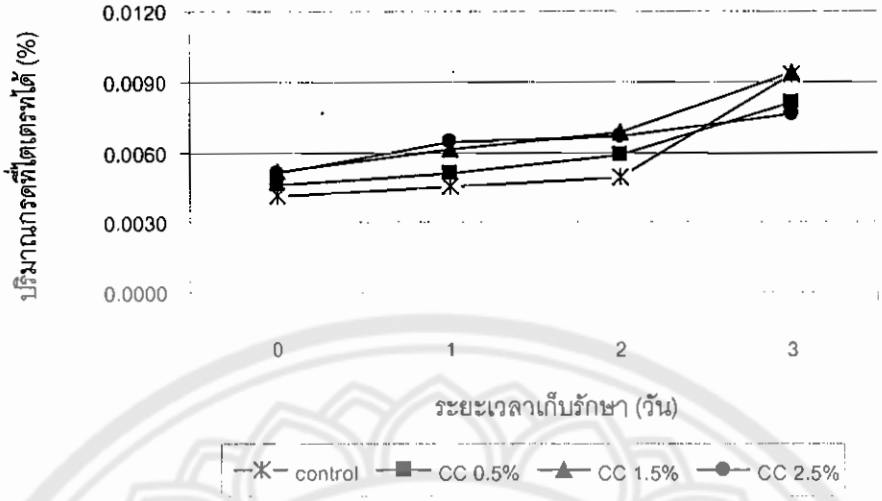


ภาพที่ 46 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 48 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0078 ^{a}±0.0006	0.0074 ^{a}±0.0003	0.0081 ^{a}±0.0004	0.0129 ^{a}±0.0003
0.5%	0.0049 ^{b}±0.0004	0.0055 ^{b}±0.0003	0.0067 ^{b}±0.0003	0.0091 ^{b}±0.0005
1.5%	0.0051 ^{b}±0.0002	0.0059 ^{b}±0.0002	0.0066 ^{b}±0.0006	0.0082 ^{c}±0.0005
2.5%	0.0045 ^{b}± 0.0003	0.0049 ^{c}±0.0003	0.0053 ^{c}±0.0003	0.0053 ^{d}±0.0002

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

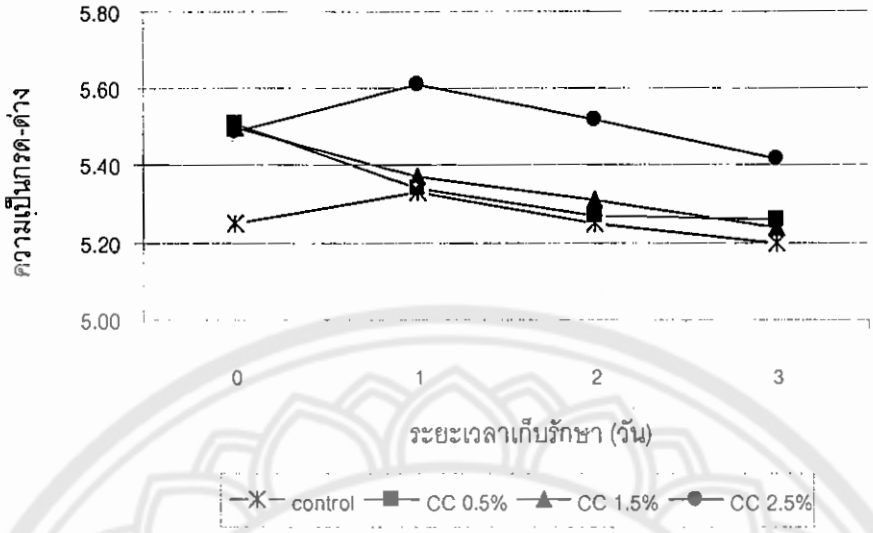


ภาพ 47 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 49 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0041 ^{c}± 0.0003	0.0045 ^{c}± 0.0003	0.0049 ^{c}± 0.0003	0.0093 ^{a}± 0.0005
0.5%	0.0046^{bc}± 0.0003	0.0051 ^{b}± 0.0002	0.0059 ^{b}± 0.0003	0.0081^{b}± 0.0003
1.5%	0.0052 ^{a}± 0.0003	0.0061 ^{a}± 0.0005	0.0068 ^{a}± 0.0005	0.0094 ^{a}± 0.0004
2.5%	0.0051^{ab}± 0.0005	0.0064 ^{a}± 0.0003	0.0067 ^{a}± 0.0003	0.0076 ^{b}± 0.0007

a – b ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

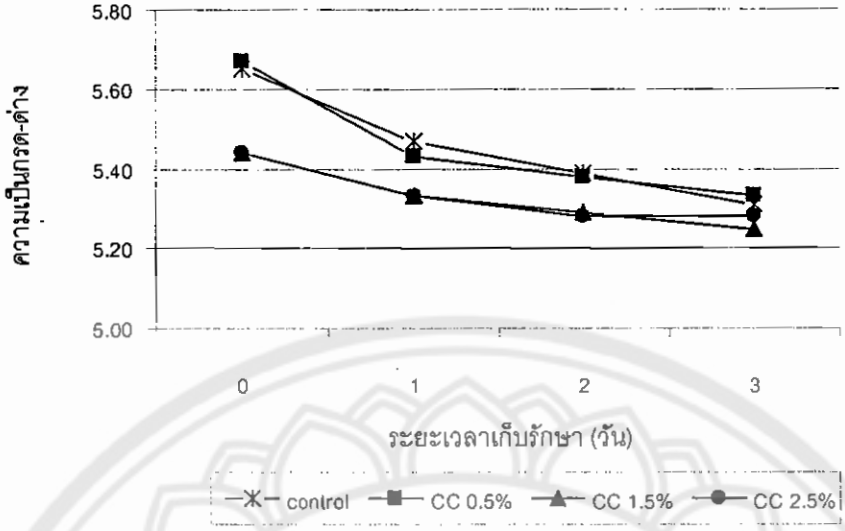


ภาพ 48 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 50 ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 1 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$5.25^{b} \pm 0.02$	$5.33^{c} \pm 0.02$	$5.25^{b} \pm 0.01$	$5.20^{c} \pm 0.01$
0.5%	$5.51^{a} \pm 0.03$	$5.34^{bc} \pm 0.01$	$5.27^{b} \pm 0.04$	$5.26^{b} \pm 0.03$
1.5%	$5.50^{a} \pm 0.01$	$5.37^{b} \pm 0.04$	$5.31^{b} \pm 0.02$	$5.24^{bc} \pm 0.01$
2.5%	$5.49^{a} \pm 0.27$	$5.61^{a} \pm 0.01$	$5.52^{a} \pm 0.06$	$5.42^{a} \pm 0.05$

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพ 49 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 51 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.5 -2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นาน 2 นาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$5.65^{a} \pm 0.03$	$5.47^{a} \pm 0.01$	$5.39^{a} \pm 0.03$	$5.31^{ab} \pm 0.02$
0.5%	$5.67^{a} \pm 0.02$	$5.43^{b} \pm 0.01$	$5.38^{a} \pm 0.01$	$5.33^{a} \pm 0.04$
1.5%	$5.44^{b} \pm 0.01$	$5.33^{c} \pm 0.05$	$5.29^{b} \pm 0.03$	$5.25^{c} \pm 0.01$
2.5%	$5.44^{b} \pm 0.02$	$5.33^{c} \pm 0.02$	$5.28^{b} \pm 0.01$	$5.28^{bc} \pm 0.03$

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตอนที่ 2 ศึกษาผลการใช้กำลังไฟและระยะเวลาในระบบไมโครเวฟเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารโปแตสเซียมซอร์เบตที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

โดยทั่วไปการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลไม้แปรรูปขั้นต่ำอาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำได้แก่ การปอกเปลือก ตัดแต่ง หั่นเป็นชิ้น และบรรจุในภาชนะ (Wiley, 1994) รวมทั้งจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอากาศและสิ่งแวดล้อม (Brackett, 2000) ซึ่งโดยปกติผลไม้แปรรูปขั้นต่ำเกิดการเน่าเสียได้ง่ายกว่าผลไม้ที่มีเปลือกเนื่องจากเปลือกเป็นโครงสร้างของพืชที่ช่วยป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และนัฏชรี ศรีบูรณศร, 2548) สารโปแตสเซียมซอร์เบต (potassium sorbate) เป็นวัตถุกันเสียชนิดหนึ่งที่มีผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้หลายชนิด (Sofos, 1989) โดยสารโปแตสเซียมซอร์เบตมีผลทำให้ระยะ Lag phase ของแบคทีเรียยาวนานขึ้น (Greer, 1982) และยังสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระยะ Exponential phase ได้ (Zamora & Zaritzky, 1987) อย่างไรก็ตามการจะยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาเป็นจำนวนมากนั้น ปริมาณของวัตถุกันเสียที่ใช้จะต้องเพิ่มขึ้นมากกว่ากฎหมายอนุญาตให้ใช้ได้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

ดังนั้นการให้ความร้อนในระดับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำโดยใช้พลังงานไมโครเวฟจึงเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการจัดการผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวเนื่องจากการใช้พลังงานไมโครเวฟสามารถทำลายจุลินทรีย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่อยู่ที่บริเวณผิวหรือใต้ผิวผลไม้ จะช่วยสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ โดยไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียคุณภาพ (วิไล รังสาดทอง, 2545) Karabulut & Baykal (2002) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้คลื่นไมโครเวฟในการควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคในผลพืช เชื้อโรคที่พบคือ *Botrytis cinerea* และ *Penicillium expansum* โดยได้ใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ต นาน 2 นาที พบว่าทำให้การติดเชื้อลดลงและสามารถใช้ไมโครเวฟในการควบคุมการติดเชื้อโดยธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ทำให้ผิวหน้าของผลไม้เกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษา

ในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาผลของการใช้กำลังไฟและระยะเวลาในระบบไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำโดยใช้กำลังไฟ 3 ระดับ ได้แก่ 360, 630 และ 900 วัตต์ นาน 20, 40 และ 60 วินาที เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายโปแตสเซียมซอร์เบตระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำโดยทำการตรวจวัดปริมาณจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate

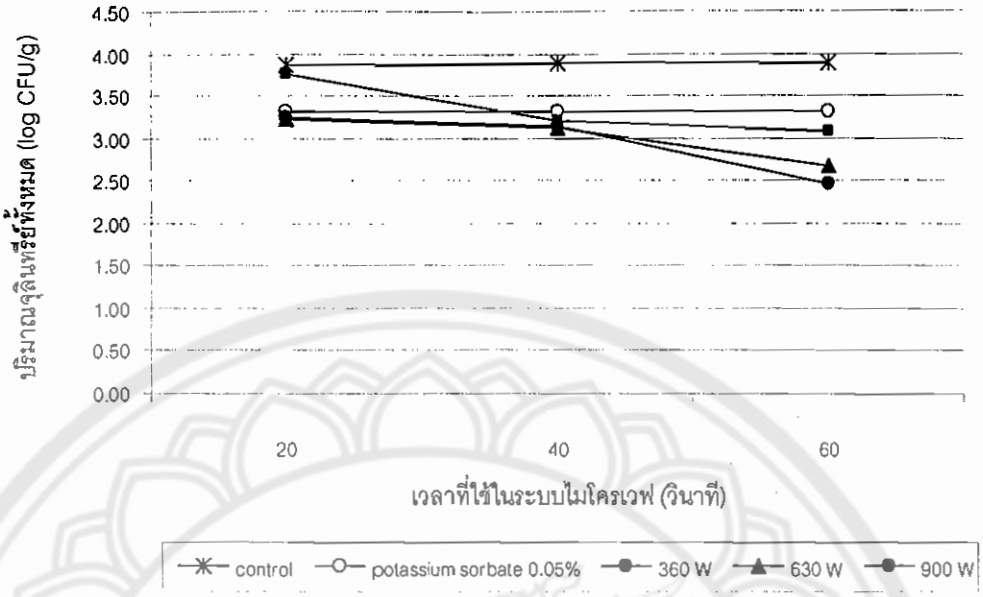
count) ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียในอาหาร ปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold count) (ศิริโฉม ทุ่งเก้า, 2543) ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

จากการทดลอง พบว่า ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่ใช้ระบบไมโครเวฟกำลังไฟ 360, 630 และ 900 วัตต์ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในระบบไมโครเวฟที่นานขึ้น (ภาพ 52 และ 53) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่ใช้ระบบไมโครเวฟกำลังไฟ 360, 630 และ 900 วัตต์ นาน 40 และ 60 วินาที มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 900 วัตต์ นาน 60 วินาที สามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้มากที่สุด เท่ากับ 1.42 log CFU/g แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับเมื่อใช้กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที (ตาราง 52) สำหรับยีสต์และราจะก่อให้เกิดการเน่าเสียมากกว่าแบคทีเรียในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากผลไม้โดยส่วนใหญ่มีคาร์โบไฮเดรตอยู่สูงจึงทำให้ยีสต์ใช้น้ำตาลในผลไม้เปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ นอกจากนั้นกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำทำให้เชื้อราเข้าไปทำลายได้ง่ายขึ้น (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) การใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 900 วัตต์ นาน 60 วินาที ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำสามารถลดปริมาณยีสต์และราได้ 1.22 log CFU/g (ตาราง 53)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์ของการใช้ไมโครเวฟกับการใช้สารโปแตสเซียมซอร์เบตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 (น้ำหนัก/ปริมาตร)ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ พบว่า การใช้ไมโครเวฟกับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำทุกชุดการทดลองให้ผลในการยับยั้งจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และราดีกว่าการใช้สารโปแตสเซียมซอร์เบตที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ซึ่งสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา ได้เพียง 0.58 log CFU/g และ 0.65 log CFU/g ตามลำดับ เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากคลื่นของไมโครเวฟสามารถแทรกผ่านเนื้อเยื่อของผลไม้ กระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำที่มีอยู่ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นและสามารถทำให้เนื้อเยื่อทุกส่วนของผลไม้ร้อนขึ้นได้พร้อมกัน (สินธนา สุคันธา, 2535) จึงมีผลต่อการระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 80 ภายในโครงสร้างที่ไม่ยืดหยุ่นของผนังเซลล์ทำให้ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำคงเหลือปริมาณความชื้นในระดับที่ยากแก่การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Ramana, Jayaraman & Kumar, 1988) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Tajchakavit, Ramaswamy & Fustier (1998) ศึกษาการใช้ไมโครเวฟเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ 2 ชนิด ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียในน้ำแอปเปิ้ล คือ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Lactobacillus plantarum* ด้วยการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 700 วัตต์ จากการทดลองพบว่า ใช้ความร้อนจากไมโครเวฟที่อุณหภูมิ 57.5 องศาเซลเซียสเพื่อยับยั้ง *Saccharomyces cerevisiae* โดยใช้เวลา

เพียง 1.1 วินาที แต่สำหรับเชื้อ *Lactobacillus plantarum* ต้องใช้เวลาถึง 14 วินาที จึงสามารถทำลายได้

อย่างไรก็ตามการใช้ความร้อนจากระบบไมโครเวฟ ถึงแม้จะสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำซึ่งเป็นผลมาจากน้ำตาลปริมาณเล็กน้อยที่ถูกดูดซับที่พื้นผิวของละมุด จะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลขึ้น (Feng & Tang, 1988) โดยเฉพาะเมื่อใช้กำลังไฟไมโครเวฟสูงเป็นเวลานาน จากภาพ 52 จะเห็นได้ว่า การใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟ 900 วัตต์ นาน 60 วินาที จะทำให้สีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำมีสีน้ำตาลคล้ำมากกว่าเมื่อใช้กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีดังกล่าวมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นในที่นี้การใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที จึงมีความเหมาะสมมากกว่าการใช้ระบบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 900 วัตต์ นาน 60 วินาที

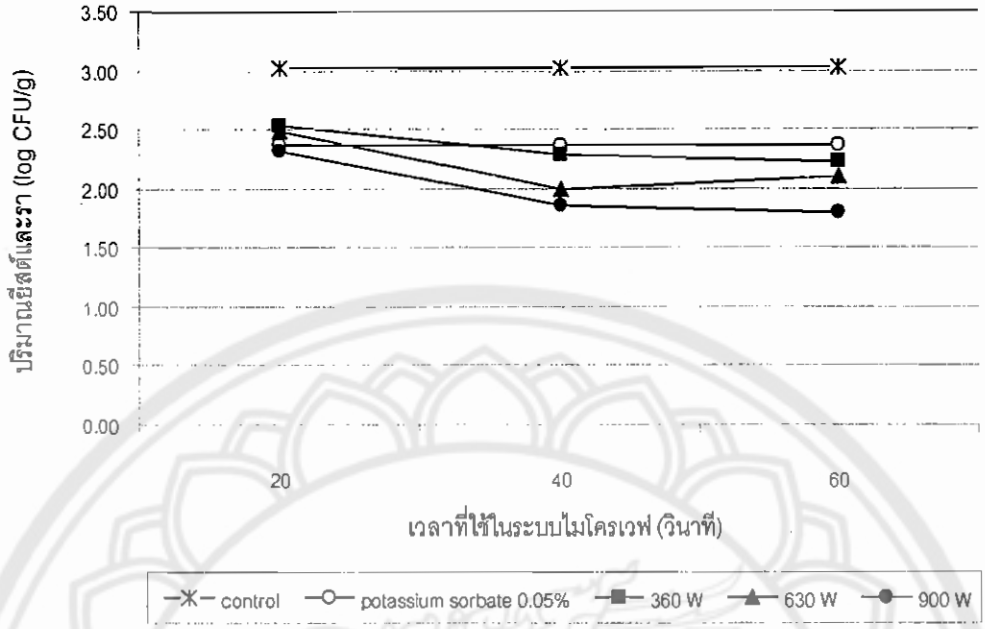


ภาพ 50 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำใช้ระบบไมโครเวฟกำลังไฟ 360 -900 วัตต์ นาน 20, 40 และ 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 52 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำใช้ระบบไมโครเวฟกำลังไฟ 360 - 900 วัตต์ นาน 20, 40 และ 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

กำลังไฟ / เวลา	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)		
	20 (วินาที)	40 (วินาที)	60 (วินาที)
ชุดควบคุม	3.89 ^{a} ± 0.44	3.89 ^{a} ± 0.44	3.89 ^{a} ± 0.44
360 วัตต์	3.76 ^{a} ± 0.07	3.20 ^{b} ± 0.10	3.08 ^{b} ± 0.03
630 วัตต์	3.23 ^{b} ± 0.03	3.12 ^{b} ± 0.05	2.67 ^{bc} ± 0.06
900 วัตต์	3.25 ^{b} ± 0.02	3.15 ^{b} ± 0.08	2.47 ^{c} ± 0.04

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

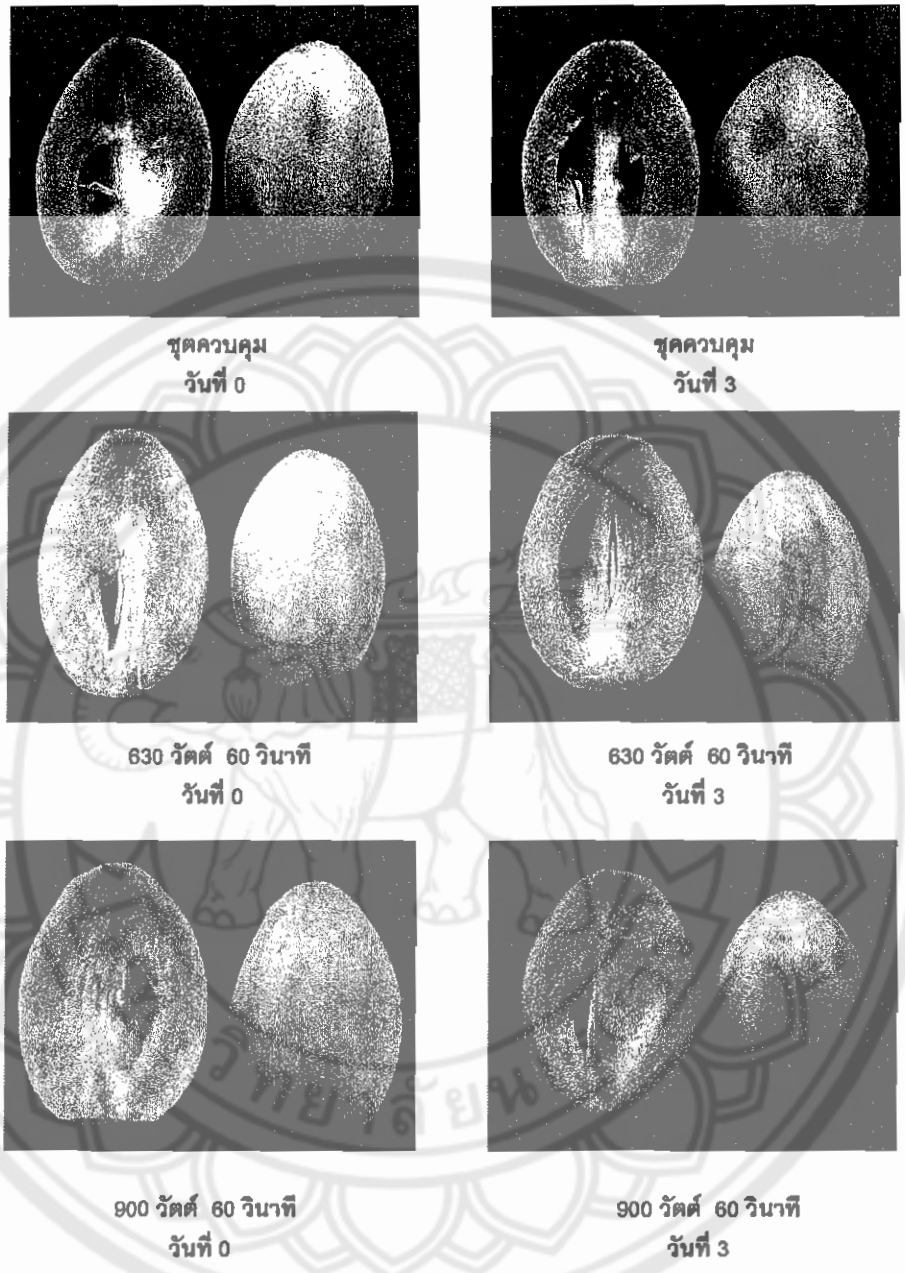


ภาพ 51 ปริมาณยีสต์และราของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำใช้ระบบไมโครเวฟกำลังไฟ 360 - 900 วัตต์ นาน 20,40 และ 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 53 ปริมาณยีสต์และราของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำใช้ระบบไมโครเวฟกำลังไฟ 360 - 900 วัตต์ นาน 20,40 และ60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

กำลังไฟ / เวลา	ปริมาณยีสต์และรา (log CFU/g)		
	20 (วินาที)	40 (วินาที)	60 (วินาที)
ชุดควบคุม	3.02 ^{a} ± 0.08	3.02 ^{a} ± 0.08	3.02 ^{a} ± 0.08
360 วัตต์	2.54 ^{ab} ± 0.47	2.29 ^{b} ± 0.11	2.22 ^{b} ± 0.07
630 วัตต์	2.49 ^{ab} ± 0.10	2.00 ^{bc} ± 0.30	2.10 ^{b} ± 0.17
900 วัตต์	2.32 ^{b} ± 0.33	1.86 ^{c} ± 0.28	1.80 ^{c} ± 0.17

a – c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพ 52 ผลของกำลังไฟและระยะเวลาในการใช้ไมโครเวฟต่อลักษณะปรากฏของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตอนที่ 3. ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และ/หรือ แคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

ทำการศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที ร่วมกับสารเคมี 3 ชนิด ได้แก่ กรดแอสคอร์บิกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ใช้เวลาในการแช่นาน 2 นาที เก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี ปริมาณจุลินทรีย์ และการทดสอบทางประสาทสัมผัส

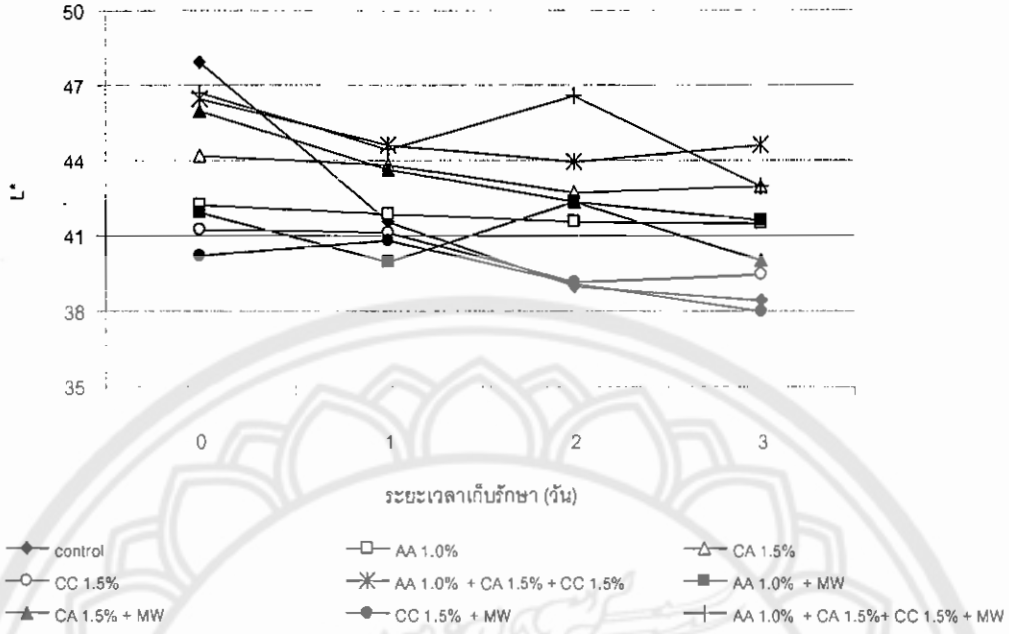
1. การเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ

1.1 สีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ

จากการทดลอง พบว่า ในวันแรกของการเก็บรักษา (วันที่ 0) ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยสารเคมีเพียงชนิดเดียวและ/หรือใช้ร่วมกันทั้ง 3 ชนิด มีค่า L* น้อยกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน กลับพบว่า ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำดังกล่าวมีค่า L* มากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงว่า กรดแอสคอร์บิก กรดซิตริกและแคลเซียมคลอไรด์มีส่วนช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้ สอดคล้องกับผลการทดลองในตอนที่ 1

นอกจากนี้ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟจะมีค่า L* แตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) กับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยสารเคมีชุดเดียวกัน ที่ไม่ได้ใช้ระบบไมโครเวฟ (ตาราง 54) ซึ่งมีค่า L* หรือความสว่างน้อยกว่าเป็นผลมาจากผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ เมื่อได้ความร้อนจากการใช้ระบบไมโครเวฟจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช้เอนไซม์ (nonenzymatic browning reaction) เกิดขึ้น คือปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่แคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับไมโครเวฟจะมีค่า L* น้อยที่สุดหรือมีสีคล้ำมากกว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ด้วยสารเคมีชนิดอื่น ๆ ซึ่งได้สอดคล้องกับผลการทดลองตอนที่ 1

สำหรับค่า BI มีความสอดคล้องไปกับแนวโน้มการลดลงของค่า L* โดยในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำทุกชุดการทดลองมีค่า BI น้อยกว่าชุดควบคุม (ตาราง 55) และ ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ร่วมกันของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ไม่ใช้ร่วมกับไมโครเวฟมีค่า BI น้อยที่สุด โดยมีค่า BI น้อยกว่าชุดควบคุมร้อยละ 15.37 แสดงว่าการใช้สารเคมีร่วมกันของกรดแอสคอร์บิก กรดซิตริก และแคลเซียมคลอไรด์แช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำมีส่วนช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงสีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียว และเมื่อมีการใช้ไมโครเวฟร่วมด้วย ผลของไมโครเวฟทำให้สีผิวของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำคล้ำมากขึ้นโดยมีค่า BI น้อยกว่าชุดควบคุมร้อยละ 9.67 เท่านั้น เช่นเดียวกับค่า ΔE พบว่า ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ร่วมกันของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ไม่ใช้ร่วมกับไมโครเวฟ จะมีค่า ΔE น้อยกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 50.96 แต่เมื่อมีการใช้ระบบไมโครเวฟจะมีค่า ΔE น้อยกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 38.48 (ตาราง 56) ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ระบบไมโครเวฟทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปัญหาและเห็นได้ชัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้ความร้อน (Chan & Cavaletto, 1978)



AA = กรดแอสคอร์บิก
AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก
CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์
CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ

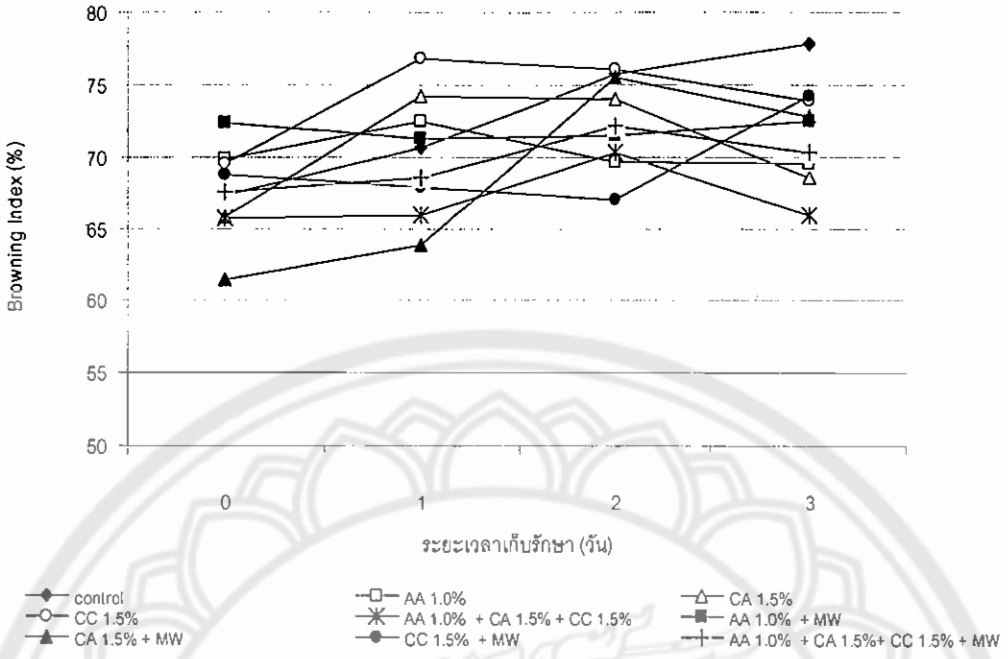
ภาพ 53 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 54 ค่า L* ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	47.91 ^{a} ± 0.53	41.56 ^{cd} ± 0.39	38.99 ^{e} ± 0.50	38.44 ^{e} ± 0.24
กรดแอสคอร์บิก*	42.23 ^{e} ± 0.14	41.87 ^{c} ± 0.67	41.53 ^{d} ± 0.21	41.50 ^{c} ± 1.13
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	41.91 ^{e} ± 0.42	41.59 ^{d} ± 0.80	42.32 ^{c} ± 0.24	39.96 ^{d} ± 0.19
กรดซิตริก**	44.21 ^{d} ± 0.39	43.79 ^{bc} ± 0.46	42.70 ^{c} ± 0.42	42.93 ^{b} ± 0.27
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	45.93 ^{c} ± 0.11	43.61 ^{c} ± 0.36	42.34 ^{c} ± 0.61	40.05 ^{d} ± 0.40
แคลเซียมคลอไรด์***	41.27 ^{f} ± 0.07	41.15 ^{de} ± 0.28	39.14 ^{e} ± 0.25	39.50 ^{d} ± 0.28
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	40.19 ^{g} ± 0.26	40.80 ^{de} ± 0.13	39.13 ^{e} ± 0.46	38.00 ^{e} ± 0.62
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	46.47 ^{bc} ± 0.53	44.64 ^{a} ± 0.36	43.92 ^{b} ± 0.16	44.63 ^{a} ± 0.25
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	46.69 ^{b} ± 0.45	44.42 ^{ab} ± 0.46	46.60 ^{a} ± 0.53	42.96 ^{b} ± 0.55

a – f ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%



AA = กรดแอสคอร์บิก
CA = กรดซิตริก
CC = แคลเซียมคลอไรด์
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์
AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ

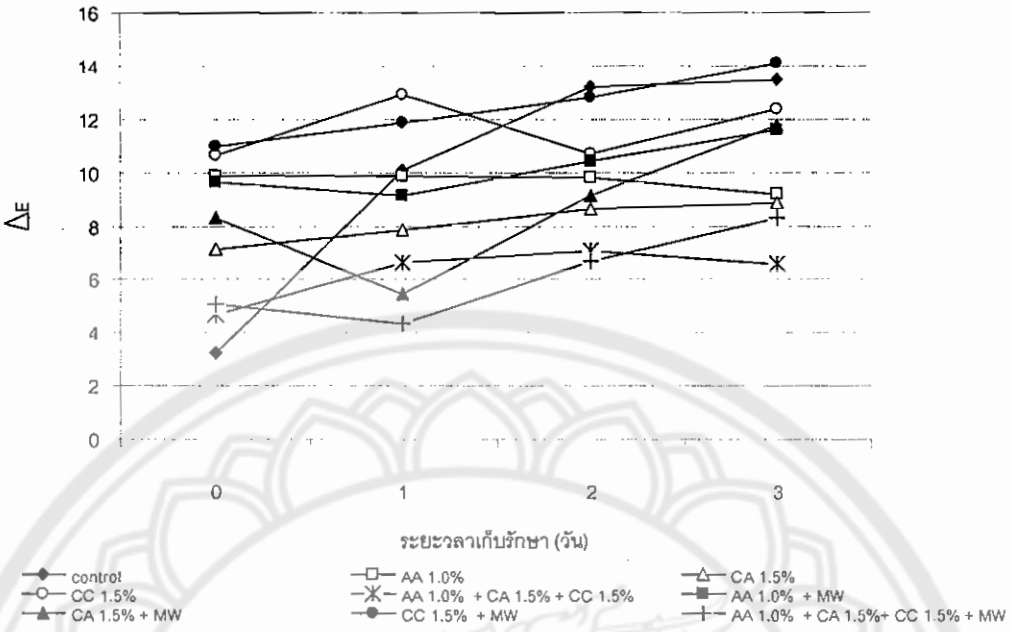
ภาพ 54 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 55 ค่า BI ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	67.32 ^{cd} ± 0.75	70.67 ^{cd} ± 1.45	75.80 ^{a} ± 1.83	77.86 ^{a} ± 2.46
กรดแอสคอร์บิก*	69.86 ^{b} ± 1.28	72.44 ^{bc} ± 0.82	69.68 ^{cd} ± 3.97	69.51 ^{cd} ± 1.17
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	72.32 ^{a} ± 1.63	71.32 ^{c} ± 0.81	71.52 ^{bc} ± 1.65	72.42 ^{bc} ± 2.29
กรดซิตริก**	65.86 ^{d} ± 0.69	74.24 ^{b} ± 1.74	74.05 ^{ab} ± 2.09	68.56 ^{de} ± 1.38
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	61.50 ^{e} ± 0.82	63.89 ^{g} ± 1.84	75.56 ^{a} ± 1.23	72.76 ^{bc} ± 2.95
แคลเซียมคลอไรด์***	69.58 ^{b} ± 1.37	76.80 ^{a} ± 1.54	76.05 ^{a} ± 2.90	73.84 ^{b} ± 1.94
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	68.74 ^{bc} ± 0.47	67.86 ^{bc} ± 1.76	66.98 ^{d} ± 0.50	74.25 ^{b} ± 2.17
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	65.69 ^{d} ± 1.22	65.92 ^{fg} ± 1.86	70.25 ^{cd} ±1.71	65.89 ^{e} ± 1.24
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	67.53 ^{cd} ± 1.67	68.58 ^{de} ± 0.96	72.20 ^{bc} ±1.56	70.33 ^{cd} ± 2.47

a – g ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%



AA = กรดแอสคอร์บิก	AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก	CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์	CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์	
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ	

ภาพ 55 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

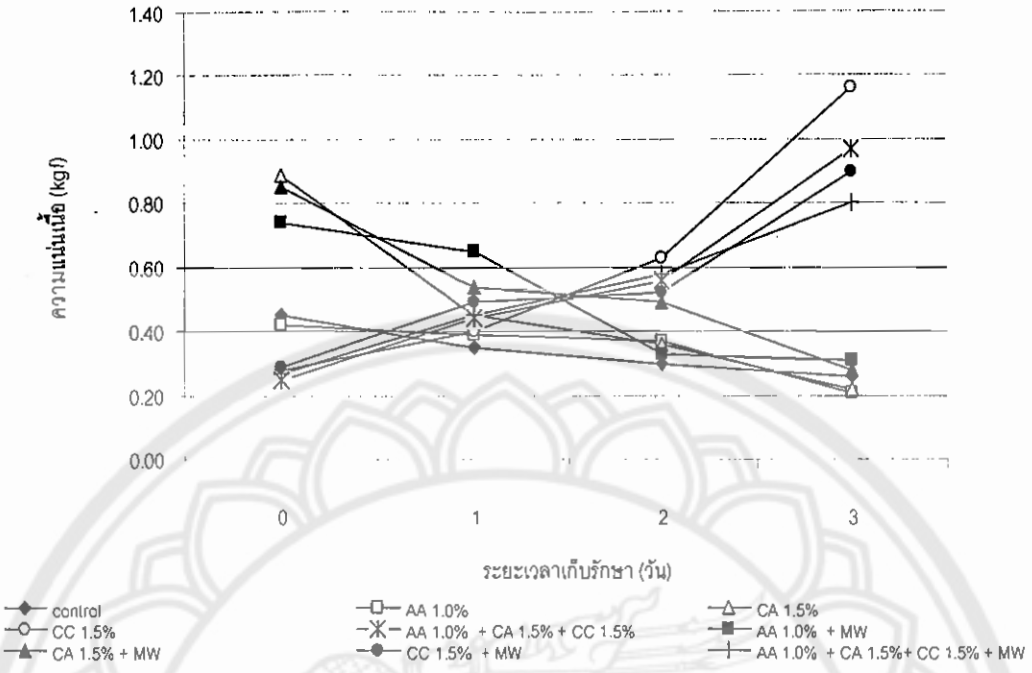
ตาราง 56 ค่า ΔE ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	$3.25^{g} \pm 0.81$	$10.10^{c} \pm 0.62$	$13.23^{a} \pm 0.73$	$13.46^{a} \pm 0.41$
กรดแอสคอร์บิก*	$9.88^{bc} \pm 0.33$	$9.88^{c} \pm 1.35$	$9.82^{ab} \pm 0.78$	$9.95^{c} \pm 0.26$
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	$9.65^{c} \pm 0.49$	$9.15^{c} \pm 0.29$	$10.42^{b} \pm 1.18$	$11.61^{b} \pm 0.35$
กรดซิตริก**	$7.12^{e} \pm 0.43$	$7.85^{d} \pm 0.74$	$8.65^{d} \pm 0.49$	$8.88^{d} \pm 0.46$
กรดซิตริก**+ ไมโครเวฟ	$8.30^{d} \pm 0.18$	$5.45^{f} \pm 0.05$	$9.15^{cd} \pm 0.86$	$11.77^{b} \pm 0.67$
แคลเซียมคลอไรด์***	$10.65^{ab} \pm 0.26$	$12.94^{a} \pm 0.53$	$10.71^{b} \pm 0.46$	$12.36^{b} \pm 0.46$
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	$10.98^{a} \pm 0.16$	$11.87^{b} \pm 0.32$	$12.81^{a} \pm 0.43$	$14.08^{a} \pm 0.91$
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	$4.65^{f} \pm 0.71$	$6.61^{e} \pm 0.38$	$7.06^{e} \pm 0.09$	$6.60^{e} \pm 0.36$
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	$5.09^{f} \pm 0.68$	$4.35^{g} \pm 0.69$	$6.70^{e} \pm 0.49$	$8.28^{d} \pm 0.72$

a – g ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%

Missing



AA = กรดแอสคอร์บิก
AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก
CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์
CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ

ภาพ 56 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 57 ค่าความแน่นเนื้อของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

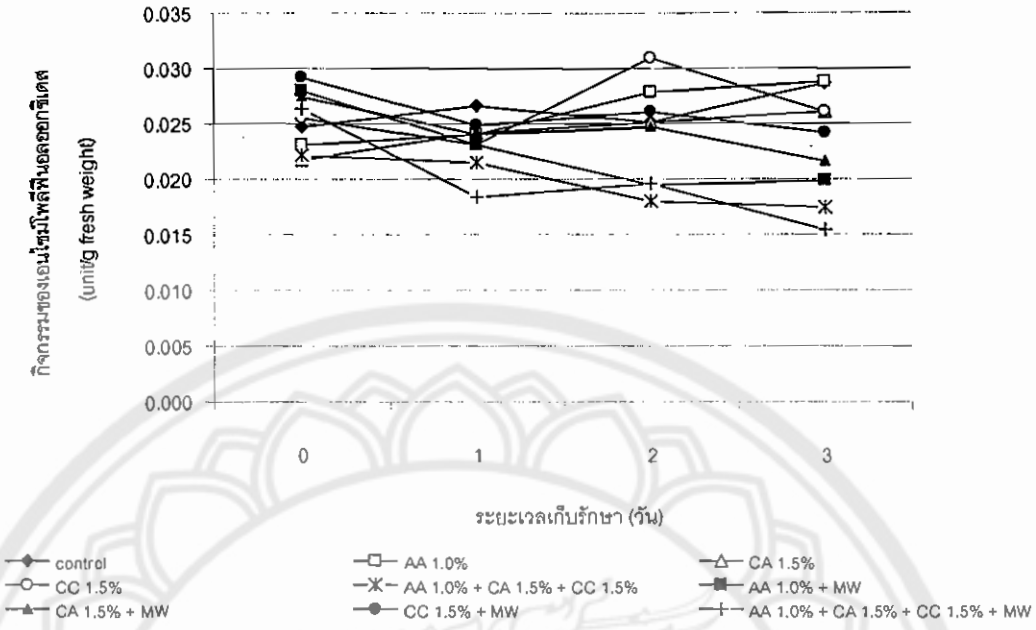
ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.45 ^{b} ± 0.04	0.35 ^{d} ± 0.03	0.30 ^{f} ± 0.01	0.26 ^{d} ± 0.05
กรดแอสคอร์บิก*	0.42 ^{b} ± 0.07	0.39 ^{d} ± 0.03	0.37 ^{e} ± 0.04	0.21 ^{d} ± 0.02
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	0.44 ^{b} ± 0.08	0.35 ^{d} ± 0.13	0.33 ^{ef} ± 0.02	0.31 ^{d} ± 0.07
กรดซิตริก**	0.89 ^{a} ± 0.04	0.45 ^{bc} ± 0.06	0.36 ^{e} ± 0.05	0.22 ^{d} ± 0.04
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	0.85 ^{a} ± 0.02	0.54 ^{a} ± 0.02	0.49 ^{d} ± 0.05	0.28 ^{d} ± 0.05
แคลเซียมคลอไรด์***	0.28 ^{c} ± 0.04	0.40 ^{cd} ± 0.04	0.63 ^{a} ± 0.05	1.16 ^{a} ± 0.04
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	0.29 ^{c} ± 0.05	0.49 ^{ab} ± 0.05	0.52 ^{cd} ± 0.03	0.90 ^{bc} ± 0.07
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	0.25 ^{c} ± 0.00	0.44 ^{bc} ± 0.02	0.56 ^{bc} ± 0.02	0.97 ^{b} ± 0.18
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	0.27 ^{c} ± 0.02	0.45 ^{bc} ± 0.04	0.58 ^{ab} ± 0.03	0.80 ^{c} ± 0.09

a – f ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%

Missing

Missing



AA = กรดแอสคอร์บิก
AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก
CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์
CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ

ภาพที่ 57 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาทีเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

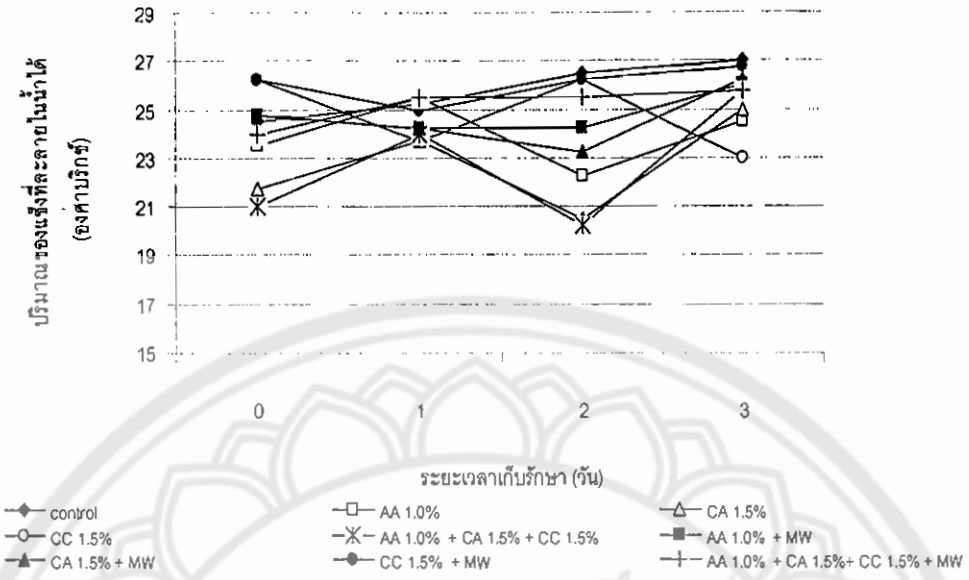
ตาราง 58 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0247^{cd}±0.0004	0.0266^{a} ±0.0032	0.0252^{a}±0.0007	0.0287^{b}±0.0006
กรดแอสคอร์บิก*	0.0231^{de}±0.0006	0.0240^{b} ±0.0003	0.0279^{a} ±0.0013	0.0288^{b} ±0.0004
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	0.0280^{ab}±0.0003	0.0231^{bc}±0.0007	0.0195^{b}± 0.0025	0.0199^{f}± 0.0008
กรดซิตริก**	0.0218^{e} ±0.0020	0.0242^{b} ±0.0024	0.0252^{a} ±0.0019	0.0261^{c} ±0.0002
กรดซิตริก**+ ไมโครเวฟ	0.0275^{ab}±0.0003	0.0241^{b} ±0.0003	0.0247^{a} ±0.0042	0.0216^{e} ±0.0010
แคลเซียมคลอไรด์***	0.0255^{c} ±0.0011	0.0231^{bc}±0.0023	0.0261^{a}± 0.0004	0.0310^{a} ±0.0003
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	0.0292^{a} ±0.0004	0.0249^{ab}±0.0006	0.0261^{a}± 0.0007	0.0242^{d} ±0.0009
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก**+ แคลเซียมคลอไรด์***	0.0221^{e} ±0.0021	0.0215^{c} ±0.0013	0.0180^{b}± 0.0013	0.0174^{g}± 0.0009
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	0.0264^{bc}±0.0008	0.0184^{d} ±.0004	0.0196^{b} ±0.0002	0.0154^{h}± 0.0009

a – h ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%

Missing



AA = กรดแอสคอร์บิก	AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก	CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์	CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์	
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ	

ภาพ 58 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

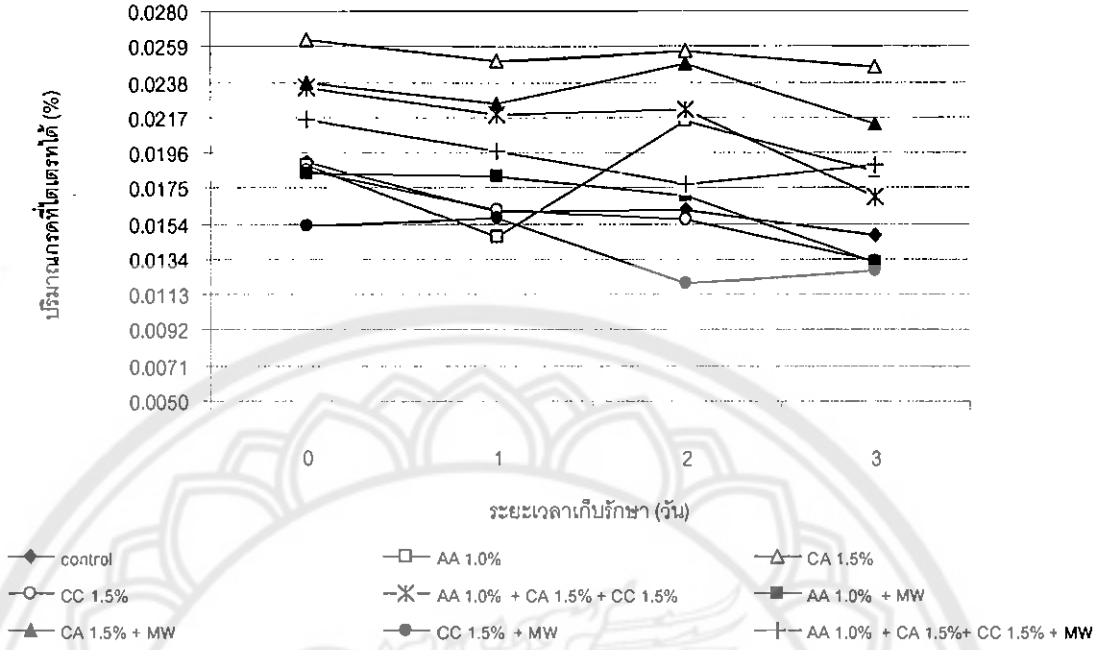
ตาราง 59 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	24.50 ^{b} ± 0.58	25.25 ^{ns} ± 0.96	26.50 ^{a} ± 0.58	27.00 ^{a} ± 0.82
กรดแอสคอร์บิก*	23.50 ^{b} ± 1.29	25.50 ^{ns} ± 0.58	22.25 ^{c} ± 1.71	24.50 ^{c} ± 0.58
กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ	24.75 ^{b} ± 0.50	24.25 ^{ns} ± 0.95	24.25 ^{b} ± 0.50	26.00 ^{ab} ± 0.82
กรดซิตริก**	21.75 ^{c} ± 0.96	23.75 ^{ns} ± 1.71	20.50 ^{d} ± 0.58	25.00 ^{bc} ± 0.82
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	24.75 ^{b} ± 0.96	24.25 ^{ns} ± 0.96	23.25 ^{bc} ±0.50	26.25 ^{ab} ± 0.96
แคลเซียมคลอไรด์***	26.25 ^{a} ± 0.50	23.75 ^{ns} ± 0.96	26.25 ^{a} ± 0.50	23.00 ^{d} ± 0.82
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	26.25 ^{a} ± 0.50	25.00 ^{ns} ± 1.41	26.25 ^{a} ± 0.50	26.75 ^{a} ± 0.96
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก**+ แคลเซียมคลอไรด์***	21.00 ^{c} ± 0.82	24.00 ^{ns} ± 0.82	20.25 ^{d} ± 0.50	25.75 ^{abc} ± 0.50
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	24.00 ^{b} ± 0.82	25.50 ^{ns} ± 0.57	25.50 ^{a} ± 1.29	25.75 ^{abc} ±0.96

a – d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ns ในแนวตั้งแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%



AA = กรดแอสคอร์บิก
AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก
CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์
CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ

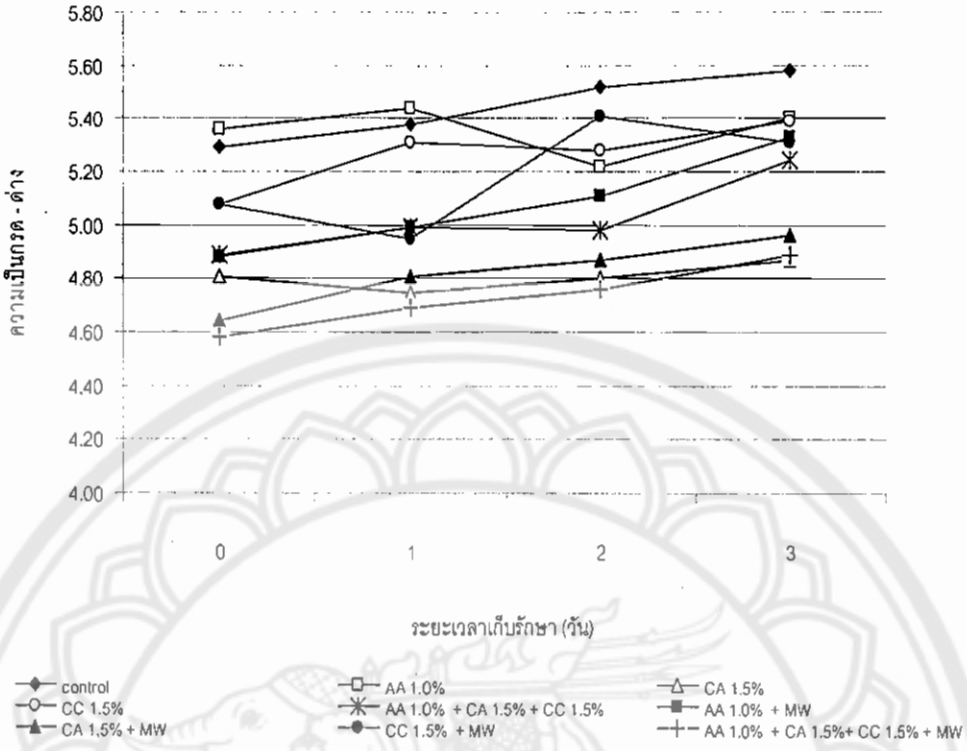
ภาพ 59 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาทีเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 60 ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (%) ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	0.0191^{d} ±0.0011	0.0162^{d} ±0.0003	0.0163^{de}±0.0004	0.0148^{e}± 0.0006
กรดแอสคอร์บิก*	0.0189^{d} ±0.0005	0.0147^{d} ±0.0005	0.0215^{b}± 0.0005	0.0185^{c}± 0.0007
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	0.0189^{d} ±0.0005	0.0147^{d} ±0.0005	0.0215^{b}± 0.0005	0.0185^{c}± 0.0007
กรดซิตริก**	0.0263^{a} ±0.0008	0.0251^{a} ±0.0026	0.0256^{a}± 0.0003	0.0247^{a}± 0.0008
กรดซิตริก**+ ไมโครเวฟ	0.0238^{b} ±0.0006	0.0225^{b} ±0.0008	0.0249^{a}± 0.0003	0.0213^{b}± 0.0003
แคลเซียมคลอไรด์***	0.0186^{d}± 0.0003	0.0163^{d} ±0.0004	0.0157^{e}± 0.0009	0.0133^{f}± 0.0003
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	0.0153^{e} ±0.0006	0.0158^{d} ±0.0005	0.0119^{f} ±0.0003	0.0127^{f}± 0.0003
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	0.0235^{b} ±0.0005	0.0219^{b} ±0.0012	0.0222^{b}± 0.0009	0.0170^{d}± 0.0004
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	0.0216^{c} ±0.0009	0.0197^{c} ±0.0003	0.0178^{c}± 0.0003	0.0189^{c}± 0.0009

a – f ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%



AA = กรดแอสคอร์บิก	AA + MW = กรดแอสคอร์บิก + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก	CA + MW = กรดซิตริก + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์	CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์	
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก + กรดซิตริก + แคลเซียมคลอไรด์ + ไมโครเวฟ	

ภาพ 60 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 61 ค่าความเป็นกรด – ด่างของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

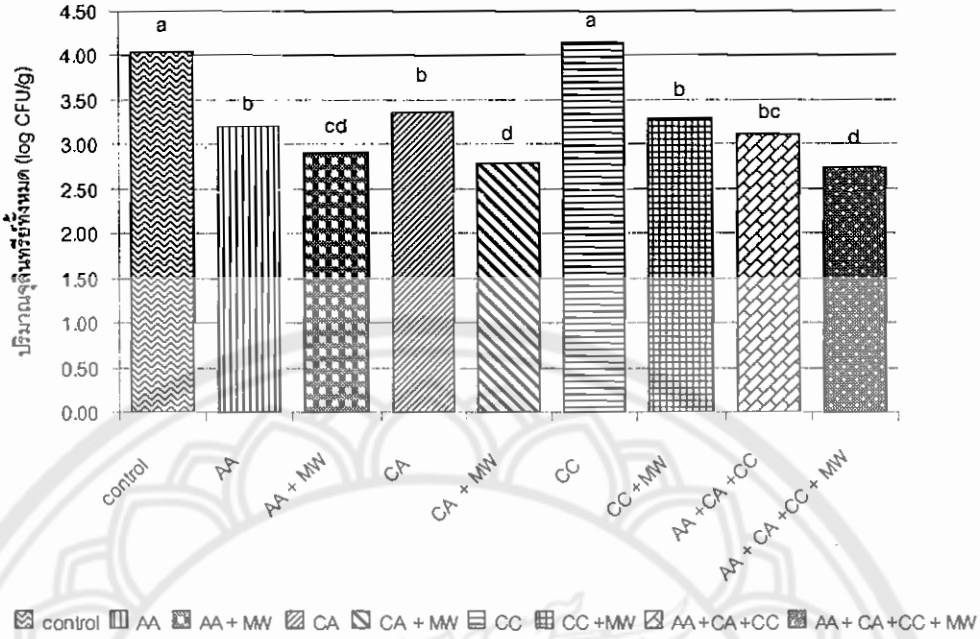
ทรีตเมนต์ / วัน	0	1	2	3
ชุดควบคุม	5.29 ^{b} ± 0.00	5.38 ^{a} ± 0.04	5.52 ^{a} ± 0.01	5.58 ^{a} ± 0.00
กรดแอสคอร์บิก*	5.36 ^{a} ± 0.03	5.44 ^{a} ± 0.03	5.22 ^{d} ± 0.05	5.40 ^{b} ± 0.03
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	4.88 ^{d} ± 0.09	5.00 ^{c} ± 0.01	5.11 ^{e} ± 0.01	5.33 ^{d} ± 0.03
กรดซิตริก**	4.81 ^{a} ± 0.03	4.75 ^{f} ± 0.02	4.80 ^{h} ± 0.02	4.87 ^{g} ± 0.02
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	4.64 ^{f} ± 0.02	4.81 ^{e} ± 0.00	4.87 ^{g} ± 0.03	4.96 ^{f} ± 0.03
แคลเซียมคลอไรด์***	5.08 ^{d} ± 0.02	5.31 ^{ab} ± 0.00	5.28 ^{b} ± 0.02	5.39 ^{c} ± 0.03
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	5.08 ^{c} ± 0.02	4.95 ^{d} ± 0.00	5.41 ^{b} ± 0.00	5.31 ^{d} ± 0.00
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	4.89 ^{d} ± 0.01	4.99 ^{c} ± 0.00	4.98 ^{f} ± 0.02	5.24 ^{e} ± 0.02
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	4.58 ^{g} ± 0.02	4.69 ^{h} ± 0.02	4.76 ^{i} ± 0.02	4.89 ^{g} ± 0.00

a – i ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%

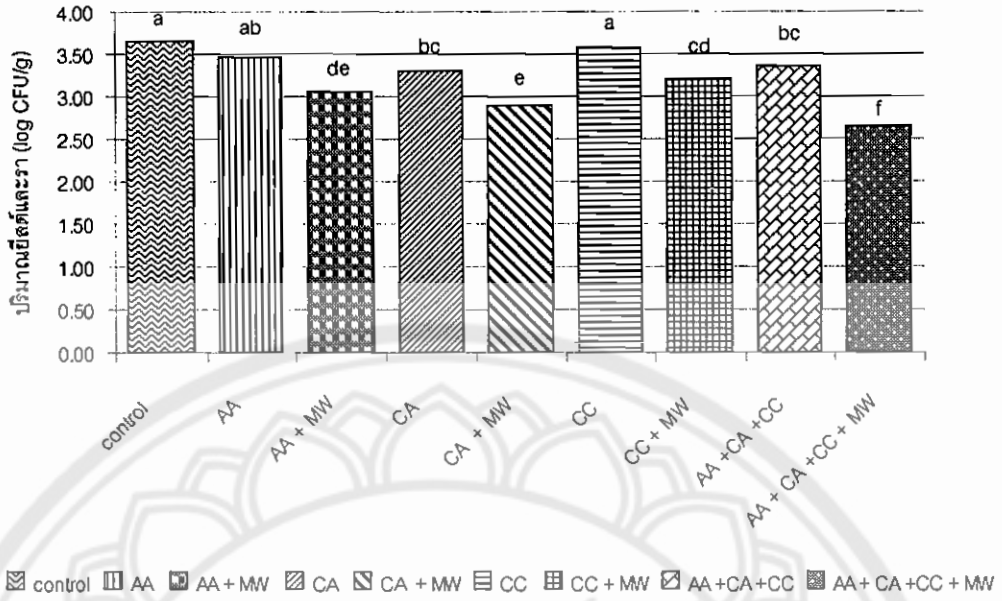
3.ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์

ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2 พบว่า ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่สารเคมีร่วมกับการใช้ระบบไมโครเวฟทุกชุดการทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราน้อยกว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่สารเคมีชุดเดียวกันไม่ร่วมกับการใช้ระบบไมโครเวฟและชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ร่วมกันของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ร่วมกับการใช้ระบบไมโครเวฟมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลงมากที่สุดเท่ากับ 1.31 log CFU/g (ตาราง 62) ในขณะที่สามารถลดปริมาณยีสต์และราได้มากที่สุดเช่นกันเท่ากับ 1.00 log CFU/g (ตาราง 63) แสดงว่าการใช้สารเคมีร่วมกันทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้การยับยั้งจุลินทรีย์ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวโดยเฉพาะการยับยั้งการงอกของสปอร์เชื้อราซึ่งเจริญโดยสร้างกลุ่มเส้นใยบนอาหาร (สุมณฑา วัฒนสินธุ์, 2545) อีกทั้งการใช้ความร้อนจากระบบไมโครเวฟที่กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที มีประสิทธิภาพในการยับยั้งยีสต์ราได้มากกว่าเชื้อแบคทีเรีย การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เนื่องมาจากคลื่นของไมโครเวฟสามารถแทรกผ่านเนื้อเยื่อของผลไม้ กระตุ้นให้เกิดการสั่นสะเทือนของโมเลกุลน้ำที่มีอยู่ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นและสามารถทำให้เนื้อเยื่อทุกส่วนของผลไม้ร้อนขึ้นได้พร้อมกัน (สินธนา สุคันธา, 2535) ซึ่งมีผลช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์บริเวณบนผิวหรือใต้ผิวผลไม้ได้ (วิไล รังสาดทอง, 2545) ซึ่งได้สอดคล้องกับ Najdovski, Draga & kotnik (1991) พบว่า การใช้ไมโครเวฟความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต ที่กำลังไฟ 325 วัตต์ 650 วัตต์ และ 1400 วัตต์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสายพันธุ์ *Staphylococus aureus, Streptococus pyogenes* Group A, *E.coli, Pseudomonas aeruginosa* ได้ ในขณะที่การใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 1400 W เป็นเวลา 10-20 นาที สามารถทำลายสปอร์แบคทีเรียได้



AA = กรดแอสคอร์บิก 1.0%	AA + MW = กรดแอสคอร์บิก 1.0% + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก 1.5%	CA + MW = กรดซิตริก 1.5% + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์ 1.5%	CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ 1.5% + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก1.0% + กรดซิตริก 1.5% + แคลเซียมคลอไรด์ 1.5%	
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก 1.0% + กรดซิตริก 1.5% + แคลเซียมคลอไรด์ 1.5% + ไมโครเวฟ	

ภาพ 61 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟ กำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2



AA = กรดแอสคอร์บิก 1.0%	AA + MW = กรดแอสคอร์บิก 1.0% + ไมโครเวฟ
CA = กรดซิตริก 1.5%	CA + MW = กรดซิตริก 1.5% + ไมโครเวฟ
CC = แคลเซียมคลอไรด์ 1.5%	CC + MW = แคลเซียมคลอไรด์ 1.5% + ไมโครเวฟ
AA + CA + CC = กรดแอสคอร์บิก1.0% + กรดซิตริก 1.5% + แคลเซียมคลอไรด์ 1.5%	
AA + CA + CC + MW = กรดแอสคอร์บิก 1.0% + กรดซิตริก 1.5% + แคลเซียมคลอไรด์ 1.5% + ไมโครเวฟ	

ภาพ 62 ปริมาณยีสต์และราของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ตาราง 62 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีตเมนต์ / วัน	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g)	ปริมาณยีสต์และรา (log CFU/g)
ชุดควบคุม	$4.05^{a} \pm 0.36$	$3.65^{a} \pm 0.13$
กรดแอสคอร์บิก*	$3.21^{b} \pm 0.07$	$3.47^{ab} \pm 0.10$
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	$2.91^{cd} \pm 0.08$	$3.05^{de} \pm 0.09$
กรดซิตริก**	$3.36^{b} \pm 0.23$	$3.30^{bc} \pm 0.02$
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	$2.79^{d} \pm 0.04$	$2.89^{e} \pm 0.09$
แคลเซียมคลอไรด์***	$4.14^{a} \pm 0.06$	$3.57^{a} \pm 0.05$
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	$3.30^{b} \pm 0.09$	$3.21^{cd} \pm 0.07$
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก**+ แคลเซียมคลอไรด์***	$3.11^{bc} \pm 0.05$	$3.35^{bc} \pm 0.07$
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	$2.74^{d} \pm 0.05$	$2.65^{f} \pm 0.25$

a – f ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%

4. การทดสอบทางประสาทสัมผัส -

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแสดงดังตาราง 63 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่สารเคมีร่วมกับการใช้ระบบไมโครเวฟน้อยกว่าผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่สารเคมีชุดเดียวกันที่ไม่ร่วมกับการใช้ระบบไมโครเวฟเนื่องจากผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำหลังจากการใช้ระบบไมโครเวฟจะมีความสว่างลดลงหรือมีสีน้ำตาลคล้ำเพิ่มขึ้น (ภาพ 63) ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของค่า L* และ ค่า BI โดยผู้ชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ไม่ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟมากกว่าชุดควบคุม อาจเป็นเพราะผู้ชิมพิจารณาจากลักษณะปรากฏของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำซึ่งได้ให้คะแนนความชอบด้านสีของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ไม่ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นระดับคะแนนความชอบปานกลาง ในขณะที่รสชาติของผลไม้ขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้และปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (ดนัย บุญเกียรติ และ นิธิยา รัตนาปนนท์) ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่กรดแอสคอร์บิกร่วมกับการใช้ระบบไมโครเวฟได้คะแนนความชอบด้านรสชาติมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และได้แตกต่างกับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ทั้งใช้ร่วมกับไมโครเวฟและไม่ร่วมกับไมโครเวฟซึ่งมีคะแนนความชอบโดยรวมไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดควบคุม เช่นเดียวกับผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบโดยรวมของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ทั้งใช้ร่วมกับไมโครเวฟและไม่ร่วมกับไมโครเวฟไม่มีความแตกต่างกับชุดควบคุมทั้งที่คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ไม่ร่วมกับระบบไมโครเวฟ มีมากกว่าชุดควบคุมและผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่แคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ระบบไมโครเวฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ในขณะที่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำแช่ร่วมกันของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ใช้ร่วมกับไมโครเวฟมีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าชุดควบคุมและผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำชุดเดียวกันที่ไม่ใช้ร่วมกับระบบไมโครเวฟโดยได้คะแนนเท่ากับ 5.60 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนความชอบในช่วงระดับปานกลางถึงชอบมาก ผู้ชิมได้พิจารณาจากความแน่นเนื้อและให้คะแนนความชอบมากกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

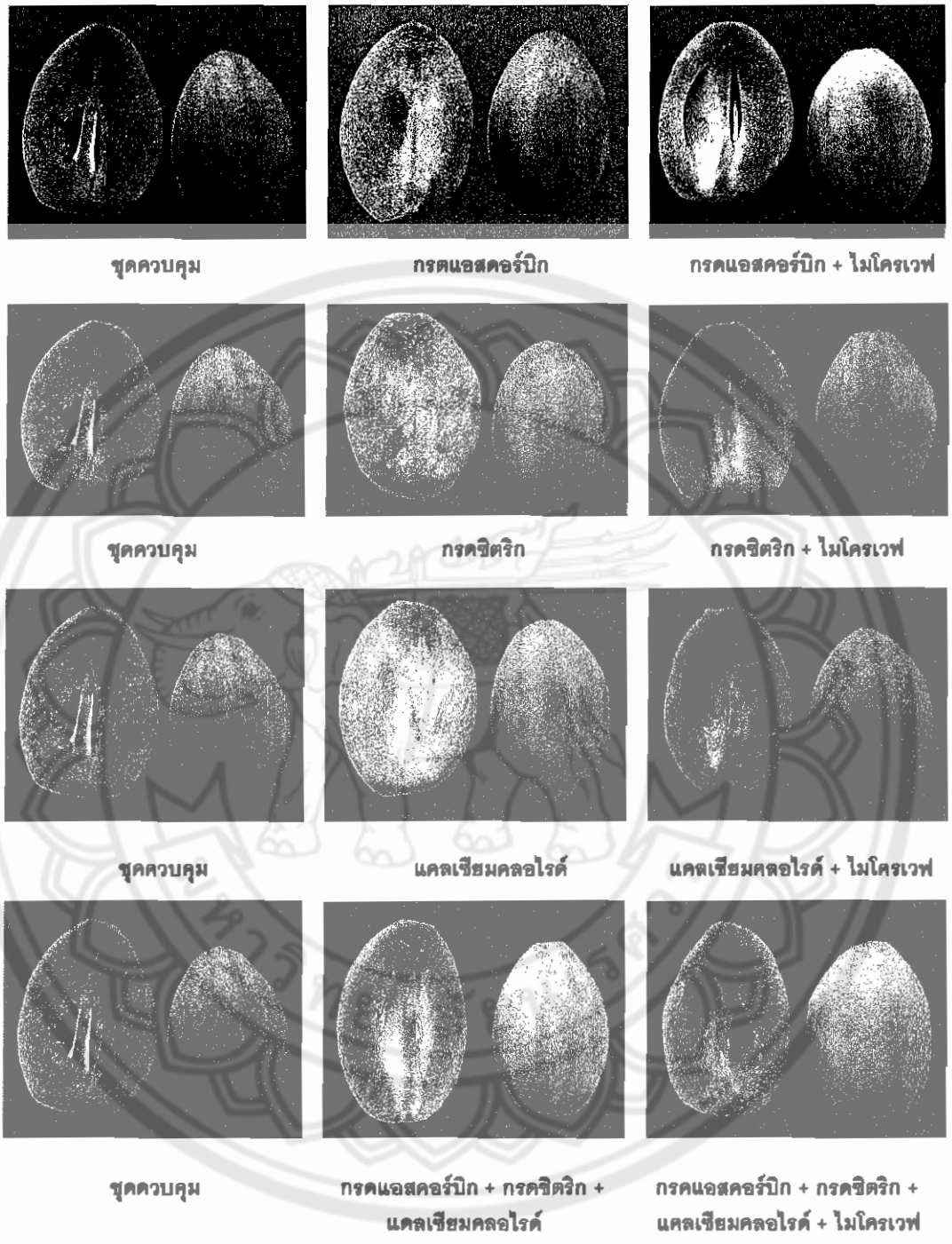
สำหรับคะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่สารเคมีทั้งร่วมและไม่ร่วมกับไมโครเวฟทุกชุดการทดลองได้คะแนนความชอบไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดควบคุมซึ่งคะแนนที่ได้นั้นอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อยอาจเป็นไปได้ว่ากลิ่นผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษาเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ acetaldehyde ในผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำ (Amarante & Banks, 2001) หรือเกิดจากกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยยีสต์ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย เนื่องจากอุณหภูมิต่ำสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ (Varoquaux & Wiley, 1993) และสำหรับผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่ใช้ระบบไมโครเวฟจะเกิดกลิ่นเนื่องจากการไหม้ของน้ำตาลในปฏิกิริยาเมลลาร์ด (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ตาราง 63 คะแนนทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่แช่ในสารเคมีร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2

ทรีดเมนต์ / วัน	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ชุดควบคุม	4.35 ^{cd} ± 1.59	4.50 ^{ab} ± 1.39	4.75 ^{bc} ± 1.62	4.40 ^{b} ± 1.54	4.30 ^{b} ±1.42
กรดแอสคอร์บิก*	5.90 ^{a} ± 1.12	5.40 ^{a} ± 1.23	4.75 ^{bc} ± 1.58	4.85 ^{ab} ± 1.95	5.50 ^{a} ± 1.36
กรดแอสคอร์บิก* + ไมโครเวฟ	4.75 ^{bcd} ±1.52	5.05 ^{ab} ± 1.47	5.90 ^{a} ± 0.85	4.90 ^{ab} ± 1.21	4.40 ^{b} ± 1.54
กรดซิตริก**	5.70 ^{ab} ± 1.22	5.00 ^{ab} ± 1.08	4.15 ^{c} ± 1.69	4.70 ^{ab} ± 1.56	4.95 ^{ab} ±1.19
กรดซิตริก** + ไมโครเวฟ	5.20 ^{abcd} ±1.54	4.90 ^{ab} ±1.17	4.70 ^{bc} ±1.38	4.95 ^{ab} ± 1.39	4.45 ^{b} ± 1.50
แคลเซียมคลอ ไรด์***	5.30 ^{abc} ±1.17	4.25 ^{b} ± 1.65	3.75 ^{c} ± 1.65	5.50 ^{a} ± 1.15	4.90 ^{ab} ±1.29
แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	4.30 ^{d} ± 1.69	4.65 ^{ab} ± 1.04	4.30 ^{bc} ± 1.49	4.40 ^{b} ± 1.19	4.00 ^{b} ±1.69
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์***	6.00 ^{a} ± 1.03	4.65 ^{ab} ± 1.42	4.40 ^{bc} ±2.01	4.65 ^{ab} ± 1.53	4.45 ^{b} ± 1.85
กรดแอสคอร์บิก* + กรดซิตริก** + แคลเซียมคลอไรด์*** + ไมโครเวฟ	5.20 ^{abcd} ±1.61	4.70 ^{ab} ±1.13	5.25 ^{ab} ± 1.29	5.55 ^{a} ± 1.05	5.60 ^{a} ± 1.23

a – d ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแถวเดียวกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 1.0% ** กรดซิตริกความเข้มข้น 1.5% *** แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1.5%



ภาพ 63 ผลของการใช้กรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นร้อยละ 1.0 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ1.5 แช่ผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำนาน 2 นาที ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟกำลังไฟ 630 วัตต์ นาน 60 วินาที ต่อลักษณะที่ปรากฏของผลละมุดแปรรูปขั้นต่ำที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 63±2