ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชสวน)
ปริญญา

พืชสวน — **สาขา**
พืชสวน — **ภาควิชา**

เรื่อง ปริมาณกรดไขมัน แอนตี้ออกซิแดนท์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.)

The Amount of Fatty Acid, Antioxidant and Related Enzymes on Internal Browning in Pineapples (*Ananas comosus* (L) Merr.)

นามผู้วิจัย นางสาวกรกช ชั้นจิรกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ ....
(ศาสตราจารย์จริงแท้ ศิริพานิช, Ph.D.)

กรรมการ ....
(รองศาสตราจารย์รวี เสรฐภักดี, Ph.D.)

กรรมการ ....
(รองศาสตราจารย์จินดารัฐ วีระวุฒิ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....
(รองศาสตราจารย์กฤษณา กฤษณพุกต์, D.Agr.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....
(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ปริมาณกรดไขมัน แอนตี้ออกซิแดนท์ และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.)

The Amount of Fatty Acid, Antioxidant and Related Enzymes on Internal Browning in Pineapples (*Ananas comosus* (L) Merr.)

โดย

นางสาวกรกช ชั้นจิรกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชสวน)
พ.ศ. 2553

กรกช ชั้นจิรกุล 2553: ปริมาณกรดไขมัน แอนตี้ออกซิแดนท์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องต่อ
ต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.)
ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (พืชสวน) สาขาวิชาพืชสวน ภาควิชาพืชสวน
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์จริงแท้ ศิริพานิช, Ph.D. 127 หน้า

ในการเก็บรักษาสับปะรดสองพันธุ์ไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าพันธุ์ตราดสีทองมีอาการไส้สีน้ำตาลเร็วกว่าและรุนแรงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย พบการรั่วไหลของประจุที่บ่งบอกถึงความเสียหายของเยื่อหุ้มในพันธุ์ตราดสีทองที่มีมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียเล็กน้อยและการรั่วไหลนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและในพันธุ์ตราดสีทองมีกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียอย่างชัดเจนด้วย ดังนั้นความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดทั้งสองพันธุ์จึงขึ้นอยู่กับความเสียหายของเยื่อหุ้มและกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งสองชนิด ส่วนความเร็วในการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลขึ้นอยู่กับความเสียหายของเยื่อหุ้มเป็นสำคัญ สำหรับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมในพันธุ์ตราดสีทองมีน้อยกว่าพันธุ์ปัตตาเวียประมาณ 1 เท่า และยังมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน รวมทั้งกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD   น้อยกว่าด้วย ยกเว้นความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลที่มีมากกว่า ทำให้พันธุ์ตราดสีทองมีระบบต้านทานอนุมูลอิสระโดยรวมด้อยกว่า อีกทั้งพันธุ์ตราดสีทองมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นเป้าหมายของการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระมากกว่า และมีปริมาณ MDA ที่บ่งบอกถึงความเสียหายของเยื่อหุ้มจากการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย จากข้อมูลทั้งหมดจึงกล่าวได้ว่าอาการไส้สีน้ำตาลที่มีมากในพันธุ์ตราดสีทองเป็นเพราะมีเยื่อหุ้มที่อ่อนแอมากกว่าและมีระบบต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดที่ด้อยกว่า ทำให้เกิดความเสียหายของเยื่อหุ้มทั้งการรั่วไหลของประจุและปริมาณ MDA   มากกว่า อีกทั้งยังมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ที่ถูกกระตุ้นเพิ่มขึ้นมากกว่าจึงทำให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย แต่ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายของเยื่อหุ้มและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลนั้นยังไม่ชัดเจน

______________________________ ______________________________ ___ / ___ / ___
ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Korakot Chanjirakul 2010: The Amount of Fatty Acid, Antioxidant and Related Enzymes to Internal Browning in Pineapples (*Ananas comosus* (L) Merr.). Doctor of Philosophy (Horticulture), Major Field: Horticulture, Department of Horticulture. Thesis Advisor: Professor Jingtair Siriphanich, Ph.D. 127 pages.

‘Trad Si Thong’ and ‘Pattavia’ pineapples of two maturity stages were stored at 10 °C for 21 days. ‘Trad Si Thong’ pineapple showed earlier and more severe internal browning symptom than ‘Pattavia’. ‘Trad Si Thong’ pineapples exhibited slightly higher electrolyte leakage, an indicator of membrane deterioration, than ‘Pattavia’. The leakage increased gradually during storage. The PPO and POD activity of ‘Trad Si Thong’ pineapples increased quickly and higher than those found in ‘Pattavia’. These data suggested that the severity of internal browning development in pineapple was due to the degree of membrane deterioration and the level of the enzyme activities, while the speed of internal browning development was mainly due to the degree of membrane deterioration. ‘Trad Si Thong’ pineapples had less total antioxidant capacity than ‘Pattavia’ by half. In addition, ‘Trad Si Thong’ contained less free radical scavenger capacity for singlet oxygen and superoxide, but not for hydroxyl radical. Asa-POD activity in ‘Trad Si Thong’ was also higher than ‘Pattavia’. Thus, ‘Trad Si Thong’ had inferior antioxidant system to ‘Pattavia’. Moreover, ‘Trad Si Thong’ exhibited higher content of unsaturated fatty acid, which is the target of free radical. MDA content that was the indicator of membrane damage by free radicals was also found higher in ‘Trad Si Thong’. All these data illustrated that the internal browning that abound more in ‘Trad Si Thong’ because it had a weaker membrane and inferior total antioxidant system to ‘Pattavia’, resulting in more damaged membrane, electrolyte leakage and MDA content. In addition, the PPO and POD activities in ‘Trad Si Thong’ were activated higher than that in ‘Pattavia’ consequently more symptom was found in ‘Tras Si Thong’. However, the relationship between membrane deterioration and browning enzyme activities remain unclear.

_______________________ _______________________ ____/____/____

Student’s signature Thesis Advisor’s signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร. จริงแท้ ศิริพานิช ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์รวี เสรฐภักดี กรรมการวิชาเอก รองศาสตราจารย์จินดารัฐ วีระวุฒิ กรรมการวิชารองที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงลงได้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์ ผู้แทนบัณฑิตที่ให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขข้อผิดพลาดด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งจนวิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ที่สนับสนุนทุนในการศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลยา ศรีพุทธชาติ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและให้กำลังใจในการศึกษาครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.วชิรญา อิ่มสบาย ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจ ตลอดจนคุณสุทิน กันยะมี เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญและให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านอย่างดียิ่งเสมอมาจนศึกษาสำเร็จลุล่วง

กรกช ชั้นจิรกุล
ธันวาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง (2)
สารบัญภาพ (9)
คำนำ 1
วัตถุประสงค์ 4
การตรวจเอกสาร 5
อุปกรณ์และวิธีการ 27
ผล 40
วิจารณ์ 67
สรุป 83
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 85
ภาคผนวก 99
ประวัติการศึกษาและการทำงาน 127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณผลผลิตและราคาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2541 – 2550	8
2	มูลค่าการส่งออกสับปะรดแปรรูปและสับปะรดผลสดของประเทศไทยตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543 – 2548	9
3	มูลค่าการส่งออกสับปะรดผลสดของประเทศไทยกับประเทศคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543 – 2548	9
4	สารอาหารและแร่ธาตุที่พบในสับปะรดส่วนที่รับประทานได้ หนัก 100 กรัม	10
5	ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การรั่วไหลของประจุและกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตามสมมติฐานของกลไกการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Lyons (1973)	68
6	ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล MDA ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม (FRAP) และอนุมูลแต่ละชนิด และปริมาณกรดไขมันที่เนื้อเยื่อของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตามสมมติฐานของกลไกในการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Shewfelt and Rosario (2000)	78

ตารางผนวกที่

1A	การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน	103
1B	ความแปรปรวนของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

2A ความรุนแรง (คะแนน) ของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 104

2B ความแปรปรวนของความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 104

3A ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 105

3B ความแปรปรวนของการรั่วไหลของประจุในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 105

4A ปริมาณ MDA (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 106

4B ความแปรปรวนของปริมาณ MDA ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 106

5A กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 107

5B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

6A กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 108

6B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 108

7A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 109

7B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 109

8A การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 110

8B ความแปรปรวนของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 110

9A ความรุนแรง (คะแนน) ของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 111

9B ความแปรปรวนของความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

10A ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 112
10B ความแปรปรวนของการรั่วไหลของประจุในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 112
11A ปริมาณ MDA (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 113
11B ความแปรปรวนของปริมาณ MDA ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 113
12A กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 114
12B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 114
13A กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 115
13B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

14A กิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 116

14B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 116

15A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 117

15B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 117

16A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน (มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 118

16B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 118

17A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

17B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 119

18A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล (มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบทต่อกรัมน้ำหนักสด) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 120

18B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 120

19A อัตราส่วนระหว่าง UFA/SFA ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 121

19B ความแปรปรวนของอัตราส่วนระหว่าง UFA/SFA ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 121

20A ปริมาณกรดไขมันปาล์มมิติก (C 16:0) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 122

20B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันปาล์มมิติก (C 16:0) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

21A ปริมาณกรดไขมันสเตียริก (C 18:0) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 123

21B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันสเตียริก (C 18:0) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 123

22A ปริมาณกรดไขมันเพโทรเซลินิก (C 18:1) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 124

22B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันเพโทรเซลินิก (C 18:2) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 124

23A ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (C 18:2) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 125

23B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (C 18:2) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 125

24A ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (C 18:3) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 126

24B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (C 18:3) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 126

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 สัดส่วนผลที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 41

2 ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 42

3 การรั่วไหลของประจุของเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 43

4 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน ของเนื้อเยื่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 44

5 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 46

6 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 47

7 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 48

8 จำนวนผลที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

9 ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน 50
10 การรั่วไหลของประจุของเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน 52
11 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน ของเนื้อเยื่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสี-ทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 53
12 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 54
13 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 55
14 กิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 56
15 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระหมดทั้งของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 58
16 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

17 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 60
18 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 61
19 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับกรดไขมันชนิดอิ่มตัวของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน 62
20 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน (เครื่องหมาย I แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) 64
21 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน (เครื่องหมาย I แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน) 66

ภาพผนวกที่

1 กราฟมาตรฐานของโปรตีน โดยใช้สารละลาย bovine serum albumin ความเข้มข้น 10-100 mg L^{-1} 100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่ **หน้า**

2 กราฟมาตรฐานของ ferrous tripyridyltriazine (FeII-TPTZ) ในการคำนวณหาค่า FRAP value โดยใช้สารละลาย Iron (II) sulfate heptahydrate ความเข้มข้น 100-1,000 µM 100

3 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ตออกซิเจน ความเข้มข้น 0.1-0.10 mM L^{-1} 101

4 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0.1-0.10 mM L^{-1} 101

5 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลความเข้มข้น 0.1-0.10 mM L^{-1} 102

ปริมาณกรดไขมัน แอนตี้ออกซิแดนท์ และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.)

The Amount of Fatty Acid, Antioxidant and Related Enzymes on Internal Browning in Pineapples (*Ananas comosus* (L) Merr.)

คำนำ

สับปะรด *Ananas comosus* (L.) Merr. เป็นพืชเขตร้อนที่สำคัญ มีการผลิตทั่วโลกมากเป็นอันดับสามรองจากกล้วยและส้ม (Bartholomew *et al.*, 2003) จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและทนแล้ง (จารุพันธุ์, 2526) พันธุ์ที่นิยมปลูกกันมาก คือ พันธุ์ปัตตาเวีย ปลูกมากบริเวณภาคตะวันตก เช่น ประจวบคีรีขันธ์และเพชรบุรี พันธุ์ที่นิยมปลูกรองลงมาคือ พันธุ์ตราดสีทอง ปลูกมากบริเวณภาคตะวันออก เช่น ตราด ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นแหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญสามารถส่งออกสับปะรดได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ทำรายได้เข้าประเทศปีละหลายพันล้านบาท (FAO, 2008) จากข้อมูลสถิติในปี 2551 พบว่าประเทศไทยส่งออกสับปะรดในรูปผลิตภัณฑ์แปรรูปต่าง ๆ เป็นปริมาณ 563,057 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 17,053 ล้านบาท แต่สับปะรดที่ส่งออกในรูปผลสดกลับมีปริมาณเพียงแค่ 4,513 ตัน คิดเป็นมูลค่าเพียง 83.2 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งทางอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องขนส่งทางเรือและใช้เวลานาน ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) เนื่องจากสับปะรดเป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน จึงอ่อนแอต่อการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ อาการสะท้านหนาวในสับปะรดเป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่เรียกว่า อาการไส้สีน้ำตาล (internal browning) (Akamine *et al.*, 1975) โดยลักษณะของอาการไส้สีน้ำตาลคือ การเกิดจุดสีน้ำตาลบริเวณเนื้อใกล้กับแกนผล (Paull and Rohrbach, 1982) และถ้าอาการรุนแรงมากสามารถเห็นสีน้ำตาลได้ทั้งที่แกนผลและเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียง อาการไส้สีน้ำตาลสามารถพบได้ในสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต แต่อาการที่ปรากฏในพันธุ์ภูเก็ตจะเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าและรุนแรงกว่าในพันธุ์ปัตตาเวีย (จักรพงษ์, 2535; อ้อมอรุณ, 2547) การแก้ปัญหา

อาการไส้สีน้ำตาลมีหลายวิธี เช่น การลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ เพื่อให้พืชมีเวลาในการปรับตัวต่ออุณหภูมิต่ำ การเก็บรักษาผลผลิตในอุณหภูมิสลับระหว่างอุณหภูมิที่เกิดอาการไส้สีน้ำตาลกับอุณหภูมิที่สูงกว่านั้น การใช้สารเคลือบผิว หรือการควบคุมสภาพบรรยากาศไม่ว่าจะเป็นการลดปริมาณออกซิเจนหรือเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (จริงแท้, 2541) หรือการใช้ 1-Methylcyclopropene (1-MCP) (Selvarajah *et al*., 2001) เป็นต้น วิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวส่วนใหญ่ให้ผลน่าพอใจสำหรับสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งอยู่ในกลุ่ม Smooth Cayenne แต่ใช้ไม่ได้ผลสำหรับสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตซึ่งอยู่ในกลุ่ม Queen สันนิษฐานว่าเนื่องจากปริมาณกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid)ที่มีในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตต่ำกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย (จักรพงษ์, 2535) เนื่องจากกรดแอสคอร์บิกเป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) ซึ่งสามารถรีดิวซ์ควิโนน (quinone) ได้ ทำให้ไม่มีควิโนนที่จะไปรวมตัวทำให้เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่และเกิดเป็นสารสีน้ำตาล ดังนั้นสับปะรดที่มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกสูงจึงไม่ปรากฏอาการไส้สีน้ำตาล (Teisson *et al*., 1978)

ในอดีตคำอธิบายถึงการเกิดอาการสะท้านหนาวกล่าวว่า การเก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน ทำให้กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ของเยื่อหุ้มต่าง ๆ เปลี่ยนสภาพทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว (liquid crystalline) มาเป็นลักษณะแข็งตัว (solid gel) ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลงไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ (Lyons, 1973) สารประกอบฟีนอล (phenolic compound) จึงอาจไหลออกจากออร์แกเนลและเข้าทำปฏิกิริยากับเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส (polypheniol oxidase; PPO) เปลี่ยนสารประกอบฟีนอลให้เป็นควิโนนโดยมีออกซิเจนร่วมในปฏิกิริยา จากนั้นควิโนนจึงรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่และเกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น

ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 Shewfelt and Rosario ได้เสนอคำอธิบายหรือสมมติฐานการเกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาต่าง ๆ รวมทั้งอาการสะท้านหนาวในผักและผลไม้ขึ้นมาใหม่ซึ่งแตกต่างไปจากสมมติฐานเดิมว่า อาการสะท้านหนาวเป็นการตอบสนองต่อความเครียดจากสภาพการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูง ปริมาณออกซิเจนต่ำ หรือการมีแสงมากเกินไป โดยสภาพในการเก็บรักษาดังกล่าวข้างต้นมีผลในการกระตุ้นอนุมูลอิสระ (free radicals) ชนิด ออกซิเจนไวปฏิกิริยา (reactive oxygen) เช่น อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet-}$) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และอนุมูลไฮดรอกซิล ($HO^{\bullet}$) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุมูลอิสระดังกล่าวมีผลต่อไขมันสามารถทำลายกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเยื่อหุ้มเซลล์ โดยก่อให้เกิดปฏิกิริยาลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสื่อมสภาพ (Shewfelt and Erickson, 1991) ส่งผลให้สารต่าง ๆ

เคลื่อนที่ผ่านเข้าออกจากเซลล์อย่างอิสระ (Murata, 1990) รวมถึงสารประกอบฟีนอล และทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ PPO เช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นจนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น แต่หากพืชมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดแอสคอร์บิกสูง กรดแอสคอร์บิกก็อาจเข้าขัดขวางทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในสภาพอุณหภูมิต่ำ ไม่ให้เกิดการออกซิไดส์กรดไขมันบนเยื่อหุ้ม (ปฏิกิริยาลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน) และป้องกันการเกิดอาการสะท้านหนาวได้

สมมติฐานของการเกิดอาการสะท้านหนาวในอดีตและปัจจุบันมีทั้งข้อมูลที่สนับสนุนและคัดค้านกับสมมติฐานทั้งสอง กลไกการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทองจึงยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ทำให้การควบคุมการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดจึงยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร การศึกษาเรื่องอาการสะท้านหนาวในสับปะรด ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเอนไซม์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเป็นจำนวนมาก ดังเช่น การทดลองของ Stewart *et al.* (2001) และ Zhou *et al.* (2003a) เป็นต้น รวมถึงมีการศึกษาเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระที่เกี่ยวข้องกับการสะท้านหนาวในสับปะรด ดังรายงานของ Om-arun and Siriphanich (2004) แต่ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมัน ความเสียหายที่เกิดกับเยื่อหุ้มและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดเมื่อเกิดการสะท้านหนาว ดังนั้นการศึกษาเปรียบเทียบในพันธุ์สับปะรดที่ง่ายต่อการเกิดอาการสะท้านหนาวต่างกันถึงการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ น่าจะเป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงกลไกในการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้และส่งผลให้สามารถควบคุมอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดได้ในที่สุด การศึกษาถึงกลไกในการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดครั้งนี้จึงวิเคราะห์ตามสมมติฐานในการเกิดการสะท้านหนาวทั้ง 2 สมมติฐานหลักมุ่งประเด็นไปที่ 1) การเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ 2) ปริมาณและชนิดของไขมันในเนื้อเยื่อของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 3) กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) และ 4) เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบความแตกต่างของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ

2. เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างของชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่มีอยู่ในสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ

3. เพื่อให้อธิบายได้ว่าทำไมสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองจึงอ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย

การตรวจเอกสาร

สับปะรด *Ananas comosus* (L.) Merr. เป็นผลไม้ที่มีรสชาติดี มีผลขนาดใหญ่ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคกันทั่วไป จากการศึกษาถึงประวัติ การแพร่กระจายและการผลิตของสับปะรดในโลก พบว่ามีการปลูกสับปะรดเพื่อใช้เป็นอาหารอยู่ในเขตพื้นที่ต่ำในเขตร้อนของอเมริกาใต้ ทำให้เชื่อว่าสับปะรดมีแหล่งกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา และเชื่อว่าแหล่งที่มาของสับปะรดในกลุ่ม Smooth cayenne ซึ่งเป็นสับปะรดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายนั้นคือบริเวณลุ่มแม่น้ำอเมซอน ต่อมาจึงได้มีการแพร่กระจายพันธุ์ไปยังที่ต่าง ๆ ทั่วโลก (Loison-Cabot, 1992; Rohrbach *et al*., 2003)

สับปะรดเป็นพืชชนิดเดียวในวงศ์ Bromeliaceae ที่มีคุณค่าในทางเศรษฐกิจมากที่สุด ผลสามารถใช้รับประทานสดได้ ใช้ผลิตเป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ และเป็นแหล่งของเอนไซม์ที่ใช้ย่อยโปรตีนที่ชื่อ บรอมีเลน (Bromelain) ที่ใช้เป็นสารทำให้เนื้อนุ่ม (Heinicke and Gortner, 1957) รวมถึงยังมีสรรพคุณทางยาโดยใช้เป็นยาขับปัสสาวะ ช่วยในระบบไหลเวียนโลหิต แก้โรคนิ่ว และช่วยย่อยอาหาร เป็นต้น (ปรียา, 2547) ลำต้นและใบของสับปะรดเป็นแหล่งของเยื่อใยที่มีสีขาวครีมและมีความเป็นมันวาวคล้ายไหม เมื่อผ่านกระบวนการทำกระดาษจะได้กระดาษที่มีคุณภาพนอกจากนี้ของเหลือทั้งส่วนเปลือก แกน และกากที่ได้จากการคั้นน้ำยังนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย

พันธุ์สับปะรด

พันธุ์สับปะรดที่ปลูกเป็นการค้าทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ตามรูปร่างลักษณะ ความยาวของใบ น้ำหนักของผล และลักษณะของผล รวมถึงการใช้ประโยชน์ (Samuel, 1970; Leal and Soule, 1977; Py *et al*., 1987) ดังนี้

1. กลุ่ม Abacaxi ลักษณะใบมีหนาม ผลเป็นรูปทรงกรวย ผลมีขนาดกลาง หนักประมาณ 1-1.3 กิโลกรัม แกนผลมีขนาดเล็ก เปลือกมีสีเหลือง สีเนื้อ สีเหลืองอ่อนไปจนถึงสีขาว เนื้อมีรสหวาน เนื้อนุ่มและมีน้ำมาก ด้วยคุณลักษณะต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาทำให้สับปะรดในกลุ่มนี้เหมาะที่จะใช้บริโภคผลสด และด้วยลักษณะผิวที่นุ่ม และมีการสุกที่รวดเร็วทำให้สับปะรดในกลุ่มนี้มีความเสี่ยงสูงสำหรับการส่งออก พันธุ์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ Sugar Loaf, Pernambuco พบได้มากในอเมริกากลาง และอเมริกาใต้

2. กลุ่ม Cayenne ลักษณะใบเรียบ มีหนามเล็กน้อยที่ปลายใบ ผลเป็นรูปทรงกระบอก มีไขเล็กน้อย และตาแบน ผลมีขนาดใหญ่ แกนผลมีขนาดกลาง สีเนื้อเหลืองอ่อนไปถึงเหลือง รสชาติหวาน มีกรดเล็กน้อย มีเยื่อใยน้อย เนื้อนุ่ม และมีน้ำมาก เหมาะสำหรับทั้งบริโภคสดและแปรรูป เป็นพันธุ์ที่สำคัญในทางการค้าและอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋อง ทั้งนี้เป็นเพราะรูปทรงของผลและลักษณะตาที่ตื้นทำให้มีส่วนที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้มีน้อย และยังมีผลผลิตต่อพื้นที่สูง และด้วยรสชาติที่หวาน มีกรดน้อยนั้นเป็นรสชาติมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในตลาดสับปะรดกระป๋อง พันธุ์หลักที่สำคัญในกลุ่มนี้คือ Smooth Cayenne

3. กลุ่ม Maipure หรือ Perolera ลักษณะใบเรียบไม่มีหนาม ใบเรียว (piping) ผลเป็นรูปทรงกระบอก น้ำหนักผลประมาณ 0.8-2.5 กิโลกรัม เนื้อมีสีเหลืองเข้ม แกนผลมีขนาดปานกลางมีเส้นใยมาก เนื้อนุ่ม มีน้ำมาก รสหวานมากกว่า Cayenne เปลือกผลเมื่อดิบมีสีเขียวเข้มเมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มเข้ม ผลสับปะรดในกลุ่มนี้มีคุณลักษณะปานกลางทั้งในด้านแปรรูปและการบริโภคสด พันธุ์ที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ Maipure, Perolera และ Monte Lirio

4. กลุ่ม Queen ลักษณะใบมีหนาม ผลเป็นรูปทรงรี ผลมีขนาดเล็ก มีตาลึก แกนเล็ก เนื้อมีสีเหลืองเข้ม มีกลิ่นหอม เนื้อกรอบ รสหวานเข้ม กรดน้อย สับปะรดในกลุ่มนี้มีคุณภาพดีเหมาะสำหรับบริโภคสด ไม่เหมาะสำหรับแปรรูป เพราะผลมีขนาดเล็กและมีตาลึกทำให้มีส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ Mauritius, Malacca และ Victoria เป็นต้น

5. กลุ่ม Spanish ใบมีหนาม ผลทรงกลม ตาลึก ผลมีขนาดใหญ่ แกนผลใหญ่ เนื้อมีสีเหลืองอ่อนไปถึงสีขาว รสชาติเป็นกรดจัด มีเยื่อใยมาก เหมาะสำหรับบริโภคสด ไม่ค่อยนิยมนำไปแปรรูปเป็นสับปะรดกระป๋อง เพราะมีลักษณะผลเป็นทรงกลม ตาลึก เนื้อมีเยื่อใยมาก และสีเนื้อไม่สวย พันธุ์ที่สำคัญได้แก่ Red Spanish และ Singapore Spanish

สำหรับพันธุ์สับปะรดที่ปลูกในประเทศไทยนั้น พบอยู่เพียง 3 กลุ่ม คือ กลุ่ม Cayenne ได้แก่ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย กลุ่ม Queen ได้แก่ สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตหรือพันธุ์ตราดสีทอง และกลุ่ม Spanish ได้แก่ พันธุ์อินทรชิต ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกสำหรับแปรรูปและบริโภคผลสด หรือส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้แก่พันธุ์ปัตตาเวีย และพันธุ์ภูเก็ต หรือตราดสีทอง ซึ่งสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์นี้มีลักษณะเด่นสำคัญที่แตกต่างกันดังนี้

1. พันธุ์ปัตตาเวียเป็นสับปะรดในกลุ่ม Cayenne หรือ Smooth Cayenne เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุด รู้จักกันแพร่หลายในนาม “สับปะรดศรีราชา” และชื่ออื่น ๆ เช่น “ปราณบุรี” และ “สามร้อยยอด” เป็นต้น แหล่งปลูกที่สำคัญในปัจจุบันคือ ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ชลบุรีและระยอง มีลักษณะที่สำคัญคือ ผลมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกไป ผลมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ ผลหนักประมาณ 1 – 2.5 กิโลกรัม หากผลมีขนาดใหญ่มากจะมีรูปทรงใหญ่ปลายเรียว (conical shape) หากเป็นผลขนาดเล็กมักมีทรงกลมหรือป้อมหรือทรงกระบอก มีตาตื้น ไม่เป็นร่อง เปลือกผลเมื่อดิบมีสีเขียวเข้ม เมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมส้มประมาณครึ่งผลด้านล่าง เนื้อมีสีเหลืองอ่อน แต่จะเปลี่ยนเป็นสีเข้มในฤดูร้อน ตาตื้น เยื่อใย (fiber) ปานกลาง รสชาติดี โดยเฉลี่ยมีปริมาณกรด 0.3 – 0.7 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณ soluble solid (SS) 12 – 16 เปอร์เซ็นต์ (จารุพันธุ์, 2526)

2. พันธุ์ภูเก็ตและพันธุ์ตราดสีทอง เป็นสับปะรดในกลุ่ม Queen ในอดีตปลูกกันมากในจังหวัดภูเก็ตและชุมพรแต่ปัจจุบันมีปลูกมากทางภาคตะวันออก ได้แก่ ตราด จันทบุรีและระยอง มีลักษณะที่สำคัญคือ ผลมีขนาดเล็กประมาณ 1.0 กิโลกรัม รูปร่างแบบทรงกระบอก ผลย่อยนูน ตาลึก เปลือกหนา เมื่อสุกเปลือกจะมีสีเหลือง เนื้อมีสีเหลืองเข้ม หวานกรอบ เยื่อใยน้อย กลิ่นหอม แกนผลอ่อนนุ่มกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย เหมาะสำหรับบริโภคสด (จารุพันธุ์, 2526)

การผลิตและส่งออกสับปะรดของประเทศไทย

ประเทศไทยสามารถผลิตสับปะรดได้เกือบตลอดทั้งปี อีกทั้งการปลูกเพื่อส่งผลผลิตเข้าโรงงานแปรรูปนั้นต้องการผลผลิตสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงมีการปลูกตลอดทั้งปี แต่ช่วงปลูกที่เหมาะสม คือ ระหว่างเดือนพฤศจิกายน – เมษายน ทั้งนี้เป็นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวมีฝนตกน้อย ซึ่งช่วยให้สับปะรดที่ปลูกไม่เกิดปัญหาโรคยอดและรากเน่า (จิราพรรณ, 2548) สับปะรดที่ปลูกทั่วไปจะใช้ส่วนของลำต้นหรือหน่อข้าง (sucker) และจุก (crown) เป็นส่วนขยายพันธุ์ การปลูกโดยส่วนหน่อจะให้ผลเร็วกว่าการปลูกด้วยจุก ในการปลูกแต่ละครั้งสามารถเก็บผลได้ 3 รุ่น โดยในหนึ่งปีจะมีผลผลิตออกสู่ตลาด 2 ช่วง คือ ช่วงเดือน เมษายน – พฤษภาคม และช่วงเดือน พฤศจิกายน – ธันวาคม (สมฤทัย, 2543) โดยปริมาณของสับปะรดที่ออกสู่ท้องตลาดนั้นจะเป็นตัวกำหนดราคาของสับปะรดด้วย ดังจะเห็นได้จากปริมาณสับปะรดที่ผลิตได้ กับราคาสับปะรดที่เกษตรกรขายได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตและราคาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 – 2550

ปี พ.ศ.	ปริมาณผลผลิต (1,000 ตัน)	ราคาสับปะรดที่เกษตรกรขายได้ (บาท/กิโลกรัม)
2541	1,786	5.19
2542	2,372	2.35
2543	2,248	1.87
2544	2,078	2.00
2545	1,739	4.23
2546	1,899	4.10
2547	2,101	4.58
2548	2,183	3.69
2549	2,705	2.45
2550	2,185	4.41

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2550)

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตสับปะรดของแต่ละประเทศพบว่าปี พ.ศ. 2550 ประเทศไทยสามารถผลิตสับปะรดได้ถึง 2.18 ล้านตัน โดยประเทศไทยสามารถผลิตสับปะรดสดได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก เมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่งขันอื่น ๆ ทั่วโลก (FAO, 2009) และนับได้ว่าประเทศไทยเป็นแหล่งการผลิตสับปะรดที่สำคัญของการค้าสับปะรดทั่วโลก

จากรายงานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติที่ได้จัดทำรายงานมูลค่าการส่งออกสินค้าเกษตรของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก พบว่าประเทศไทยส่งสับปะรดออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทั้งในรูปสับปะรดแปรรูปบรรจุกระป๋องและผลสดมีมูลค่าการส่งออกที่แตกต่างกันคือมูลค่าของการส่งออกสับปะรดผลสดนั้นมีมูลค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสับปะรดแปรรูปบรรจุในกระป๋อง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มูลค่าการส่งออกสับปะรดแปรรูปและสับปะรดผลสดของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – 2548

ปี พ.ศ.	**มูลค่าการส่งออกสับปะรด (ล้านเหรียญสหรัฐ)**	
	สับปะรดผลสด	**สับปะรดแปรรูปบรรจุกระป๋อง**
2543	1.69	212.40
2544	1.50	207.06
2545	1.09	224.64
2546	1.56	282.25
2547	2.62	302.15
2548	1.26	328.92

ที่มา: FAO (2008)

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบการส่งออกสับปะรดผลสดของประเทศไทยกับประเทศคู่แข่งทางการค้า พบว่า มูลค่าการส่งออกของสับปะรดผลสดนั้นมีมูลค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่งที่สำคัญเช่น ฟิลิปปินส์ และคอสตาริกา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 มูลค่าการส่งออกสับปะรดผลสดของประเทศไทยกับประเทศคู่แข่งทางการค้าที่สำคัญตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – 2548

	มูลค่าการส่งออกสับปะรดผลสดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – 2548 (หน่วยล้านดอลลาร์)					
ประเทศ	**2543**	**2544**	**2545**	**2546**	**2547**	**2548**
ไทย	1.69	1.50	1.09	1.56	2.62	6.93
ฟิลิปปินส์	2.47	2.74	2.95	3.81	4.11	11.78
คอสตาริกา	12.15	14.07	17.46	19.89	25.72	32.87

ที่มา: FAO (2008)

ลักษณะทางคุณภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการเก็บรักษาสับปะรด

สับปะรดจัดเป็นผลไม้ประเภท non-climacteric จึงควรเก็บเกี่ยวเมื่อผลบริบูรณ์พร้อมที่จะบริโภค เพราะหลังการเก็บเกี่ยวสับปะรดจะไม่มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปผลสับปะรดที่มีอายุ 150-160 วัน หลังจากการใช้สารเร่งการออกดอกนั้นมีความบริบูรณ์เต็มที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ (จิราพรรณ, 2548) ผลสับปะรดควรมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้หรือ soluble solids (SS) อย่างน้อย 12 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (TA) ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จึงจะมีรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Kader, 1996)

โดยทั่วไปสับปะรดจะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 11 – 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (ส่วนใหญ่เป็นกรดซิตริก) จะอยู่ในช่วง 0.5 – 1.6 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณวิตามินซี (ascorbic acid) 20 – 65 มิลลิกรัมต่อ100 กรัม น้ำหนักสด ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และระดับความบริบูรณ์ (Kader, 1996)

องค์ประกอบทางเคมีและธาตุอาหารที่พบในสับปะรด จากการรายงานของ USDA Nutrient Database for standard reference (2001) พบว่าในส่วนที่รับประทานได้หนัก 100 กรัม มีสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สารอาหารและแร่ธาตุที่พบในสับปะรดส่วนที่รับประทานได้ หนัก 100 กรัม

สารอาหารและแร่ธาตุ	ปริมาณต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้	สารอาหารและแร่ธาตุ	ปริมาณต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้
น้ำ (กรัม)	86.50	แคลเซียม (มิลลิกรัม)	7.00
โปรตีน (กรัม)	0.39	เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.37
ไขมันโดยรวม (กรัม)	0.43	แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	14.00
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	12.39	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	7.00
เยื่อใย (กรัม)	1.20	โปตัสเซียม (มิลลิกรัม)	113.00
ไธอามีน (มิลลิกรัม)	0.09	โซเดียม (มิลลิกรัม)	1.00

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สารอาหารและแร่ธาตุ	ปริมาณต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้	สารอาหารและแร่ธาตุ	ปริมาณต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.08	ไรโบฟลาวิน (มิลลิกรัม)	0.03
ทองแดง (มิลลิกรัม)	0.11	ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.42
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	1.65	กรดแพนโทธินิค (มิลลิกรัม)	0.16
ซีลีเนียม (ไมโครกรัม)	0.60	วิตามินบี 6 (มิลลิกรัม)	0.09
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	15.40	โฟเลตโดยรวม (ไมโครกรัม)	11.00

ที่มา: USDA Nutrient Database for standard reference (2001)

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาสับปะรด คือ 10 – 13 องศาเซลเซียส สำหรับสับปะรดที่ค่อนข้างสุก และ 7 – 10 องศาเซลเซียส สำหรับสับปะรดสุก และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมคือ 85 – 90 เปอร์เซ็นต์ (Kader,1996)

การสะท้านหนาว

อุณหภูมิต่ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางพืชสวนให้มีอายุการวางขายได้นานขึ้น เพราะอุณหภูมิต่ำช่วยลดกระบวนการเมตาโบลิซึมต่าง ๆ ของผลิตผลลง ทำให้ยังคงคุณภาพอยู่ได้ แต่การได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานอาจจะทำให้อายุการวางขายในตลาดสั้นลงได้ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดความเสียหายจากการที่ผลผลิตแสดงอาการผิดปกติเรียกว่า การสะท้านหนาว โดยมักเกิดขึ้นกับพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนที่ได้รับอุณหภูมิต่ำระหว่าง 0 ถึง 10-12 องศาเซลเซียส (Paull, 1990) การเกิดอาการสะท้านหนาวจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด และสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกระยะของการเติบโต ตั้งแต่การงอกของเมล็ด ขณะที่พืชกำลังเจริญเติบโต การเก็บรักษา การขนส่ง และการกระจายผลผลิตออกสู่ตลาด (Morris, 1982) ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความรุนแรงของอาการสะท้านหนาว ได้แก่ ชนิดของพืช พันธุ์ ส่วนของ

พืช ความบริบูรณ์ ช่วงระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำและความต่อเนื่องในการได้รับอุณหภูมิต่ำ โดยพืชที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลายาวนานมักจะแสดงอาการสะท้านหนาวได้รุนแรงกว่าพืชที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลาสั้นกว่า นอกจากนี้ การปฏิบัติการหลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงสภาพอากาศที่แวดล้อมผลิตผลในระหว่างและหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ อีกทั้ง การที่ผลิตผลได้รับความเครียดอื่น ๆ หรือเกิดบาดแผลก็มีอิทธิพลต่อความรุนแรงและการพัฒนาของอาการสะท้านหนาวได้ (Saltveit and Morris, 1990)

อาการสะท้านหนาวที่พบในผลิตผลต่าง ๆ

โดยทั่วไปอาการสะท้านหนาวสามารถพัฒนาและแสดงออกให้เห็นได้ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ แต่โดยมากมักจะแสดงอาการชัดเจนขึ้นเมื่อย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งอาการที่ปรากฏ มักจะแตกต่างกันออกตามชนิดและส่วนต่าง ๆ ของพืชที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ Saltveit and Morris (1990) กล่าวถึงอาการที่มักจะพบเมื่อผลิตผลเกิดอาการสะท้านหนาวไว้ดังนี้

1. มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดในระดับเซลล์ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างและองค์ประกอบของเนื้อเยื่อ การหยุดการเคลื่อนไหวของโปรโตพลาสซึม การเพิ่มอัตราการรั่วไหลของเซลล์

2. เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการเมตาโบลิซึม มีอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลีนที่เพิ่มสูงขึ้นผิดปกติที่พบได้ในบางครั้งในระหว่างการเกิดอาการสะท้านหนาว และมักจะพบว่าเกิดขึ้นบ่อย ๆ หลังจากที่เนื้อเยื่อที่เกิดอาการสะท้านหนาวนั้นได้รับการเคลื่อนย้ายออกมาไว้ยังที่อุณหภูมิสูงขึ้น มีการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพิ่มสูงขึ้น และพบว่ามีกระบวนการเมตาโบลิซึมที่ผิดปกติอื่น ๆ เกิดขึ้นด้วย

3. การเจริญเติบโตลดลงและตาย พืชที่ปลูกในแปลงและไม้ดอกที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเกินไปมักจะพบว่าไม่เติบโต แคระแกร็น หรืออาจจะตายได้ นอกจากนี้อาจจะพบว่ามีการเหี่ยวที่ใบและมีการตายของเซลล์เฉพาะบริเวณซึ่งพัฒนาให้เห็นหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ

4. เกิดบาดแผลที่บริเวณผิว รวมถึงการเกิดรอยบุ๋ม บริเวณที่มีการยุบตัวลงเป็นบริเวณกว้างและการเปลี่ยนสีของผิว อาการเหล่านี้จะปรากฏมากขึ้นเมื่อเกิดมีบาดแผลหรือสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

5. แสดงอาการฉ่ำน้ำของเนื้อเยื่อ เมื่อเซลล์เกิดการเสียหายและมีการสูญเสียสภาพความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเป็นผลให้เกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์ออกไปสู่ช่องว่างระหว่างเซลล์

6. สีภายใน เนื้อผล เนื้อเยื่อลำเลียง และเมล็ดมักจะมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อเกิดการสะท้านหนาว ดังเช่นที่พบในอะโวคาโด และพริก เป็นต้น

7. เกิดการเสื่อมสภาพที่เร็วขึ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์ในสภาพที่มีแสงในขั้นตอนการเกิดโฟโตออกซิเดชัน (photooxidation) ทำให้การสูญเสียสภาพของเซลล์จะเกิดขึ้นเร็วขึ้น

8. เกิดการเน่าเสียมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นก่อนหน้าทำให้เนื้อเยื่อมีสภาพที่เหมาะสมในการเป็นอาหารที่ดีของเชื้อโรค เนื้อเยื่อที่อ่อนแอลงทำให้เชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ สามารถเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น

9. ไม่สามารถสุกได้ตามปกติ ผลไม้ที่เก็บเกี่ยวเมื่อผลบริบูรณ์เต็มที่เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำจนเกิดการสะท้านหนาวจะทำให้ไม่สามารถที่จะสุกได้ตามกระบวนการปกติ หรือเมื่อผลไม้นั้นสุกจะสูญเสียลักษณะที่สำคัญเช่น ไม่มีการพัฒนาของกลิ่นและรสชาติ และมักจะมีการพัฒนากลิ่นที่ผิดปกติเกิดขึ้น

10. สูญเสียความมีชีวิต ส่วนขยายพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ เช่น หัวมันเทศจะสูญเสียความสามารถในการงอกและเติบโตหลังจากเกิดการสะท้านหนาว

อาการไส้สีน้ำตาล

อาการไส้สีน้ำตาล (internal browning หรือ endogenous brown spot หรือ black heart) เป็นอาการผิดปกติทางสรีรวิทยาที่สำคัญของสับปะรด เป็นความเสียหายลักษณะหนึ่งของผลผลิตที่เกิดจากการเก็บรักษาในอุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง (chilling temperature) หรืออาจเรียกว่าอาการสะท้านหนาว ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับพืชเขตร้อนเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 – 15 องศาเซลเซียส และเกิดในพืชเขตหนาวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 – 2 องศาเซลเซียส (จริงแท้, 2541) ลักษณะอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นมีหลายลักษณะ เช่น ผิวหรือเนื้อของผลิตผลเกิดรอยแผลเป็นสีน้ำตาล

หรือดำ และอาจพบรอยบุ๋มด้วยเนื่องจากเซลล์บริเวณนั้นตายไป อาการไส้สีน้ำตาลสามารถพบได้ทั้งในสับปะรดและผักผลไม้หลายชนิด ในสับปะรดจะแสดงอาการให้เห็นเป็นจุดสีน้ำตาลบริเวณเนื้อใกล้กับแกนผล แล้วค่อย ๆ ขยายออกรวมกันเป็นกลุ่มสีน้ำตาลขนาดใหญ่ขึ้น (Kader, 1996)

อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาสับปะรดเพื่อป้องกันไม่ให้สับปะรดเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเป็นดังนี้ สับปะรดในกลุ่ม Smooth Cayenne ที่มีผลสีเขียวควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 85 – 90 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาได้นาน 2 – 3 สัปดาห์ แต่หากสับปะรดมีความบริบูรณ์สูง (ผลมีสีเหลืองประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์) ควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 – 7 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 85 – 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถเก็บรักษาได้นาน 1 – 2 สัปดาห์ (Kader, 1996)

หากเก็บรักษาสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ได้กล่าวมาแล้วจะประสบกับปัญหาอาการไส้สีน้ำตาลได้ ตัวอย่างที่พบ เช่น Abdullah *et al.* (1987) เก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ Smooth Cayenne ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอย่างรุนแรงภายใน 10 วัน แต่ถ้าย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลจะลดลง และเมื่อย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่มากกว่า 35 องศาเซลเซียส จะยับยั้งการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้

ปณิธาน (2533) เก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นาน 1, 2 และ 4 สัปดาห์ แล้วย้ายมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน พบว่ามีอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้น

จักรพงษ์ และ จริงแท้ (2536) พบอาการไส้สีน้ำตาลเมื่อเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ตไว้ที่อุณหภูมิ 8 และ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน แล้วย้ายมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอาการไส้สีน้ำตาลเกิดขึ้นและรุนแรงมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน และพันธุ์ภูเก็ตเกิดอาการได้มากกว่าและเร็วกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย

วิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ในการแก้ไขอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดในปัจจุบัน ได้แก่

1 การใช้สารเคลือบผิว พบว่าการใช้สารเคลือบผิวกับสับปะรดสามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้สับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต (ปณิธาน, 2533; จักรพงษ์ และ จริงแท้, 2536; Paull and Rohrbach, 1982)

2 การใช้แช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสแช่สับปะรดไว้เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ก่อนทำการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำในสับปะรดพันธุ์ Mauritius และพันธุ์ Smooth cayenne พบว่าสามารถลดการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้ (Acedo Jr. *et al*., 2004; Weerahera and Adikaram, 2005)

3 การใช้ 1-Methylcyclopropene ในการลดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดในกลุ่ม ‘Queen’ (Selvarajah *et al*., 2001)

สมมติฐานการเกิดอาการสะท้านหนาว

การสะท้านหนาวมีสาเหตุมาจากการที่พืชได้รับอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวิกฤติซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเซลล์ แต่ยังไม่มีข้อมูลยืนยันที่แน่ชัดว่าอุณหภูมิต่ำก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นอย่างไรกับพืช จากแนวคิดที่ว่าการสะท้านหนาวแบ่งออกเป็น 2 เหตุการณ์ ได้แก่ เหตุการณ์แรก เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายในทันทีทันใด ทำให้กระบวนการทางชีวเคมีภายในพืชเกิดผิดปกติไป เช่น กระบวนการหายใจ กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การไหลเวียนของไซโทพลาสซึม และกระบวนการสังเคราะห์เอทิลีน เป็นต้น และเหตุการณ์ที่สอง เป็นผลจากความผิดปกติจากกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ จากเหตุการณ์แรกก่อให้เกิดความเสียหายกับเซลล์หรือเนื้อเยื่อก่อให้เกิดอาการที่สังเกตได้ (Raison and Orr, 1990) จากแนวคิดที่กล่าวมานี้ พบว่าการแก้ปัญหาเรื่องการสะท้านหนาวตามวิธีการต่าง ๆ นั้นเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุซึ่งเป็นการลดการแสดงอาการสะท้านหนาวจัดเป็นเหตุการณ์ที่สองซึ่งเป็นผลมาจากเหตุการณ์แรก แต่วิธีที่จะแก้ปัญหาให้ดีที่สุดในระยะยาวน่าจะเป็นการแก้ที่เหตุการณ์แรก โดยในปัจจุบันสันนิษฐานว่าอุณหภูมิต่ำก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ซึ่งเชื่อว่าเป็นเหตุการณ์แรก ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถทำให้โครงสร้างของโปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงไปได้ จึงเป็นไปได้ว่าเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำอาจจะทำให้โครงสร้างของเอนไซม์ที่สำคัญในการควบคุมปฏิกิริยาต่าง ๆ นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เอนไซม์ที่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างของเอนไซม์ที่เชื่อว่าเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์แรกได้แก่ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจในช่วงไกลโคลิซิส (glycolysis) ได้แก่เอนไซม์ไพรูเวต ออโธฟอสเฟตไดไคเนส (pyruvate orthophosphate dikinase) ที่เปลี่ยนไพรูเวต (pyruvate) ไปเป็นฟอสโฟอีนอล ไพรูเวต (phosphoenol pyruvate) และผลการวิจัยของ Graham *et al.* (1970) เกี่ยวกับเอนไซม์ฟอสโฟอีนอลไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (phosphoenolpyruvate carboxylase; PEP carboxylase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนฟอสโฟอีนอล ไพรูเวต ไปเป็นออกซาโลอะซีเตต (oxaloacetate) และในข้าวโพดที่วิเคราะห์หาอัตราปฏิกิริยาของเอนไซม์ไพรูเวต ออโธฟอสเฟตไดไคเนส พบว่าที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่จะเกิดการสะท้านหนาวในข้าวโพด ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy; E_a) เพิ่มขึ้นมาก (Shirahashi *et al.*, 1978) แต่ก็ยังไม่มีข้อมูลที่แสดงว่าไม่มีการเพิ่มขึ้นของ ค่า E_a ในพืชที่ไม่แสดงอาการสะท้านหนาว และก็ยังไม่มีข้อมูลที่ชี้ให้เห็นว่า ถ้าเอนไซม์นี้เปลี่ยนแปลงไปแล้วจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและส่งผลอย่างไรต่อพืช

การศึกษาของ Ishikawa (1996) ในถั่วลันเตาที่ไม่เกิดการสะท้านหนาว พบว่าค่า K_m หรือค่าสัมพรรคภาพของซับสเตรต (substrate affinity) ของเอนไซม์ฟอสโฟอีนอลไพรูเวต คาร์บอกซิเลสนั้นค่อนข้างคงที่ในอุณหภูมิระหว่าง 0-40 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในมะเขือเทศที่เกิดการสะท้านหนาวมีค่า K_m เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง แต่ยังไม่มีข้อมูลยืนยันว่าเมื่อค่า K_m เพิ่มสูงขึ้นแล้วอัตราปฏิกิริยาของเอนไซม์ฟอสโฟอีนอลไพรูเวต คาร์บอกซิเลสลดต่ำลงด้วยหรือไม่

ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความไม่คงตัว (lability) ของเอนไซม์ควบคุมชนิดอื่น ๆ กับความอ่อนแอต่อการสะท้านหนาวในพืชต่าง ๆ คือขาดข้อมูลที่แสดงว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการสะท้านหนาวนั้นเป็นอุณหภูมิที่ทำให้ K_m เปลี่ยนแปลงหรือไม่ ดังนั้นในปัจจุบันสมมติฐานที่ว่า การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอนไซม์บางอย่างเป็นเหตุการณ์แรกที่ส่งผลให้เกิดอาการสะท้านหนาวจึงยังไม่ได้รับการยอมรับ (จริงแท้, 2549)

2. การหยุดการเคลื่อนไหวของไซโทพลาสซึม

ในอดีตได้มีการเสนอสมมติฐานที่ว่าการเกิดการสะท้านหนาวมีความสัมพันธ์กับการไหลเวียนของไซโทพลาสซึม ซึ่งการไหลเวียนของไซโทพลาสซึมนี้อาจจะเป็นเหตุการณ์แรกของการสะท้านหนาว Patterson and Graham (1977) ทำการศึกษาในพืชที่อ่อนแอต่อการสะท้านหนาว ได้แก่ มะเขือเทศ แตงโม ยาสูบ และมันเทศ พบว่า ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส การไหลเวียนของไซโทพลาสซึมจะหยุดลงภายในเวลา 1-2 นาที และ ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส การไหลเวียนของ

ไซโตพลาสซึมแทบจะหยุดลงในทันที ในขณะที่พืชที่ไม่เกิดอาการสะท้านหนาวได้แก่ แรดิช แครอท และมะเขือเทศป่า การไหลเวียนของไซโทพลาสซึมยังเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 0 และ 2.5 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่าการไหลเวียนของไซโทพลาสซึมนี้มีเส้นใยแอกทิน (actin filament) เป็นตัวขับเคลื่อน ทำหน้าที่ในการควบคุมการเคลื่อนย้ายของออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ภายในเซลล์ เส้นใยเหล่านี้ประกอบไปด้วยโมเลกุลของแอกทิน (actin) ซึ่งจับตัวกันเป็นเส้นใยด้วยพันธะที่ไม่ใช่พันธะโคเวเลนซ์ (non covalent bond) และแยกตัวออกจากกันได้ด้วยความแรงไอออน (ionic strength) และอุณหภูมิ ดังนั้นถ้าหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เส้นใยแอกทินไม่สามารถจับตัวกันได้ การเคลื่อนย้ายออร์แกแนลล์ต่าง ๆ ก็ผิดปกติไปด้วย (Taylor *et al.*, 1973) แต่ยังไม่มีรายงานการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับการสลายตัวของเส้นใยแอกทิน นอกจากนั้นมีการศึกษาในพืชหลายชนิดที่แสดงให้เห็นถึงการลดอัตราการไหลเวียนของ ไซโทพลาสซึมเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง แต่ไม่พบการหยุดการไหลเวียนอย่างกะทันหันที่อุณหภูมิวิกฤติ ดังนั้นสมมติฐานนี้จึงยังไม่เป็นที่ยอมรับ (จริงแท้, 2549)

3. การเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์

เนื่องจากเยื่อหุ้มเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์และออร์กาเนลต่าง ๆ ที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นที่เยื่อหุ้มย่อมจะส่งผลให้กิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์เกิดการผิดปกติไป จึงได้มีการเสนอสมมติฐานของการเกิดการสะท้านหนาวว่าอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มนั้นเป็นเหตุการณ์แรกของการเกิดการสะท้านหนาว ซึ่งเป็นสมมติฐานที่ได้รับการสนับสนุนเป็นอันมาก โดยมีหลักฐานที่พบว่าพืชที่มีความอ่อนแอต่อการสะท้านหนาวมีความสามารถในการยืดหยุ่นตัวของไมโตคอนเดรียน้อยกว่าพืชที่ต้านทานการสะท้านหนาว และเมื่อสกัดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไมโทคอนเดรียออกมาศึกษาการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของไขมันพบว่ามีการจัดเรียงตัวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิต่ำลง และยังพบว่าที่อุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการสะท้านหนาวนั้น การทำงานของไมโทคอนเดรียเปลี่ยนแปลงไปอย่างกะทันหัน (Lyons *et al.*, 1964) หลักฐานจากการยืดหยุ่นตัวของไมโทคอนเดรียเป็นเพียงข้อสังเกตทางอ้อมซึ่งอาจจะเป็นผลของอุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจจะไม่ใช่สาเหตุของการเกิดการสะท้านหนาว ดังนั้นการศึกษาในลำดับต่อ ๆ มาจึงมุ่งเน้นที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มโดยตรงหรือการศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีเพื่อแสดงความสัมพันธ์กับการสะท้านหนาว ซึ่งการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเยื่อหุ้มนั้นมีเพียงหลักฐานจากการศึกษาของ Platt-Aloia and Thomson (1987) ที่ใช้เทคนิคในการทำให้เนื้อเยื่อที่ศึกษาแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำมาก

แล้วทำให้เซลล์หรือออร์แกเนลล์นั้นแตกออกแล้วจึงศึกษาลักษณะของเยื่อหุ้มต่าง ๆ ซึ่งจากการศึกษาก็พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มในบางส่วนบางบริเวณเท่านั้น

สมมติฐานนี้มีแนวคิดมาจากโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ ที่เสนอโดย Singer and Nicolson (1972) ที่เรียกว่าฟลูอิดโมแซอิก โมเดล (fluid mosaic model) โดยเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยโมเลกุลของไขมันเรียงตัวเป็น 2 ชั้น หันด้านปลายที่ไม่ชอบน้ำเข้าด้านใน และหันปลายด้านที่ชอบน้ำออกด้านนอก และมีโมเลกุลของโปรตีนฝังแทรกอยู่ในชั้นไขมัน นอกจากนี้ Albert *et al.* (1994) กล่าวว่าเซลล์ที่มีกรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลสั้นและเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบนั้นจะเป็นปัจจัยที่ช่วยให้เยื่อหุ้มมีคุณสมบัติของการเป็นของเหลวดีขึ้น และทำให้เซลล์ไม่แข็งตัวในอุณหภูมิต่ำ ซึ่งแนวคิดที่ว่าเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้ไขมันที่เยื่อหุ้มเปลี่ยนสถานะจากผลึกของเหลวที่ยืดหยุ่นได้ เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายเจลที่แข็งตัว การเป็นของแข็งของไขมันที่เยื่อหุ้มทำให้เกิดการแตกแยก หรือเป็นช่องผ่านเข้าออก (cracks or channel) ของสารต่าง ๆ ที่เยื่อหุ้ม ส่งผลให้ความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ลดลงเกิดความไม่สมดุลของไอออนในเซลล์ หรือมีการรั่วออกของไอออน ผู้ที่เสนอสมมติฐานนี้คือ Lyons (1973) ซึ่งเป็นสมมติฐานที่ได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางในอดีต

การเปลี่ยนแปลงสถานะของไขมันเนื่องจากอุณหภูมิต่ำนี้สามารถเปลี่ยนกลับคืนได้ ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำในระยะเวลาสั้น ๆ แล้วนำกลับมาสู่อุณหภูมิปกติ รวมถึงอัตราการหายใจที่สูงก็ลดลงเป็นปกติ แต่ถ้ายังคงได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นระยะเวลานาน เยื่อหุ้มไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ ทำให้อัตราการหายใจยังคงอยู่ในระดับที่สูง แสดงว่ากระบวนการเมทาบอลิซึมถูกรบกวน Lyons (1973) เสนอว่าระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเยื่อหุ้มของเนื้อเยื่อที่ต้านทานต่ออุณหภูมิต่ำนั้นจะสูงกว่าในเนื้อเยื่อที่อ่อนแอต่ออุณหภูมิต่ำ ข้อมูลที่สนับสนุนสมมติฐานนี้ ดังเช่นการทดลองของ Murata and Nishida (1990) ที่ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพืชที่ไวกับพืชที่ไม่ไวต่ออาการสะท้านหนาว พบว่าพืชที่ไม่ไวต่อการสะท้านหนาวมีไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่มากกว่าพืชที่ไวต่อการสะท้านหนาว นอกจากนั้นสภาพอุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันอิ่มตัวไปเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (desaturase) ทำให้มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สถานะในการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้มคงเดิม ทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนย้ายไอออนเข้าออกเซลล์ และควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ที่เยื่อหุ้มได้ (Murata and Los, 1997)

แต่มีหลายรายงานที่พบว่าระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มและความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ ดังเช่นในการศึกษาในไซยาโนแบคทีเรีย

(cyanobacteria) และผักโขมพบว่าการเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (thylakoid) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าของเยื่อหุ้มเซลล์เนื่องมาจากปริมาณโปรตีนไม่เท่ากันทำให้ตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ต่างกันทั้ง ๆ ที่มีปริมาณไขมันใกล้เคียงกัน (Omata and Murata, 1983; Douce *et al*.,1973) ทั้งนี้การเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้มไม่ได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันเพียงอย่างเดียว แต่ยังอาจขึ้นอยู่กับ สเตียรอยด์ คอเลสเตอรอล และสารประกอบเชิงซ้อนของโปรตีนกับไขมัน (lipid-protein complex) (Wang, 1982) Nishida and Murata (1996) รายงานว่าระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีความสัมพันธ์กับความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพืช แต่ไขมันที่เยื่อหุ้มไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่ควบคุมความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในพืช

สถานะในการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้มนอกจากจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลกรดไขมัน จุดหลอมเหลวของกรดไขมันแปรผันตรงกับความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนและความไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่มีขนาดใหญ่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่ากรดไขมันที่มีขนาดเล็ก และในกรดไขมันที่มีขนาดเท่ากัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่ากรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันอิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าพวกที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคี่ ในพวกกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่และมีพันธะแบบ *cis* จะทำให้ความสามารถในการเป็นของไหลมีมากขึ้น (Silvius, 1982; Phillip *et al*., 1972; Van Dijck *et al*., 1976)

Marangoni *et al*. (1996) ได้เสนอแผนผังแสดงเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว นั่นคือเมื่อพืชได้รับอุณหภูมิต่ำ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพของเยื่อหุ้มที่เกิดขึ้นในระยะนี้ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปสู่สภาพเดิมได้ แต่ถ้ายังคงได้รับอุณหภูมิต่ำอย่างต่อเนื่อง จะชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของไขมันบนเยื่อหุ้มเกิดขึ้นจนทำให้กรดไขมันบนเยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างถาวร ไม่สามารถกลับมาสู่สภาพเดิมได้ทำให้เกิดการตายของเซลล์ในที่สุดและปรากฏอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้น

ส่วนในการศึกษาถึงองค์ประกอบของกรดไขมันที่เยื่อหุ้มที่สัมพันธ์กับสมมติฐานของ Lyons (1973) การศึกษาในช่วงแรก ๆ เป็นการวิเคราะห์สัดส่วนโดยรวมของไขมันอิ่มตัวและไขมันไม่อิ่มตัวในเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียในพืช โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างพืชที่ไว (sensitive) กับพืชที่ไม่ไว (insensitive) ต่อการสะท้านหนาว พบว่าพืชที่ไม่ไวต่อการสะท้านหนาวมีสัดส่วนของไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่าพืชที่ไวต่อการสะท้านหนาว (Murata and Nishida, 1990) ซึ่งก็สนับสนุนสมมติฐานนี้ แต่พบว่าไม่เป็นเช่นนั้นเสมอไป เช่น Roughan (1985) จัดกลุ่มพืชที่มีปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัว

ตั้งแต่ 50-60 เปอร์เซ็นต์ของฟอสฟาติดิล กลีเซอรอล (Phosphatidyl glycerol; PG) ในใบให้เป็นพืชที่ไวต่อการสะท้านหนาว แต่พืชที่ไวต่อการสะท้านหนาวทั้งหมดไม่ได้มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวสูงมากเสมอไป ดังเช่นพืชในตระกูลมะเขือ (Solanaceous plant) และหญ้าที่มีการสังเคราะห์แสงแบบ C_4 บางชนิดที่เป็นข้อยกเว้น นอกจากนี้ในต้นกลายพันธุ์ของ Arabidopsis ที่มีระดับของกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อยกว่าต้นควบคุมประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ กลับแสดงอาการสะท้านหนาวไม่แตกต่างไปจากต้นควบคุม ชี้ให้เห็นว่า ระดับของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอาจจะไม่ใช่ปัจจัยหลักที่จะกำหนดความไวต่อการสะท้านหนาวในพืช (Wu and Browse, 1995) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเยื่อหุ้มประกอบไปด้วยกรดไขมันหลายชนิด และแต่ละชนิดก็มีการเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นการที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปแล้วทำให้เยื่อหุ้มมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างฉับพลันจึงเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ในการศึกษาถึงการลดการสะท้านหนาวในพืชที่ไวต่อการสะท้านหนาวด้วยการนำไปไว้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติก่อนที่จะลดอุณหภูมิลง (chill hardening) และการนำพืชนั้นไปไว้ในสภาพที่ขาดน้ำชั่วระยะเวลาหนึ่ง (drought hardening) พบว่าทั้งสองวิธีนี้สามารถลดการเกิดการสะท้านหนาวได้ แต่เมื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบไขมันพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบจากเดิมในกรณีที่นำพืชไปไว้ที่อุณหภูมิต่ำชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น (Wilson, 1976) จากผลการทดลองนี้จึงยังไม่สนับสนุนสมมติฐานถึงการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการสะท้านหนาว

นอกจากนี้การศึกษาชนิดของไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเฉพาะอย่างในลำดับต่อมา พบว่าในเนื้อเยื่อต่างชนิดกัน มีไขมันชนิดต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบแตกต่างกันมาก และยังมีองค์ประกอบย่อยแตกต่างกันออกไป เช่น เยื่อหุ้มชั้นในของคลอโรพลาสต์มีไกลโคลิปิด (glycolipid) เป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่เยื่อหุ้มชั้นนอกมีปริมาณไกลโคลิปิดและฟอสโฟลิปิด (phospholipid) ในสัดส่วนที่เท่า ๆ กันในเยื่อหุ้มไมโตคอนเดรีย เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม (endoplasmic reticulum) และโทโนพลาสต์ (tonoplast) มีฟอสโฟลิปิดเป็นองค์ประกอบหลัก และมีกลีเซอโรลิปิด (glycerolipid) พวก ฟอสฟาติดิล โคลีน (Phosphatidyl choline; PC) และฟอสฟาติดิล เอทาโนลามีน (Phosphatidyl ethanolamine; PE) เป็นหลัก (Murata and Nishida, 1990) และพบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพที่อุณหภูมิค่อนข้างสูงหรืออุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่เกิดการสะท้านหนาว ดังเช่นในรายงานของ Murata and Yamaya (1984) ที่ศึกษาการเปลี่ยนสถานะของไขมัน 7 กลุ่มซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อหุ้ม ด้วยวิธีการฟลูออเรสเซนส์ โพลาไรเซชัน (fluorescence polarization) ในใบพืชที่อ่อนแอและพืชที่ทนทานต่อการเกิดอาการสะท้านหนาว รวมทั้งสิ้น 6 ชนิด โดยอัตราส่วนของฟลูออเรสเซนส์ โพลาไรเซชัน ที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นนั้นสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสถานะของไขมันจากของเหลวที่ยืดหยุ่นได้ เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายเจลที่

แข็งตัว จากการทดลองพบว่าไขมันประเภทฟอสฟาติดิล กลีเซอรอล (Phosphatidyl glycerol; PG) เป็นไขมันประเภทเดียวที่มีอัตราส่วนของฟลูออเรสเซนส์ โพลาไรเซชันเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนนี้ในพืชที่อ่อนแอพบว่ามีการเพิ่มขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งตรงกันข้ามกับพืชที่ต้านทาน เพราะ PG มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนนี้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า (5-13 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ในพืชที่อ่อนแอยังพบว่าลิปิดอื่น ๆ ยังคงสถานะยืดหยุ่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 5-40 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมี PG เท่านั้นที่สามารถชักนำให้มีการเปลี่ยนสถานะในเยื่อหุ้มต่าง ๆ ได้ จากข้อมูลดังกล่าวบ่งชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะของเยื่อหุ้มอาจจะไม่เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงและอาจไม่ใช่กลไกหลักของการสะท้านหนาว เพราะพืชมีองค์ประกอบที่เป็นไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จึงทำให้การเปลี่ยนสถานะในพืชไม่น่าจะเกิดขึ้นในอุณหภูมิต่ำที่เหนือกว่า 0 องศาเซลเซียส ที่เป็นอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดการสะท้านหนาว แต่การเปลี่ยนสถานะของกรดไขมันเหล่านี้จะเกิดเมื่อได้รับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามไขมันในเยื่อหุ้มน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการสะท้านหนาว เนื่องจากพบว่าพืชส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำสามารถเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเพื่อรักษาสถานภาพของเยื่อหุ้มให้อยู่ในสถานะของเหลวที่ยืดหยุ่นได้

ข้อมูลการศึกษาในพืชกลายพันธุ์และจำลองพันธุ์ที่มีปริมาณและชนิดของไขมันเปลี่ยนแปลงไปแสดงให้เห็นว่า การสะท้านหนาวในพืชเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของไขมันบนเยื่อหุ้มอย่างแน่นอนแต่ไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสถานะของเยื่อหุ้ม เช่นในการศึกษาใน Arabidopsis ที่มียีนของเอนไซม์ desaturase *FAD5* และ *FAD6* ซึ่งไม่สามารถสร้างพันธะคู่ได้ในไขมันในส่วนของคลอโรพลาสต์ทำให้ต้นที่มียีนดังกล่าวนั้นมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าต้นควบคุม เป็นผลให้ต้นจำลองพันธุ์นั้นอ่อนแอต่อการสะท้านหนาว (Tokuhisa *et al*., 1998) โดยสรุปการสะท้านหนาวตามสมมติฐานนี้ขึ้นอยู่กับการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้ม สัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และการเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน ซึ่งมีผลต่อการเป็นของเหลวของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งจากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้เสนอมาก็ยังไม่สามารถเพียงพอที่จะสรุปได้ว่าสมมติฐานของการเปลี่ยนแปลงของเยื่อหุ้มเซลล์นั้นเป็นกลไกหลักของการสะท้านหนาวได้

4. การผลิตอนุมูลอิสระมากเกินไป

อนุมูลอิสระ หรือ Free radicals คืออะตอมหรือกลุ่มของโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนขาดคู่ (unpair electron) อยู่ในวงโคจรนอกสุด (outer orbital) อนุมูลอิสระที่มีความสามารถสูงในการ

ทำลายองค์ประกอบต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มได้มักจะมาจากอะตอมของออกซิเจนหรือที่เรียกว่าแอกทีฟ ออกซิเจน สปีชีส์ (active oxygen species; AOS) หรือรีแอกทีฟ ออกซิเจน สปีชีส์ (reactive oxygen species; ROS) เช่นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อนุมูลอิสระที่สำคัญได้แก่ ซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical, $O_2^{\bullet}$) ไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, $HO^{\bullet}$) และซิงเกร็ดออกซิเจน (singlet oxygen, $^1O_2$), เป็นต้น เนื่องจากอนุมูลอิสระ มีอิเล็กตรอนขาดคู่อยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมาก จึงเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมี และยังมีคุณสมบัติเป็นพาราแมกเนติก (paramagnetic) ที่สามารถดึงเอาอิเล็กตรอนหรืออนุมูลไฮโดรเจน (hydrogen radical) จากอะตอมหรือโมเลกุลอื่นเข้ามาให้ครบคู่ในวงโคจรเพื่อให้ตัวเองเสถียร อิเล็กตรอนที่อยู่นอกสุดนี้มีพลังงานสูงที่จะทำลายโมเลกุล หรือเคลื่อนที่ไปยังโมเลกุลเสถียรที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้โมเลกุลที่เสถียรนั้นเกิดอนุมูลอิสระได้ และทำให้โมเลกุลที่ให้อิเล็กตรอนเกิดความเสถียรได้ ในกรณีที่เกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ เกิดทั้งการทำลายและการส่งผ่านอนุมูลอิสระ สารโมเลกุลใหญ่ในเซลล์ที่อ่อนแอและเกิดอนุมูลอิสระได้ง่าย ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และกรดนิวคลีอิก (Halliwell, 1991; Hodges, 2003)

Halliwell (1991) กล่าวว่าปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ ขั้นเริ่มต้น (Initiation step) ขั้นการเพิ่มปริมาณ (Propagation step) และขั้นสุดท้ายการหยุดการสร้าง (Termination step) ดังเช่นปฏิกิริยาลูกโซ่ของกระบวนการเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้ (Halliwell and Chirico, 1993; Cadenas, 1995; Larson, 1995)

Initiation step เป็นกระบวนการที่มีการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมา เกิดได้ในสองลักษณะคือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกรดไขมันไม่อิ่มตัว (RH) เมื่อได้รับรังสีแกมมา แสงอัลตราไวโอเลต คลื่นเสียง ความร้อน หรือเกิดปฏิกิริยาร่วมกับไอออนของโลหะทรานสิชัน (สมการ 1) หรือเกิดจาก $OH^{\bullet}$ ที่ถูกสร้างขึ้นมาในบริเวณที่ใกล้หรือในเยื่อหุ้มต่าง ๆ เข้าไปทำลายกรดไขมันที่เป็นแขนงข้างของฟอสโฟลิพิด ในเยื่อหุ้มนั้น (สมการที่ 2) ทำให้ได้คาร์บอน เซ็นเตอร์ แรดิคอล (carbon-centered radicals; $R^{\bullet}$) ออกมา

$$RH \longrightarrow R^{\bullet} \qquad (1)$$

$$RH + OH^{\bullet} \longrightarrow R^{\bullet} + H_2O \qquad (2)$$

Propagation step เป็นกระบวนการที่มีการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ จากตัวอย่างในกระบวนการเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน นั่นคือ การสร้างอนุมูลเพอร์ออกซิล (peroxyl radical) (สมการ 3) หรือออร์กานิก ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (organic hydroperoxide) (สมการ 4)

$$R^{\bullet} + O_2 \longrightarrow ROO^{\bullet} \qquad (3)$$

$$ROO^{\bullet} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\bullet} \qquad (4)$$

Termination step เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่รวมอนุมูลอิสระของกรดไขมันเข้าด้วยกัน เกิดผลผลิตที่เสถียร ไม่คงคุณสมบัติของอนุมูลอิสระอีกต่อไป (สมการที่ 5-7)

$$R^{\bullet}+R^{\bullet} \longrightarrow R\text{-}R \qquad (5)$$

$$ROO^{\bullet}+ R^{\bullet} \longrightarrow ROOR \qquad (6)$$

$$ROO^{\bullet}+ ROO^{\bullet} \longrightarrow ROOR + O_2 \qquad (7)$$

Tivonen (2004) รายงานถึงแหล่งการสร้างอนุมูลอิสระในเนื้อเยื่อพืชไว้ 3 แหล่งคือ

1. apoplastic region เป็นบริเวณช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มและผนังเซลล์ ส่วนประกอบของบริเวณนี้ได้แก่ ผนังเซลล์ apoplastic space และบริเวณด้านนอกของเยื่อหุ้ม อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในส่วนนี้ เกิดจากการทำงานของเอนไซม์เอ็นเอดีพีเอช ออกซิเดส (NADPH oxidase) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสที่อยู่ที่ผนังเซลล์ (wall bound peroxidase) (Vreeburg and Fry, 2005)

2. ไซโตพลาสซึม เป็นแหล่งที่มีการสร้างอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($O_2^{\bullet}$) จากการรีดิวซ์ออกซิเจนของเอนไซม์เอ็นเอดีพีเอช ออกซิเดส ที่ส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ และอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์นี้ยังไปทำปฏิกิริยาต่อกับไนตริก ออกไซด์ (nitric oxide; NO) ที่สร้างมาจากเพอร์ออกซิโซมทำให้เกิดเป็นเพอร์ออกซี ไนไตรต์ แอนไอออน (peroxy nitrite anion; $ONOO^-$) (Mahalingam and Fedoroff, 2003; Tivonen, 2004)

3. ออร์แกแนลล์ภายในเซลล์ อนุมูลอิสระเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ออร์แกแนลล์ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เช่น คลอโรพลาสต์ ไมโตคอนเดรีย และไมโครบอดี มักจะเป็นแหล่งที่ผลิตอนุมูลอิสระภายในเซลล์ (Mittler *et al.*, 2004)

นอกจากนั้นยังพบอนุมูลอิสระที่เกิดจากกระบวนการโฟโตเรสไพเรชัน (photorespiration) จากเพอร์ออกซิโซมได้อีกด้วย (Mitller, 2002)

โดยปกติแล้ว อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้เองจากกระบวนการต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น การสังเคราะห์แสง การขนส่งอิเล็กตรอนหรือเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการให้อิเล็กตรอน (oxidation enzyme) ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกกำจัดออกจากเซลล์ด้วยระบบต้านทานอนุมูลอิสระ (antioxidant defence) แต่ถ้าในกรณีที่อนุมูลอิสระถูกกระตุ้นให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติจะทำให้ระบบต้านทานอนุมูลอิสระไม่เพียงพอที่จะกำจัดอนุมูลอิสระ ส่งผลให้เกิดความเครียดขึ้น (oxidative stress) เนื่องมาจากการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระที่มีอยู่มากในเซลล์ ทำให้เซลล์ผิดปกติ มีผลให้ไขมัน โปรตีนและดี เอ็น เอ (DNA) เสียหาย (จุฑามาส, 2542; Halliwell, 1991)

ระบบกำจัดอนุมูลอิสระที่เรียกว่าระบบต้านทานอนุมูลอิสระประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระและเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ Maxell (1995) กล่าวว่า ตัวต้านออกซิเดชั่น (antioxidant) คือสารที่มีความเข้มข้นต่ำที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ของโมเลกุลเป้าหมาย เช่น ไขมัน โปรตีน และดี เอ็น เอได้ ซึ่งสามารถแบ่งตัวต้านออกซิเดชัน ตามกลไกการทำงานได้ เป็น 3 ชนิด คือ

1. Preventive antioxidant ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) ทรานส์เฟอร์ริน (transferrins) เฟอร์ริติน (ferritins) เซรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin) และโปรตีนที่ถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นด้วยความร้อน (heat shock protein) มีหน้าที่ลดการเกิดอนุมูลอิสระ และ ROS ที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

2. Enzyme antioxidant ได้แก่ เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดีสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) เอนไซม์คะตะเลส (catalase; CAT) และเอนไซม์กลูตาไธโอน เพอร์ออกซิเดส (glutathione peroxidase; GSH) เป็นต้น โดยเอนไซม์เหล่านี้เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดรีดักชันของอนุมูลอิสระ

3. Scavenging antioxidant หรือ Free radical scaverger ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid), วิตามินอี (∝ - tocopherol) กลูตาไธโอน (glutathione) และแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ซึ่งสารเหล่านี้สามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระเพื่อขัดขวางอนุมูลอิสระในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลเป้าหมาย

ในปัจจุบัน ยังไม่พบคำอธิบายหรือคำตอบที่ชัดเจนถึงสาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาว นักวิทยาศาสตร์ได้พยายามศึกษา ค้นคว้า และตั้งสมมติฐานเพื่อพิสูจน์และหาคำตอบเกี่ยวกับสาเหตุของการเกิดอาการสะท้านหนาว สมมติฐานที่เกี่ยวกับการเกิดอาการสะท้านหนาวนี้มีหลายประการ แต่สมมติฐานที่ได้รับความเชื่อถือและสนใจมากที่สุดคือสมมติฐานที่ว่า อุณหภูมิต่ำมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเยื่อหุ้ม โดยให้เหตุผลว่า เยื่อหุ้มเซลล์นั้นประกอบไปด้วยชั้นของฟอสโฟลิพิดและโปรตีน โดยฟอสโฟลิพิดจะเรียงตัวกันอยู่เป็นสองชั้น หันด้านหางที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน และระหว่างชั้นของฟอสโฟลิพิดจะมีโมเลกุลของโปรตีนแทรกอยู่ด้วย เยื่อหุ้มเหล่านี้ทำหน้าที่สำคัญคือควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ เมื่อผลิตผลที่ไม่ทนต่ออุณหภูมิต่ำและถูกเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำแต่สูงกว่าจุดเยือกแข็ง กรดไขมันประเภทอิ่มตัว (saturated fatty acid) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิด จะเปลี่ยนสภาพทางกายภาพจากลักษณะที่อ่อนตัว มาเป็นลักษณะแข็ง ทำให้การทำงานของเยื่อหุ้มนั้นเสื่อมลง ไม่สามารถทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ และทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ตามมา เช่น ไม่สามารถหายใจได้ ไม่สามารถสร้าง ATP ได้ และมีการสะสมของสารพิษทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพลงและตายไปในที่สุด นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังกระตุ้นเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO) ให้ทำงานมากขึ้น ทำให้ PPO ที่รั่วไหลออกนอกเซลล์เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ เข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบฟีนอลปรากฏให้เห็นเป็นสารสีน้ำตาล ส่วนในผลิตผลที่ทนต่ออุณหภูมิต่ำ จะมีกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) เป็นส่วนใหญ่ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงก็ยังสามารถรักษาสถานะที่อ่อนตัวอยู่ได้ จึงไม่เกิดอาการผิดปกติทางสรีรวิทยา (Lyons,1973)

แต่สมมติฐานดังกล่าวข้างต้นก็ยังมีข้อโต้แย้งอยู่หลายประการ เช่น Tokuhisa *et al.* (1998) รายงานว่ามีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันประเภทอิ่มตัว (saturated fatty acid) ในต้นกลายพันธุ์ของ Arabidopsis ซึ่งทำให้ phosphatidyl glycerol (PG) มีโมเลกุลที่มีจุดหลอมเหลวสูงเพิ่มขึ้นถึง 43 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าต้นปกติที่มีเพียง 8.8 เปอร์เซ็นต์ แต่นั้นต้นกลายพันธุ์ยังสามารถเจริญได้อย่างปกติที่อุณหภูมิ10 องศาเซลเซียส ไม่แตกต่างจากต้นปกติ จึงแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันประเภทอิ่มตัวซึ่งทำให้โมเลกุลที่มีจุดหลอมเหลวสูงเพิ่มขึ้นไม่ใช่ปัจจัยหลักในการทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว นอกจากนี้ยังมีรายงานว่ามีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในเยื่อหุ้มเซลล์ เมื่อได้รับอุณหภูมิในช่วง 10 – 12 องศาเซลเซียสเพียง 4 – 7 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น จึงยังไม่สามารถสรุปคำตอบเกี่ยวกับสาเหตุการเกิดอาการสะท้านหนาวได้ และในปัจจุบันได้มีการตั้งสมมติฐานขึ้นมาใหม่ว่า อุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ โดยให้เหตุผลว่าการเพิ่มขึ้นของอนุมูลอิสระทำให้เกิดความเสียหายกับโปรตีน ไขมัน และดี เอ็น เอ โดยเฉพาะในเยื่อหุ้ม (Shewfelt and Rosario,

2000) เนื่องจาก อนุมูลอิสระเหล่านี้มีอิเล็กตรอนขาดคู่ จึงทำให้สามารถดึงอิเล็กตรอนหรืออนุมูลไฮโดรเจน จากอะตอมหรือโมเลกุลอื่นได้เพื่อทำให้ตัวเองเกิดความเสถียร (Yu, 1994) ดังนั้นจึงทำให้เยื่อหุ้มเสื่อมสภาพ ไม่สามารถทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้ และทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ และตายไปในที่สุด เช่นเดียวกับสมมติฐานแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองที่ 1 อาการสะท้านหนาวในสับปะรดกับการรั่วไหลของเซลล์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

สับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่ใช้ในการทดลองได้จากสวนของเกษตรกรในตำบลน้ำเชี่ยว อำเภอแหลมงอบ จังหวัดตราดที่ปลูกเพื่อขายเป็นการค้าและเพื่อการส่งออก สับปะรดทั้งสองพันธุ์ได้มาจากต่างแปลงปลูก โดยอยู่ห่างกันประมาณ 2 กิโลเมตร แต่มีลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทรายเหมือนกัน ปลูกโดยเกษตรกรคนเดียวกัน ดูแลรักษาในลักษณะเดียวกัน เมื่อเดือนเมษายน พ.ศ. 2546 คัดเลือกผลที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน ปราศจากบาดแผล และโรค เลือกใช้สับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่มีระดับของความบริบูรณ์ต่างกัน 2 ระดับ คือผิวผลยังไม่เปลี่ยนเป็นสีเหลือง และผิวผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองประมาณ 1 ใน 3 ของผล โดยมีอายุผลต่างกันประมาณ 2 สัปดาห์ เก็บรักษาไว้ในกล่องกระดาษบรรจุกล่องละ 2 ผล โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 14 และ 21 วัน

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) มี 5 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ผล เมื่อครบกำหนดการเก็บรักษา นำผลสับปะรดออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน แล้วจึงบันทึกผลการทดลอง

การบันทึกผลการทดลอง

1.1 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

1.1.1 เปอร์เซ็นต์การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

คำนวณจากจำนวนผลที่เกิดอาการไส้สีน้ำตาลคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

1.1.2 ระดับความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ให้เป็นระดับคะแนนดังนี้

0 คะแนน คือ เนื้อสับปะรดไม่มีการเปลี่ยนสี
1 คะแนน คือ เนื้อสับปะรดบริเวณใกล้แกนเป็นจุดใส

2 คะแนน คือ เนื้อสับปะรดบริเวณใกล้แกนมีสีน้ำตาลอ่อนขยายวงกว้างขึ้นตามแนวแกน

3 คะแนน คือ เนื้อสับปะรดบริเวณใกล้แกนมีสีน้ำตาลอ่อนขยายวงกว้างขึ้นตามแนวแกนและด้านข้าง

4 คะแนน คือ เนื้อสับปะรดบริเวณใกล้แกนมีสีน้ำตาลเข้มขยายวงกว้างขึ้นตามแนวแกนและด้านข้าง

5 คะแนน คือ เนื้อสับปะรดบริเวณใกล้แกนมีสีน้ำตาลเกือบดำขยายวงกว้างขึ้นตามแนวแกนและด้านข้าง

1.2 การรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage) ดัดแปลงจากวิธีการของ Hakim *et al.* (1999) โดยใช้เนื้อสับปะรดส่วนใกล้แกนผล ตัดเป็นชิ้นที่มีขนาดกว้าง×ยาว×หนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีประจุ (deionized water) 3 ครั้ง แล้วใส่เนื้อสับปะรดลงในขวดรูปชมพู่ (flask) ที่บรรจุสารละลายแมนนิทอล (mannitol) ความเข้มข้น 0.4 M ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปวางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดหาค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดการนำไฟฟ้า (Consort model C381, Turnhort, Belgium) จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างสับปะรดไปนึ่งในหม้อนึ่งความดันไอ (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เนื้อเยื่อสับปะรดเสื่อมสภาพ ทิ้งไว้ให้เย็นแล้ววัดค่าการนำไฟฟ้าอีกครั้งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของประจุ} = \frac{\text{ค่าการนำไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อนึ่งความดันไอ}}{\text{ค่าการนำไฟฟ้าก่อนหลังหม้อนึ่งความดันไอ}} \times 100$$

1.3 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ด้วยการวัดปริมาณไธโอบาร์บิทูริก แอซิด รีแอกทีฟ ซับสแตนท์ (thiobarbituric acid reactive substance; TBARS) (ตามวิธีของ Health and Packer, 1968)

การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน ของไขมันเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นอัลดีไฮด์คือมาโลนไดอัลดีไฮด์ (malondialdehyde, MDA) ซึ่งไม่สามารถวัด MDA ได้โดยตรง แต่สามารถวัดการเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชันได้จากการทำปฏิกิริยาของ MDA กับกรดไธโอบาร์บิทูริก (thiobarbituric acid, TBA) ได้

เป็นสารประกอบไธโอบาร์บิทูริก รีแอคทีฟ ซับสแตนท์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณ MDA จากค่าการดูดกลืนคลื่นแสงได้ดังนี้

ตวง 0.1 เปอร์เซ็นต์ สารละลายกรดไตรคลอโรอะซีติก (trichloroacetic acid, TCA) ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในเนื้อสับปะรดส่วนใกล้แกนหนัก 1.0 กรัม บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 23,000×g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แยกเอาส่วนใสมาใช้วิเคราะห์ โดยปิเปตส่วนใสปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติม 0.5 เปอร์เซ็นต์ กรดไธโอบาร์บิทูริกที่ทำละลายใน 20 เปอร์เซ็นต์ ของสารละลายกรดไตรคลอโรอะซีติก ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเพื่อหยุดปฏิกิริยาด้วยการแช่ในน้ำแข็ง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,500×g เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 และ 600 นาโนเมตร คำนวณปริมาณ TBARS โดยใช้สูตร

$$\text{TBARS equivalents } (\text{mmol ml}^{-1}\text{ sample}) = \frac{(A_{532} - A_{600})}{155{,}000} \times 10^{3}$$

TBARS equivalents (mmol ml^{-1}) คือ ปริมาณ MDA

A_{532} คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสับปะรดที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร

A_{600} คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสับปะรดที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร

155,000 (mM^{-1} cm^{-1}) คือ ค่า extinction coefficient ของ MDA

1.4 กิจกรรมของเอนไซม์ และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ได้แก่

1.4.1 การเตรียมตัวอย่างสับปะรดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาโปรตีน กิจกรรมของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดสและเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส

ตวง 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.3) ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในเนื้อสับปะรดส่วนใกล้แกนผลหนัก 2.5 กรัม ปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น (homogenizer) แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000×g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกเอาส่วนใสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

1.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยวิธีของ Bradford (1976) ใช้โบวีน ซีรัม อัลบูมิน (bovine serum albumin; BSA) เป็นสารละลายมาตรฐานที่ระดับความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร และมีสมการจากกราฟมาตรฐานคือ y = ax+b ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1 สามารถคำนวณหาปริมาณโปรตีนได้จากสมการ

$$\text{โปรตีน (มิลลิกรัม)} = \frac{\text{Abs}}{\text{slope}} \times V_f \times 10^{-3}$$

Abs	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของสารใสที่ได้จากสับปะรดที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร
Slope	คือ	ความชันของเส้นกราฟ (ค่า a) จากสมการ y = ax
V_f	คือ	ปริมาตรของส่วนใสที่ได้จากสับปะรดที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร

1.4.3 กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD) (ตามวิธีของ Morita *et al*., 1988)

ปิเปตส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพื่อวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ POD โดยเติม 0.1M โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.0) ปริมาตร 0.9 มิลลิลิตรและ 8 mM กวาอิคอล (guaicol) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติม 24 mM ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตรทันทีตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนครบเวลา 3 นาที สามารถคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ POD ได้จากสมการ

$$\text{Unit} = \frac{\left[A_{470}(3\ \text{min}) - A_{470}(\text{initiation})\right] \times \frac{1}{3}}{\text{protein (mg)}}$$

A_{470} (3 min)	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร เมื่อเวลา 3 นาที

A_{470} (initiation)	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร เมื่อตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา
protein (mg)	คือ	ปริมาณโปรตีนของส่วนใสของสับปะรดจากการวิเคราะห์ตามข้อ 1.3.2

1.4.4 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส polyphenol oxidase (PPO) (ตามวิธีของ Benjamin and Montgomery, 1973)

ปิเปตส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เพื่อใช้วิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยเติม0.1M โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.0) ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร 0.1 mM แคทีคอล (catechol) ปริมาตร 0.7 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรทันที ตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยา จนครบเวลา 3 นาที สามารถคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ได้จากสมการ

$$\text{Unit} = \frac{\left[A_{420}\left(3\ \text{min}\right) - A_{420}\left(\text{initiation}\right)\right] \times \frac{1}{3}}{\text{protein}\left(\text{mg}\right)}$$

A_{420} (3 min)	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เมื่อเวลา 3 นาที
A_{420} (initiation)	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เมื่อตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา
protein (mg)	คือ	ปริมาณโปรตีนของส่วนใสของสับปะรดจากการวิเคราะห์ตามข้อ 1.3.2

1.4.5 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม (ตามวิธีของ Szollosi and Varga, 2002)

การหาความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมโดยใช้วิธี เฟอร์ริกรีดิวซิ่งแอนตี้ออกซิแดนท์เพาเวอร์ (ferric reducing antioxidant power; FRAP) ด้วยการรีดิวซ์สารประกอบของเฟอรร์ริก ไตรไพริดิล ไตรอาซีน (ferric tripyridyl triazine; Fe^{3+}TPTZ) ด้วยตัวรีดิวซ์ที่เป็นองค์ประกอบในสารละลายใสจากสับปะรด ไปเป็นสารประกอบเฟอร์รัส ไตรไพริดิล ไตรอาซีน

(ferrous tripyridyl triazine; Fe^{2+} TPTZ) ซึ่งให้สารละลายที่มีสีฟ้าสามารถวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

เตรียมตัวอย่างสับปะรดตามวิธีการในข้อ 1.3.1 จากนั้นนำส่วนใสที่ได้มาหาปริมาณความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม โดยการใช้สารละลาย FRAP working solution (0.3M อะซีเทตบัพเฟอร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และ 10 mM สารละลาย 2,4,6- ไตรไพริดิล-เอส-ไตรอาซีน (2,4,6-tripyridyl-s-triazine; TPTZ) ใน 40 mM กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และเติม 10 mM สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$. 6 H_2O) ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับ ส่วนใส 1 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตรทันที จากนั้นเปรียบเทียบหาความเข้มข้นของสารประกอบเฟอร์รัส ไตรไพริดิลไตรอาซีน กับสารละลายมาตรฐานของสารละลายไอรอน (II) ซัลเฟต เฮปตะไฮเดรต (Iron (II) sulfate heptahydrate; $FeSO_4.7H_2O$) (Merck เยอรมัน) ความเข้มข้น 0.1-1 mM และมีสมการของกราฟมาตรฐานของสารละลายนี้เป็น y = ax+b ดังแสดงไว้ในภาพผนวกที่ 2 สามารถคำนวณหาปริมาณของสารประกอบเฟอร์รัส ไตรไพริดิลไตรอาซีนได้จากสมการ

$$\text{FRAP value}\left(\text{mmol ml}^{-1}\text{ sample}\right)=\frac{\text{Abs}}{\text{slope}}$$

FRAP value	คือ	ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม
Abs	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร
slope	คือ	ความชันของเส้นกราฟ (ค่า a) จากสมการ y = ax+b

การทดลองที่ 2 อาการสะท้านหนาวและระบบต่อต้านอนุมูลอิสระ

ใช้สับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองจากแหล่งเดียวกันกับการทดลองที่ 1 เก็บเกี่ยวในเดือนเมษายน พ.ศ. 2547 และนำมาเก็บรักษาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่ทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

การบันทึกผลการทดลอง

2.1 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

2.1.1 เปอร์เซ็นต์ผลที่การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

2.1.2 ระดับความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล ให้ระดับคะแนนและทำตามวิธีการเช่นเดียวกันกับในการทดลองที่ 1

2.2 การรั่วไหลของประจุ (electrolyte leakage) ทำตามวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1

2.3 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน (lipid peroxidation) ทำตามวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1

2.4 กิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ

2.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน ทำตามวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1.3.2

2.4.2 กิจกรรมของเอนไซม์ ascorbate peroxidase (AsA-POD) (ตามวิธีของ Amako *et al.*,1994)

ตวง 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.3) ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ที่มี 1 mM โซเดียมอีดีทีเอ ($EDTA-Na_2$) และ 2 mM ไดไธโอทรีอิทอล (dithiothreitol, DTT)ใส่ลงในเนื้อสับปะรดส่วนใกล้แกนผลหนัก 2.5 กรัม แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000×g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หากิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD โดยใส่ 83 mM ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.0) ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร เติม 5 mM กรดแอสคอร์บิก ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตามด้วยใส่ 1.0 mM EDTA ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และส่วนใสของสับปะรดปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติม 15 mM ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร เพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยา บันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตรทันที และวัดเป็นช่วง ช่วงละ 1 นาที จนครบเวลา 10 นาที สามารถคำนวณหากิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ได้จากสมการ

$$\text{Unit} = \frac{\left[A_{290}\left(10\ \text{min}\right)-A_{290}\left(\text{initiation}\right)\right]\times\frac{1}{10}}{\text{protein}\left(\text{mg}\right)}$$

A_{290} (10 min) คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร เมื่อเวลา 10 นาที

A_{290} (initiation) คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 290 นาโนเมตร เมื่อตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา

protein (mg) คือ ปริมาณโปรตีนของส่วนใสของสับปะรดจากการวิเคราะห์ตามข้อ 2.4.1

2.4.3 กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ทำตามวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1

2.4.4 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอล ออกซิเดส ทำตามวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1

2.5 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม ทำตามวิธีการเดียวกันกับการทดลองที่ 1

2.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระแต่ละชนิด

2.6.1 การเตรียมตัวอย่างสับปะรดเพื่อใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระแต่ละชนิด

ชั่งเนื้อสับปะรดส่วนใกล้แกนผล น้ำหนัก 5 กรัม ตวง 0.1 M สารละลายโซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.0) ปริมาตร 5 มิลลิลิตรใส่ลงในสับปะรดจากนั้นปั่นละเอียดด้วยเครื่องปั่นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 14,000 ×g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แยกส่วนใสที่ได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ ดังนี้

2.6.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน (singlet oxygen radical; $^1O_2$)

หาประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลของซิงเกร็ดออกซิเจน โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Chakrabotry and Tripathy (1992)

2.6.2.1 การหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน

ส่วนผสมในปฏิกิริยาประกอบไปด้วย 45 mM โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.1) ปริมาตร 1.3 มิลลิลิตร 10 mM ฮีสติดีน (histidine) ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร 10 mM

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite, NaOCl) ปริมาตร 0.1มิลลิลิตร 10 mM ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร 50 mM ไดเมธิลไนโตรโซอนิลีน (*N*, *N*, dimethyl-*p* nitrosoaniline) 0.1 มิลลิลิตร และ น้ำกลั่นปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ผสมสารต่าง ๆ ให้เข้ากันและตั้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ได้ให้เป็นค่า A จากนั้นทำปฏิกิริยาโดยใช้ส่วนผสมดังที่ได้กล่าวมาแล้วยกเว้นเปลี่ยนน้ำกลั่นเป็นส่วนใสที่ได้จากสับปะรดตามวิธีการในข้อ 2.6.1 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร และให้ค่าที่วัดได้เป็นค่า B จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซนต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนจากความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาที่มีและไม่มีสารสกัดจากสับปะรด ดังแสดงในสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

A คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ของปฏิกิริยาที่ไม่ใส่ส่วนใสของสับปะรด

B คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ของปฏิกิริยาที่ใส่ส่วนใสของสับปะรด

2.6.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรด

หาได้จากการเทียบ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนกับค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 0.1 mM และมีสมการของกราฟมาตรฐานเป็น $y = ax+b$ (ภาพผนวกที่ 3)

2.6.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide radicals; $O_2^{\cdot-}$)

2.6.3.1 การหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Gutteridge (1981) เล็กน้อย โดยใช้แซนทีน-แซนทีน ออกซิเดส (xanthine-xanthine oxidase) ที่ทำให้เกิดการสร้างอนุมูลของซูเปอร์ออกไซด์ ในส่วนผสมของการเกิดปฏิกิริยาประกอบไปด้วย 0.15 mM โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น (pH 7.4) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร

2.0 mM ไฮโปแซนทีน (hypoxanthine) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร 5 mM โซเดียม อีดีทีเอ (EDTA-Na_2) ปริมาตร 40 ไมโครลิตร 30 mM ดีออกซีไรโบส (2-deoxy-D-ribose) ปริมาตร 170 ไมโครลิตร และน้ำกลั่นปริมาตร 50 ไมโครลิตร ใส่แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase) ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร (ประกอบไปด้วยโปรตีน 60 มิลลิกรัม) เพื่อเริ่มต้นปฏิกิริยา จากนั้นบ่มส่วนผสมทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ตวงส่วนผสมดังที่กล่าวมาแล้วปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร แล้วเติม 0.1 M กรดอะซิติก ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และ 10 เปอร์เซ็นต์ กรดไธโอบาร์บิทูริก ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดีแล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 40 นาที แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ค่าที่วัดได้กำหนดให้เป็นค่า A จากนั้นทำปฏิกิริยาโดยใช้ส่วนผสมดังที่ได้กล่าวมาแล้วยกเว้นเปลี่ยนน้ำกลั่นเป็นส่วนใสที่ได้จากสับปะรดตามวิธีการในข้อ 2.6.1 ปริมาตร 50 ไมโครลิตร วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และให้ค่าที่วัดได้เป็นค่า B จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์จากความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาที่มีและไม่มีสารสกัดจากสับปะรด ดังแสดงในสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

A	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ของปฏิกิริยาที่ไม่ใส่ส่วนใสของสับปะรด
B	คือ	ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ของปฏิกิริยาที่ใส่ส่วนใสของสับปะรด

2.6.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ของสับปะรด

หาได้จากการเทียบ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์กับค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 0.1 mM และมีสมการของกราฟมาตรฐานเป็น $y = ax+b$ (ภาพผนวกที่ 4) ดังแสดงในสมการ

2.6.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical ; $^{-}$OH)

2.6.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลลไฮดรอกซิล

การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลดัดแปลงจากวิธีการของ Richmond *et al.* (1981) ส่วนผสมของปฏิกิริยาประกอบไปด้วย 0.24 mM โปตัสเซียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7.4) ปริมาตร 1.1 มิลลิลิตร 1.0 mM กรดซาลิไซลิก ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร 0.3 mM เฟอรัสซัลเฟต ปริมาตร 0.7 มิลลิลิตร 4.0 mM อีดีทีเอ ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร 0.8 mM ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร นำส่วนผสมทั้งหมดไปบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที จากนั้นเติม 6 M กรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 120 ไมโครลิตร และอีเธอร์แช่เย็น ปริมาตร 4 มิลลิลิตร นำไปแช่ในเครื่องอังน้ำ (water bath) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยอีเธอร์ ละลายส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเติม 10 เปอร์เซ็นต์ กรดไธโอบาร์บิธูริก ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรที่ละลายใน 0.5 M กรดไฮโดรคลอริก เติม 10 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโซเดียมทังสเตต ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ สารละลายโซเดียมไนไตรต์ หลังจากที่ปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปเป็นเวลา 5 นาที เติม 0.5 M สารละลาย โปตัสเซียมไฮ-ดรอกไซด์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร กำหนดให้เป็นค่า A จากนั้นทำปฏิกิริยาโดยใช้ส่วนผสมดังที่ได้กล่าวมาแล้วยกเว้นเปลี่ยนน้ำกลั่นเป็นส่วนใสที่ได้จากสับปะรดตามวิธีการในข้อ 2.6.1 ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร วัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และให้ค่าที่วัดได้เป็นค่า B จากนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์จากความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยาที่มีและไม่มีสารสกัดจากสับปะรด ดังแสดงในสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์} = \frac{\text{A-B}}{\text{A}} \times 100$$

A คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร
ของปฏิกิริยาที่ไม่ใส่ส่วนใสของสับปะรด
B คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร
ของปฏิกิริยาที่ใส่ส่วนใสของสับปะรด

2.6.4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรด

หาได้จากการเทียบ เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลกับค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิลที่ได้จากกราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้นตั้งแต่ 0 – 0.1 mM และมีสมการของกราฟมาตรฐานเป็น $y = ax+b$ (ภาพผนวกที่ 5) ดังแสดงในสมการ

2.7. วิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมันตามวิธีการของ AOAC (1995)

นำเนื้อสับปะรดส่วนใกล้แกนผล หนัก 5 กรัม ปั่นเนื้อสับปะรดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม:เมทานอล (2:1) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างสับปะรดที่ละเอียดแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น จากนั้นแยกเก็บเฉพาะสารละลายชั้นล่าง ทำซ้ำอีก 2 ครั้งด้วยสารละลายเดียวกัน จากนั้นกรองสารละลายชั้นล่างที่ได้ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 นำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องโรตารี อีแวพอเรเตอร์ (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนแห้ง ชั่งน้ำหนัก บันทึกเป็นปริมาณไขมันรวม (total fat) จากนั้นเป็นการทำสปอนิฟิเคชัน (saponification) ด้วยการเติมสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ทำละลายใน 0.5 M เมทานอล ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และสารละลายมาตรฐาน (internal standard) ได้แก่กรดไขมันไตรโคซาโนอิก (tricosanoic acid, C23:0) ที่ทำละลายด้วยเฮปเทน (heptanes) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร นำไปกลั่นไหลกลับ (reflux) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ในเครื่องอังน้ำร้อนแบบเขย่า (water bath shaker) แล้วนำออกมาวางไว้ข้างนอกจนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ต่อมาเพื่อให้ตัวอย่างระเหยได้ดีขึ้นในเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟ จึงทำเมทิล เอสเทอร์ (methyl ester) ด้วยการเติม 14 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายโบรอนไตรฟลูโอไรด์ (boron trifluoride) ในเมทานอล ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปกลั่นไหลกลับ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในเครื่องอังน้ำ จากนั้นนำออกมาวางไว้ข้างนอกจนอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วเติมสารละลายอิ่มตัวของโซเดียมคลอไรด์ (saturated NaCl solution) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพื่อดักจับน้ำที่อาจติดมากับตัวอย่าง จากนั้นแยกสารละลายมาสกัดต่อด้วยปิโตรเลียม อีเทอร์ (petroleum ether) จำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 5 มิลลิลิตร เพื่อแยกชั้นไขมันซึ่งอยู่ในส่วนบน แล้วรวมสารละลายในชั้นบนที่ได้นำไประเหยตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจนแห้ง จากนั้นละลายสารที่ได้ด้วยไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Varian model CD 3800, USA) โดยฉีดตัวอย่างที่ละลายแล้ว ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ผ่านคอลัมน์ DB-23 ความหนาฟิล์ม 0.25 ไมครอน เส้น

ผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 60 เมตร โดยใช้ C:23 เป็นสารละลายมาตรฐาน ใช้สภาวะดังต่อไปนี้ ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สพา อัตราเร็ว 1 มิลลิลิตร ต่อนาที โดยใช้ detector ชนิด flame ionize detector ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส อุณหภูมิตู้อบเริ่มต้นที่ 175 องศาเซลเซียส เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 25 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส

ทำการทดลอง ณ หน่วยงานวิจัยพืชผลหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

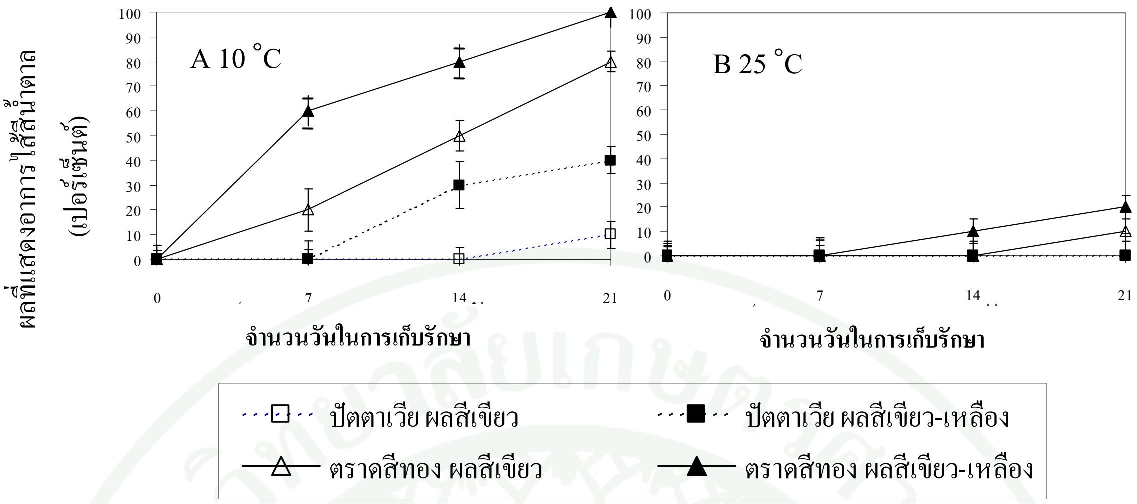
ผล

การทดลองที่ 1

1.1 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

1.1.1 อาการไส้สีน้ำตาล

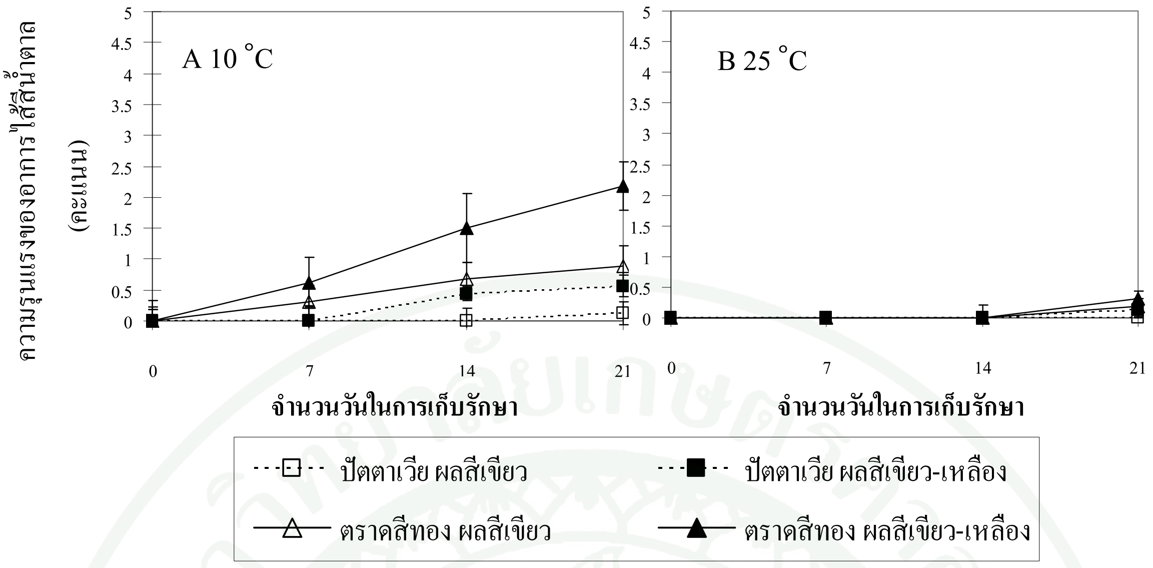
จากการทดลองเก็บรักษาสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทอง สองระดับความบริบูรณ์ คือบริบูรณ์น้อย หมายถึงผลสับปะรดเปลือกมีสีเขียวตลอดทั้งผลแต่เนื้อมีสีเหลืองอ่อนแล้ว และบริบูรณ์มากคือเปลือกเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองประมาณ 1 ใน 3 ของผล โดยสับปะรดทั้งสองระดับความบริบูรณ์นี้มีอายุต่างกันประมาณ 2 สัปดาห์ ในที่นี้ใช้คำว่าสับปะรดผลสีเขียวแทนผลสับปะรดที่บริบูรณ์น้อยและสับปะรดผลสีเขียว-เหลืองแทนผลสับปะรดบริบูรณ์มาก เมื่อเก็บผลสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์แสดงอาการไส้สีน้ำตาลแตกต่างกัน เริ่มต้นเป็นจุดสีใสบริเวณเนื้อเยื่อใกล้แกนผลและเมื่อแสดงอาการรุนแรงขึ้น จุดสีใสขยายวงกว้างมากขึ้นและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล โดยมากเริ่มเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่บริเวณโคนผลขึ้นมาจนถึงประมาณกลางผลของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ การเก็บรักษาผลสับปะรดที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าพันธุ์ปัตตาเวียมีจำนวนผลที่เกิดอาการน้อยกว่าและช้ากว่าพันธุ์ตราดสีทอง ดังแสดงในภาพที่ 1A และตารางผนวกที่ 1A และ 1B สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวแสดงอาการไส้สีน้ำตาลช้าที่สุดและน้อยที่สุด คือแสดงอาการในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา และมีผลที่แสดงอาการเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาเป็นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียว-เหลือง เริ่มแสดงอาการไส้สีน้ำตาลเมื่อวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าและเร็วกว่าแสดงอาการไส้สีน้ำตาลให้สังเกตได้เล็กน้อยในวันที่ 7 หลังการเก็บรักษา ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสับปะรดตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองแสดงอาการในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเช่นกันแต่มีอาการมากถึงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และแสดงอาการมากที่สุดเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 21 วัน เกิดอาการทุกผล ส่วนการเก็บรักษาผลสับปะรดทั้งสองพันธุ์ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน พบว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียทั้งสองความบริบูรณ์ไม่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 1B ส่วนพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวมีผลที่เนื้อใกล้แกนมีสีน้ำตาลเล็กน้อยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ส่วนสับปะรดตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองแสดงอาการดังกล่าวให้เห็นในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาพบผลที่แสดงอาการเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย



ภาพที่ 1 สัดส่วนผลที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.1.2 ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล

ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดเห็นได้จากอาการไส้สีน้ำตาลของเนื้อเยื่อใกล้แกนผลนั้นมีมากขึ้นสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นและพบว่าแกนผลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตลอดทั้งแกนผลเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นความรุนแรงของอาการในสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองความบริบูรณ์มีความสัมพันธ์กับเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นพันธุ์ปัตตาเวียแสดงความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทองทั้งสองความบริบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 2A และตารางผนวกที่ 2A และ 2B โดยพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีความรุนแรงของอาการน้อยที่สุด ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา ส่วนสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียว-เหลืองแสดงความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่าผลสีเขียวเล็กน้อย ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองพบว่าเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ผลสีเขียวเริ่มแสดงอาการเมื่อเก็บรักษาสับปะรดไว้เป็นเวลา 7 วัน และแสดงความรุนแรงของอาการเพิ่มมากขึ้นในวันที่ 21 เป็น 0.87 คะแนน ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองแสดงความรุนแรงของอาการมากที่สุด ระดับ 0.63 คะแนน ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บรักษาไว้นาน 21 วัน ความรุนแรงของอาการเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.19 คะแนน ส่วนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบเนื้อใกล้แกนมีสีน้ำตาลเล็กน้อย ยกเว้นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวไม่มีอาการเลยตลอดเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2B



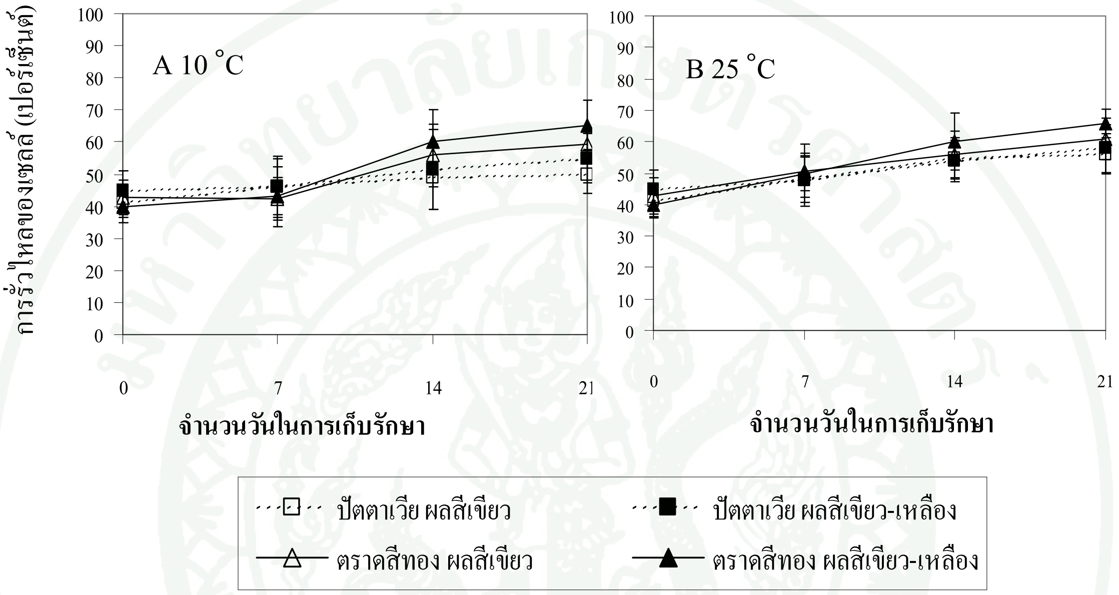
ภาพที่ 2 ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.1.3 การรั่วไหลของประจุ (Electrolyte leakage)

การรั่วไหลของของประจุในเนื้อสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองความบริบูรณ์เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส นั้นมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 3A และตารางผนวกที่ 3A และ 3B ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สับปะรดทั้งสองพันธุ์มีการรั่วไหลของประจุในวันแรกของการเก็บรักษา และหลังการเก็บรักษา 7 วันในระดับที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และแสดงการรั่วไหลของประจุเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น คืออยู่ในช่วง 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุด 49.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 21 วัน ในขณะที่ผลสีเขียว-เหลือง มีการรั่วไหลของประจุมากกว่าคือ 55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ตราดสีทองมีการรั่วไหลของประจุสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียทั้งสองระดับความบริบูรณ์ โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลือง มีการรั่วไหลของประจุเท่ากับ 59.4 และ 65.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สับปะรดทั้งสองพันธุ์มีการรั่วไหลของประจุเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นเช่นกัน ในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาการรั่วไหลของประจุของสับปะรด

อยู่ในช่วง 50 – 65 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสูงกว่าที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียว มีการรั่วไหลของประจุ 56.0 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลสีเขียว-เหลืองมีการรั่วไหลของประจุ 57.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีการรั่วไหลของประจุ 61.0 และ 65.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3B



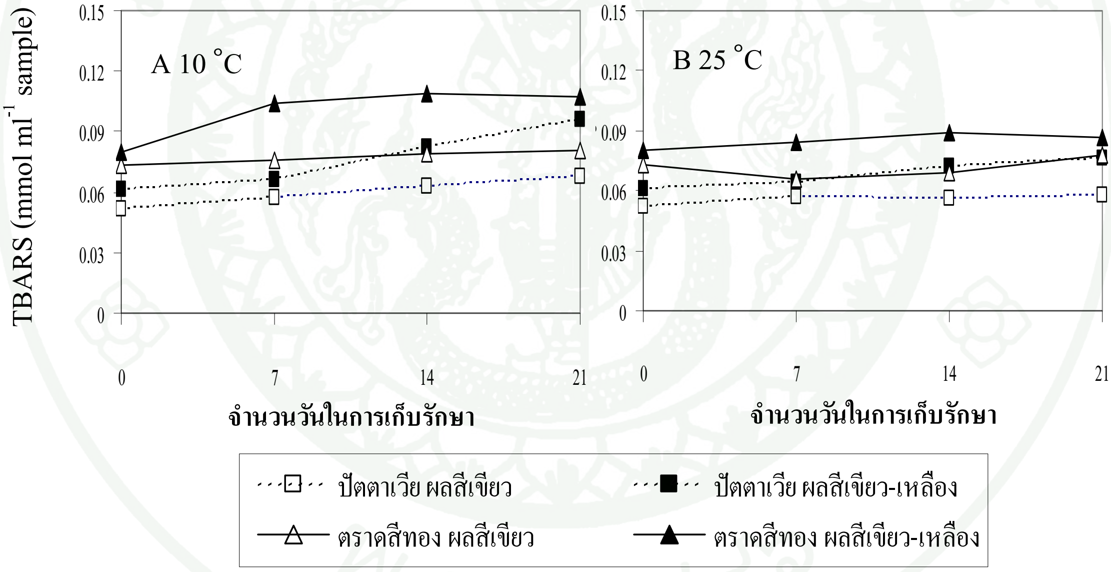
ภาพที่ 3 การรั่วไหลของประจุของเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.1.4 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน

สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองทั้งสองความบริบูรณ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เกิดลิพิด เพอร์ออกซเดชัน ซึ่งแสดงในรูปของปริมาณ MDA มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียตั้งแต่ตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4A และตารางผนวกที่ 4A และ 4B โดยพบว่าในวันแรกของการเก็บรักษา สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวมีปริมาณ MDA 0.073 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองมีค่า MDA 0.08 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ส่วนสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวและผลสีเขียวเหลืองมีค่า MDA เป็น 0.052 และ 0.061 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 วัน

สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลือง มีปริมาณ MDA สูงขึ้นเป็น 0.104 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง และมีปริมาณค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลองส่วนผลสีเขียวมีปริมาณ MDA ค่อนข้างคงที่ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีปริมาณ MDA น้อยที่สุด และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ในขณะที่ผลสีเขียว-เหลืองที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

ส่วนสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณ MDA ในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณ MDA อยู่ในช่วง 0.052 – 0.076 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ในขณะที่สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีปริมาณ MDA สูงกว่าโดยอยู่ในช่วง 0.066 – 0.089 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4B

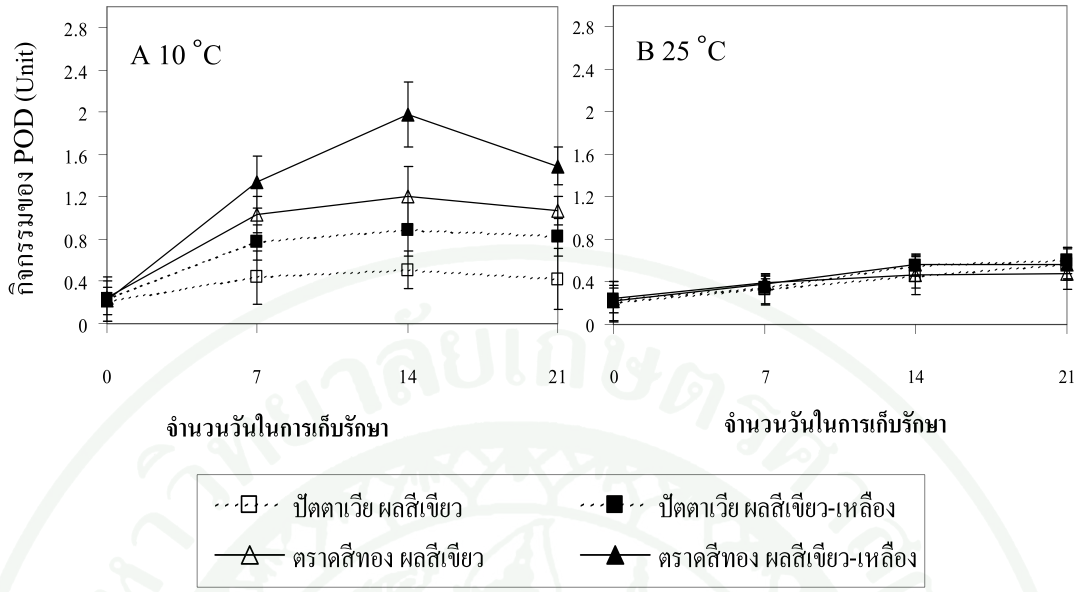


ภาพที่ 4 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน ของเนื้อเยื่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.1.5 กิจกรรมของเอนไซม์ เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD)

ในตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษากิจกรรมของเอนไซม์ POD ในสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.2 หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 5A และตารางผนวกที่ 5A และ 5B เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 10 องศาเซลเซียสพบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์และทั้งสองระดับความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงมากขึ้นในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาและค่อนข้างคงที่อยู่ในระดับนั้นจนสิ้นสุดการเก็บรักษา ยกเว้นในพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองที่กิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้นสูงมากจนสูงที่สุดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาจากนั้นจึงลดลง นอกจากนี้พบว่าพันธุ์ตราดสีทองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียถึง 2 เท่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับสับปะรดผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลสีเขียวทั้งสองพันธุ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ส่วนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในตอนเริ่มต้นการทดลองใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับที่ 10 องศาเซลเซียส เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่ยังคงใกล้เคียงกันทั้ง 2 พันธุ์และ 2 ระดับความบริบูรณ์ โดยมีกิจกรรมสูงที่สุดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 5B

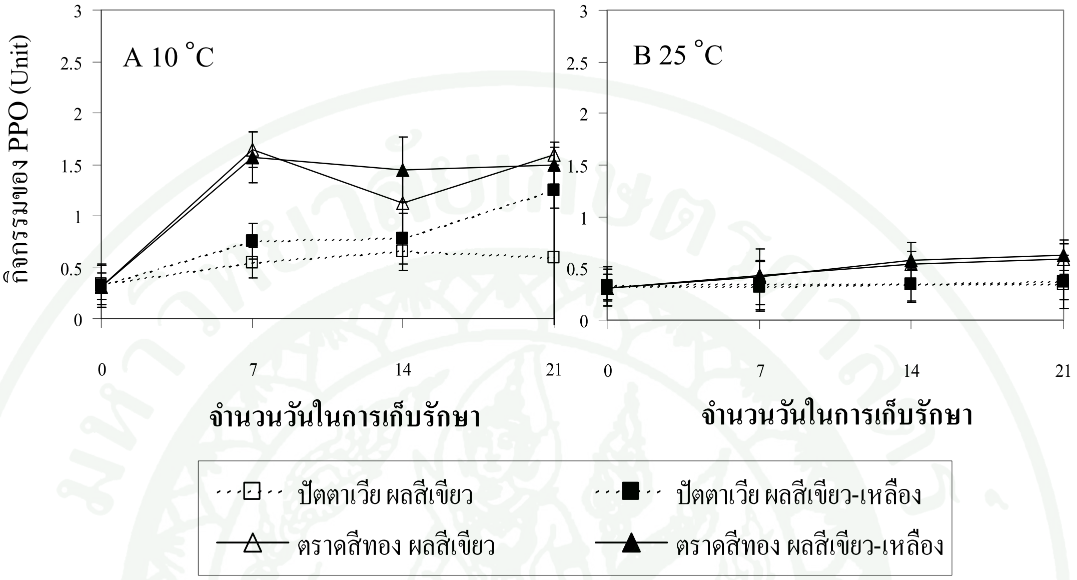


ภาพที่ 5 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.1.6 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO)

ในตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษาสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองและสองระดับความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ใกล้เคียงกันประมาณ 0.3 หน่วย ดังแสดงในภาพที่ 6A และตารางผนวกที่ 6A และ 6B เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สับปะรดทั้งสองพันธุ์มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในพันธุ์ตราดสีทองที่มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย 2-3 เท่าตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาสำหรับพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นมากกว่าผลสีเขียวอย่างเห็นได้ชัด ส่วนพันธุ์ตราดสีทองทั้งสองระดับความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงมากขึ้นแต่มีค่าใกล้เคียงกันระหว่างการเก็บรักษา ส่วนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในตอนแรกของการเก็บรักษาใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น พันธุ์ปัตตาเวียมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ประมาณ 0.3 – 0.4 หน่วย ในขณะที่พันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสี

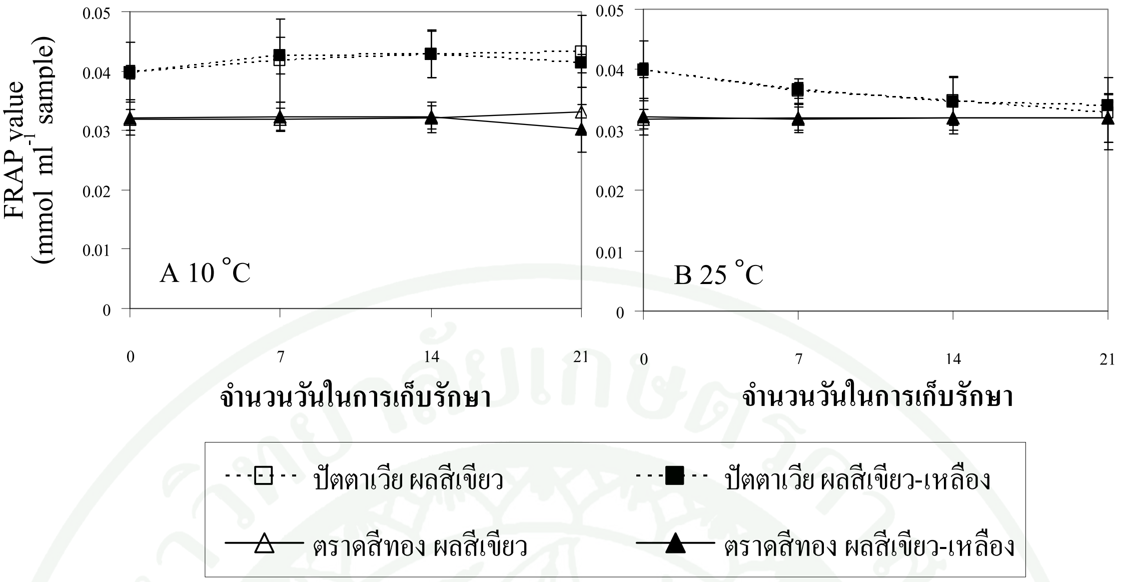
เขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 6B



ภาพที่ 6 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

1.1.7 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด

ในการศึกษาถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด ในสับปะรดเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสทั้งผลสีเขียวและเขียว-เหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมสูงกว่าพันธุ์ตราดสีทองตลอดระยะการเก็บรักษาประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 7A และตารางผนวกที่ 7A และ 7B ส่วนสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมของพันธุ์ตราดสีทองค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่พันธุ์ปัตตาเวียมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระ ลดลงจนมีระดับใกล้เคียงกับพันธุ์ตราดสีทองในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 7B



ภาพที่ 7 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

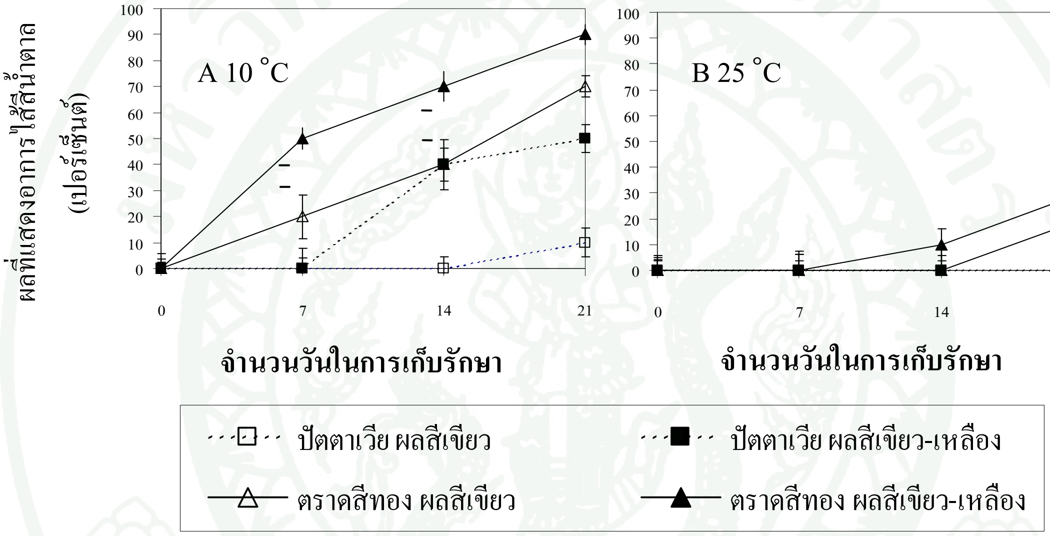
การทดลองที่ 2 ศึกษาอาการสะท้านหนาว การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี ในสับปะรด

2.1 การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล

2.1.1 อาการไส้สีน้ำตาล

การทดลองเก็บรักษาสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) และพันธุ์ตราดสีทอง (Queen) ทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์มีอาการไส้สีน้ำตาลคล้ายคลึงกับที่พบในการทดลองที่ 1 โดยที่พันธุ์ปัตตาเวียมีผลที่แสดงอาการน้อยกว่าและช้ากว่าพันธุ์ตราดสีทอง ดังแสดงในภาพที่ 8A และตารางผนวกที่ 8A และ 8B และยังพบว่าพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวแสดงอาการไส้สีน้ำตาลช้าที่สุดและน้อยที่สุด คือแสดงอาการไส้สีน้ำตาลเมื่อวันที่ 21 ของการเก็บรักษาเป็นสัดส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาเป็นสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียว-เหลือง พบอาการไส้สีน้ำตาลในวันที่ วันที่ 14 ของการเก็บรักษา 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพันธุ์ตราดสีทองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้เร็วกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย โดยทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ในสัดส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ และ 50

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้พันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลมากที่สุดในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการเก็บรักษาผลสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 21 วัน พบว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองไม่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลเลย ส่วนพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวเนื้อผลมีสีน้ำตาลในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สับปะรดตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองมีผลที่แสดงอาการให้เห็นตั้งแต่วันที่ 14 ของการเก็บรักษา ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา ผลที่แสดงอาการเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 8B

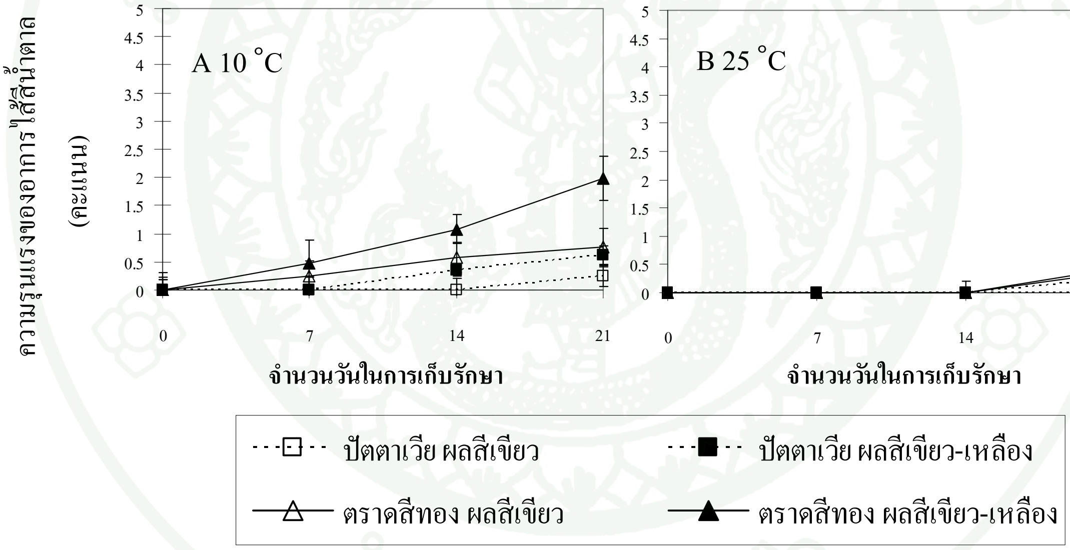


ภาพที่ 8 จำนวนผลที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.1.2 ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล

ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดเห็นได้จากอาการไส้สีน้ำตาลของเนื้อเยื่อ ใกล้แกนผลนั้นมีมากขึ้นโดยแสดงสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นและพบว่าแกนผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลตลอดทั้งแกนผลเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นซึ่งคล้ายคลึงกันกับในการทดลองที่ 1 ที่10 องศาเซลเซียส พันธุ์ปัตตาเวียแสดงความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลือง ดังแสดงในภาพที่ 9A และตารางผนวกที่ 9A และ 9B โดยในวันที่ 21 ของการเก็บ

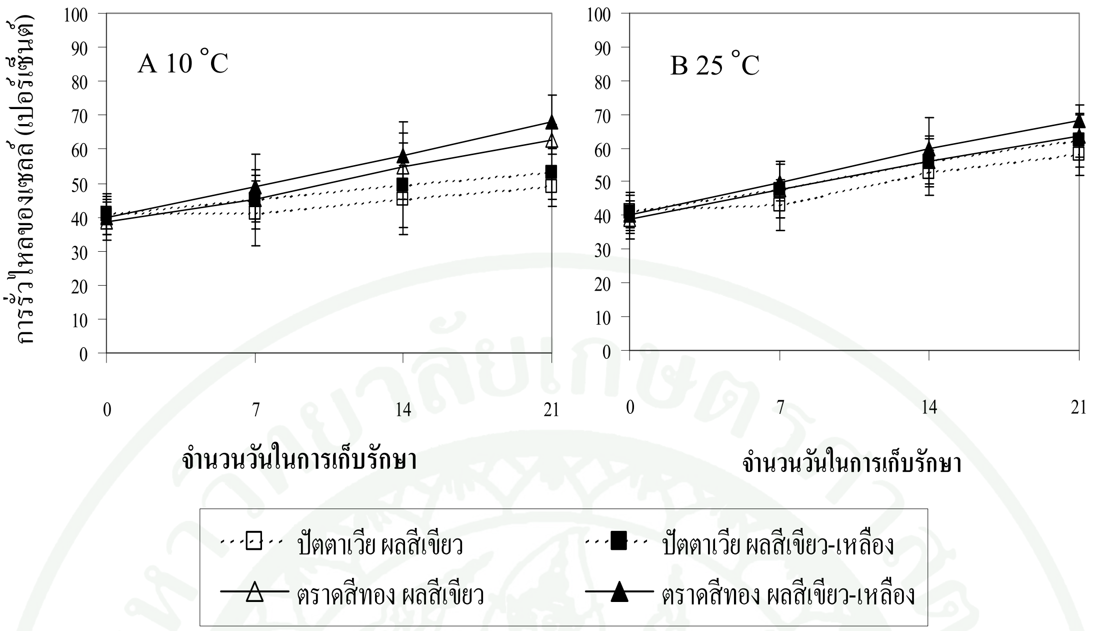
รักษา พันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวแสดงอาการน้อยที่สุด 0.25 คะแนน ส่วนสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียว-เหลือง มีคะแนนความรุนแรงของอาการ 0.62 คะแนน ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 วัน มีความรุนแรงของอาการ 0.25 คะแนน และเพิ่มมากขึ้น เป็น 0.58 และ 0.76 คะแนนในวันที่ 14 และ 21 ตามลำดับ ผลสีเขียว-เหลืองมีความรุนแรงของอาการมากที่สุด 1.99 คะแนนในวันที่ 21 ของการเก็บรักษา สำหรับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระดับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดทั้งสองพันธุ์นั้นมีน้อย โดยสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวไม่มีอาการเลยตลอดเวลาการเก็บรักษา ในขณะที่ผลสีเขียว-เหลืองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลเมื่อวันที่ 21 ของการเก็บรักษาเท่ากับ 0.25 คะแนน ส่วนพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีความรุนแรงของอาการในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาเท่ากับ 0.35 และ 0.43 คะแนน ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 9B



ภาพที่ 9 ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.1.3 การรั่วไหลของประจุ (Electrolyte leakage)

การรั่วไหลของของประจุในเนื้อสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองความบริบูรณ์เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำนั้นมีผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันกับในการทดลองที่ 1 การเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์มีการรั่วไหลของประจุในวันแรกของการเก็บรักษาในระดับที่ใกล้เคียงกันคือประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 10A และตารางผนวกที่ 10A และ 10B เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นการรั่วไหลของประจุเกิดเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษาสับปะรดไว้เป็นเวลา 21 วัน สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีการรั่วไหลของประจุน้อยที่สุดคิดเป็น 48.9 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ผลสีเขียว-เหลืองมีการรั่วไหลของประจุ 52.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีการรั่วไหลของประจุมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ในวันสุดท้ายของการเก็บรักษาพบว่ามีค่าการรั่วไหลของประจุคิดเป็น 62.8 และ 67.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สับปะรดทั้งสองพันธุ์แสดงการรั่วไหลของประจุเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นด้วย โดยในวันที่ 21 สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีการรั่วไหลของประจุคิดเป็น 48.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลสีเขียว-เหลือง มีการรั่วไหลของประจุคิดเป็น 51.2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่พันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีการรั่วไหลของประจุคิดเป็น 61.8 และ 68.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงภาพที่ 10B

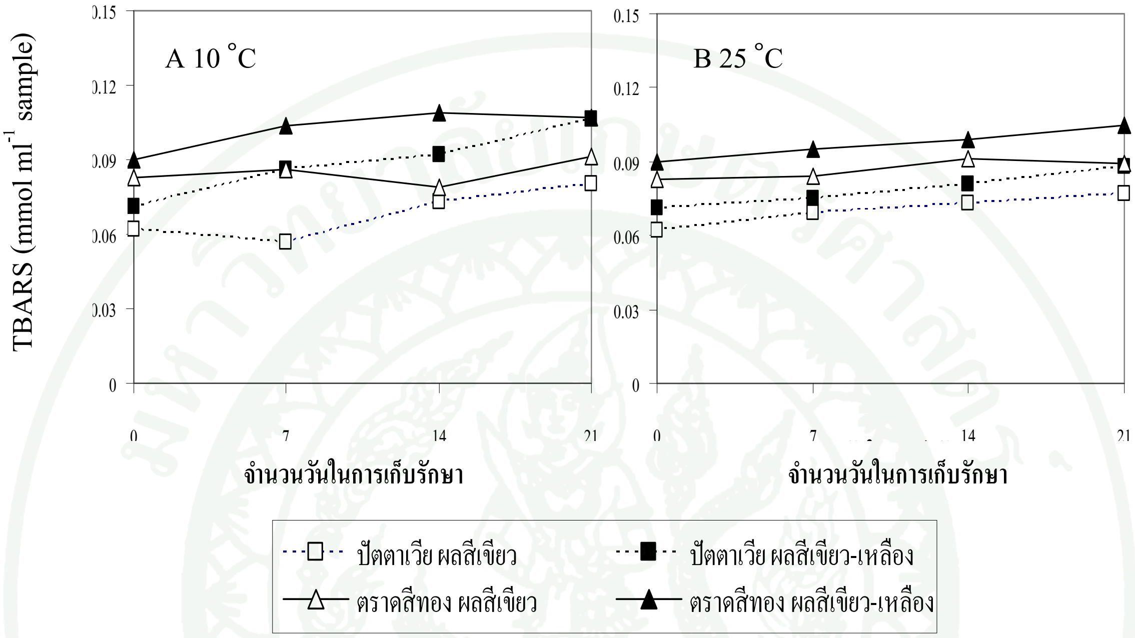


ภาพที่ 10 การรั่วไหลของประจุของเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.1.4 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชัน

สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลือง ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส มีปริมาณ MDA มากกว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียตั้งแต่ตอนเริ่มต้นดังแสดงในภาพที่ 11A และตารางภาคผนวกที่ 11A และ 11B โดยพบว่าในวันแรกของการเก็บรักษา สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวมีปริมาณ MDA 0.08 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองมีปริมาณ MDA 0.07 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ส่วนสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวและผลสีเขียวเหลืองมีปริมาณ MDA เป็น 0.06 และ 0.07 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลือง มีปริมาณ MDA เพิ่มสูงขึ้นและสูงที่สุดเท่ากับ 0.21 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษาในขณะที่ผลสีเขียวไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณเพิ่มขึ้นทั้งในผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองแต่ยังคงมีระดับต่ำกว่าพันธุ์ตราดสีทอง สำหรับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีปริมาณ MDA สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองตั้งแต่วันแรกของการเก็บรักษาและมีปริมาณเพิ่มขึ้น

เล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาโดยสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณ MDA อยู่ในช่วง 0.06 – 0.09 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ส่วนสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีปริมาณ MDA สูงกว่าโดยอยู่ในช่วง 0.08 – 0.21 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 11 B



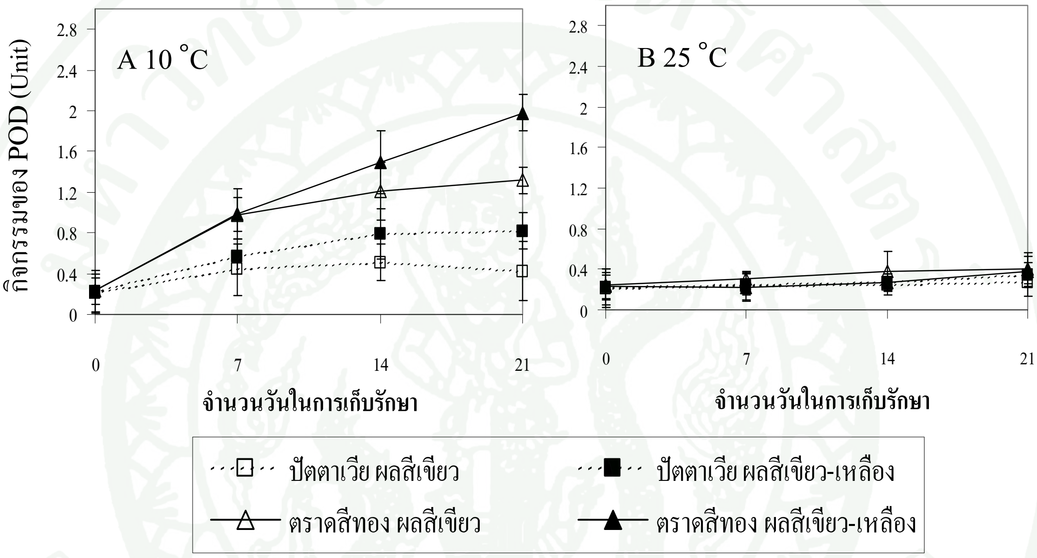
ภาพที่ 11 การเกิดลิพิด เพอร์ออกซิเดชันของเนื้อเยื่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี

2.2.1 กิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase; POD)

สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองทั้งสองระดับความบริบูรณ์ มีกิจกรรมของเอนไซม์ POD ใกล้เคียงกันในตอนเริ่มต้นการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 12A และตารางภาคผนวกที่ 12A และ 12B แต่เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานขึ้น สับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวที่เพิ่มขึ้นในช่วงสัปดาห์แรกเพียงเล็กน้อยและคงที่อยู่ในระดับนั้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-

เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงขึ้นใกล้เคียงกันในวันที่ 7 จากนั้นผลสีเขียวมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา สำหรับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระยะความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในระดับต่ำ และมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 12B

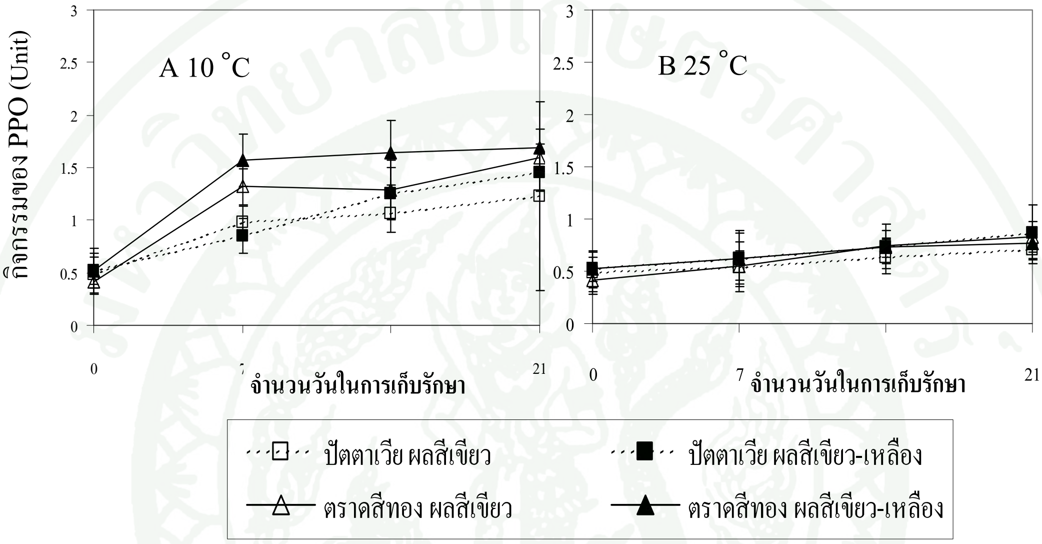


ภาพที่ 12 กิจกรรมของเอนไซม์ POD ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.2.2 กิจกรรมของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase; PPO)

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 0.8 หน่วย ในวันแรกของการเก็บรักษา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 13A และตารางภาคผนวกที่ 13A และ 13B เมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงมากขึ้นกว่าพันธุ์ปัตตาเวียเกือบเท่าตัวและคงที่อยู่ในระดับนี้ตลอดจนสิ้นสุดการทดลอง ส่วนสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียพบกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อย ๆ สูงขึ้นโดยตลอดระหว่างการเก็บรักษาแต่ยังคงต่ำกว่าพันธุ์ตราดสีทองประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้สับปะรดผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้เพิ่มสูงมากกว่าผลสีเขียวอย่างเห็นได้ชัดในทั้งสองพันธุ์ ส่วนการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสพบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ใกล้เคียงกันในตอนเริ่มต้นและเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้น สับปะรดทั้งสองพันธุ์ทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองนั้นมีระดับของกิจกรรมนี้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงไว้ในภาพที่ 13B

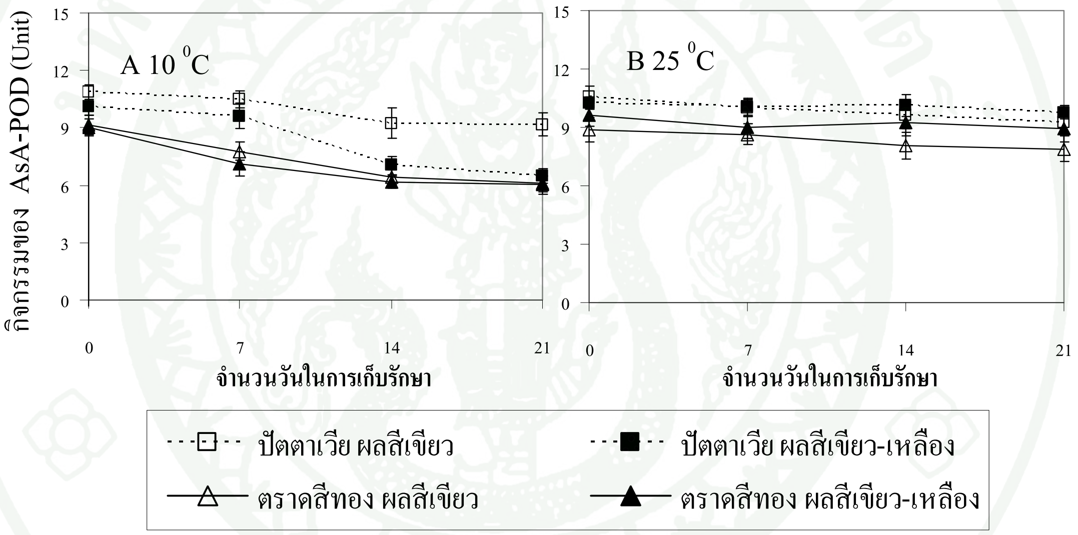


ภาพที่ 13 กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.2.3 กิจกรรมของเอนไซม์แอสคอร์เบส เพอร์ออกซิเดส (ascorbate peroxidase; AsA-POD)

สับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีมากกว่าพันธุ์ตราดสีทองทั้งสองระดับความบริบูรณ์ตั้งแต่ตอนแรกของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 14A และตารางภาคผนวกที่ 14A และ 14B โดยสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD สูงที่สุดเท่ากับ 10.89 หน่วย และมีกิจกรรมลดน้อยลงจนน้อยที่สุดในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาเท่ากับ 9.17 หน่วย ส่วนผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในวันเริ่มต้นของการเก็บรักษาน้อยกว่าผลสีเขียวเล็กน้อยเท่ากับ 10 หน่วย และมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ลดลงตลอดระยะเวลาการ

เก็บรักษาซึ่งน้อยกว่าผลสีเขียวอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะในตอนท้ายของการเก็บรักษา ส่วนพันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ในวันเริ่มต้นใกล้เคียงกันประมาณ 9 หน่วย และมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนการเก็บรักษาสับปะรดไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้น้อยกว่าพันธุ์ปัตตาเวียตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้น้อยกว่าผลสีเขียว-เหลืองตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แต่สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้มากกว่าผลสีเขียว-เหลืองในตอนเริ่มต้นการทดลอง และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นพบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ในผลสีเขียวลดลงต่ำกว่าผลสีเขียว-เหลืองเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 14B

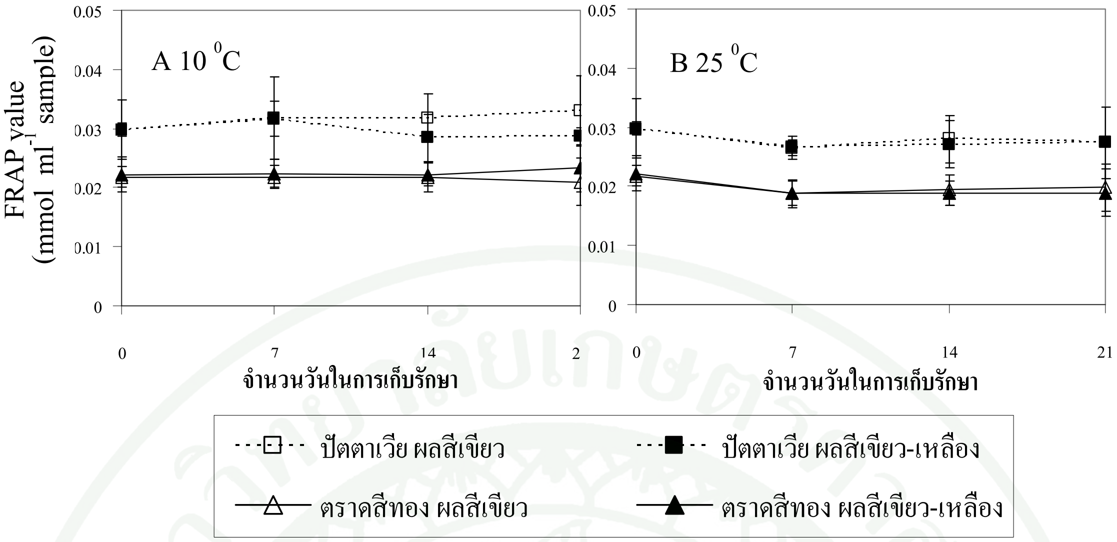


ภาพที่ 14 กิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.3 การกำจัดอนุมูลอิสระ

2.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม

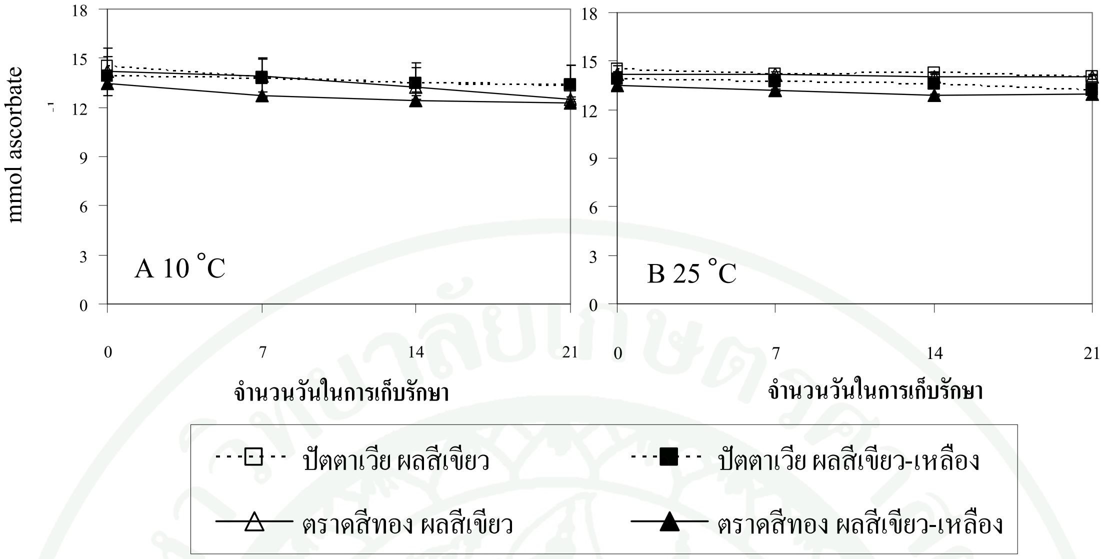
ในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการ FRAP พบว่า สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองในวันแรกมีค่าเท่ากันคือ 0.0298 มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 15A และตารางผนวกที่ 15A และ 15B เมื่อเก็บรักษาไว้ตลอด 21 วัน ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของผลสีเขียวยังคงอยู่ในระดับเดิม ในขณะที่ผลสีเขียว-เหลืองมีค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระลดลงเล็กน้อย ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองทั้งสองระดับความบริบูรณ์มีน้อยกว่าของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ตั้งแต่เริ่มแรกและมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีค่าสูงกว่าพันธุ์ตราดสีทองตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการทดลองเช่นกัน และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีค่าลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 15B



ภาพที่ 15 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน (Singlet oxygen scavenging capacity)

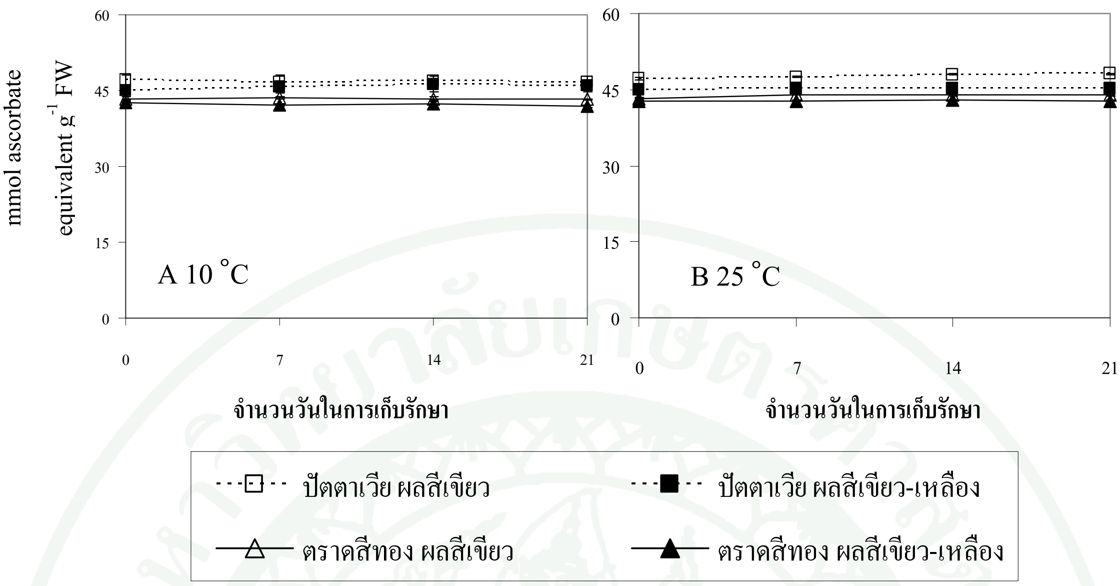
ในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนใกล้เคียงกันคือในวันแรกของการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 13.5 ถึง 14.5 มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด ดังแสดงในภาพที่ 16A และตารางภาคผนวกที่ 16A และ 16B เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษามีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียสูงกว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเล็กน้อย ส่วนที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนในตอนเริ่มแรกของการเก็บรักษาใกล้เคียงกันแต่ผลสีเขียว-เหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนน้อยกว่าผลสีเขียวเล็กน้อย ดังแสดงไว้ในภาพที่ 16B



ภาพที่ 16 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide scavenging capacity)

ในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าในวันแรกของการทดลองสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์เป็น 47.12 และ 45.01 มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 17A และตารางผนวกที่ 17A และ 17B ซึ่งสูงกว่าพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองที่มีค่าเป็น 43.25 และ 42.67 มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ของสับปะรดทั้งสองพันธุ์มีค่าค่อนข้างคงที่ โดยในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์สูงกว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทอง ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็มีความคล้ายคลึงกันกับที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 17B

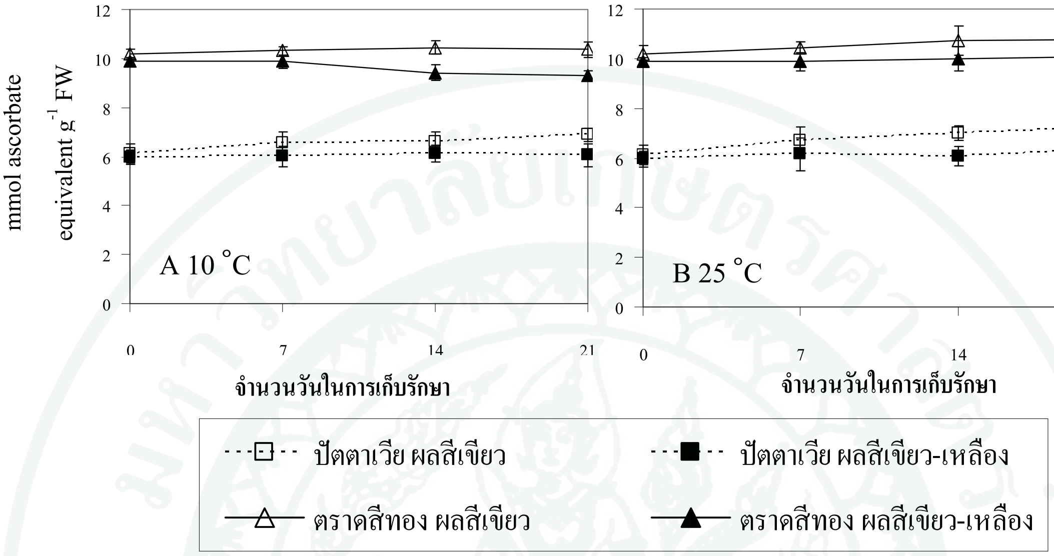


ภาพที่ 17 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.3.4 ประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical scavenging capacity)

ในการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าสับปะรดทั้งพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลแตกต่างกันตั้งแต่ตอนเริ่มต้นไปจนสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 18A และตารางผนวกที่ 18A และ 18B โดยพันธุ์ปัตตาเวียมีค่าน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทองประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยในวันแรกของการทดลองสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองมีประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลเป็น 6.12 และ 5.97 มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ค่อนข้างคงที่ ยกเว้นในพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองมีแนวโน้มลดลง สับปะรดผลสีเขียวในทั้ง 2 พันธุ์มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลสูงกว่าผลสีเขียว-เหลืองเล็กน้อย ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับ

ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 18B

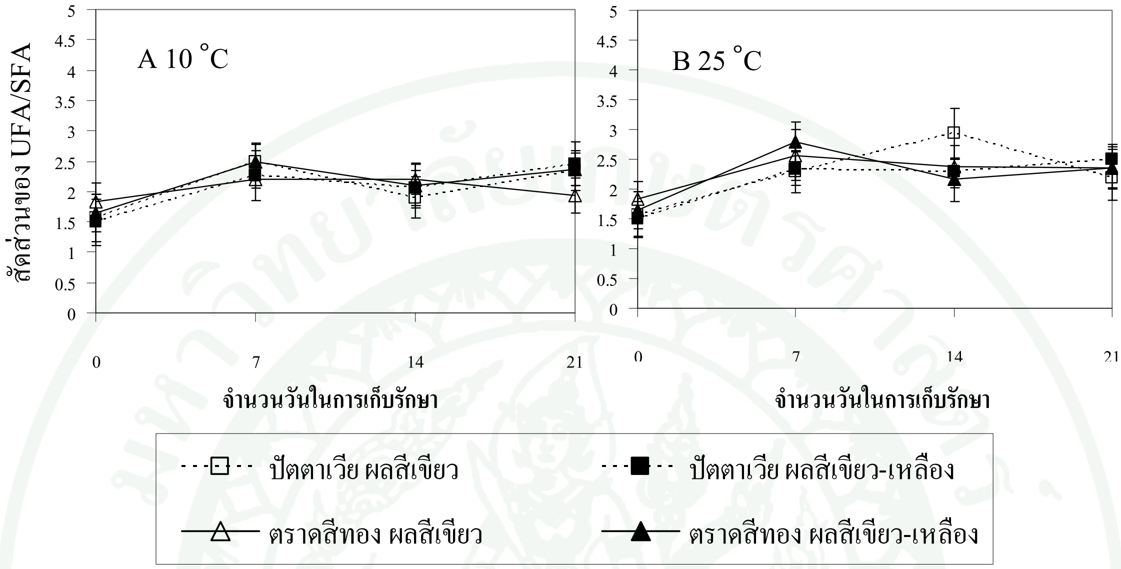


ภาพที่ 18 ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

2.4 ชนิดและปริมาณกรดไขมัน

จากการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณกรดไขมันของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 7 14 และ 21 วัน พบชนิดของกรดไขมันทั้งหมด 5 ชนิด แบ่งออกเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว 2 ชนิด คือปาล์มมิติก (palmitic acid) และสเตียริก (stearic acid) และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 3 ชนิด คือไลโนเลอิก (linoleic acid) อัลฟา ไลโนเลนิก (alpha linolenic acid) และเพโทรเซเลนิก (petroselinic acid) และจากการหาอัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (UFA/SFA) พบว่าอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในสับปะรดทั้งในพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองนั้นทั้งสองอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าพันธุ์ตราดสีทองมีสัดส่วน UFA/SFA สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย และสัดส่วนนี้เพิ่มสูงขึ้นหลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 7

วัน ในทั้ง 2 อุณหภูมิ เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นสัดส่วนนี้มีการผันแปรเล็กน้อยแต่ยังคงสูงกว่าในตอนเริ่มต้น ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 19 และตารางผนวกที่ 19A และ 19B

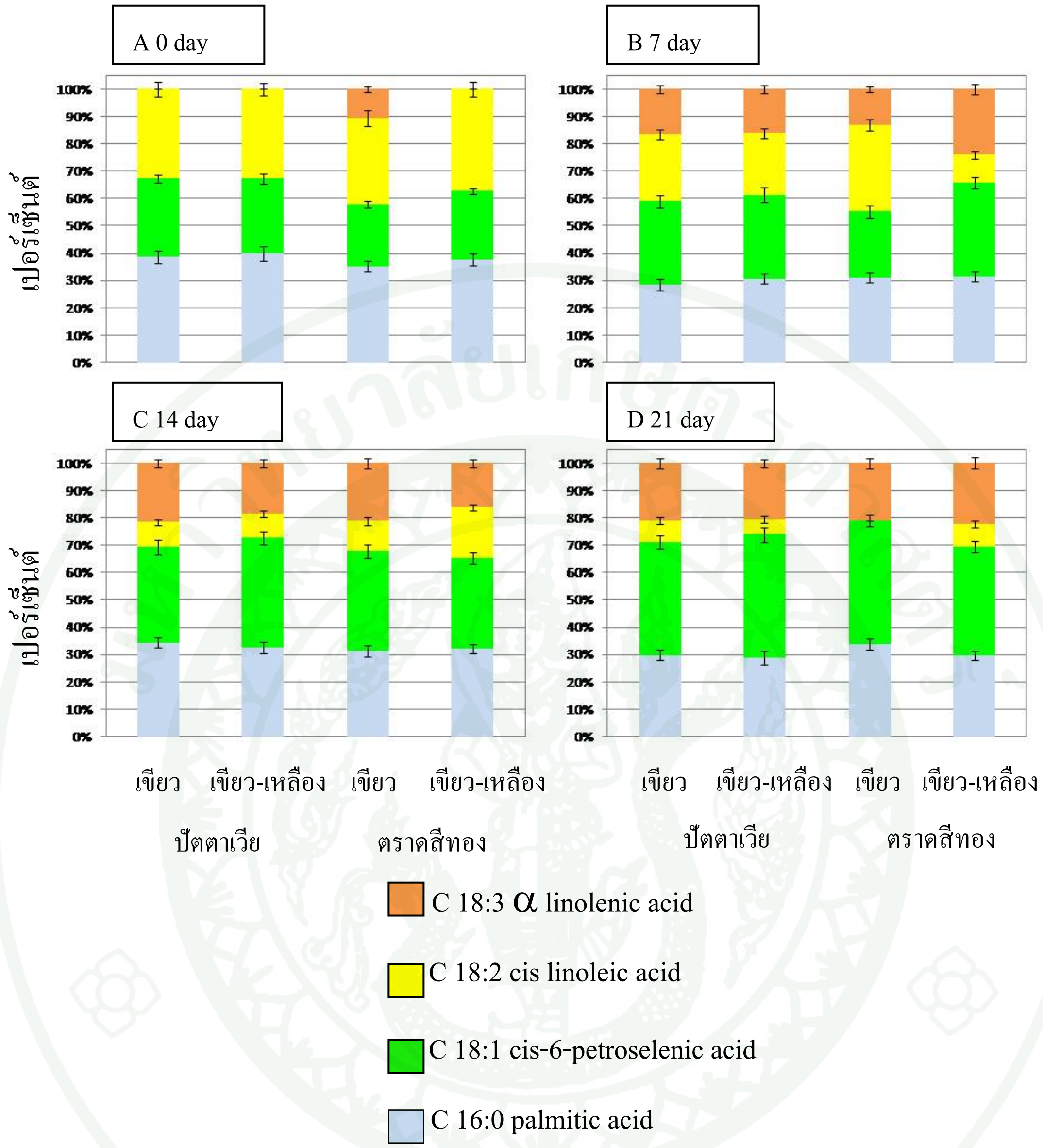


ภาพที่ 19 อัตราส่วนระหว่างกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับกรดไขมันชนิดอิ่มตัวของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันแต่ละชนิดในสับปะรดทั้งสองพันธุ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่าในวันแรกของการทดลอง สับปะรดทั้งสองพันธุ์ทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลือง มีปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัว (palmitic acid, C 16:0) ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 วันขึ้นไปพบว่า ในสับปะรดทั้งสองพันธุ์มีปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวลดลงและอยู่ในระดับค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้พบว่าพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณ palmitic acid มากกว่าพันธุ์ตราดสีทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองของสับปะรดทั้งสองพันธุ์มีปริมาณ palmitic acid ที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ 20A และ 20B และที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสนี้ไม่พบ stearic acid

สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว พบว่าในวันแรกของการเก็บรักษาสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์และเพิ่มปริมาณมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น โดยในวันแรกของการเก็บรักษาสับปะรดทั้งสองพันธุ์มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 2 ชนิดเหมือนกัน ได้แก่ petroselenic acid (C 18:1) และ linoleic acid (C 18:2) แต่พันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวที่มี α-linolenic acid (C 18:3) อีกชนิดหนึ่ง เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานขึ้นพบว่ากรดไขมันชนิด petroselenic acid (C 18:1) มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการเก็บรักษา และพบว่าปริมาณกรดไขมันชนิดนี้ของทั้งสองพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่พบว่าสับปะรดทั้งสองพันธุ์ผลสีเขียวมีปริมาณกรดไขมันชนิดนี้น้อยกว่าผลสีเขียว-เหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับกรดไขมันชนิด linoleic acid (C 18:2) พบว่ามีปริมาณลดลงอย่างชัดเจน เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น และยังพบว่าทั้งพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณกรดไขมันชนิดนี้มากกว่าพันธุ์ตราดสีทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองในสับปะรดทั้งสองพันธุ์กลับมีปริมาณกรดไขมันชนิดนี้ไม่แตกต่างกัน สำหรับ α-linolenic acid (C 18:3) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดที่พบเฉพาะในพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียวในตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษา พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในสับปะรดทั้งสองพันธุ์และสองระดับความบริบูรณ์ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา พันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณกรดไขมันชนิดนี้มากกว่าพันธุ์ตราดสีทองและยังพบอีกว่าผลที่มีสีเขียวมีปริมาณ α-linolenic acid มากกว่าผลสีเขียว-เหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ 23A และ 23B

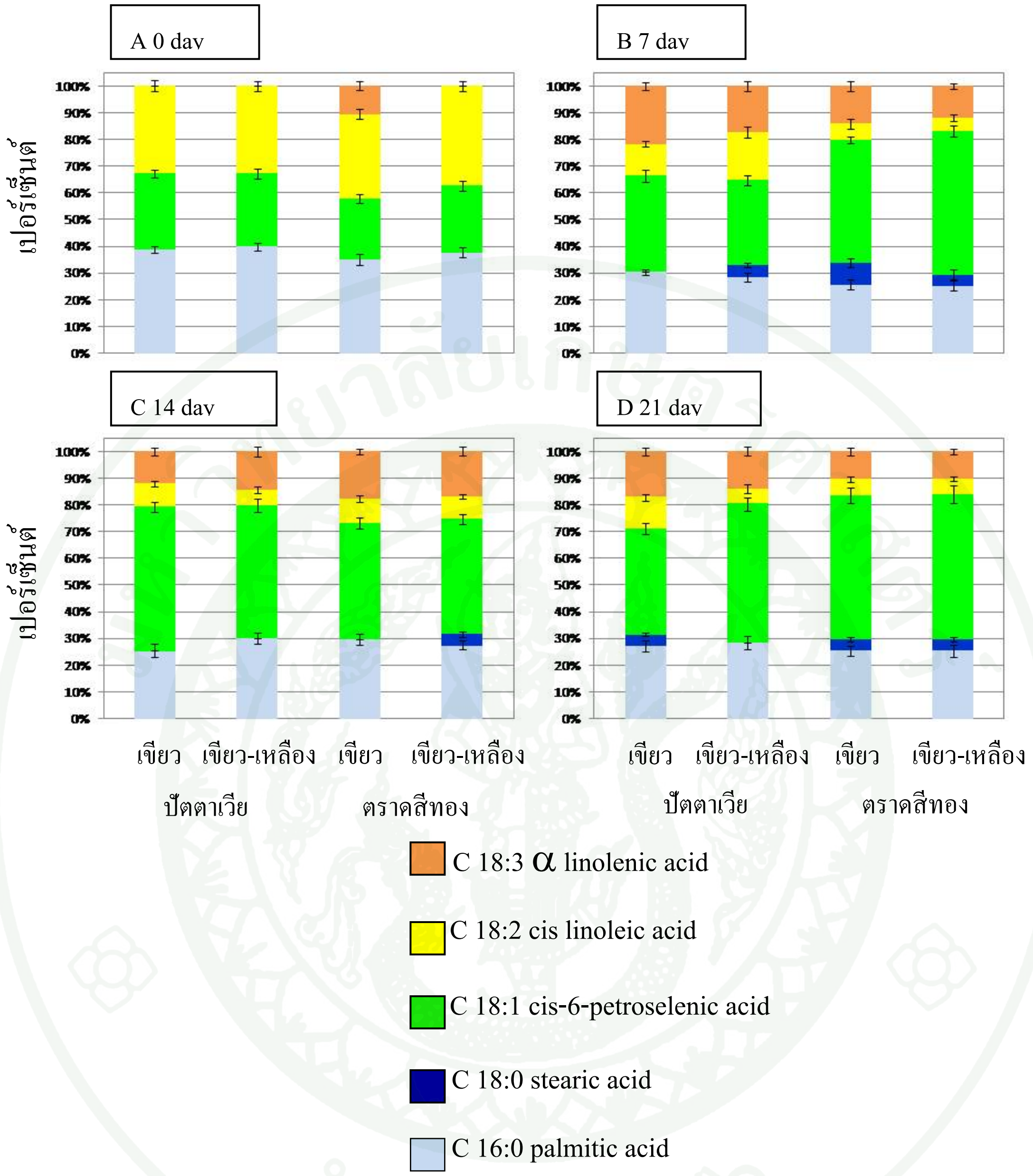


ภาพที่ 20 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน (เครื่องหมาย] แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สำหรับที่ 25 องศาเซลเซียส ปริมาณกรดไขมันชนิดอิ่มตัวลดลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 7 วันและคงที่อยู่ในระดับนี้เช่นเดียวกับการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาพบกรดไขมันอิ่มตัวชนิดที่ไม่ปรากฏในตอนเริ่มต้นของการ

เก็บรักษา รวมถึงไม่พบในสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสด้วย คือ stearic acid (C 18:0) โดยพบกรดไขมันชนิดนี้ในสับปะรดทั้งสองพันธุ์ ยกเว้นพันธุ์ปัตตาเวียผลสีเขียวแต่การปรากฏขึ้นของกรดไขมันชนิดนี้เป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ สำหรับ palmitic acid ในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์มีปริมาณลดลงในสัปดาห์แรกและค่อนข้างคงที่จนสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ stearic acid ไม่ปรากฏในวันแรกของการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอผันแปรไปตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในสับปะรดทั้งสองพันธุ์ โดยเฉพาะในพันธุ์ปัตตาเวียในทั้งสองระดับความบริบูรณ์ที่พบกรดไขมันชนิดนี้เพียงบางวันเท่านั้น

สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวของสับปะรดทั้งสองพันธุ์พบว่ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา จากนั้นมีปริมาณค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา petroselinic acid มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา แต่ในทั้งสองพันธุ์มีปริมาณกรดไขมันชนิดนี้ผันแปรไปตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา บางครั้งพบว่าพันธุ์ตราดสีทองมีปริมาณของกรดไขมันชนิดนี้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ส่วน linoleic acid มีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และยังพบว่าพันธุ์ปัตตาเวียมีปริมาณกรดไขมันชนิดนี้มากกว่าพันธุ์ตราดสีทองเฉพาะในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเท่านั้น ส่วนที่เหลือมีปริมาณใกล้เคียงกัน ส่วน α-linolenic acid พบการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ยกเว้นในพันธุ์ตราดสีทองผลสีเขียว-เหลืองที่ผันแปรไม่มีทิศทางที่แน่นอน ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน วัน (เครื่องหมาย I แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

วิจารณ์

อาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรด เริ่มต้นพบเป็นจุดใสบริเวณใกล้แกนผลแล้วขยายวงกว้างออกไปยังเนื้อเยื่อบริเวณข้างเคียงโดยพบอาการบริเวณโคนผลก่อน จากนั้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น จุดใสนี้เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและถ้ามีความรุนแรงมากพบสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อได้มากขึ้น อาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดนี้พบเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อย้ายเอาสับปะรดจากที่เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสไปไว้ในที่อุณหภูมิห้อง สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีผู้ศึกษาก่อนหน้านี้ (ดารา, 2530; ปณิธาน, 2533; Paull and Rohrbach,1985) ในการทดลองครั้งนี้สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเกิดอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่าและรุนแรงกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย เช่นเดียวกันกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่มีการเปรียบเทียบอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต (กลุ่ม Queen เช่นเดียวกับพันธุ์ตราดสีทอง) ที่มีอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่าและรุนแรงกว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในกลุ่ม Smooth cayenne (จักรพงษ์, 2535; อ้อมอรุณ, 2547; Weerahewa and Adikaram, 2005) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความบริบูรณ์ที่แตกต่างกันมีผลทำให้เกิดการแสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้แตกต่างกันด้วย กล่าวคือ ผลสับปะรดที่มีสีเขียว-เหลืองเกิดอาการไส้สีน้ำตาลมากและรุนแรงกว่าผลที่มีสีเขียวในทั้ง 2 พันธุ์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zhou *et al.* (2003a) ที่พบว่าสับปะรดที่อยู่ในระยะที่ยังไม่บริบูรณ์หรือบริบูรณ์มากเกินไปพบอาการไส้สีน้ำตาลได้เพียงเล็กน้อย ในขณะที่ผลที่อยู่ในระยะบริบูรณ์แสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่า นอกจากนี้ในการทดลองครั้งนี้ยังพบอาการเนื้อผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในช่วงท้ายของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ แต่อาการที่พบน่าจะเกิดจากการเสื่อมสภาพของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานานมากกว่าการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลอันเนื่องมากจากการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างอาการไส้สีน้ำตาล การรั่วไหลของประจุ และเอนไซม์ PPO และ POD ตามสมมติฐานการเกิดการสะท้านหนาวของ Lyon (1973)

สมมติฐานของกลไกในการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Lyons (1973) มีแนวความคิดที่ว่าเยื่อหุ้มต่าง ๆ ภายในเซลล์เป็นองค์ประกอบส่วนแรกที่เกิดความเสียหายขึ้นเนื่องมาจากการเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิต่ำทำให้ไขมันบนเยื่อหุ้มเปลี่ยนสถานะไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ จากนั้นอาการไส้สีน้ำตาลจึงปรากฏ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองทั้งการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การเสียหายของเยื่อหุ้มที่แสดงในรูปของการรั่วไหลของประจุ กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อจากการทดลอง สามารถเขียนสรุป

ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดตามสมมติฐานของกลไกในการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Lyons (1973) ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การรั่วไหลของประจุและกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตามสมมติฐานของกลไกในการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Lyons (1973)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล	**พันธุ์**		**ความสัมพันธ์ตามสมมติฐานของ Lyons (1973)**
	ปัตตาเวีย	**ตราดสีทอง**	
อาการไส้สีน้ำตาล	น้อย	มาก	-
การรั่วไหลของประจุ	น้อย	มากกว่าเล็กน้อย	สอดคล้อง
กิจกรรมของ PPO	น้อย	มาก	สอดคล้อง
กิจกรรมของ POD	น้อย	มาก	สอดคล้อง
UFA / SFA	น้อย	มากกว่าเล็กน้อย	ไม่สอดคล้อง
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล	**ความบริบูรณ์**		**ความสัมพันธ์ตามสมมติฐานของ Lyons (1973)**
	ผลสีเขียว	**ผลสีเหลือง**	
อาการไส้สีน้ำตาล	น้อย	มาก	-
การรั่วไหลของประจุ	น้อย	มากกว่า	สอดคล้อง
กิจกรรมของ PPO	น้อย	มาก	สอดคล้อง
กิจกรรมของ POD	น้อย	มาก	สอดคล้อง
UFA / SFA	มากกว่าเล็กน้อย	น้อยกว่าเล็กน้อย	ไม่สอดคล้อง

ทั้งนี้การรั่วไหลของประจุออกจากเซลล์เป็นสิ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ และมักใช้เป็นตัวชี้วัดถึงการเกิดอาการสะท้านหนาวในพืช (Woolf, 1997; Tai *et al*., 2004; Concellón *et al*., 2005; Ratule *et al*., 2006) การทดลองครั้งนี้พบว่าพันธุ์ตราดสีทองมีการรั่วไหลของประจุมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย และเมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานขึ้นการรั่วไหลของพันธุ์ตราดสีทองเกิดขึ้นมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย สอดคล้องกับอาการไส้สีน้ำตาลของพันธุ์ตราดสีทองที่เกิดมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าสับปะรดผลที่มีสีเขียว-เหลืองของทั้ง 2 พันธุ์มีการรั่วไหลของประจุมากกว่าผลที่มีสีเขียวตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งสัมพันธ์กับอาการไส้สีน้ำตาลที่ผลที่มีสีเขียว-เหลืองเกิดอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่าผลสีเขียว ข้อมูลที่ได้จึง

สนับสนุนสมมติฐานของการเกิดการสะท้านหนาวที่ว่า อุณหภูมิต่ำทำให้เยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนสถานะไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ได้จึงส่งผลให้สารต่าง ๆ ที่เคยอยู่คนละส่วนกัน แยกกันอยู่ด้วยเยื่อหุ้ม เข้ามาพบกัน ทำให้เอนไซม์ที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาลเช่น เอนไซม์ PPO เข้าทำปฏิกิริยากับสารตั้งต้น ทำให้เกิดสีน้ำตาลที่เนื้อเยื่อ ยิ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานขึ้น ความเสียหายของเยื่อหุ้มก็เกิดมากขึ้นส่งผลให้เนื้อเยื่อเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองครั้งนี้ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ได้เป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่ทำให้เกิดการสะท้านหนาวก็พบการรั่วไหลของประจุเพิ่มสูงมากขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์และ 2 ระดับความบริบูรณ์ ในอัตราที่ใกล้เคียงกับที่พบในการเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส เล็กน้อย ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน ดังนั้นการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่พบในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมากกว่าอาจจะเกิดจากการที่เนื้อเยื่อของพันธุ์นี้มีความอ่อนแอมากกว่า มีการรั่วไหลของประจุมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย และเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำจึงแสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้รวดเร็วกว่า หากมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และหรือมีสารตั้งต้นในการเกิดสีน้ำตาลมากกว่าก็จะส่งผลให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลมากกว่า โดยไม่จำเป็นต้องมีความเสียหายของเยื่อหุ้มเพิ่มเติมมากนัก

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเก็บรักษาที่ 10 องศาเซลเซียส ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเพิ่มสูงขึ้นกว่าเมื่อเริ่มการทดลองถึง 3 เท่า และคงที่อยู่ระดับนี้จนสิ้นสุดการทดลองซึ่งไม่สอดคล้องกับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลและการรั่วไหลของประจุที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนสิ้นสุดการทดลอง เช่นเดียวกับในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มสูงขึ้นจากตอนเริ่มต้นและสูงที่สุดในวันที่ 21 ของการเก็บรักษาแต่ไม่สอดคล้องกับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ PPO เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้นการทดลอง ในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ พบว่าผลที่มีสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส สูงกว่าผลที่มีสีเขียว สอดคล้องกันกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของผลมีสีเขียว-เหลืองที่มากกว่าผลสีเขียว ผลที่ได้จากการทดลองนี้คล้ายคลึงกับรายงานของ Zhou *et al*., (2003a) ที่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO ของสับปะรดในกลุ่ม Smooth cayenne ที่มีความบริบูรณ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO มากและเกิดอาการสะท้านหนาวที่มากกว่าผลที่ยังไม่บริบูรณ์หรือผลที่สุกเกินไป

สำหรับกิจกรรมของเอนไซม์ POD พบว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีกิจกรรมเพิ่มสูงขึ้นมากในวันที่ 7 ของการเก็บรักษาและเกิดขึ้นสูงที่สุดในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลค่อย ๆ เพิ่มขึ้น กิจกรรมของเอนไซม์ POD ในพันธุ์ตราดสีทองมีค่าสูงมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองพบ

กิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มสูงมากขึ้นและแสดงอาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นและมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มสูงขึ้นกว่าตอนเริ่มต้นอย่างชัดเจน ซึ่งแตกต่างจากผลการทดลองของ Zhou *et al.* (2003a) ที่พบว่าในสับปะรดในกลุ่ม Smooth Cayenne ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส กิจกรรมของเอนไซม์ POD ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา ทั้งนี้ผลการทดลองที่แตกต่างกันระหว่างการศึกษาครั้งนี้กับการศึกษาของ Zhou *et al.* (2003a) นั้นอาจเนื่องจากสับปะรดที่ใช้ในการทดลองเป็นคนละสายพันธุ์แม้ว่าจะอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และอุณหภูมิในการเก็บรักษาแตกต่างกัน เป็นไปได้ว่าที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส POD ไม่ถูกกระตุ้นให้มีการสร้างมากขึ้น แต่ที่ 10 องศาเซลเซียส ในการทดลองครั้งนี้ POD ถูกกระตุ้น ในการทดลองนี้ยังพบว่าสับปะรดที่มีความบริบูรณ์ต่างกันทั้ง 2 พันธุ์ ผลที่มีสีเขียว-เหลืองมีกิจกรรมของ POD สูงกว่าผลที่มีสีเขียว สอดคล้องกับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในผลที่มีสีเขียว-เหลืองมากกว่าผลสีเขียว จึงชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมของเอนไซม์ POD เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดด้วย นอกจากนี้ผลที่ได้ยังคล้ายคลึงกับการทดลองในพืชอื่น เช่นการทดลองของ El-hilali *et al.* (2003) ที่พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ POD ในเปลือกส้มแมนดารินเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาส้มแมนดารินไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ และส้มแมนดารินแสดงอาการสะท้านหนาวมากที่สุด และยังสอดคล้องกันกับการทดลองในมะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ที่พบอาการสะท้านหนาวมีกิจกรรมของเอนไซม์ POD สูงกว่ามะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ที่ไม่เกิดอาการสะท้านหนาว (Setha *et al.*, 2000) แม้ว่าการทดลองของ Zhou *et al.* (2003a) จะสรุปว่า POD ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดกลุ่ม Smooth Cayenne แต่ผลการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าเอนไซม์นี้เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลด้วย แต่บทบาทของเอนไซม์นี้น่าจะน้อยกว่ากิจกรรมของเอนไซม์ PPO เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ POD เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่น้อยกว่าเอนไซม์ PPO

เมื่อแยกพิจารณาความเสียหายของเยื่อหุ้มจากการรั่วไหลของประจุ พบว่าสอดคล้องกันกับสมมติฐานของการเกิดอาการสะท้านหนาวที่ว่า อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดความเสียหายของเยื่อหุ้มส่งผลให้เกิดอาการตามมา แต่ถ้าพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD นั้นพบว่าไม่สอดคล้องกับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล เพราะกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่ความรุนแรงของอาการค่อย ๆ เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นอุณหภูมิต่ำน่าจะส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่เยื่อหุ้มและกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง PPO และ POD เพิ่มมากขึ้นอย่างเป็นอิสระจากกัน แต่อาการที่ค่อย ๆ ปรากฏให้เห็นเป็น

สีน้ำตาลเพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับการรั่วไหลเป็นสำคัญ เพราะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นมากตั้งแต่ช่วงแรกแล้ว

จากข้อมูลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิต่ำ อาการไส้สีน้ำตาล การรั่วไหลของประจุ และกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ดังที่ได้กล่าวมา สามารถแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ในรูปสมการได้ดังนี้

อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดความเสียหายของเยื่อหุ้ม และความเสียหายของเยื่อหุ้มที่เพิ่มมากขึ้นก่อให้เกิดการรั่วไหลของประจุเพิ่มมากขึ้น เขียนในรูปสมการได้ว่า

$$\text{การรั่วไหลของประจุ} \propto \text{ความเสียหายของเยื่อหุ้ม}$$

นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังทำให้สับปะรดมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD เพิ่มสูงมากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD นั้นไม่สอดคล้องกับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลทั้งหมด เพราะกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าว เพิ่มสูงขึ้นมากภายหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่ความรุนแรงของอาการค่อย ๆ เกิดขึ้นน้อยกว่า ดังนั้นอุณหภูมิต่ำน่าจะส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่เยื่อหุ้มและกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง PPO และ POD เพิ่มมากขึ้นอย่างเป็นอิสระจากกัน หรือกล่าวโดยสรุปได้ว่า ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลขึ้นอยู่กับการรั่วไหลของประจุและกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD แสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\text{ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล} \propto \text{ความเสียหายของเยื่อหุ้ม, PPO, POD}$$

หรือสามารถเขียนเป็นสมการสรุปได้ว่า

$$\text{ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล} = \text{fn}(\text{ความเสียหายของ เยื่อหุ้ม, PPO, POD})$$

แต่อาการที่ค่อย ๆ ปรากฏให้เห็นเป็นสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับการรั่วไหลเป็นสำคัญ เพราะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นมากตั้งแต่ช่วงแรกแล้ว ดังนั้น ความเร็วของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดจึงขึ้นอยู่กับความเสียหายของเยื่อหุ้มเป็นหลัก หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{ความเร็วของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล} \propto \text{ความเสียหายของเยื่อหุ้ม}$$

จากข้อมูลข้างต้นจึงอาจสรุปได้ว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียเนื่องมาจากเยื่อหุ้มมีความอ่อนแอเสียหายได้มากกว่า ทำให้เกิดการรั่วไหลของประจุในเนื้อเยื่อของสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมากกว่า ประกอบกับการที่อุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีกิจกรรมของเอนไซม์ทั้ง PPO และ POD ในพันธุ์ตราดสีทองเพิ่มขึ้นสูงมากกว่า จึงส่งผลให้แสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย แต่การรั่วไหลของประจุที่เพิ่มมากขึ้นในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาไม่ได้เป็นผลจากอุณหภูมิต่ำอย่างเดียว เพราะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การรั่วไหลของประจุก็เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาสับปะรดไว้นานขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกรดไขมันในเนื้อเยื่อของสับปะรดจากการทดลองครั้งนี้ สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวสูงกว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียตั้งแต่ต้น จึงไม่สอดคล้องกับสมมติฐานเดิมของ Lyons (1973) ซึ่งกล่าวว่าพืชที่อ่อนแอต่ออาการสะท้านหนาวมักมีองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเป็นไขมันประเภทอิ่มตัวมาก เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจึงเกิดการเปลี่ยนสถานะจากลักษณะที่เป็น liquid crystalline เป็น solid gel ส่งผลให้เยื่อหุ้มสูญเสียคุณสมบัติในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่าง ๆ ตลอดจนกระบวนการของเมตาบอลิซึมที่ต้องอาศัยเยื่อหุ้มเกิดความเสียหาย ดังนั้นสมมติฐานนี้จึงไม่อาจอธิบายปรากฏการณ์การเกิดอาการสะท้านหนาวที่แตกต่างกันระหว่างสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ได้ทั้งหมด นอกจากนี้อาการไส้สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นยังอาจจะเกี่ยวข้องกับปริมาณฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้นสำคัญในการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อเยื่อ (Mathew and Parpia, 1971; Mayer and Harel, 1979) ที่อาจจะมีอยู่แตกต่างกันในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ ความแตกต่างในการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำระหว่างสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ต่ออาการสะท้านหนาวน่าจะซับซ้อนมากกว่าที่จะอธิบายได้ตามสมมติฐานนี้

2. ความสัมพันธ์ระหว่างอาการไส้สีน้ำตาล ความเสียหายของเยื่อหุ้ม ระบบต้านทานอนุมูลอิสระตามสมมติฐานการเกิดการสะท้านหนาวของ Shewfelt and Rosario (2000)

ตามสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000) กล่าวว่าอุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มสูงมากขึ้น จนทำให้กรดไขมันบนเยื่อหุ้มเกิดการเสียหาย ส่งผลให้เกิดอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้น หากเนื้อเยื่อใดมีความสามารถในการควบคุมอนุมูลอิสระเหล่านี้ให้มีปริมาณไม่สูงเกินไป เยื่อหุ้มจะไม่เกิดความเสียหายและไม่มีอาการสะท้านหนาวเกิดขึ้นหรือมีอาการน้อยเมื่อสัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นตามสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000) ในการเก็บรักษาสับปะรดที่อุณหภูมิต่ำ น่าจะพบว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลมาก มีปริมาณ

อนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นมาก มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมน้อย มีกิจกรรมของเอนไซม์ที่กำจัดอนุมูลอิสระน้อย รวมถึงมีปริมาณของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากและมีปริมาณ MDA ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการที่กรดไขมันถูกอนุมูลอิสระเข้าทำลายในปริมาณที่มาก ส่วนในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่แสดงอาการไส้สีน้ำตาลน้อยน่าจะพบปริมาณอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยหรือคงที่ รวมถึงมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมมาก มีกิจกรรมของเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระมากหรือถูกกระตุ้นให้มีมากขึ้น และมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวน้อยรวมถึงปริมาณ MDA ที่น้อยด้วย

เมื่อพิจารณาตามสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000) มีข้อมูลจากผลการทดลองของอ้อมอรุณ (2547) ว่าสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตซึ่งอยู่ในกลุ่ม Queen เช่นเดียวกับพันธุ์ตราดสีทองมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการทดลอง และมีปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในสัปดาห์แรกของการเก็บรักษาและลดลงในตอนท้ายในขณะที่พันธุ์ปัตตาเวียมีการเพิ่มขึ้นในสัปดาห์สุดท้ายของการเก็บรักษาเท่านั้น และสอดคล้องกันกับอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่มีมากกว่า และสอดคล้องกับสมมติฐานเกี่ยวกับอาการสะท้านหนาวของ Shewfelt and Rosario (2000) ข้างต้น

สำหรับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (ค่า FRAP) มากกว่าพันธุ์ตราดสีทองประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองและตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล สับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ผลที่มีสีเขียว-เหลืองมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมไม่แตกต่างไปจากผลสีเขียว ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ค่อนข้างคงที่ ในขณะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสับปะรดทั้งสองพันธุ์ลดลงเล็กน้อย จากข้อมูลที่ได้จึงอธิบายผลการทดลองตามสมมติฐานนี้ได้ว่า ในการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมสูงกว่าจึงน่าจะมีอนุมูลอิสระที่สามารถทำอันตรายกับเยื่อหุ้มน้อยส่งผลให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อยไปด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถอธิบายความแตกต่างของอาการสะท้านหนาวระหว่างสับปะรด 2 ระดับความบริบูรณ์ด้วยความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด เพราะว่าสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ผลที่มีสีเขียว-เหลืองมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมไม่แตกต่างไปจากผลสีเขียว

อย่างไรก็ตาม Ou *et al.* (2002) กล่าวว่าการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย FRAP นั้นเป็นเพียงการหากิจกรรมของการรีดิวซ์ เหล็ก (III) ให้เป็น เหล็ก (II) เท่านั้น ซึ่งไม่จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งทางสรีรวิทยาและกลไกต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิต เพราะสารต่าง ๆ ที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ที่พบในปฏิกิริยาเคมีนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ยกเว้นสารที่มีความสามารถในการป้องกันเป้าหมายในการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระเท่านั้นจึงจะถือว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Magalhaes *et al*., 2008) ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดด้วยวิธี FRAP จึงอาจจะไม่เพียงพอ และในความเป็นจริงอนุมูลอิสระที่พบในพืชมีหลายชนิด มีแหล่งกำเนิดและปริมาณการผลิตรวมถึงกลไกในการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกันออกไป (Møller *et al*., 2007; Apel and Hirt, 2004; Blokhina *et al*., 2003) จึงจำเป็นที่ต้องมีการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระแต่ละชนิดควบคู่ไปพร้อมกันด้วย

การวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระแต่ละชนิดได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ อนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน และอนุมูลไฮดรอกซิล พบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีมากกว่าในพันธุ์ตราดสีทองเล็กน้อย รวมถึงผลที่มีสีเขียวก็มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลทั้ง 2 ชนิดได้มากกว่าผลสีเขียว-เหลืองเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏ และเป็นไปตามสมมติฐานการเกิดการสะท้านหนาวของ Shewfelt and Rosario (2000) แต่ในทางตรงกันข้าม พบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียอย่างเห็นได้ชัด ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นจนสิ้นสุดระยะเวลาการทดลอง ซึ่งไม่สอดคล้องกันกับอาการไส้สีน้ำตาลและสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000) แต่สับปะรดทั้งสองพันธุ์ผลที่มีสีเขียว-เหลืองมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลน้อยกว่าผลสีเขียวตลอดการทดลอง สอดคล้องกับความรุนแรงอาการไส้สีน้ำตาลและสมมติฐานดังกล่าว

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระระหว่างอนุมูลทั้ง 3 ชนิด พบว่า ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลมีน้อยกว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอื่น โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าประมาณ 4.5 เท่า อีกทั้งในการทดลองครั้งนี้ใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นสารมาตรฐานเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระแต่ละชนิด ซึ่ง Wang and Jiao (2000) รายงานว่า กรดแอสคอร์บิกมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระชนิดอื่น ดังนั้นเมื่อเทียบกับผลการทดลองที่ได้ครั้งนี้จึงเห็นได้ว่าความสามารถในการกำจัด

อนุมูลไฮดรอกซิลของสับปะรดน่าจะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน การที่พบว่าสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลสูงกว่าจึงไม่น่าจะมีบทบาทมากนักต่อการควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระโดยรวม

นอกจากนั้นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลในการทดลองครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณอนุมูลไฮดรอกซิลที่เหลืออยู่เปรียบเทียบระหว่างการใส่และไม่ใส่สารสกัดจากเนื้อเยื่อสับปะรด ซึ่งมีทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงโมเลกุลต่าง ๆ เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัว โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตต่าง ๆ ที่อาจทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลได้โดยง่าย (Møller *et.a*l., 2007) สารเหล่านี้จึงเปรียบเสมือนเป็นตัวกำจัดอนุมูลนี้ด้วย (Magalhaes *et al*., 2008) ดังนั้นการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลครั้งนี้อาจจะไม่สามารถกล่าวได้ว่าเป็นการประเมินความสามารถในการกำจัดอนุมูลนี้ได้โดยตรง ในทางตรงกันข้ามผลการทดลองที่ได้อาจแสดงว่าพันธุ์ตราดสีทองนั้นมีสารประกอบต่าง ๆ ที่ง่ายต่อการทำลายโดยอนุมูลอิสระมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย

ดังนั้นผลการศึกษาถึงความสามารถในการกำจัดอนุมูลชนิดต่าง ๆ และผลการวิเคราะห์ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (FRAP) ของสับปะรดที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าการที่สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเกิดอาการไส้สีน้ำตาลน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทอง น่าจะมาจากการที่สามารถรักษาสมดุลและควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระได้ดีกว่า ทำให้ไม่มีอนุมูลอิสระมากเกินไปจนเกิดอันตรายกับเซลล์ และสามารถอธิบายด้วยสมมติฐานการเกิดการสะท้านหนาวของ Shewfelt and Rosario (2000)ได้

กิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียสูงกว่าพันธุ์ตราดสีทองตั้งแต่ตอนเริ่มต้น และสับปะรดผลสีเขียว-เหลืองของทั้งสองพันธุ์มีกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD น้อยกว่าสับปะรดผลสีเขียวซึ่งสอดคล้องกันกับอาการไส้สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในพันธุ์ตราดสีทองมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียและสับปะรดผลที่มีสีเขียว-เหลืองพบอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าผลสีเขียว นอกจากนั้นในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พบว่ากิจกรรมของเอนไซม์นี้มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องและพบว่าสับปะรดแสดงอาการไส้สีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถใช้สมมติฐานของการเกิดอาการสะท้านหนาวดังกล่าวอธิบายได้ว่า สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียซึ่งมีกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD มากกว่า มีความสามารถควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับต่ำระหว่างการเก็บรักษาจึงมีอาการน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทอง

อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่มีบทบาทสำคัญในการกำจัดอนุมูลอิสระมีด้วยกันหลายเอนไซม์ที่สำคัญได้แก่ เอนไซม์คะตะเลส (catalase; CAT) และเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ ดีสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) (Asada, 1999) โดยเอนไซม์ SOD สามารถพบได้ในส่วนของคลอโรพลาสต์ (Bowler *et al*., 1992) อ้อมอรุณ (2547) รายงานว่า กิจกรรมของเอนไซม์ SOD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีอยู่สูงกว่าพันธุ์ภูเก็ตในตอนเริ่มต้นการทดลอง เมื่อเก็บรักษาสับปะรดไว้นานขึ้นพบว่าพันธุ์ปัตตาเวียมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD ลดลงเป็นอย่างมากจนลดต่ำลงกว่าพันธุ์ตราดสีทองในตอนท้ายของการเก็บรักษา ในขณะที่พันธุ์ตราดสีทองมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้ค่อนข้างคงที่ ส่วนเอนไซม์ CAT ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียแม้ว่าในตอนเริ่มต้นจะมีน้อยกว่าพันธุ์ภูเก็ต แต่เอนไซม์นี้มักจะพบในเพอร์ออกซิโซม (Willekens *et al*., 1997) ซึ่งอาจจะมีบทบาทน้อยกว่าเอนไซม์ AsA-POD เป็นเอนไซม์อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญในการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยเป็นเอนไซม์ที่อยู่ใน ascorbate-glutathione cycle (Foyer *et al*., 1994) ซึ่งมีแหล่งที่พบในคลอโรพลาสต์ ไซโตซอล และไมโทคอนเดรีย (Asada, 1992; Jimenez *et al*., 1997) ระหว่างการเก็บรักษาผลผลิตไว้ในที่มืด เช่นในห้องเก็บรักษาไมโทคอนเดรียน่าจะเป็นแหล่งที่ผลิตอนุมูลอิสระหลัก นอกจากนี้เมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นเอนไซม์ CAT ในพันธุ์ภูเก็ตนั้นกลับมีกิจกรรมลดลงมากและมีปริมาณใกล้เคียงกันกับในพันธุ์ปัตตาเวีย ในภาพรวมจึงกล่าวได้ว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีกิจกรรมของเอนไซม์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระมากกว่าพันธุ์ตราดสีทอง ส่งผลให้เกิดความเสียหายระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำน้อย ทำให้แสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้น้อยกว่า

จากการที่เอนไซม์แต่ละชนิดอยู่กันคนละบริเวณทำให้การกำจัดอนุมูลอิสระในแต่ละออร์กาเนลนั้นแตกต่างกันด้วย การทดลองครั้งนี้เป็นการหากิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้โดยรวม ไม่ได้ทำการวิเคราะห์เฉพาะเจาะจงลงไปยังออร์กาเนลที่พบว่ามีกิจกรรมของเอนไซม์นั้น ๆ อีกทั้งเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระในเซลล์พืชนั้นก็ไม่ได้มีเพียงแค่เอนไซม์ที่วิเคราะห์ในครั้งนี้เท่านั้น ยังมีเอนไซม์ที่อยู่ในระบบกำจัดอนุมูลอิสระที่ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์อีกหลายชนิด เช่น เอนไซม์กลูตาไธโอน รีดักเตส (glutathione reductase; GR) เป็นต้น ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงอาจไม่เพียงพอที่จะเปรียบเทียบภาพความแตกต่างโดยรวมได้ว่าระบบกำจัดอนุมูลอิสระที่ใช้เอนไซม์นั้นแตกต่างกันอย่างไรในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์

การเก็บรักษาสับปะรดทั้งสองพันธุ์ และทั้งผลสีเขียวและผลสีเขียว-เหลืองไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ทำให้พบปริมาณ MDA สูงกว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อย่างเห็นได้ชัดเจน และสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีปริมาณ MDA สูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการทดลองและตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา นอกจากนี้พบว่าสับปะรดที่มีผลสีเขียว-เหลืองมีปริมาณ MDA

มากกว่าผลสีเขียวตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาซึ่งแสดงให้เห็นว่าสับปะรดที่มีปริมาณ MDA สูงเกิดความเสียหายในเยื่อหุ้มมาก สอดคล้องกับความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและเอนไซม์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระที่กล่าวถึงมาแล้วทั้งหมดที่พบน้อย และยังสอดคล้องกับอาการไส้สีน้ำตาลที่พบมากในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองและสับปะรดผลสีเขียว-เหลือง

สำหรับชนิดของกรดไขมัน จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าเมื่อเริ่มการทดลอง สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย ส่วนสับปะรดผลสีเขียว-เหลืองมีอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าผลสีเขียว สอดคล้องกับปริมาณ MDA และอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏ กล่าวคือสับปะรดที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่าทำให้เป็นเป้าหมายในการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระได้มากกว่าส่งผลให้เกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มได้มากจึงแสดงอาการได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานดังกล่าวข้างต้นด้วย อย่างไรก็ตามอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่าเพิ่มขึ้นมากกว่าตอนเริ่มต้นของการเก็บรักษาและมีสัดส่วนแตกต่างกันน้อยลงทั้งระหว่างพันธุ์และอายุ ข้อมูลที่ได้จึงชี้ว่าความแตกต่างของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของกรดไขมันโดยเฉพาะตอนเริ่มต้นก่อนการเก็บรักษา ส่วนระหว่างการเก็บรักษาไม่พบว่าพันธุ์ปัตตาเวียปรับตัวให้มีสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัวซึ่งเป็นกรดไขมันที่ยากต่อการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระให้มีมากกว่าพันธุ์ตราดสีทองแต่อย่างใด

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมา ทั้งการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล การเกิดความเสียหายของเยื่อหุ้มจากการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระแสดงในรูปของ MDA ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งโดยรวมและแยกแต่ละชนิด ปริมาณและชนิดของกรดไขมันที่มีในเนื้อเยื่อของสับปะรด สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดตามสมมติฐานของกลไกในการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Shewfelt and Rosario (2000) ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล MDA ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม (FRAP) และอนุมูลแต่ละชนิด และปริมาณกรดไขมันที่เนื้อเยื่อของสับปะรดที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ตามสมมติฐานของกลไกในการเกิดการสะท้านหนาวที่เสนอโดย Shewfelt and Rosario (2000)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล	**พันธุ์**		**ความสัมพันธ์ตามสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000)**
	ปัตตาเวีย	**ตราดสีทอง**	
อาการไส้สีน้ำตาล	น้อย	มาก	สอดคล้อง
UFA / SFA	น้อย	มากกว่าเล็กน้อย	สอดคล้อง
การรั่วไหลของประจุ	น้อย	มากกว่าเล็กน้อย	สอดคล้อง
ความเสียหายของเยื่อหุ้มแสดงในรูป MDA	น้อย	มาก	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (FRAP)	มาก	น้อย	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์	มาก	น้อย	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน	มาก	น้อย	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล	น้อย	มาก	ไม่สอดคล้อง
เอนไซม์ AsA-POD	มาก	น้อย	สอดคล้อง
เอนไซม์ CAT (อ้อมอรุณ, 2547)	น้อย	มาก	ไม่สอดคล้อง
เอนไซม์ SOD (อ้อมอรุณ, 2547)	มาก	น้อย	สอดคล้อง
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อ้อมอรุณ, 2547)	น้อย	มากกว่าตั้งแต่ต้น	สอดคล้อง

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล	ความบริบูรณ์		ความสัมพันธ์ตามสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000)
	ผลสีเขียว	ผลสีเขียว-เหลือง	
อาการไส้สีน้ำตาล	น้อย	มาก	สอดคล้อง
UFA / SFA	น้อย	มากกว่าเล็กน้อย	สอดคล้อง
การรั่วไหลของประจุ	น้อย	มากกว่าเล็กน้อย	สอดคล้อง
ความเสียหายของเยื่อหุ้มในรูป MDA	น้อย	มาก	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (FRAP)	ใกล้เคียง	ใกล้เคียง	ไม่สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์	มาก	น้อย	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ตออกซิเจน	มาก	น้อย	สอดคล้อง
ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล	น้อย	มาก	ไม่สอดคล้อง
เอนไซม์ AsA-POD	มาก	น้อย	สอดคล้อง
เอนไซม์ CAT (อ้อมอรุณ, 2547)	มาก	น้อย	ไม่สอดคล้อง
เอนไซม์ SOD (อ้อมอรุณ, 2547)	ใกล้เคียง	ใกล้เคียง	ไม่สอดคล้อง
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (อ้อมอรุณ, 2547)	น้อย	มากกว่าตั้งแต่ต้น	สอดคล้อง

ถึงแม้ว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่กล่าวมาทั้งปริมาณอนุมูลอิสระคือปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากรายงานของอ้อมอรุณ (2547) ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งเอนไซม์ AsA-POD ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ รวมถึงเอนไซม์ SOD และ CAT จากการทดลองของอ้อมอรุณ (2547) ชนิดและปริมาณของกรดไขมันบนเยื่อหุ้มรวมถึงความเสียหายของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวบนเยื่อหุ้มทั้งในรูปของค่า MDA และอัตราการรั่วไหลของประจุบ่งชี้ว่าอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏในพันธุ์ปัตตาเวียน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทองนั้นเป็นเพราะว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียมีเยื่อหุ้มที่แข็งแรงกว่า เกิดความเสื่อมเสียหายและรั่วไหลน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทองทั้งที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นยังมีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันอิ่มตัวน้อยกว่า ส่งผลให้เกิดความเสียหายของเยื่อหุ้มภายใต้สภาพความเครียดเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำน้อยกว่าพันธุ์ตราดสีทอง นอกจากนั้นพันธุ์ปัตตาเวียยังมีความสามารถในการควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระได้ดีกว่าทั้งในสภาพปกติและภายใต้สภาวะเครียดจึงทำให้เหลืออนุมูลอิสระที่จะไปทำลายเยื่อหุ้มได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองครั้งนี้และการทดลองของอ้อมอรุณ (2547) พบว่ายังมีข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานดังกล่าวอยู่บ้าง คือ กิจกรรมของเอนไซม์ CAT ที่พบว่าพันธุ์ภูเก็ตมีกิจกรรมของเอนไซม์นี้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย และความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวมที่ไม่แตกต่างกันในสับปะรดทั้ง 2 ระดับความบริบูรณ์ที่ไม่สอดคล้องกันกับอาการไส้สีน้ำตาล ข้อมูลต่าง ๆ ที่ไม่สอดคล้องกับสมมติฐานของ Shewfelt and Rosario (2000) นี้อาจจะเกิดจากการทดลองครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์เนื้อเยื่อโดยรวมไม่ได้เป็นการวิเคราะห์เฉพาะออร์กาเนลที่อาจเกิดความเสียหายจากอุณหภูมิต่ำโดยตรง ดังนั้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนยิ่งขึ้นถึงสาเหตุของความแตกต่างในการเกิดอาการสะท้านหนาวระหว่างสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์ จึงควรจะต้องมีการศึกษาในระดับออร์กาเนลถึงระบบต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ รวมทั้งชนิดของไขมันและกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของออร์กาเนลเหล่านั้น

3. ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเสียหายของเยื่อหุ้ม และกิจกรรมของเอนไซม์ที่ก่อให้เกิดสีน้ำตาล

การทดลองครั้งนี้พบว่าอุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้กิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD เพิ่มสูงขึ้นโดยสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองที่มีอาการไส้สีน้ำตาลมากมีกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้เพิ่มสูงขึ้นมากอย่างเห็นได้ชัด ผลการทดลองที่ได้เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการทดลองในสับปะรดกลุ่ม Smooth cayenne ของ Zhou *et al*., (2003a) และสับปะรดในกลุ่ม Queen ของ Weerahewa and Adikaram (2005) ที่พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกระตุ้นให้มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ยิ่งไปกว่านั้น Stewart *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาการแสดงออกของยีน PPO ในสับปะรดพบว่ายีนนี้ถูกกระตุ้นให้มีการแสดงออกเพิ่มสูงขึ้นมากภายหลังจากได้รับอุณหภูมิ

ต่ำที่ทำให้เกิดการสะท้านหนาว อีกทั้งยังพบว่ายีนนี้มีการแสดงออกเมื่อเกิดบาดแผลและการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน (Gibberellin; GA) ด้วย (Zhou *et al*., 2003b) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในพืชต่าง ๆ เช่น ส้มแมนดารินและมะละกอที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำพบว่ามีผลให้เกิดการกระตุ้นให้มีการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD (Setha *et al*., 2000; El-hilali *et al*., 2003) แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มสูงขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ดังนั้นอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏในสับปะรดจึงมีปัจจัยร่วมทั้งจากการที่เยื่อหุ้มมีความอ่อนแอจนเกิดความเสียหาย และจากการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ อัตราหรือความเร็วของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์นั้นน่าจะเกิดจากความอ่อนแอและความเสียหายของเยื่อหุ้มเป็นสำคัญ เพราะผลการทดลองการรั่วไหลของประจุของพันธุ์ตราดสีทองเกิดการรั่วไหลสูงกว่าพันธุ์ปัตตาเวียไม่มากนักและค่อย ๆ เพิ่มขึ้น สำหรับความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาลที่ปรากฏมากหรือน้อยต่างกันในสับปะรดทั้ง 2 พันธุ์นั้นน่าจะขึ้นอยู่กับทั้งความเสียหายของเยื่อหุ้มและกิจกรรมของเอนไซม์ PPOและ POD ที่แตกต่างกันมาก ในการทดลองนี้พันธุ์ตราดสีทองที่มีกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้มากกว่าจึงปรากฏความรุนแรงของอาการขึ้นได้มากกว่า และสอดคล้องกับการทดลองของ Weerahewa and Adikaram (2005)

กิจกรรมของเอนไซม์ PPO ที่เพิ่มมากขึ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับหรือมีสาเหตุมาจากการเสียหายของเยื่อหุ้มหรือไม่ยังไม่สามารถชี้ชัดได้ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำ เอนไซม์ PPO และความเสียหายของเยื่อหุ้มอาจจะมีความเป็นไปได้ 3 แนวทาง นั่นคือ 1) กิจกรรมของเอนไซม์ PPO อาจจะเพิ่มขึ้นภายหลังจากมีความเสียหายของเยื่อหุ้มเนื่องมาจากอุณหภูมิต่ำแล้วผลจากความเสียหายนั้นไปกระตุ้นให้มีการสร้างเอนไซม์ PPO มากขึ้น ดังเช่นในการทดลองของ Monroy and Dhindsa (1995) พบว่าถั่วอัลฟาฟา ที่ได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้เยื่อหุ้มเกิดการเปลี่ยนแปลงจนส่งผลให้มีปริมาณแคลเซียมเพิ่มมากขึ้นและกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีน *cas* (cold acclimation-specific gene) 2) การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO นี้ไม่เกี่ยวข้องกับการเสียหายของเยื่อหุ้มเลย นั่นคืออุณหภูมิต่ำอาจจะกระตุ้นให้มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ผ่านสัญญาณอื่น เช่นมีรายงานว่าอุณหภูมิต่ำชักนำให้โปรตีนที่เป็นตัวกระตุ้นชื่อ ICE (inducer of CBFs expression) ทำงาน (active) ด้วยการชักนำให้ transcription factor *CBFs* แสดงออกและทำงานด้วยการจับกับ promoter *cis*-element CRT/DRE แล้วจึงกระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของยีนที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ (Gilmour *et al*., 1998; Thomashow, 1999) ยีนเหล่านี้มักจะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันเซลล์จากความเครียดต่าง ๆ ด้วยการสร้างโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมดังเช่นในมะเขือเทศที่ *CBF1* กระตุ้นให้เกิดการแสดงออกของ *CATALASE1* ตลอดเวลา (Hsieh *et al*., 2002) ในทำนองเดียวกับ

กรณีของสับปะรดอุณหภูมิต่ำอาจจะกระตุ้นให้ inducer และ transcription factor เหล่านี้ทำงานจนมีผลทำให้ยีนของ PPO แสดงออกมากขึ้น หรือ 3) อุณหภูมิต่ำทำให้มีการสร้างอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ดังเช่นที่พบในต้นกลายพันธุ์ของ Arabidopsis (Lee *et al*., 2002) ซึ่งอนุมูลอิสระอาจจะส่งผลกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์ PPO โดยตรง หรือทางอ้อมผ่านทางการแสดงออกของยีนที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ ดังเช่นในข้าวโพดมีปริมาณไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นสูงมากอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ และชักนำให้เกิดการแสดงออกของยีน *cat3* ซึ่งทำให้มีกิจกรรมของ CAT3 เพิ่มมากขึ้นในเวลาต่อมา (Prasad *et al*., 1994) ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าในสับปะรดนั้นอนุมูลอิสระที่เพิ่มสูงมากขึ้นตามรายงานของอ้อมอรุณ (2547) อาจจะกระตุ้นให้มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ PPO ก็เป็นได้ แนวคิดที่กล่าวมานี้ยังไม่มีข้อมูลมาสนับสนุนในสับปะรด ดังนั้นเพื่อให้มีความชัดเจนถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยร่วมของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนต่อไป

สรุป

จากการศึกษาอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด สารต้านอนุมูลอิสระ เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลรวมถึงชนิดและปริมาณของกรดไขมันในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองและพันธุ์ปัตตาเวียที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน สรุปได้ว่า

1. อาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองเกิดขึ้นได้เร็วกว่าและรุนแรงมากกว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย และสับปะรดทั้งสองพันธุ์ผลที่เป็นสีเขียว-เหลืองอ่อนแอกว่าผลสีเขียวจึงเกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่า

2. ความรุนแรงของอาการไส้สีน้ำตาล = fn(ความเสียหายของเยื่อหุ้ม, PPO, POD)

3. ความเร็วของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาล $\propto$ ความเสียหายของเยื่อหุ้ม

4. การรั่วไหลของประจุของเนื้อเยื่อสับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีมากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย

5. สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยรวม (ค่า FRAP) น้อยกว่าพันธุ์ปัตตาเวียประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระชนิดต่าง ๆ และมีกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD ที่น้อยกว่าด้วย ยกเว้น ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลที่มีมากกว่า

6. พันธุ์ตราดสีทองมีระบบในการต้านทานอนุมูลอิสระที่ด้อยกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย

7. สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและมีความเสียหายของเยื่อหุ้มที่เกิดจากการทำลายของอนุมูลอิสระที่แสดงในรูปของปริมาณ MDA มากกว่าสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

8. สับปะรดผลสีเขียว-เหลืองมีสัดส่วนของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันชนิดอิ่มตัวมากกว่าสับปะรดผลสีเขียว ทั้ง 2 พันธุ์

จากข้อมูลทั้งหมดจึงอธิบายได้ว่าการที่สับปะรดพันธุ์ตราดสีทองแสดงอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวียนั้นเป็นเพราะว่าพันธุ์ตราดสีทองมีเยื่อหุ้มที่อ่อนแอมากกว่า กล่าวคือ มีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นเป้าหมายในการเข้าทำลายของอนุมูลอิสระได้มากกว่า มีระบบต้านอนุมูลอิสระทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์น้อยกว่า จึงเกิดความเสียหายของเยื่อหุ้มทั้งการรั่วไหลของประจุและปริมาณ MDA มากกว่า อีกทั้งยังมีกิจกรรมของเอนไซม์ PPO และ POD ที่ถูกกระตุ้นเพิ่มขึ้นมากกว่า จึงส่งผลให้เกิดอาการไส้สีน้ำตาลได้มากกว่าพันธุ์ปัตตาเวีย แต่ความสัมพันธ์ระหว่างเยื่อหุ้ม ระบบต้านอนุมูลอิสระ และเอนไซม์ PPO และ POD ในสับปะรดนั้นยังไม่ชัดเจน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จริงแท้ ศิริพานิช. 2541. **สรีรวิทยาและเทคโนโนลีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ. 396 น.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2549. **ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช.** ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล. 2535. อิทธิพลของ**องค์ประกอบทางเคมีภายในผลและการใช้สารเคลือบผิวต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ.

จักรพงษ์ พิมพ์พิมล และ จริงแท้ ศิริพานิช. 2536. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดและวิธีป้องกัน. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์.** 27 (4) : 421 – 430.

จารุพันธ์ ทองแถม. 2526. **สับปะรดและอุตสาหกรรมสับปะรดในประเทศไทย.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ ฯ. 198 น

จิราพรรณ คล้ายกิจจา. 2548. **สับปะรด.** เกษตรสยามบุ๊คส์, กรุงเทพ ฯ. 96 หน้า.

จุฑามาส เที่ยงธรรม. 2542. **Free radical scavengers**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพ ฯ.

ดารา พวงสุวรรณ. 2530. การทดสอบการส่งกล้วยไข่และสับปะรดไปยังตลาดญี่ปุ่น. **วารสารสมาคมพืชสวน**. 2 (1): 74-83.

ปณิธาน ส่องประทีป. 2533. **ความสัมพันธ์ของลักษณะการลอยน้ำกับวัยและการเกิดchilling injury ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปรียา ไตรรัตน์ณรงค์. 2547. คัมภีร์แพทย์สมุนไพร: ผลไม้ สมุนไพรและพืชผักสวนครัว. One World, กรุงเทพ ฯ. 256 หน้า.

สมฤทัย นุชเนื้อ. 2543. **การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการส่งออกสับปะรดกระป๋องของไทยจากการยกเลิกสิทธิพิเศษทางภาษีศุลกากรในตลาดสหภาพยุโรป.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ปริมาณการผลิตสับปะรด แหล่งที่มา: http://www2.oae.go.th/Prcai/area.php, 14 พฤษภาคม 2550

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. ราคาสับปะรดโดยเฉลี่ย แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/price/price_by_day.php, 14 พฤษภาคม 2550

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. การส่งออกสับปะรด แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export.php, 6 สิงหาคม 2552

อ้อมอรุณ นุกูลธรประกิต. 2547. **อนุมูลเสรีและตัวต้านออกซิเดชันกับอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรด.**วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Abdullah, H., M.A. Rohaya and M.Z. Zaipun. 1987. Storage study of pineapple (*Ananas comosus* cv. Sarawak) with special emphasis on black heart disorder. **Hort. Abstract.** 57: 6738.

Acedo, A.L. Jr., T. Akinaga and T. Tanabe. 2004. Inhibition of chilling injury and quality changes in pineapple fruit with prestorage heat treatment**. J. Food. Agri. Environ.** 2: 81-86.

Akamine, E.K., T. Goo, T. Steepy, T. Greidanus and N. Iwaoka. 1975. Control of endogenous brown spot of fresh pineapple in postharvest handling. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 100: 60-65.

Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and J.D. Watson. 1994. **Molecular biology of The Cell.** Garlang Publishing, New York.

Amako, K., G.X. Chen and K.Asada.1994. Separate assay specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozyms of ascorbate peroxidase in plants. **Plant Cell Physio**l. 35: 497 – 504.

AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis**, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists International, Washington DC.

Apel, K. and H. Hirt. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. ***Annu. Rev. Plant Biol.*** 55: 373–399.

Asada, K. 1992. Ascorbate peroxidase a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants. **Physiol. Plant**. 85: 235–241.

_______ 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol**. 50: 601-639.

Bartholomew, D.P., R.E. Paull and K.G. Rohrbach. 2003. **The Pineapple Botany, Production and Uses.** CAB International. Oxon. 301 p.

Benjamin, N.D. and M.W. Montgomery. 1973. Polyphenol oxidase of Royal Ann cherries: purification and characterization. **J. Food Sci**. 38: 799-806.

Blokhina, O., E. Virolainen and K.V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany.** 91: 179-194.

Bradford, M.M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem.** 72: 248-254.

Bowler, C., M. Van Montagu and D. Inzé. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol**. 43: 83-116.

Cadenas, E. 1995. Mechanisms of oxygen activation and reactive oxygen species detoxification. pp. 1-61. *In* S. Ahmad (ed.). **Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology.** Chapman and Hall, New York.

Chakraborty, N. and B.C. Tripathy. 1992. Involvement of singlet oxygen in 5-Aminolevulinic acid induced photodynamic damage of cucumber (*Cucumis sativus* L.) chloroplasts. **Plant Physiol**. 98: 7-11.

Concellón, A., M.C. Añón and A.R. Chaves. 2005. Effect od chilling on ethylene production in eggplant fruit. **Food Chem.** 92: 63-69.

Douce, R., R.B. Holtz and A.A. Benson. 1973. Isolation and properties of the envelope of spinach chloplasts. **J. Biol. Chem**. 248: 7215-7222.

El-hilai, F., A. Ait-Oubahou, A. Remah and O. Akhayat. 2003. Chilling injury and peroxidase activity changes in "Fortune" mandarin fruit during low temperature storage. **Bulg. J. Plant Physiol.** 29: 44-54.

FAO. 2008. FAO Stat about Trade source: http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#ancor, 14 May 2008

FAO. 2009. Food and Agricultural commodities production source: http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx, 6 August 2009

Foyer, C.H., M. Lelandais and K.J. Kunert. 1994. Photooxidative stress in plants. **Physiol. Plant.** 92: 696-717.

Gilmour, S.J., D.G. Zarka, E.J. Stockinger, M.P. Salazar, J.M. Houghton and M.F. Thomashow. 1998. Low temperature regulation of the *Arabidopsis* CBF family of AP2 transcriptional activators as an early step in cold-induced *COR* gene expression. **The Plant Journal.** 16: 433-442.

Graham, D., M.D. Hatch, C.R. Slack, and R.M. Smillie. 1970. Light-induced formation of enzymes of the C4-dicarboxylic acid pathway of photosynthesis in detached leaves. **Phytochemistry**. 9: 521-532.

Gutteridge, J.M.C., 1981. Thiobarbituric acid-reactivity following iron-dependent free-radical damage to amion acids and carbohydrates. **Febs Letters**. 128: 343-346.

Hakim, A., A.C. Purvis and B.G. Mullinix. 1999. Differences in chilling sensitivity of cucumber varieties depends on storage temperature and the physiological dysfunction evaluated. **Postharvest Biol.Technol.** 17: 97-104.

Halliwell, B. 1991. Drug antioxidant effects a basis for drug selection. **Drugs.** 42 (2): 569-605.

_______ and S. Chirico. 1993. Lipid peroxidation: its mechanism, measurement, and significance. **Am J Clin Nutr.** 57: 715S-725S.

Health, R.L. and L. Packer. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I kinetics and Stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Arch. Biochem. Biophys.** 125: 189-198.

Heinicke. R.M. and W.A. Gortner. 1957. Stem bromelain a new protease preparation from pineapple plants. **Econ. Bot**. 11: 225-234.

Hodges, D.M. 2003. Overview: oxidative stress and postharvest produce, pp. 1-12. *In* D.M. Hodges, ed. **Postharvest Oxidative stress in Horticultural Crops.** Food Products Press, New York.

Hsieh, T., J. Lee, P. Yang, L. Chiu, Y. Charng, Y. Wang and M. Chan. 2002. Heterology expression of the Arabidopsis *C-repeat/dehydration response element binding factor1* gene confers elevate tolerance to chilling and oxidative stress in transgenic tomato. **Plant Physiol.** 129: 1086-1094.

Ishikawa, H.A. 1996. Ultrastructural features of chilling injury: injured cell and the early events during chilling of suspension-cultured mung bean cells. **Am. J. Bot.** 83: 825-835.

Jimenez A., J.A. Hernández, L.A. del Rio and F. Sevilla. 1997. Evidence for the presence of the **ascorbate**-glutathione cycle in mitochondria and peroxisomes of pea leaves. **Plant Physiol.** 114: 275-284.

Kader, A.A. 1996. Recommendation for maintaining postharvest quality of pineapple. **Perishable Handling Newsletter.** 88: 19-20.

Larson, R.A. 1995. Antioxidant mechanisms of secondary natural products. pp. 210-237. *In* S.Ahmad (ed.). **Oxidative Stress and Antioxidant Defenses in Biology.** Chapman and Hall, New York.

Leal, F.J. and J. Soule. 1977. “Maipure,” a new spineless group of pineapple cultivars. **Hortscience.** 12: 301-305.

Lee, B.H., H. Lee, L. Xiong and J.K. Zhu. 2002. A mitochondrial complex I defect impairs cold-regulated nuclear gene expression. **Plant Cell** 14: 1235–1251

Loison-Cabot, C. 1992. Origin, phylogeny and evolution of pineapple species. **Fruits**. 47: 25-32.

Lyons, J.M., Wheaton, T.A and H.K. Pratt. 1964. Relationship between the physical nature of mitochondrial membranes and chilling sensitivity in plants. **Plant Physiol.** 39: 262-268.

Lyons, J.M. 1973. Chilling injury in plants. **Ann.Rev.Plant Physiol.** 24: 445 – 466.

Magalhães, L.M., M.A. Segundo, S. Reis and José L.F.C. Lima. 2008. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. **Analytica Chimica Acta.** 613: 1-19.

Mahalingam, R. and N. Federoff. 2003. Stress response, cell death and signalling: the many faces of reactive oxygen species. **Physiol. Plant.** 119: 56-68.

Marangoni, A.G., T. Palma and D. W. Stanley. 1996. Membrane effects in postharvest physiology. **Postharvest Biol. Technol.** 7: 193-217.

Mathew, A.G. and H.A.B. Parpia. 1971. Food browning as **a** polyphenol reaction. **Adv. Food Res**. 19: 75-145.

Maxell, S.R.J. 1995. Prospects for the use of antioxidant therapies. **Drugs.** 49: 345-361.

Mayer, A.M. and E. Harel. 1979. Polyphenol oxidases in plants. **Phytochem.** 18: 193-215.

Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Sci.** 17: 405-410.

Mittler, R., S. Vanderauwera, M. Gollery and F. Van Breusegem. 2004. Reactive oxygen gene network of plants. **Trends Plant Sci.** 9: 490-498.

Møller, I.M., P.E. Jensen and A. Hansson. 2007. Oxidative modification to cellular components in plants. **Annu. Rev. Plant Biol.** 58: 459-481.

Monroy, A.F. and R.S. Dhinsa. 1995. Low-temperature signaltransduction: induction of cold acclimation-specific genes of alfafa by calcium at 25°C. **Plant Cell.** 7: 321-331.

Morita, Y., H. Yamashita, B. Mikami, H. Iwamoto, S. Aibara, M. Terada and J. Minami. 1988. Purification, Crystallization, and characterization of peroxidase from *Coprinus cinereus*. **J. Biochem.** 103: 693-699.

Morris, L.L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: an overview. **Hortscience.** 17:161-.

Murata, T. 1990. Relation of chilling stress to membrane permeability, pp. 201-209. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Murata, N. and I. Nishida. 1990. Lipids in relation to chilling sensitivity of plants, pp. 181-189. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

_______ and D. A. Los. 1997. Membrane fluidity and temperature perception. **Plant Physiol.** 115: 875-879.

_______ and J. Yamaya. 1984. Temperature-dependent phase behavior of phosphatidylglycerols from chilling-sensitive and chilling-resistant plants. **Plant Physiol.** 74: 1016-1024.

Nishida, I. and N. Murata. 1996. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: the crucial contribution of membrane lipids. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 47: 541-568.

Om-arun, N. and J. Siriphanich. 2004. Hydrogen peroxide and ascorbic acid contents, superoxide dismutase amd catalase activities in Smooth cayenne and Queen pineapples during cold storage. **Acta Hort.** 682: 611-615.

Omata, T. and N. Murata. 1983. Isolation and characterization of the cytoplasmic membranes from the blue green alga (cyanobacterium) *Anacytis nidulans*. **Plant Cell Physiol.** 24: 1101-1112.

Ou, B., D. Huang, M. Hampsch-Woodill, J.A. Flanagan and E.K. Deemer. 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. **J. Agric. Food Chem.** 50: 3122-3128.

Patterson, B.D. and D. Graham. 1977. Effect of chilling temperature on the protoplasmic streaming of plants from different climates. **J. Exp. Bot.** 28: 736-743.

Paull,R.E. 1990. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. pp. 17-36. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

_______ and K.G.Rohrbach. 1982. Incidence and severity of chilling induced internal browning of waxed 'Smooth Cayenne' pineapple. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 107: 453-457.

_______, ______ . 1985. Symptom development of chilling injury in pineapple. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 110: 100 – 105.

Phillips, M.C., H. Hauser. and F. Paltauf. 1972. The inter- and intra-molecular mixing of hydrocarbon chains in lecithin/water systems. **Chem. Phys. Lipids.** 8: 127-133.

Platt-Aloia, K.A. and W.W. Thomson. 1987. Freeze fracture evidence for lateral phase separations in the plasmalemma of chilling-injured avocado fruit. **Protoplasma**. 136: 71-80.

Prasad, T.K., M.D. Anderson, B.A. Martin, and C.R. Stewart. 1994. Evidence for chilling induced oxidative stress in maize seedling and a regulatory role for hydrogen peroxide. **The Plant Cell.** 6 : 65 – 74.

Py, C., J.J. Lacoeuilhe. and C. Teisson. 1987. **The pineapple, cultivation and uses.** G.P. Maisonneuve and Larose, Paris. 568p.

Raison, J.K. and G.R. Orr. 1990. Proposal for a better understanding of the molecular basis of chilling injury. pp. 145-164. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Ratule, M.T., A. Osman, S.H. Ahmad and N. Saari. 2006. Development of chilling injury of ‘Berangan’ banana (*Musa* cv. Berangan (AAA)) during storage at low temperature. **J Food Agri. Environ.** 4: 128-134.

Richmond, R., Halliwell, B, Chauhan, J., Darbre. A., 1981. Superoxide-dependent formation of hydroxyl radicals: Detection of hydroxyl radicals by the hydroxylation of aromatic compound. **Anal. Biochem**. 118, 328-330.

Rohrbach, K.G., F. Leal, and G.C. d´Eeckenbrugge. 2003. History, distribution and world production, pp. 1-12. *In* D.P. Bartholomew, R.E. Paull and K,G, Rohrbach, eds. **The Pineapple Botany, Production and Uses.** Cabi Publishing, Oxon.

Roughan, P.G. 1985. Phosphatidylglycerol and chilling sensitivity in plants. **Plant Physiol.** 77: 740-746.

Saltveit, M.E. Jr. and L.L. Morris. 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. *In* C.Y. Wang, ed. **Chilling Injury of Horticultural Crops.** CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Samuels, G., 1970. Pineapple cultivars. **Proc. Tropical Region Amer. Soc. Hort. Sci.** 14: 13-24

Selvarajah, S., A.D. Bauchot and P. John. 2001. Internal browning in cold stored pineapples is suppressed by a postharvest application of 1-Methylcyclopropene. **Postharvest Biol. Technol.** 23: 167-170.

Setha, S., S. Kanlayanarat and V. Srilaong. 2000. Changes in polyamine levels and peroxidase activity in "Khakdun" papaya (*Carica papaya* L.) under low temperature storage conditions, pp. 593-598. *In* G.I. Johnson, Le Van To, N.D. Duc and M.C. Webb, eds. **ACCIAR Proceedings,** Ho Chi Minh City, Vietnam.

Shewfelt, R.L. and B.A. del Rosario. 2000. The role of lipid peroxidation in storage disorders of fresh fruits and vegetables. **Hortscience**. 35: 575-579.

_______ and M.E. Erickson. 1991. Role of lipid peroxidation in the mechanism of membrane-associated disorders in edible plant tissue. Trends Food Sci. Technol. 6: 152-154.

Shirahashi, K., S. Hayakawa and T. Sugiyama. 1978. Cold lability of pyruvate, orthophosphate dikinase in the maize leaf. **Plant Physiol.** 62: 826-830.

Silvius, J.R. 1982. Thermotropic phase transitions of pure lipids in model membrane and their modification by membrane proteins, pp. 239-247. *In* P.C. Jost. and O.H. Griffith. eds.

Lipid Protein Interactions. John Wiley & **Sons**, New York.

Singer, S.J. and G.L. Nicolson. 1972. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. Science. 175: 720–731.

Stewart, R. J., B. J. B. Sawyer, C. S. Bucheli and S. P. Robinson. 2001. Polyphenol oxidase is induced by chilling and wounding in pineapple. **Aust. J. plant Physiol**. 28: 181–191.

Szollosi, R. and I.S. Varga. 2002. Total antioxidant power in some species of Labiatae (Adaptation of FRAP method). **Proceedings of the 7th Hungarian Congress on Plant Physiolgy.** 46: 125-127.

Tai, P.Y.P., J.D. Miller, D.R. Morris, N.C. Glynn and S.J. Edme. 2004. Electolyte leakage test for evaluating sugarcane freezing tolerance. **Sugar Cane Int**. 22: 3-7.

Taylor, D.L., J.S. Condeelis, P.L. Moore and R.D. Allen. 1973. The contractile basis of amoeboid movement. I. The chemical control of mobility in isolated cytoplasm. **J. Cell Biol.** 59: 378-394.

Teisson, C., P. Martin-Prevel, J.P. Combres and C. Py. 1978. Internal browning of pineapple, a disorder caused by refrigeration (English summary). **Fruits.** 33: 48-50.

Thomashow, M.F. 1999. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.** 50: 571-599.

Toivonen, P.M.A. 2004. Postharvest storage procedures and oxidative stress. **HortScience.** 39: 938-942.

Tokuhisa, J., J. Wu., M. Miquel., Z. Xin. and J. Browse. 1998. Investigating the role of lipid metabolism in chilling and freezing tolerance, pp. 153-169. *In* P.H. Li and T.H.H. Chen eds. **Plant Cold Hardiness: Molecular biochemistry and Physiology**. Plenum Press, New York.

USDA Nutrient Database for Standard Reference, Release 14 (July 2001) http://www.thefruitpages.com/chartpineapples.shtml (July 2001)

Van Dijck, P.W.M., B. de Kruijff, L.L.M. van Deenen, J. de Gier and A.R. Demel. 1976. The presence of cholesterol for phosphatidylcholine in mixed phosphatidylcholine-phosphatidylethanolamine bilayers. **Biochem. Biophys**. 455: 576-583.

Vreeburg, R. and S.C. Fry. 2005. Reactive oxygen species in cell walls, pp. 215-249. *In* N. Smirnoff, ed. **Antioxidants and reactive oxygen species in plants.** Blackwell Publishing, Oxford.

Wang, C.Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. **HortScience.** 17: 173-186.

Wang, S.Y. and H. Jiao. 2000. Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals hydrogen peroxide, hydroxyl radicals and singlet oxygen. **J. Agric. Food Chem.** 48: 5677-5684.

Weerahewa, D. and N.K.B. Adikaram. 2005. Heat-induced tolerance to internal browning of pineapple (*Ananas comosus* cv. ‘Mauritius’) under cold storage. **J. Hort.Sci.Biotech**. 80: 503-509.

Willekens, H., S. Chamnongpol, M.Davey,M. Schraudner, C.Langebartels, M.Van Montagu, D. Inze´ and W. Van Camp. 1997. Catalase is a sink for H_2O_2 and is indispensable for stress defence in C_3 plants. **EMBO Journal.** 16: 4806–4816.

Wilson, J.M. 1976. The mechanism of chill- and drought-hardening of *Phaseolus vulgaris* leaves. **New Phytol**. 76: 257-270.

Woolf, A.B. 1997. Reduction of chilling injury in stored ‘Hass’ avocado fruit by 38°C water treatments. **HortScience.** 32: 1247-1251.

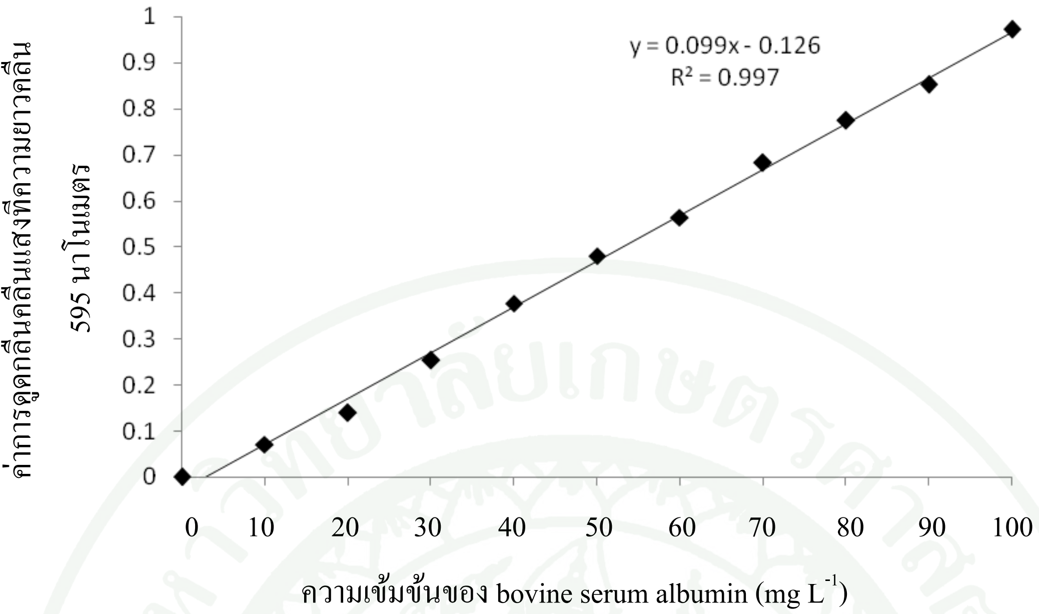
Wu, J. and J. Browse. 1995. Elevated levels of high-melting-point phosphatidylglycerols do not induce chilling sensitivity in an *Arabidopsis* mutant. **Plant Cell**. 7: 17–27

Yu, B.P. 1994. Cellular defence against damage from reactive oxygen species. **Amer.Physiol. Soc.** 74: 139-162.

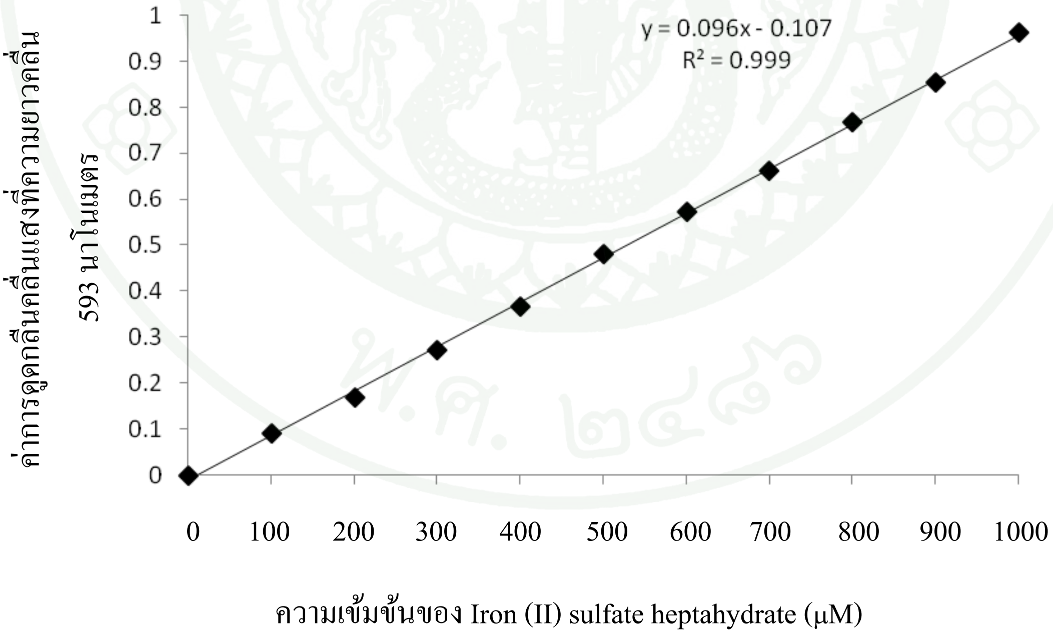
Zhou, Y., J.M. Dahler, S.J.R. Underhill and R.B.H. Wills. 2003a. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. **Food Chemistry.** 80: 565-572.

_______, J. O’Hare, M. Jobin-Décor, S.J.R. Underhill, R.B.H. Wills and M.W. Graham. 2003b. Transcriptional regulation of a pineapple polyphenol oxidase gene and its relationships to blackheart. **Plant Biotechnol.** 1: 463-478.

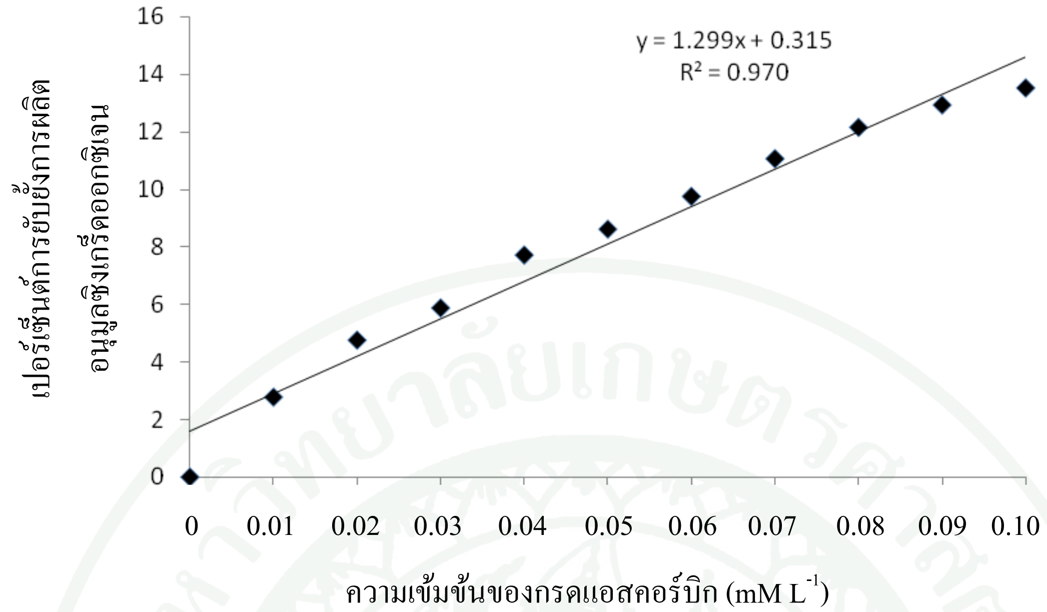
ภาคผนวก



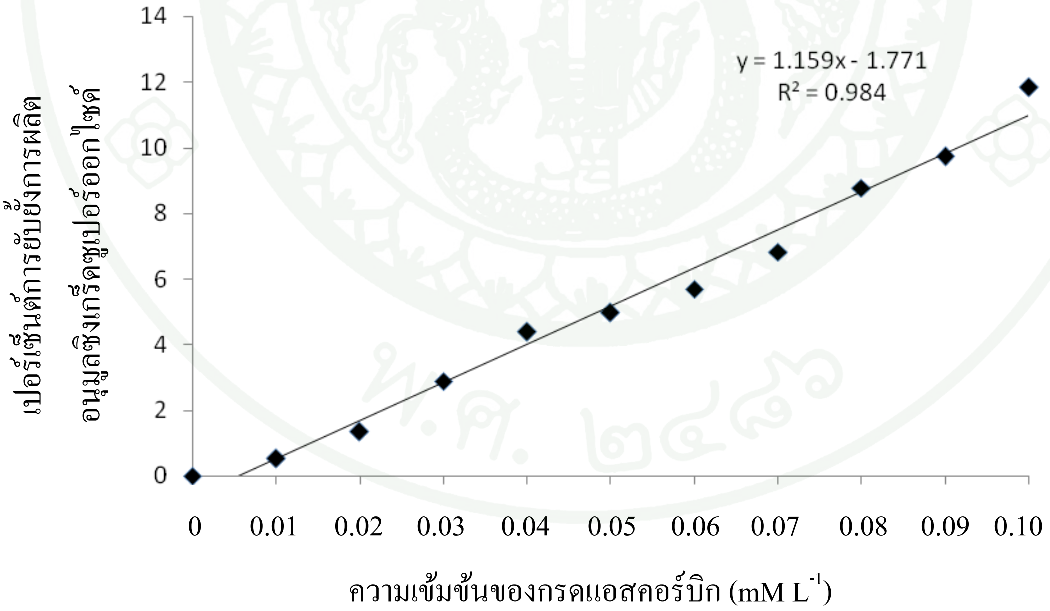
ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานของโปรตีน โดยใช้สารละลาย bovine serum albumin ความเข้มข้น 10-100 mg L^{-1}



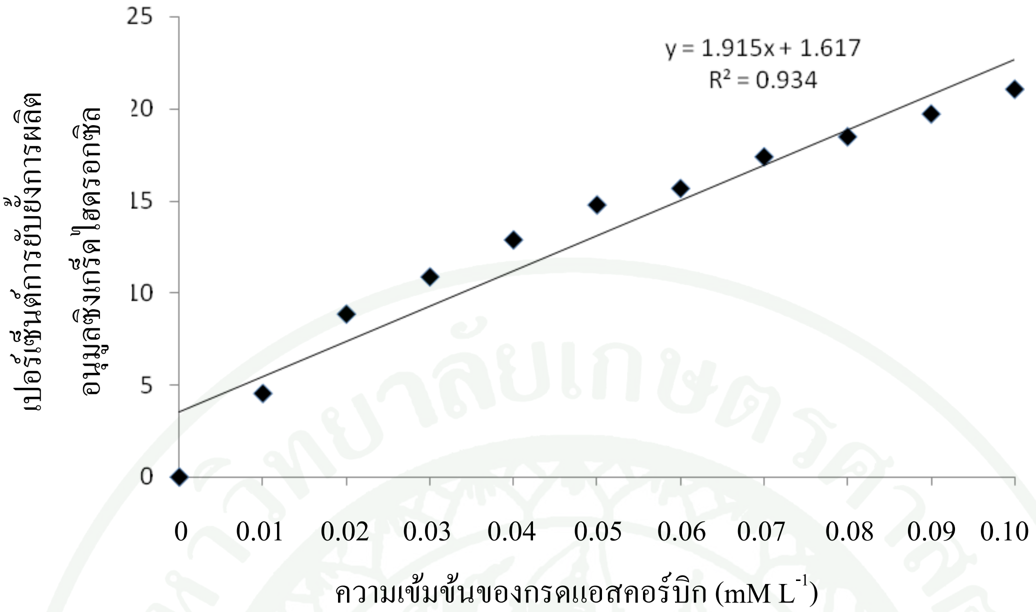
ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานของ ferrous tripyridyltriazine (FeII-TPTZ) ในการคำนวณหาค่า FRAP value โดยใช้สารละลาย Iron (II) sulfate heptahydrate ความเข้มข้น 100-1,000 µM



ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการผลิตอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน ความเข้มข้น 0.1-0.10 mM L^{-1}



ภาพผนวกที่ 4 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการผลิตอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้น 0.1-0.10 mM L^{-1}



ภาพผนวกที่ 5 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกในการยับยั้งการผลิตอนุมูลไฮดรอกซิล ความเข้มข้น 0.1-0.10 mM L^{-1}

ตารางผนวกที่ 1A การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส))**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0	0	0	12.5
	เขียว-เหลือง	10	0	0	37.5	50.0
	เขียว	25	0	0	0	0
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	12.5
ตราดสีทอง	เขียว	10	0	25.5	62.5	75.0
	เขียว-เหลือง	10	0	62.5	87.5	100.0
	เขียว	25	0	0	0	12.5
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	25.0

ตารางผนวกที่ 1B ความแปรปรวนของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	0.2089	1.0000
อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	0.0002
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	0.2089	0.0262
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0	3.12	4.05	4.33

ตารางผนวกที่ 2A ความรุนแรง (คะแนน) ของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0	0	0	0.13
	เขียว-เหลือง	10	0	0	0.44	0.56
	เขียว	25	0	0	0	0
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	0.13
ตราดสีทอง	เขียว	10	0	0.31	0.69	0.88
	เขียว-เหลือง	10	0	0.63	1.50	2.19
	เขียว	25	0	0	0	0.19
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	0.31

ตารางผนวกที่ 2B ความแปรปรวนของความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0	0.0043	0.0309	0.0081

ตารางผนวกที่ 3A ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	41.23	46.14	49.04	49.84
	เขียว-เหลือง	10	44.81	46.12	51.36	54.87
	เขียว	25	41.23	48.13	54.8	56.01
	เขียว-เหลือง	25	44.81	47.76	54.05	57.9
ตราดสีทอง	เขียว	10	42.71	42.41	55.84	59.42
	เขียว-เหลือง	10	39.99	42.98	60.04	65.34
	เขียว	25	42.71	50.68	55.95	61.02
	เขียว-เหลือง	25	39.99	49.74	59.85	65.71

ตารางผนวกที่ 3B ความแปรปรวนของการรั่วไหลของประจุในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	0.6056	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.051	0.067	0.085	0.102

ตารางผนวกที่ 4A ปริมาณ MDA (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.051	0.056	0.073	0.08
	เขียว-เหลือง	10	0.068	0.076	0.082	0.096
	เขียว	25	0.051	0.052	0.063	0.077
	เขียว-เหลือง	25	0.068	0.07	0.080	0.088
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.081	0.086	0.094	0.096
	เขียว-เหลือง	10	0.087	0.094	0.098	0.101
	เขียว	25	0.081	0.084	0.088	0.089
	เขียว-เหลือง	25	0.087	0.088	0.091	0.095

ตารางผนวกที่ 4B ความแปรปรวนของปริมาณ MDAในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.1150	0.5360	0.0176
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0169	<.0001	0.0007
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.2011	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0016	0.0011	0.0006	0.0005

ตารางผนวกที่ 5A กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วันแล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.21	0.44	0.51	0.42
	เขียว-เหลือง	10	0.23	0.77	0.89	0.82
	เขียว	25	0.21	0.33	0.45	0.57
	เขียว-เหลือง	25	0.23	0.34	0.55	0.6
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.24	1.03	1.21	1.07
	เขียว-เหลือง	10	0.22	1.34	1.98	1.49
	เขียว	25	0.24	0.39	0.47	0.48
	เขียว-เหลือง	25	0.22	0.38	0.56	0.57

ตารางผนวกที่ 5B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วันแล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	0.6239	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	0.1531	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.0004	0.1334	0.0084	0.1875
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.5360	0.3737	0.5195
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0071	0.0112	0.027	0.0295

ตารางผนวกที่ 6A กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.33	0.54	0.65	0.59
	เขียว-เหลือง	10	0.32	0.75	0.78	1.25
	เขียว	25	0.33	0.34	0.34	0.34
	เขียว-เหลือง	25	0.32	0.32	0.35	0.37
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.31	1.64	1.12	1.59
	เขียว-เหลือง	10	0.31	1.57	1.45	1.49
	เขียว	25	0.31	0.43	0.54	0.59
	เขียว-เหลือง	25	0.31	0.42	0.58	0.63

ตารางผนวกที่ 6B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	0.0016	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	0.0016	0.0026	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.0004	0.1334	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0112	0.0159	0.0142	0.0141

ตารางผนวกที่ 7A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.040	0.042	0.043	0.043
	เขียว-เหลือง	10	0.040	0.043	0.043	0.042
	เขียว	25	0.040	0.037	0.035	0.033
	เขียว-เหลือง	25	0.040	0.037	0.035	0.034
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.032	0.032	0.032	0.033
	เขียว-เหลือง	10	0.032	0.032	0.032	0.030
	เขียว	25	0.032	0.032	0.032	0.032
	เขียว-เหลือง	25	0.032	0.032	0.032	0.032

ตารางผนวกที่ 7B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	0.7823	0.8012	0.3226	0.0201
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.7823	0.3209	0.8408	0.6126
อุณหภูมิ	1.0000	0.0005	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0008	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0920	0.8408	0.0023
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.6155	0.1723	0.6126
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0008	0.0014	0.0009	0.0007

ตารางผนวกที่ 8A การเกิดอาการไส้สีน้ำตาล (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		(องศาเซลเซียส)	0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0	0	0	10
	เขียว-เหลือง	10	0	0	40	50
	เขียว	25	0	0	0	0
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	0
ตราดสีทอง	เขียว	10	0	20	40	70
	เขียว-เหลือง	10	0	50	70	90
	เขียว	25	0	0	0	20
	เขียว-เหลือง	25	0	0	10	30

ตารางผนวกที่ 8B ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์การเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	.	0.0004	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	.	0.0004	1.0000	0.4262
อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	0.0009
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	0.0004	<.0001	0.0009
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	0.0004	0.0436	0.0262
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0	2.7932	4.838	6.4909

ตารางผนวกที่ 9A ความรุนแรง (คะแนน) ของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0	0	0	0.25
	เขียว-เหลือง	10	0	0	0.35	0.62
	เขียว	25	0	0	0	0
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	0.25
ตราดสีทอง	เขียว	10	0	0.25	0.58	0.76
	เขียว-เหลือง	10	0	0.48	1.08	1.99
	เขียว	25	0	0	0	0.36
	เขียว-เหลือง	25	0	0	0	0.43

ตารางผนวกที่ 9B ความแปรปรวนของความรุนแรงของการเกิดอาการไส้สีน้ำตาลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0	0.0043	0.0081	0.0075

ตารางผนวกที่ 10A ค่าการรั่วไหลของประจุ (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	41.23	41.14	45.04	48.89
	เขียว-เหลือง	10	40.81	45.12	49.36	52.97
	เขียว	25	41.23	43.13	52.80	58.12
	เขียว-เหลือง	25	40.81	47.79	56.05	62.19
ตราดสีทอง	เขียว	10	38.71	45.41	54.84	62.78
	เขียว-เหลือง	10	39.99	48.95	58.06	67.93
	เขียว	25	38.71	47.68	55.98	63.78
	เขียว-เหลือง	25	39.99	49.74	59.95	68.24

ตารางผนวกที่ 10B ความแปรปรวนของการรั่วไหลของประจุในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	0.7517	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0051	0.6829	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	0.0375	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.1274	0.12	0.45	0.648

ตารางผนวกที่ 11A ปริมาณ MDA (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
		(องศาเซลเซียส)	**0**	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.062	0.067	0.073	0.080
	เขียว-เหลือง	10	0.071	0.086	0.092	0.105
	เขียว	25	0.062	0.061	0.063	0.077
	เขียว-เหลือง	25	0.071	0.075	0.081	0.088
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.083	0.086	0.097	0.096
	เขียว-เหลือง	10	0.090	0.104	0.109	0.107
	เขียว	25	0.083	0.084	0.091	0.089
	เขียว-เหลือง	25	0.090	0.095	0.099	0.105

ตารางผนวกที่ 11B ความแปรปรวนของปริมาณ MDAในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.0223	0.0002	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0770	0.0021	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0006	0.0005	0.0005	0.0006

ตารางผนวกที่ 12A กิจกรรมของเอนไซม์ POD (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		(องศาเซลเซียส)	0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.21	0.44	0.51	0.42
	เขียว-เหลือง	10	0.22	0.57	0.79	0.82
	เขียว	25	0.21	0.23	0.25	0.27
	เขียว-เหลือง	25	0.22	0.24	0.27	0.34
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.24	0.98	1.21	1.32
	เขียว-เหลือง	10	0.23	0.99	1.49	1.98
	เขียว	25	0.24	0.31	0.38	0.41
	เขียว-เหลือง	25	0.23	0.22	0.27	0.38

ตารางผนวกที่ 12B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ POD ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วันแล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	0.0010	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	0.4344	0.6959	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.0286	<.0001	0.0128	0.0020
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.6959	0.0010	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0132	0.0178	0.0177	0.022

ตารางผนวกที่ 13A กิจกรรมของเอนไซม์ PPO (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
		(องศาเซลเซียส)	0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.49	0.98	1.06	1.23
	เขียว-เหลือง	10	0.52	0.85	1.25	1.45
	เขียว	25	0.49	0.54	0.64	0.71
	เขียว-เหลือง	25	0.52	0.62	0.73	0.87
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.41	1.32	1.29	1.59
	เขียว-เหลือง	10	0.52	0.55	1.64	1.69
	เขียว	25	0.41	1.57	0.74	0.83
	เขียว-เหลือง	25	0.52	0.62	0.73	0.77

ตารางผนวกที่ 13B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ PPO ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	0.0046	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.1072	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	0.0002
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0122	0.0135	0.0107	0.0105

ตารางผนวกที่ 14A กิจกรรมของเอนไซม์ AsA-POD (หน่วย) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
		(องศาเซลเซียส)	**0**	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	10.89	10.49	9.23	9.17
	เขียว-เหลือง	10	10.10	9.61	7.03	6.47
	เขียว	25	10.55	10.02	9.62	9.27
	เขียว-เหลือง	25	10.26	10.04	10.11	9.78
ตราดสีทอง	เขียว	10	9.17	7.78	6.43	6.08
	เขียว-เหลือง	10	9.03	7.13	6.16	6.03
	เขียว	25	8.89	8.64	8.07	7.89
	เขียว-เหลือง	25	9.65	9.01	9.23	8.92

ตารางผนวกที่ 14B ความแปรปรวนของกิจกรรมของเอนไซม์ AsA-PPO ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	**Pr>F**			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.1393	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	<.0001	0.1201	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0568	0.0312	0.0168	0.168

ตารางผนวกที่ 15A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมด (มิลลิโมลต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0.030	0.032	0.032	0.033
	เขียว-เหลือง	10	0.030	0.032	0.029	0.029
	เขียว	25	0.030	0.027	0.028	0.027
	เขียว-เหลือง	25	0.030	0.027	0.027	0.028
ตราดสีทอง	เขียว	10	0.022	0.022	0.022	0.021
	เขียว-เหลือง	10	0.022	0.022	0.022	0.023
	เขียว	25	0.022	0.019	0.019	0.020
	เขียว-เหลือง	25	0.022	0.019	0.019	0.019

ตารางผนวกที่ 15B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระทั้งหมดในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	0.6239	0.7361	0.0011	0.0082
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.1531	1.0000	0.0065	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0563	0.8375	0.0006
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.5025	0.5404	0.0893
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.7361	0.0357	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0007	0.001	0.0008	

ตารางผนวกที่ 16A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจน (มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ความบริบูรณ์		อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	14.5	13.8	13.45	13.29
	เขียว-เหลือง	10	13.9	13.78	13.45	13.39
	เขียว	25	14.5	14.2	14.25	14.0
	เขียว-เหลือง	25	13.9	13.7	13.6	13.2
ตราดสีทอง	เขียว	10	14.2	13.9	13.25	12.5
	เขียว-เหลือง	10	13.5	12.7	12.41	12.28
	เขียว	25	14.2	14.15	14.05	14.02
	เขียว-เหลือง	25	13.5	13.2	12.9	12.98

ตารางผนวกที่ 16B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลซิงเกร็ดออกซิเจนในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.6003	<.0001	<.0001	0.0055
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0524	0.0231	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.3312	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0039	0.0231	0.6529
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.1322	0.097	0.0696	0.0925

ตารางผนวกที่ 17A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	47.12	46.78	46.87	46.62
	เขียว-เหลือง	10	45.01	45.64	46.12	46.01
	เขียว	25	47.12	47.49	47.98	48.12
	เขียว-เหลือง	25	45.01	45.19	45.21	45.07
ตราดสีทอง	เขียว	10	43.25	43.57	43.44	43.31
	เขียว-เหลือง	10	42.67	42.24	42.43	41.87
	เขียว	25	43.25	44.01	43.91	43.87
	เขียว-เหลือง	25	42.67	42.78	42.88	42.81

ตารางผนวกที่ 17B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	0.0023	<.0001	0.0002
อุณหภูมิ	1.000	0.0815	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.000	0.0398	<.0001	0.0640
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	0.0009	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	0.0022	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0173	0.2052	0.0165	0.1651

ตารางผนวกที่ 18A ความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิล (มิลลิโมล เทียบเท่ากับแอสคอร์เบท ต่อกรัมน้ำหนักสด) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส))	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	6.12	6.55	6.61	6.89
	เขียว-เหลือง	10	5.97	6.01	6.12	6.05
	เขียว	25	6.12	6.69	7.01	7.25
	เขียว-เหลือง	25	5.97	6.15	6.09	6.35
ตราดสีทอง	เขียว	10	10.21	10.33	10.45	10.37
	เขียว-เหลือง	10	9.87	9.87	9.42	9.31
	เขียว	25	10.21	10.44	10.74	10.78
	เขียว-เหลือง	25	9.87	9.89	10.01	10.11

ตารางผนวกที่ 18B ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดอนุมูลไฮดรอกซิลในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	0.0021	<.0001	0.6087
อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	0.0002	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	0.0002	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0173	0.0101	0.0114	0.0101

ตารางผนวกที่ 19A อัตราส่วนระหว่าง UFA/SFA ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
		(องศาเซลเซียส)	**0**	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	1.57	2.49	1.9	2.35
	เขียว-เหลือง	10	1.51	2.26	2.06	2.45
	เขียว	25	1.57	2.29	2.93	2.18
	เขียว-เหลือง	25	1.51	2.34	2.30	2.5
ตราดสีทอง	เขียว	10	1.84	2.21	2.22	1.94
	เขียว-เหลือง	10	1.65	2.48	2.09	2.36
	เขียว	25	1.84	2.57	2.37	2.35
	เขียว-เหลือง	25	1.65	2.79	2.16	2.36

ตารางผนวกที่ 19B ความแปรปรวนของอัตราส่วนระหว่าง UFA/SFAในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	0.0080	<.0001	0.0161	0.8300
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	0.0001	<.0001	0.0010
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0455	0.0236	0.0263	0.0243

ตารางผนวกที่ 20A ปริมาณกรดไขมันปาล์มมิติก (C 16:0) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส))**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	38.7	28.64	34.43	29.85
	เขียว-เหลือง	10	39.6	30.63	32.64	29.00
	เขียว	25	38.7	30.34	25.42	27.31
	เขียว-เหลือง	25	39.6	28.63	30.28	28.55
ตราดสีทอง	เขียว	10	35.21	31.17	31.25	34.03
	เขียว-เหลือง	10	37.70	31.60	32.30	29.75
	เขียว	25	35.21	25.78	29.70	25.48
	เขียว-เหลือง	25	37.70	25.39	27.48	25.46

ตารางผนวกที่ 20B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันปาล์มมิติก (C 16:0) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	0.0895
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	0.0009	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	0.2611	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.1059	0.0637	0.1787	0.0547

ตารางผนวกที่ 21A ปริมาณกรดไขมันสเตียริก (C 18:0) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
		(องศาเซลเซียส)	**0**	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0	0	0	0
	เขียว-เหลือง	10	0	0	0	0
	เขียว	25	0	0	0	4.16
	เขียว-เหลือง	25	0	4.31	0	0
ตราดสีทอง	เขียว	10	0	0	0	0
	เขียว-เหลือง	10	0	0	0	0
	เขียว	25	0	7.94	0	4.35
	เขียว-เหลือง	25	0	3.79	4.17	4.32

ตารางผนวกที่ 21B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันสเตียริก (C 18:0) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	.	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	.	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0	0.0018	0	0.0031

ตารางผนวกที่ 22A ปริมาณกรดไขมันเพโทรเซลินิก (C 18:1) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	28.61	30.28	34.95	41.26
	เขียว-เหลือง	10	27.29	30.62	40.01	44.98
	เขียว	25	28.61	35.83	53.90	39.50
	เขียว-เหลือง	25	27.29	31.86	49.60	51.86
ตราดสีทอง	เขียว	10	22.82	24.02	36.69	44.89
	เขียว-เหลือง	10	24.99	34.03	33.11	39.72
	เขียว	25	22.82	46.14	43.39	53.74
	เขียว-เหลือง	25	24.99	54.07	3.05	54.23

ตารางผนวกที่ 22B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันเพโทรเซลินิก (C 18:2) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	0.0035	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.0000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.4726	0.0509	0.046	0.04

ตารางผนวกที่ 23A ปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (C 18:2) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)			
			0	7	14	21
ปัตตาเวีย	เขียว	10	32.69	24.49	8.98	7.97
	เขียว-เหลือง	10	32.75	22.64	8.82	5.57
	เขียว	25	32.69	11.88	8.63	11.92
	เขียว-เหลือง	25	32.75	18.03	5.81	5.63
ตราดสีทอง	เขียว	10	31.44	31.71	10.91	0
	เขียว-เหลือง	10	37.31	10.34	18.4	8.44
	เขียว	25	31.44	6.16	9.27	6.06
	เขียว-เหลือง	25	37.31	4.89	8.32	5.72

ตารางผนวกที่ 23B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันไลโนเลอิก (C 18:2) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	7 วัน	14 วัน	21 วัน
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	0.0008
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	0.0002
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.0538	0.0554	0.0737	0.0717

ตารางผนวกที่ 24A ปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (C 18:3) (เปอร์เซ็นต์) ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

พันธุ์	**ความบริบูรณ์**	**อุณหภูมิการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)**	**ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)**			
			0	**7**	**14**	**21**
ปัตตาเวีย	เขียว	10	0	16.59	21.64	20.92
	เขียว-เหลือง	10	0	16.11	18.53	20.45
	เขียว	25	0	21.95	12.05	17.11
	เขียว-เหลือง	25	0	17.17	14.31	13.96
ตราดสีทอง	เขียว	10	10.53	13.10	21.15	21.08
	เขียว-เหลือง	10	0	24.03	16.19	22.09
	เขียว	25	10.53	13.98	17.64	10.36
	เขียว-เหลือง	25	0	11.86	16.98	10.28

ตารางผนวกที่ 24B ความแปรปรวนของปริมาณกรดไขมันไลโนเลนิก (C 18:3) ในสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ตราดสีทองที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 10 และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 วัน แล้วย้ายออกมาไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

ปัจจัย	Pr>F			
	0 วัน	**7 วัน**	**14 วัน**	**21 วัน**
พันธุ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
พันธุ์ × ระยะความบริบูรณ์ × อุณหภูมิ	1.000	<.0001	<.0001	<.0001
C.V.	2.12	2.12	2.12	2.12
LSD	0.025	0.0749	0.0441	0.0363

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกรกช ชั้นจิรกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 มกราคม พ.ศ. 2517
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์) ม. เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีทางชีวภาพ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนการศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร