# โครงการวิจัยที่ 2

## ผลของสภาพการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเมล็ด/เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

**Effect of storage conditions on chemical and Physical quality changes of *Perilla frutescens* (L.) *Britton* seeds/grain**


### บทคัดย่อ

เนื่องจากเมล็ดงาขี้ม้อนมีการสะสมของกรดไขมันอยู่ในปริมาณสูง จึงทำให้เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วหากทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ภายใต้สภาพการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพในการเก็บรักษาต่อการเสื่อมคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD โดยมี 4 กรรมวิธี คือ การเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิห้อง (T1, control), การเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 4 – 6 (T2), 15 – 18 (T3) และ 40 (T4) องศาเซลเซียส มีกรรมวิธีการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ โดยผลการศึกษา พบว่า การเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนทั้งทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยเฉพาะหากทำการเก็บรักษาในระดับอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง นอกจากนั้นจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมล็ดงาขี้ม้อนซึ่งมีไขมัน และกรดไขมันเป็นองค์ประกอบเคมีที่สำคัญภายในเมล็ด เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ในระดับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ไขมัน และกรดไขมันอิสระง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพทั้งทางกายภาพ และทางองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของเมล็ดพันธุ์อย่างรวดเร็ว โดยสามารถทำการเก็บรักษาเพื่อคงคุณภาพทั้งทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีไว้ได้เพียง 6 เดือน อีกทั้งปัญหาที่สำคัญที่พบระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน คือ ปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาท๊อกซิน (Aflatoxin) ซึ่งเป็นสารพิษที่สร้างโดยเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* sp. ซึ่งเป็นกลุ่ม เชื้อราที่สำคัญระหว่างการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะในกลุ่มเมล็ดธัญพืช โดยสารพิษ อะฟลาท๊อกซินเป็นสารปนเปื้อนที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยจากการศึกาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาท๊อกซินดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา หากทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม ทั้งนี้จากการศึกษาหากต้องการเก็บรักษาเมล็ดงาขี้ม้อนให้คงคุณภาพทั้งทาง

กายภาพ และรักษาองค์ประกอบทางเคมี ควรทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่มีการควบคุมอุณหภูมิต่ำ คือ ประมาณ 5 - <25 องศาเซลเซียส

**คำสำคัญ:** การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์, เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์, งาขี้ม้อน, คุณภาพเมล็ดพันธุ์, การเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์

**Abstract**

According to the high content of free fatty acid inside perilla grain that affected the longevity of *Perilla frutescens* (L.) *Britton* seed, especially under unsuitable storage conditions. Thus, the experiment was aimed to the effect of storage conditions on perilla seed deterioration. The experiment was conducted under Factorial in CRD with 5 replications. Treatments were storage temperatures; room temperature (Control T1), stored under 4 – 6 (T2), 15 – 18 (T3) and 40 (T4) $^{O}$C, and storage duration; 0, 2, 4, 6, 8, and 12 months. The experiment found that perilla seed had highest seed deterioration when stored at the high storage temperature (higher than room temperature). Moreover, the perilla seed deterioration had positive correlation with the degradation of free fatty acid inside perilla seed. Perilla seed could maintain the high seed quality for 6 months when stored under cool storage termperature. Additionally, the major problem of perilla seed under storage condition was storage fungi, especially on *Aspergillus flavus*. The experiment found high rate of aflatoxin contamination under all storage conditions. This mycotoxin not affected only perilla seed/grain quality but it's also affected directly to consumer health, especially its cause of kidney and liver cancer in human. The experiment concluded that the best storage condition for perilla seed/grain that could maintain high of seed quality and biochemical compositions was 5 - < 25 $^{O}$C.

**Keywords:** Seed storage, seed science, Persilla, seed quality, seed deterioration

**2.1 รายนามคณะผู้วิจัยตามโครงการวิจัยที่ 2**

**ผู้รับผิดชอบ ประกอบด้วย**

**2.1.1 หัวหน้าโครงการ**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระยศ แข็งขัน

**หน่วยงานสังกัด:** ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

**หมายเลขโทรศัพท์:** 0-4372-1728, โทรสาร 0-4374-3135,

**หมายเลขโทรศัพท์ (มือถือ):** 0-8700-9364

**2.1.2 ผู้ร่วมงานวิจัย**

2.1.2.1 ดร. ปิติพงษ์ โตบันลือภพ (ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย)

**หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน:** 3 5299 00050 03 7

**หน่วยงานสังกัด:** ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

**หมายเลขโทรศัพท์:** 0-4372-1728, **โทรสาร** 0-4374-3135,

**หมายเลขโทรศัพท์ (มือถือ):** 0-8700-93646

**E-mail address:** pitipongtho@yahoo.com

**ที่อยู่ (ที่บ้าน):** 256/13 หมู่บ้าน ถ. ปราจีนธาณี ต.ดงพระราม อ.เมือง จ.ปราจีนบุรี 25000

2.1.2.2 ดร.วิลาสินี จิตต์บรรจง

**หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน:** 3 8601 00266 52 2

**หน่วยงานสังกัด:** กองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

**หมายเลขโทรศัพท์:** 0-2940-5628

**หมายเลขโทรศัพท์ (มือถือ):** 0-8175-06423

**E-mail address:** wilas111@yahoo.com

2.12.3 นายสมคิด พันโนราช

**เลขประจำตัวประชาชน** 1 4305 000 74 54 7

ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม หมายเลขโทรศัพท์ 087 – 5663968

**E – mail :** pannorat@gmail.com

2.1.2.4 นายสาวปวีณา ฤาชา

**เลขประจำตัวประชาชน** 1 3604 00083 51 1

ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม หมายเลขโทรศัพท์ 087 – 5663968

2.1.2.5นางสาวสุภาวดี พลทัดสะ

ภาควิชาเทคโนโลยีเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม หมายเลขโทรศัพท์ 087 – 5663968

**2.1.3 ที่ปรึกษาโครงการวิจัย**

2.1.3.1 Prof. Dr. Elke Pawelzik

**ตำแหน่ง:** Full Professor (C3)

**หน่วยงานสังกัด:** Institute for Agricultural Chemistry, Department Quality of Plant Products, Georg-August University of Goettingen, Carl-Sprengel-Weg 1, D-37075 Goettingen, Germany

**หมายเลขโทรศัพท์:**+49-551-395545, **โทรสาร**: +49-551-395570

**E-Mail:** epawelz@gwdg.de

2.1.3.2 ศาสตราจารย์ ดร.วาสนา วงษ์ใหญ่

**หน่วยงานสังกัด:** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ. พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์: 0-2579-0588, 0-2579-6131

2.1.3.3 อาจารย์ สุขุมาลย์ เลิศมงคล

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์: 0-2579-0588, 0-2579-6131

**2.2 หน่วยงานวิจัย**

**2.2.1 หน่วยงานหลัก**

ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000**หมายเลขโทรศัพท์:** 0-4372-1728, **โทรสาร** 0-4374-3135,

**2.2.2 หน่วยงานสนับสนุน**

**1.** สถาบันวิจัยวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50000 **หมายเลขโทรศัพท์:** 0-5394-4050

**2.** Institute for Agricultural Chemistry, Department Quality of Plant Products, Georg-August University of Goettingen, Carl-Sprengel-Weg 1, D-37075 Goettingen, Germany **หมายเลขโทรศัพท์:**+49-551-395545, **โทรสาร**: +49-551-395570

**3.** ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) กรุงเทพมหานคร

**4.** กองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ **หมายเลขโทรศัพท์:** 0-2940-5628

**5.** บริษัท เอฟ แอนด์ ที อินเตอร์เนชั่นมัล อะโกร บัสซิเนส จำกัด (F&T International Agro-Business Co. Ltd.) 70/52 ซอย 11 หมู่ 5 ต. บึงคำพร้อย อ.ลำลูกกา จ. ปทุนธานี 12150

**2.3 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา**

งาขี้ม้อน (*Perilla frutescens* L. *Britton*) มีชื่อเรียกต่างๆ ตามภาษาท้องถิ่น เช่น งาขี้ม้อน (ไทย) งาเจียง (ลาว) perilla (อิตาลี โปรตุเกส สเปน รัสเซีย) งาป่า ( อังกฤษ เยอรมนี ฝรั่งเศส) ไบซูเกง ( จีน)เตียโต๋ (เวียดนาม) (พืชชนิดนี้พบมากในหลายประเทศแถบเอเชียตะวันออก เป็นพืชตระกูลมิ้นท์ ใช้ประกอบอาหารในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น เกาหลี และจีน ปลูกได้ดีในเมืองไทย แถบภูเขา เป็นพืชที่มีความไวของแสง อุณหภูมิ การกระจายของฝน วันปลูก (สถาบันพืชไร่, 2542) งาขี้มอนสามารถสกัดน้ำมันจากเมล็ดได้31 – 51 % ซึ่งเป็นแหล่งอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดไลโนเลนิก (โอเมก้า- 3) 55 – 60 % กรดไลโนเลอิก (โอเมก้า- 6) 18- 22 % และกรดโอเลอิก (โอเมก้า -9) 0.080 – 0.17 % ซึ่งจัดว่าเป็น 3 องค์ประกอบของไขมันที่มีคุณค่าต่อสุขภาพผู้บริโภคโดยปกติแล้วแหล่งสำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งสาม นั้นพบได้มากใน น้ำมันลินิน น้ำมันปลา และน้ำมันงาขี้ม้อน โดยเฉพาะน้ำมันงาขี้ม้อนซึ่งเป็นน้ำมันที่มีความสมดุลของโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 ดีกว่าน้ำมันอื่นๆ อีกสองชนิด ประโยชน์ของน้ำมันงาขี้ม้อนนั้นพบว่าสามารถควบคุมคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ป้องกันดรคอัลไซเมอร์ และใช้เป็นส่วนประกอบของยารักษาโรคเอดส์ (ศิริวรรณ และคณะ, 2551) แตกงาขี้ม้อนดอกมีการบานในช่วงหนาวสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียงครั้งในหนึ่งปี เกษตรกรส่วนใหญ่มีการเก็บเมล็ดในสภาพอุณหภูมิปกติทำให้คุณภาพต่ำ (เพิ่มศักดิ์และคณะ, 2546) การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาสภาพการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน เพื่อให้ทราบถึงสภาพในการเก็บรักษาที่เหมาะสมต่อเมล็ดพันธึงาขี้ม้อน

**2.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

เพื่อศึกษาสภาพในการเก็บรักษาต่อการเสื่อมคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

**2.5 ขอบเขตของการวิจัย**

เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี (free fatty acid, โปรตีน, Superoxide dismutase, Ascorbate peroxidase, Antioxidant activity, Lipoxygenase, ปริมาณสัดส่วนของไขมัน, essential amino acid content, rosmarinic acid content) ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน และพัฒนาสู่ปริมาณผลิต และในการทำเมล็ดพันธุ์ของาขี้ม้อนต่อไป

**2.6 วิธีการดำเนินการวิจัย สถานที่ทำการทดลอง และการบันทึกผลการทดลอง**

**2.6.1 วิธีดำเนินการวิจัย**

การศึกษาอิทธิพลของสภาพการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเมล็ด/เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนดำเนินการโดยนำเมล็ดงาขี้ม้อนบรรจุใส่ในถุงสุญญากาศ PE (Plastic seal bag) โดยแต่ละถุงบรรจุเมล็ดงาขี้ม้อนจำนวน 150 กรัมต่อถุง หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ทำการบรรจุในถุงสุญญากาศไปทำการเก็บรักษาภายใต้สภาพการเก็บรักษาต่าง ๆ โดยมีการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD จำนวน 4 ซ้ำ โดยมีกรรมวิธีในการทดลอง ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดงาขี้ม้อน โดยมี 4 ระดับอุณหภูมิ ดังนี้

1. ระดับอุณหภูมิห้อง ~25 – 28 องศาเซลเซียล (กรรมวิธีการควบคุม)
2. ระดับอุณหภูมิประมาณ 15 - 18 องศาเซลเซียล
3. ระดับอุณหภูมิประมาณ 4 – 6 องศาเซลเซียล
4. ระดับอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียล

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยมีระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 เดือน โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ และเคมีทุก ๆ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, และ 12 เดือน

**การบันทึกผลการทดลอง**

1.องค์ประกอบคุณภาพทางด้านเมล็ดพันธุ์ (ISTA, 2006)

1.1 Moisture content (ทดสอบความชื้นเมล็ด)

1.2 Water activity (การวัดอัตราส่วนของความดันไอของน้ำ)

1.3 Standard Germination (ทดสอบความงอก)

1.4 Shoot and Root (ความยาวยอดและราก)

1.5 Germination index (ดัชนีการงอก)

1.6 Seeding dry weight (น้ำหนักเมล็ดแห้ง)

1.7 Seeding growth rate (อัตราการเจริญเติบโต)

1.8 Cold emergence test (ทดสอบการผ่านความเย็น)

1.9 Accelerated aging test (การเร่งช่องอายุ)

1.10 Electrical conductivity test (การนำไฟฟ้า)

1.11 Field emergence (ความสามารถของการงอกในแปลง

1.12 Tetrezolium test (ความมีชีวิต)

2.องค์ประกอบคุณทางชีวะเคมี

2.1 ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในเมล็ด (Total protein content; AOAC, 2000)

2.2 ปริมาณไขมันทั้งหมดในเมล็ด (Total lipid content; Lam and Proctor, 2000)

2.3 ค่ากิจกรรมกาต้านอนุมูลอิสระทั้งหมดภายในเมล็f (Total antioxidant activity; Kim *et al*., 2002)

2.4 ปริมาณ และองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid composition; GC-MS method – Xiu *et al*., 2005) ได้แก่ α - Linolenic acid (18:3, Ω – 3), Linoleic acid (18:2, Ω – 6), Oleic aicd (18:1, Ω – 9), Steric acid (18:0) และ Palmatic acid (16:0)

2.5 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD; Oberley and Spitz, 1985)

2.6 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX; Nakano and Asada, 1981)

2.7 กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX; Mechehdani, 1990)

2.8 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Total carbohydrate; Merrill and Watt, 1973)

2.9 ปริมาณน้ำตาล D-glucose, Sucrose, Lactose, และ Maltose (Luff – Schoorl method; Alexander *et al*., 1985)

**2.6.2 สถานที่ทำการทดลอง**

ได้ดำเนินการศึกษาอิทธิพลของสภาพการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดงาขี้ม้อน ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และสถาบันวิจัยวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

**2.7 ผลการดำเนินการ**

**2.7.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน**

2.7.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

ตารางที่ 25 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่า ความงอกของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสามารถงอกได้สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (51%) และความงอกของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสามารถงอกได้ต่ำสุดเพียง 4 % เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนนอกจากจะมีอิทธิพลต่อการลดลงของความงอกของเมล็ดพันธุ์แล้วนั้นยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของต้นกล้างาขี้ม้อนภายหลังการงอก โดยเมื่อพิจารณาถึงระดับความยาวส่วนยอด และรากของต้นอ่อนงาขี้ม้อนภายหลังการงอก พบว่า ทั้งความยาวของส่วนยอด และรากของต้นอ่อนงาขี้ม้อนจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (39.5 และ 13.9 mm ตามลำดับ) และความยาวของส่วนยอด และรากของต้นอ่อนงาขี้ม้อนจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น โดยความยาวยอด และรากจะมีค่าต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (2.80 และ 2.20 mm ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จากค่าดัชนีการงอก หรือ ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ พบว่า เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนจะมีค่าดัชนีความงอกลดลง หรือเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีความเร็วในการงอกลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีค่าดัชนีความงอกสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ 4 องศาเซลเซียส (2.35) และลดลงต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (0.04) และความสามารถในการงอกภายใต้สภาพแปลงปลูก พบว่า เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีความสามารถในการงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกลดลงอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ เมื่อระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสามารถงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกได้สูดสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (40 %) และสูญเสียความสามารถในการงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (5%)

**ตารางที่ 25:** ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน

| Storage temperature (°C) | Germ (%) | Shoot (cm) | Root (cm) | GI (%/d) | Field (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 51a | 1.39b | 3.95a | 2.35a | 40a |
| **14** | 42b | 2.08a | 4.69a | 1.87b | 31b |
| **25** | 25c | 0.81c | 1.02b | 0.11c | 21c |
| **40** | 4d | 0.22d | 0.28b | 0.04c | 5d |

Root: root length, Shoot: hoot length, Germ: germination, GI: germination index, Field: field emergence

*: ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 26 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าความชื้น, กิจกรรมของน้ำภายในเมล็ด, ค่าการนำไฟฟ้า, ความมีชีวิต, อัตราการเจริญเติบโตและน้ำแห้งของต้นกล้า) โดยพบว่าความชื้นของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 4, 14 และ 25 องศาเซลเซียส (8.21 – 9.62%) และเมื่อทำการเก็บรักษาที่ 40 องศาเซลเซียส พบว่า มีผลทำให้เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีระดับความชื้นของเมล็ดพันธุ์ลดลงต่ำสุด (5.74%) ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับค่ากิจกรรมของน้ำภายในเมล็ดพันธุ์ โดยพบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 4, 14 และ 25 องศาเซลเซียสมีค่ากิจกรรมของน้ำภายในเมล็ดสูงสุด (0.657 – 0.667) ในขณะที่เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่เก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสนั้นมีค่ากิจกรรมของน้ำภายในเมล็ดพันธุ์ต่ำสุด (0.407)

เมื่อทำการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งเป็นดัชนีในการบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์นั้น พบว่า ระดับค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามระดับของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่เพิ่มสูงขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่ 40

องศาเซลเซียส (3.19 μs $g^{-1}$) ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนในระดับอุณหภูมิที่ลดต่ำลง

โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสัมพันธุ์กับการลดลงของค่าความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน โดยจากการศึกษาค่าความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ค่าความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์จะลดลงตามระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนจะสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 4 - 25 องศาเซลเซียส (39 – 50%) ในขณะที่ค่าความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนจะลดลงต่ำสุด (36%) เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เมื่อพิจารณาถึงอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้างาขี้ม้อน (seedling growth rate) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้อาหารสะสมภายในเมล็ดพันธุ์สำหรับกระบวนการงอกเพื่อสร้างต้นอ่อนที่สมบูรณ์ของเมล็ดพันธุ์นั้น พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าจะลดลงตามระดับอุณหภูมิที่ทำการเก็บรักษา โดยอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (12.1 mg $seedling^{-1}$) และต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (0 mg $seedling^{-1}$) ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของต้นกล้า โดยพบว่าน้ำหนักแห้งของต้นกล้าจะมีค่าสูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 40 องศาเซลเซียส

**ตารางที่ 26:** ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

| Storage temperature (°C) | MC (%) | AW | EC (μS $g^{-1}$) | TZ (%) | SGR (mg $seedling^{-1}$) | SDW (mg $seedling^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **4** | 8.21a | 0.657a | 1.54d | 50a | 12.1b | 14.8a |
| **14** | 9.62a | 0.667a | 1.71c | 40b | 5.2a | 10.2b |
| **25** | 8.53a | 0.667a | 2.48b | 39c | 6.12E-06b | 1.7c |
| **40** | 5.74b | 0.407b | 3.19a | 36bc | 0b | 0.2c |

MC: Moisture content, AW: Water activity, EC: Electro-conductivity, TZ: Tetrazolium test, SGR: Seedling growth, SDW: Seedling dry weight

*: ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงถึงค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.7.1.2 อิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

ตารางที่ 27 อิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางการยภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน (ความชื้นของเมล็ด, กิจกรรมของน้ำภายในเมล็ด, ความงอกของเมล็ด

พันธุ์, ความยาวยอด และราก, ความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์, อัตราการเจริญเติบโตของต้นอ่อน, น้ำหนักแห้งของต้นกล้า, ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์, ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์, ความงอกในสภาพแปลง) พบว่า ความชื้นของเมล็ดพันธุ์สูงขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยพบว่าความชื้นของ เมล็ดพันธุ์สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 8 เดือนเป็นต้นไป (9.47 - 10%) ในขณะที่ค่ากิจกรรมของน้ำภายในเมล็ดพันธุ์จะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงลดลงตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยมีค่าสูงสุดที่ระยะเริ่มต้นของการเก็บรักษา (0.643)

การเปลี่ยนแปลงความการงอกของเม็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีความงอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นจากเดือนที่ 1 – 5 (59 – 20 %) และลดลงอย่างรวดเร็วในเดือนที่ 6, 8 และ 12 เดือน (20, 17 และ 10%) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของต้นอ่อนงาขี้ม้อนโดยการวัดจากความยาวราก พบว่า ความยาวรากจะลดลงเมื่อมีอายุการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยความยาวรากมีค่าสูงสุดระยะเวลา 1 เดือน (24.00 nm) และจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเก็บรักษาตั้งแต่เดือนที่ 2 เป็นต้นไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความยาวรากดังกล่าวมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงความยาวยอดของต้นอ่อน โดยพบว่าความยาวยอดลดลงตามอายุการเก็บรักษาโดยมค่าสูงสุดในเดือนแรก (38.30 mm) และความยาวยอดลดลงตั้งแต่การเก็บรักษาที่เดือน 2 – 12 (10.6 – 0.90 mm)

ความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ลดลงตามระยะเวลาที่ทำการเก็บรักษา (59 – 13%) โดยระยะแรกก่อนการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีความมีชีวิต 59% แต่เมื่อการเก็บรักษาเกิน 3 เดือนเป็นต้นไป ค่าความมีชีวิตจะลดลงตามลำดับ โดยจะมีความมีชีวิตลดลงต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน (8%)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญของต้นกล้า พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าสูงสุดในระยะแรกของการเก็บรักษา (38.2 - 10 mg seedling$^{-1}$) หลังการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นระยะเวลามากกว่า 1 เดือน อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว (7 – 2 mg seedling$^{-1}$) นอกจากนั้นระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของต้นกล้าที่งอกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยน้ำหนักแห้งของต้นกล้าจะเริ่มลดลงภายหลังการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เป็นระยะเวลา 3 เดือน (10.1 – 3.9 mg seedling$^{-1}$)

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าซึ่งบ่งบอกถึงการเสื่อมของผนังเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทำการเก็บรักษา โดยในระยะแรกของการเก็บรักษา 0 – 3 เดือน เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2.01 – 0.90

$\mu S\ g^{-1}$ แต่เมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นระยะเวลามากกว่า 3 เดือน จะมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกถึงความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ พบว่า ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในระยะแรกของการเก็บรักษา (0 – 3 เดือน) มีค่าดัชนีการงอกสูงสุด (4 – 2.07) แต่เมื่อทำการเก็บรักษาตั้งแต่ 4 เดือนเป็นต้นไปจะส่งผลให้ค่าดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการงอกภายใต้สภาพแปลงปลูก โดยเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสามารถงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสามารถงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกได้สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 เดือน (50%) และเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนจะสูญเสียการงอกโดยสิ้นเชิงเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เป็นระยะเวลา 12 เดือน

**ตารางที่ 27:** อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

| Storage duration (months) | MC (%) | AW | Germ (%) | Root (mm) | Shoot (mm) | TZ (%) | SGR (mg seedling$^{-1}$) | SDW (mg seedling$^{-1}$) | EC (µS/g) | GI | Field (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | 10a | 0.643a | 57a | 38.3b | 24.0a | 59a | 38.2a | 10.1a | 0.90c | 4a | 50a |
| **1** | 8.04ab | 0.643a | 59a | 38.1a | 24.0a | 58a | 10.5a | 9.7a | 0.90 c | 2.26a | 51a |
| **2** | 7.35ab | 0.580b | 47b | 17.5b | 10.6b | 49b | 7b | 9.7a | 2.01c | 2.07a | 41b |
| **3** | 6.02b | 0.615ab | 49b | 20.3b | 07.8b | 56a | 3b | 7.4ab | 1.91c | 2.07a | 42b |
| **4** | 7.54ab | 0.601b | 20c | 25.6b | 12.2b | 50ab | 2b | 4.7bc | 2.38b | 1.40b | 15c |
| **5** | 7.83ab | 0.579b | 20c | 24.7b | 0.91b | 51ab | 3.8b | 5.1b | 2.30b | 0.68c | 16c |
| **6** | 7.83ab | 0.579b | 20c | 24.7b | 0.90b | 43b | 3b | 5.1bc | 2.30b | 0.09d | 15c |
| **8** | 10a | 0.602b | 17c | 24.8b | 0.81b | 13c | 2b | 3.2c | 2.42b | 0.09d | 12c |
| **12** | 9.47a | 0.593b | 10d | 23.0b | 0.90b | 8c | 2b | 3.9c | 3.66a | 0.09d | 0d |

MC: Moisture content, AW: Water activity, Germ: germination, Root: root length, Shoot: hoot length, TZ: Tetrazolium test, SGR: Seedling growth, SDW: Seedling dry weight, EC: Electro-conductivity, GI: germination index, Field: field emergence, Lipid: lipid content, Protein: Protein content

2.7.1.3 อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา และอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

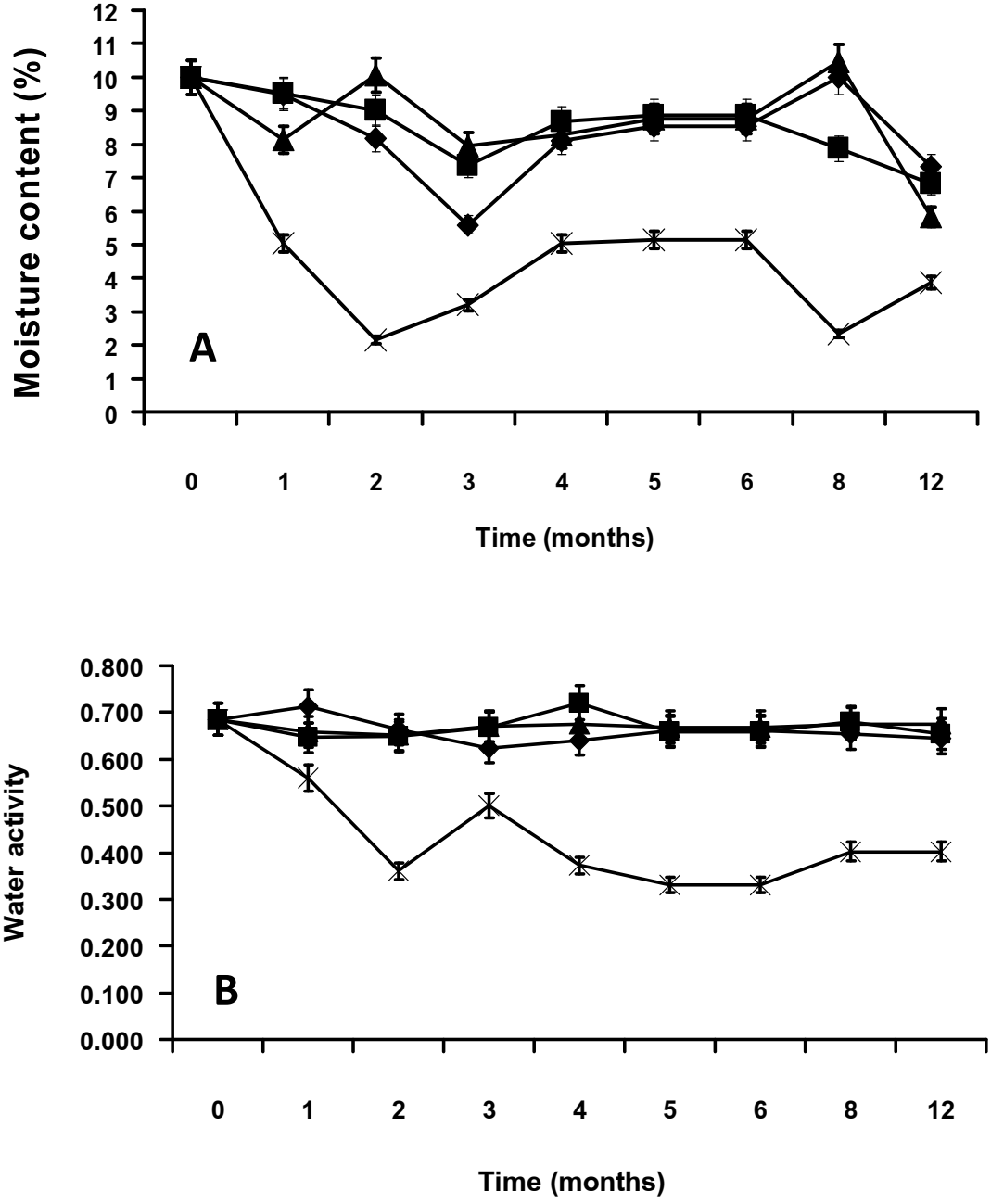
การเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนระหว่างการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า คุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนภายใต้อุณหภูมิสูง (40°C) ซึ่งภายใต้ระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาดังกล่าว เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสูญเสียความงอก และความมีชีวิตอย่างสิ้นเชิงหลังการเก็บรักษาเพียง 3 เดือน ในขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนจะสูยเสียความมีชีวิต และความงอกหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน (รูปที่ 38 A และ B)

เมื่อพิจารณาถึงความแข็งแรงของต้นอ่อนงาขี้ม้อน (ความยาวยอด และความยาวราก) พบว่า เมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นเวลา 1 เดือนภายใต้อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียส พบว่า ต้นอ่อนของงาขี้ม้อนมีความยอด และความยาวรากต่ำสุด ขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 เดือน จะมีผลทำให้ลดความยาวยอด และราก ในขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่ำทั้ง 5 และ 15 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้ความยาวยอด และรากค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงลดลง (รูปที่ 39 A และ B)

การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนงาขี้ม้อนภายหลังการงอกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วระหว่างการเก็บรักษาในทุก ๆ ระดับอุณหภูมิการเก็บรักษา โดยน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนงาขี้ม้อนมีค่าต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 25 และ 40 องศาเซลเซียส (รูปที่ 40A) ในขณะที่อัตราการเจริญเติบโตของต้นอ่อนลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 1 เดือน ขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าลดลงหลังการเก็บรักษา 2 เดือน และอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้าจะค่อย ๆ มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส (รูปที่ 40B)

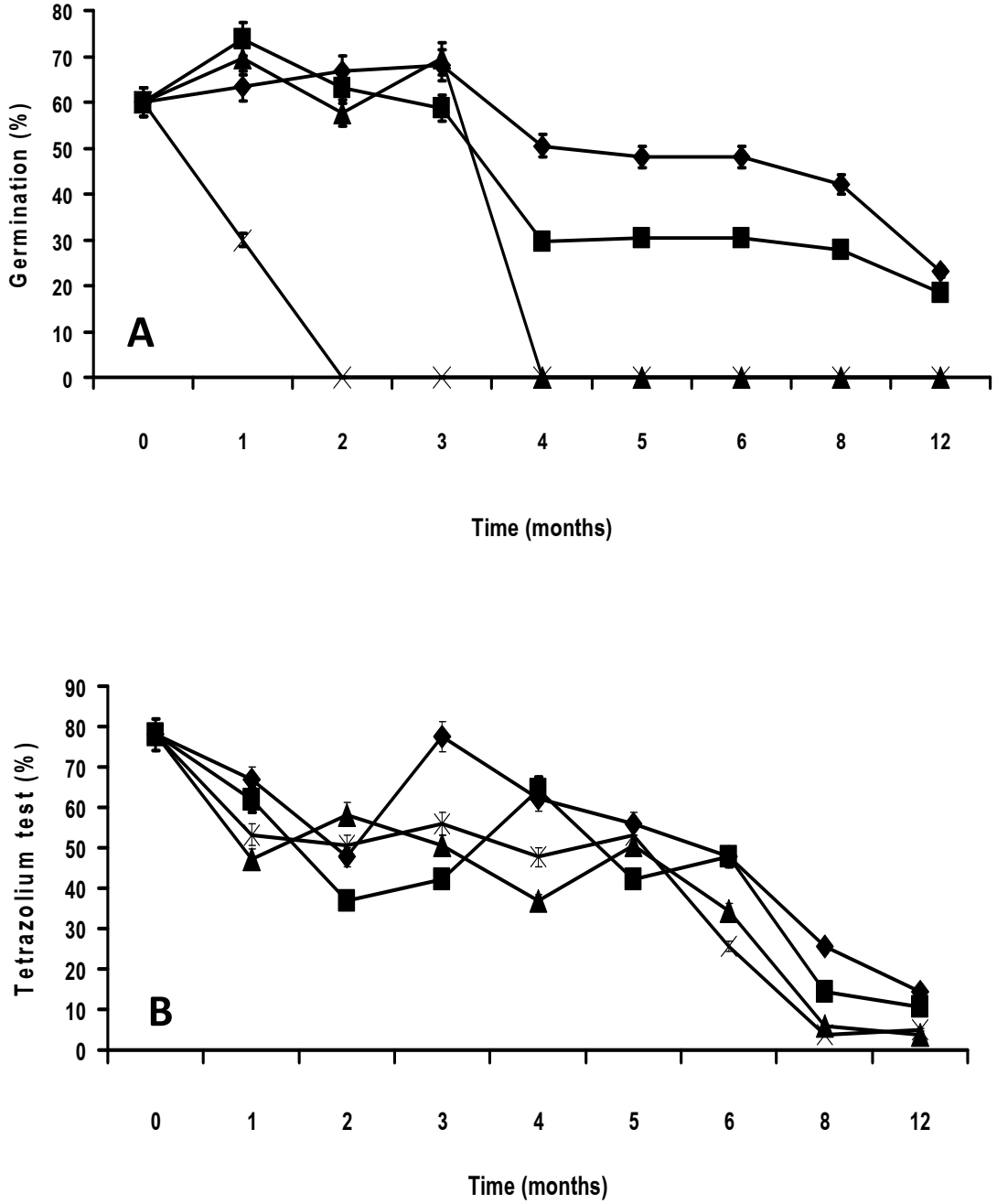
การสูญเสียสภาพของผนังเซลล์ภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเกิดสูงสุดในการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่ำ (5 และ 15 องศาเซลเซียส) มีผลทำให้เกิดการเสื่อมสภายของผนังเซลล์ภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนต่ำสุด (รูปที่ 38I)

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีผลทำให้เมล็ดพันธุ์สูญเสียการงอกภายใต้แปลงปลูกโดยสิ้นเชิง หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน ในขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีผลทำให้เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนสูญเสียการงอกภายใต้สภาพแปลงปลูกหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน ในขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนในสภาวะอุณหภูมิ 5 และ 15 องศาเซลเซียส เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนยังสามารถงอกได้ภายใต้สภาพแปลงปลูก แต่อย่างไรก็ตามการงอกจะลดลงเมื่อมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่มากขึ้น (รูปที่ 41A และ B)



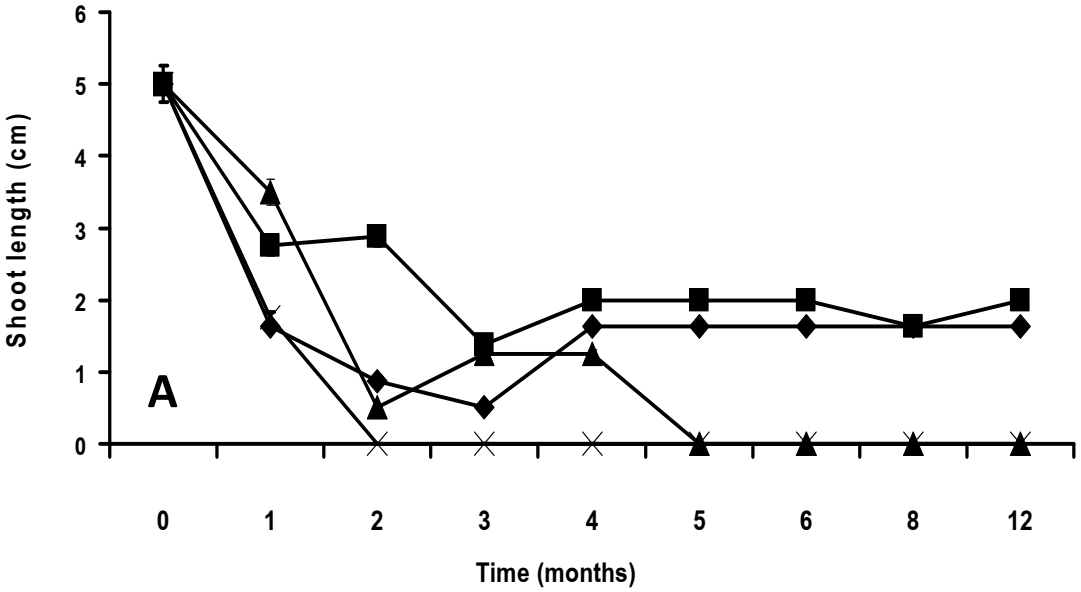

**รูปที่ 38:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น และกิจกรรมของน้ำภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

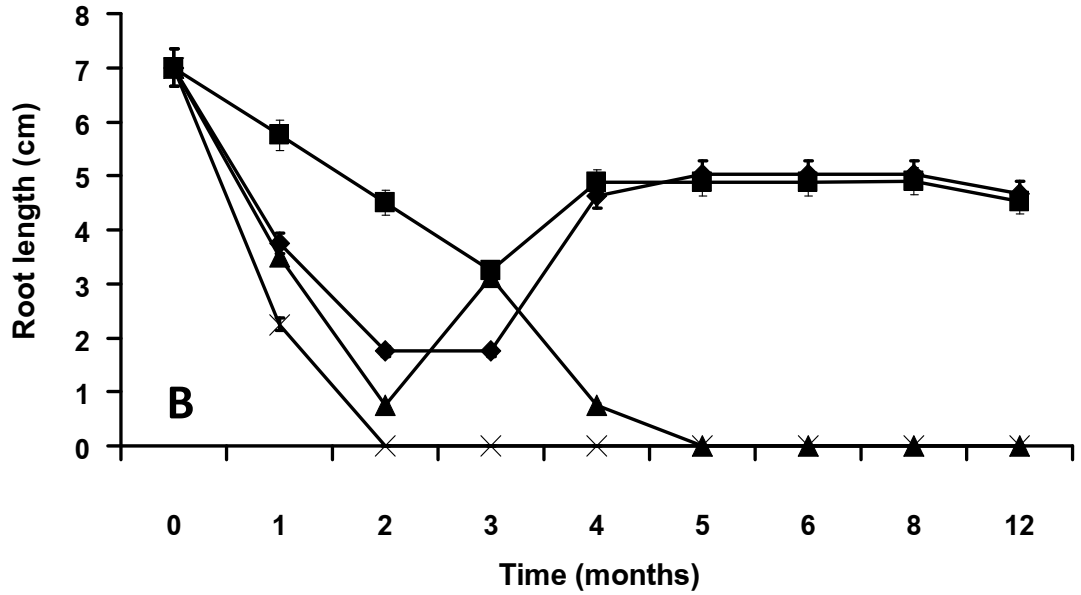
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 39:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงความงอก และความมีชีวิตของมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

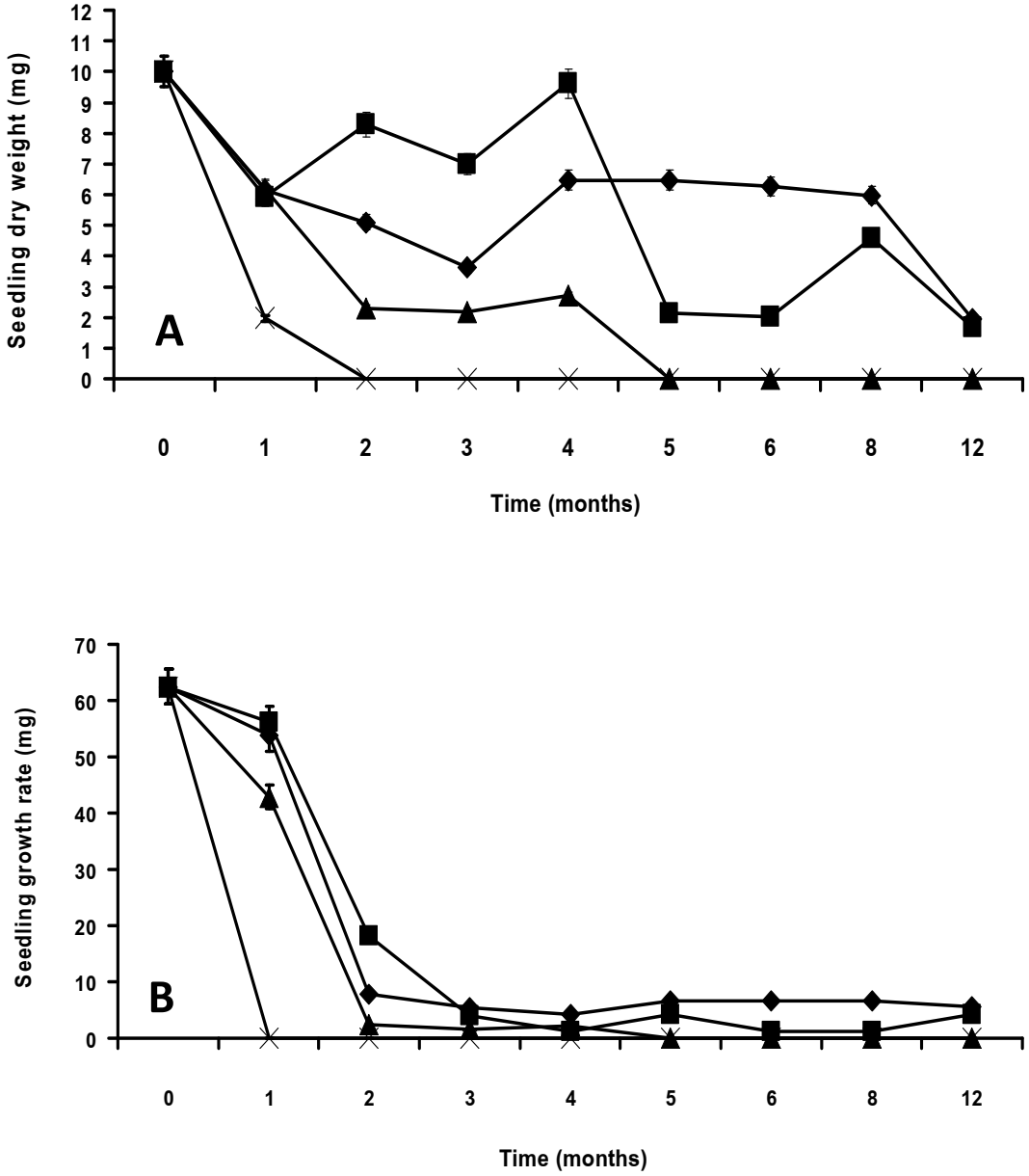
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส



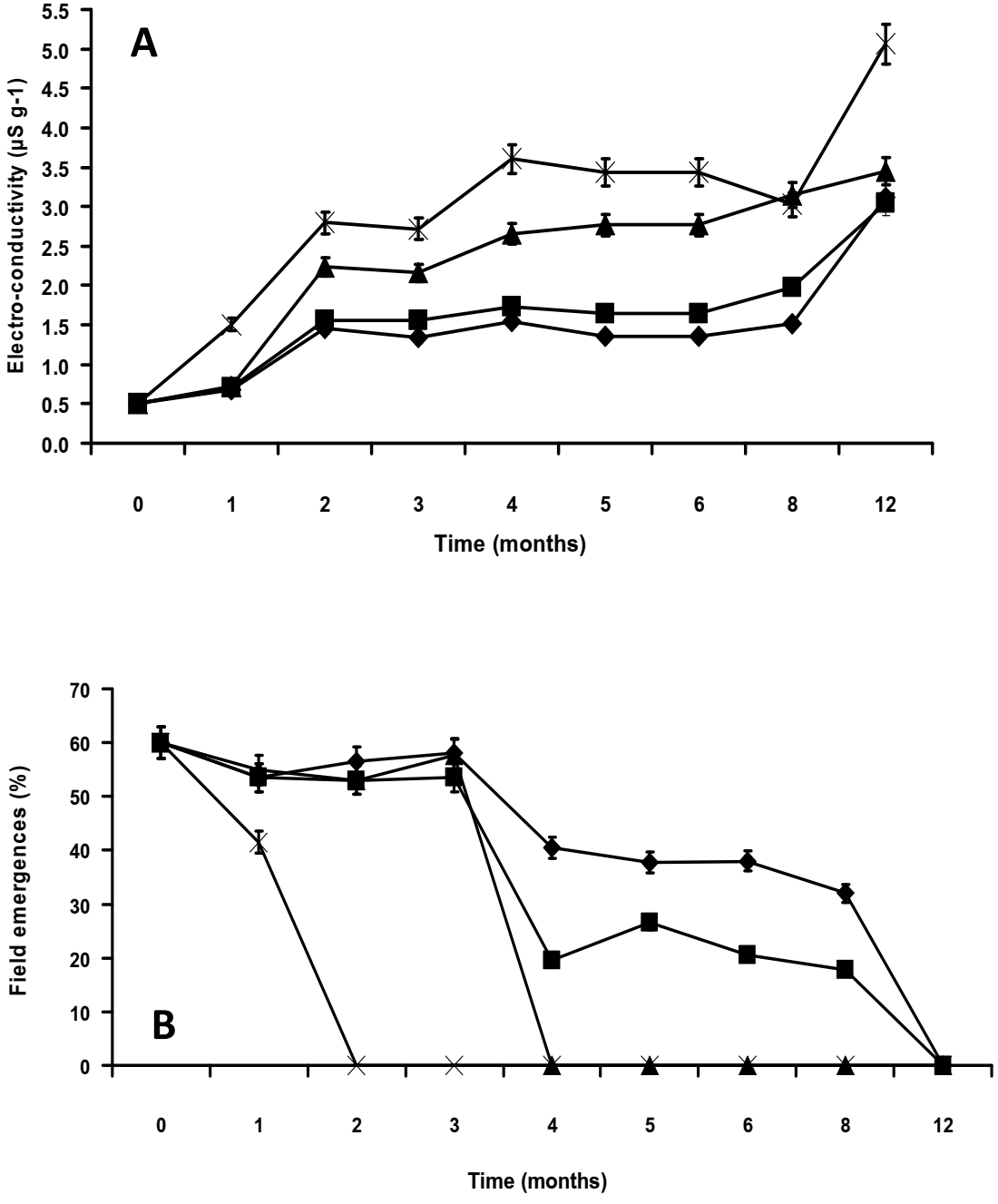

**รูปที่ 40:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวยอด และรากของต้นอ่อนงาขี้ม้อนภายหลังการงอก

4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 41:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้ง และอัตราการเจริญเติบโตของต้นอ่อน

4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 42:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า และความสามารถในการงอกภายใต้สภาพแปลงปลูก

4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

**2.7.2 อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน**

2.7.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

ตารางที่ 28 จากการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมด และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) ลดลงเมื่อมีอุณหภูมิการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีปริมาณโปรตีนทั้งหมด และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ SOD สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส (15.63 g $100g^{-1}$DM และ 6.88 $\Delta$ activity $mg^{-1}$ protein ตามลำดับ) ขณะที่ปริมาณโปรตีน และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ SOD ต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (13.64 $100g^{-1}$DM และ 6.57 $\Delta$ activity $mg^{-1}$ protein ตามลำดับ)

ในขณะที่กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา

แต่ทั้งนี้ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม (Total antioxidant activity) และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระดับอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยทั้งทั้งนี้กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม (Total antioxidant activity) และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ($IC_{50}$ = 1.47 และ 0.72 $\Delta$ activity $mg^{-1}$ protein, ตามลำดับ) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม (Total antioxidant activity) และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) ต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ($IC_{50}$ = 2.10 และ 0.69 $\Delta$ activity $mg^{-1}$ protein, ตามลำดับ)

ตารางที่ 29 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวมและองค์ประกอบ และปริมาณของกรดไขมันอิสระในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันรวม (Total lipid content) และกรดไขมัน $\alpha$ - Linolenic acid (C 18:3; W – 3) Linoleic acid (C 18:2; W – 6) และ Steric acid (C 18:0) ภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน แต่พบว่ากรดไขมัน Oleic acid (C 18:1; W – 9) และ Palamatic acid (C 16:0) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะพบการสะสมของกรดไขมัน Oleic acid และ Palmatic acid สูงสุดเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิต่ำ 4 – 15 องศาเซลเซียส และกรดไขมันทั้งสองลดลงเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (40 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 30 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ซูโครส (Sucrose) แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) พบว่า อุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

2.7.2.2 อิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

ตารางที่ 28 จากการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณโปรตีนทั้งหมด และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX), Superoxide dismutase (SOD) และ Lipoxygenase (LOX) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อมีระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมากขึ้น โดยมีปริมาณโปรตีนทั้งหมด และกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ LOX และ SOD ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นเวลา 8 เดือน ในขณะที่กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ APX ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติภายหลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 12 เดือน

ตารางที่ 29 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมด และองค์ประกอบ และปริมาณของกรดไขมันอิสระภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า ปริมาณไขมันทั้งหมด (Total lipid content) และกรดไขมัน Linoleic acid (C 18:2; W – 6) และ Steric acid (C 18:0) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นระยะเวลา 6 เดือน ขณะที่กรดไขมัน ขณะที่กรดไขมัน $\alpha$ - Linolenic acid (C 18:3; W – 3) และ Palamatic acid (C 16:0) มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงลดลงภายหลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือนเป็นต้นไป ในขณะที่กรดไขมัน Oleic acid ไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

ตารางที่ 30 แสดงอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ซูโครส (Sucrose) แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) พบว่า เวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีแนวโน้มทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ซูโครส (Sucrose) แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นเวลา 8 เดือนเป็นต้นจะมีคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ซูโครส (Sucrose) แลคโทส (Lactose) และมัลโทส (Maltose) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**ตารางที่ 28:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Total protein), กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม (Total antioxidant activity), กิจกกรมการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase, Superoxide dismutase, และ Lipoxygenase ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

| Treatments | Protein | Total antioxidant activity | APX | LOX | SOD |
|---|---|---|---|---|---|
| **Temperature (°C)** | | | | | |
| **4** | 15.63a | 2.10a | 0.26a | 0.69b | 6.88a |
| **14** | 15.12b | 1.84b | 0.25a | 0.70ab | 6.58ab |
| **25** | 14.25c | 1.68c | 0.26a | 0.69b | 6.62ab |
| **40** | 13.64d | 1.47d | 0.24a | 0.72a | 6.57b |
| **Storage duration (months)** | | | | | |
| **0** | 14.83b | 2.26a | 0.29a | 0.71a | 6.74a |
| **2** | 15.49a | 2.23a | 0.28a | 0.74a | 7.04a |
| **4** | 15.00ab | 2.18a | 0.29a | 0.72a | 6.82a |
| **6** | 15.16ab | 1.89b | 0.29a | 0.73a | 6.89a |
| **8** | 13.80c | 1.42c | 0.20a | 0.66b | 6.27b |
| **12** | 13.65c | 0.67d | 0.19b | 0.65b | 6.21b |

Total protein content (g $100g^{-1}$DM), Total antioxidant activity ($IC_{50}$), APX: Ascorbate peroxidase enzymatic activity (µmol $min^{-1}$ 100 $mg^{-1}$ protein), LOX: Lipoxygenase enzymatic activity (Δ activity $mg^{-1}$ protein), SOD: Superoxide dismutase enzymatic activity (Δ activity $mg^{-1}$ protein)

**ตารางที่ 29:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมด (Total lipid content), กรดไขมัน α - Linolenic acid, Linoleic acid, Oleic acid, Palmatic acid และ Steric acid ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

| Treatment | Lipid | α - Linolenic acid | Linoleic acid | Oleic acid | Palmatic acid | Steric acid |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Storage temperature( C° )** | | | | | | |
| 4 | 48.00a | 40.277a | 10.049a | 6.2825a | 3.4429a | 1.4650a |
| 15 | 44.83a | 39.084a | 9.383a | 6.0721ab | 3.4746a | 1.3679a |
| 25 | 46.77a | 38.491a | 9.789a | 6.2825a | 3.3567ab | 1.4267a |
| 40 | 42.83a | 37.955a | 8.965a | 5.7087b | 2.9583b | 1.3075a |
| **Storage duration (months)** | | | | | | |
| 0 | 51.34a | 42.004ab | 10.747a | 6.0931a | 3.5856a | 1.5662a |
| 2 | 50.03a | 43.500a | 10.472a | 6.1894a | 3.5856a | 1.5269a |
| 4 | 51.90a | 40.558b | 10.861a | 6.1606a | 3.5481ab | 1.5837a |
| 6 | 51.9a | 39.933b | 10.861a | 6.1606a | 3.5206b | 1.5837a |
| 8 | 34.33b | 34.538c | 7.184b | 5.9500a | 2.6219c | 1.0475b |
| 12 | 34.18b | 33.176c | 7.153b | 5.7444a | 2.9869bc | 1.0425b |

Lipid (g $100g^{-1}$DM **),** α - Linolenic acid (mg $g^{-1}$ - DM), Linoleic acid (mg $g^{-1}$ - DM), Oleic acid (mg $g^{-1}$ - DM), Palmatic acid (mg $g^{-1}$ - DM), Steric acid (mg $g^{-1}$ - DM)

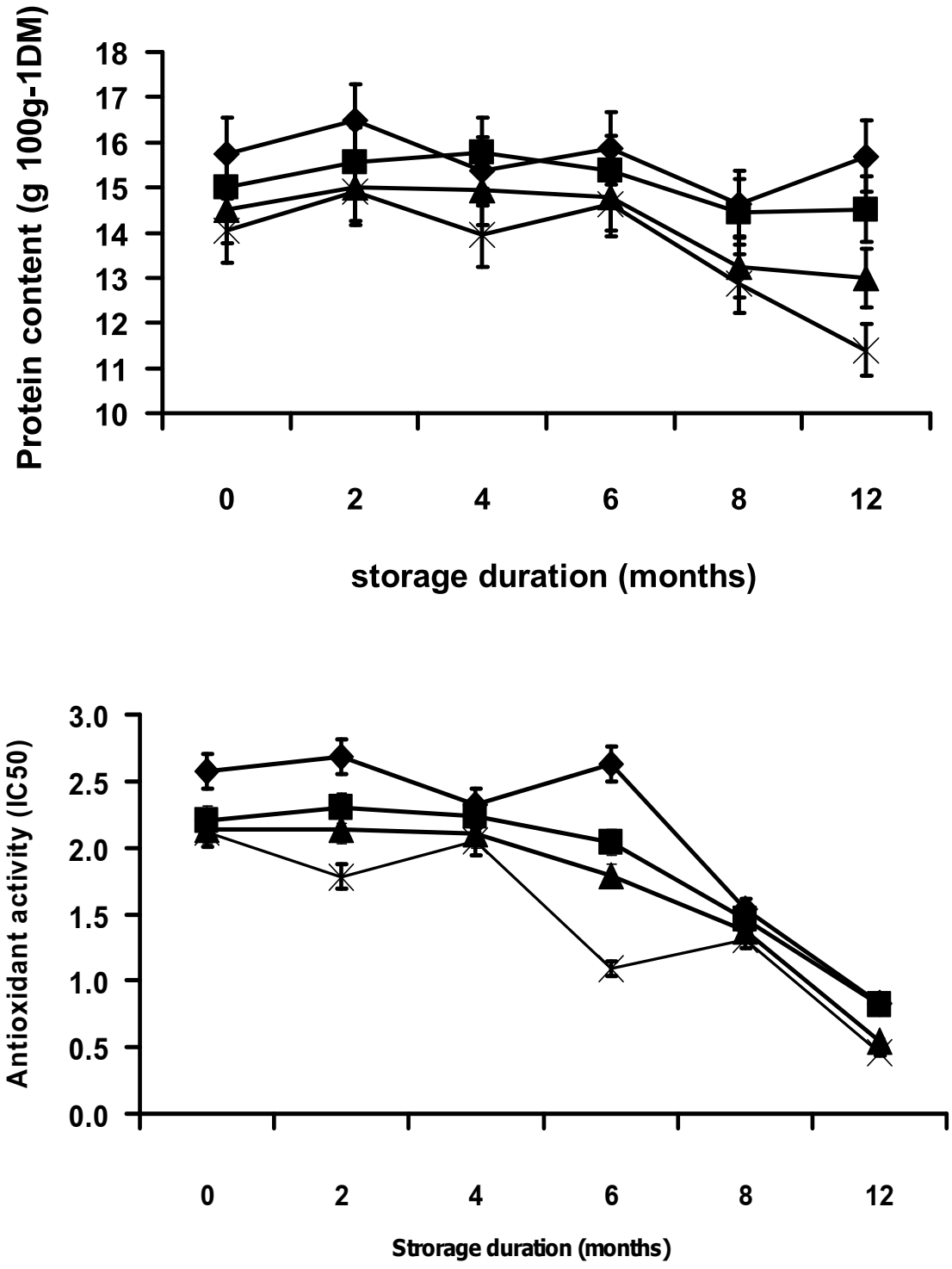
**ตารางที่ 30:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) และปริมาณน้ำตาลกลูโคส (Glucose), ซูโครส (Sucrose), แลคโทส (Lactose), และ มัลโทส (Maltose) ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

| Treatment | Carbohydrate | Glucose | Sucrose | Lactose | Maltose |
|---|---|---|---|---|---|
| **Storage temperature( C° )** | | | | | |
| 4 | 35.01a | 3.89a | 1.95a | 7.78a | 8.56a |
| 15 | 38.93a | 4.32a | 2.16a | 8.65a | 9.52a |
| 25 | 38.08a | 4.23a | 2.12a | 8.46a | 9.31a |
| 40 | 39.54a | 4.39a | 2.20a | 8.79a | 9.67a |
| **Storage duration (months)** | | | | | |
| 0 | 31.33b | 3.48b | 1.74b | 6.96b | 7.66b |
| 2 | 35.92b | 4.00a | 2.00b | 7.98b | 8.78b |
| 4 | 30.60b | 3.40b | 1.70b | 6.80b | 7.48b |
| 6 | 30.44b | 3.38b | 1.7 | 6.76b | 7.44b |
| 8 | 49.37a | 5.49a | 2.74a | 10.97a | 12.07a |
| 12 | 49.67a | 5.52b | 2.76a | 11.04a | 12.14a |

Carbohydrate content (g $100g^{-1}$DM), Glucose (g $100g^{-1}$DM), Sucrose (g $100g^{-1}$DM), Lactose (g $100g^{-1}$DM), Maltose (g $100g^{-1}$DM), (SOD)

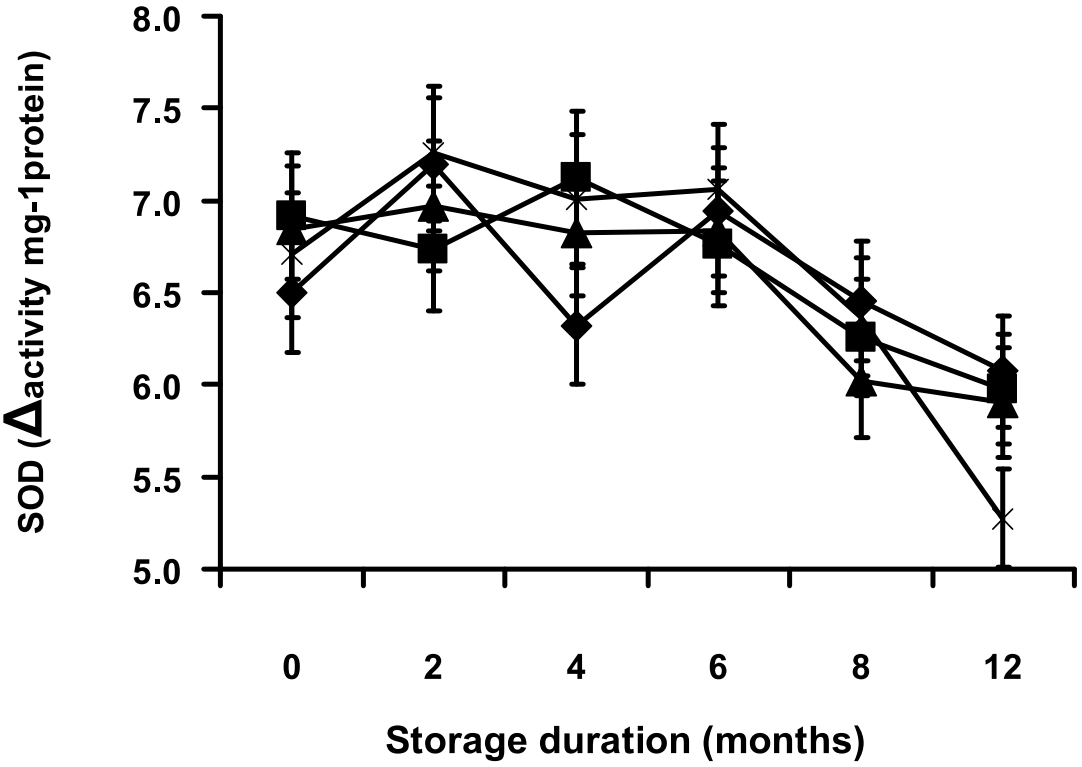
**2.7.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน**

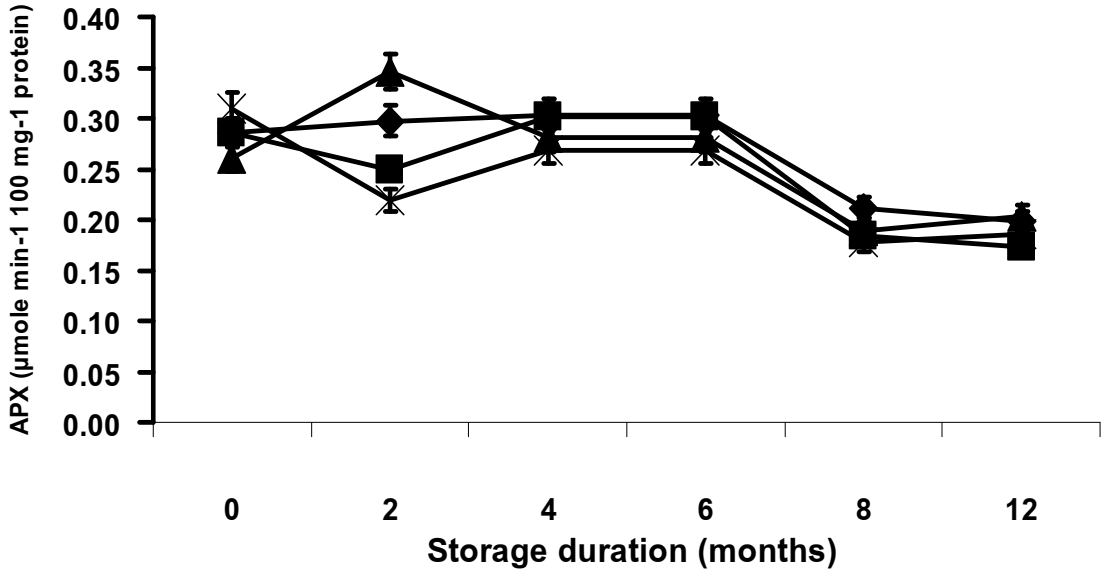
จากการศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิในการเก็บรักษา และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์มากกว่าปัจจัยเนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยจากผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีทุกปัจจัยทั้งปริมาณโปรตีนรวม กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม กิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ APX, SOD, และ LOX ปริมาณไขมันรวม กรดไขมันอิสระ $\alpha$ - Linolenic acid (C 18:3; W – 3), Linoleic acid (C 18:2; W – 6), Oleic acid (W – 9), Palmatic acid (C 16:0) และ Steric acid (C 18:0) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต และปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซูโครส แลคโทส และมัลโทสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นเวลานานกว่า 6 เดือนเป็นต้น ในขณะที่อิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 43 – 50)




**รูปที่ 43:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

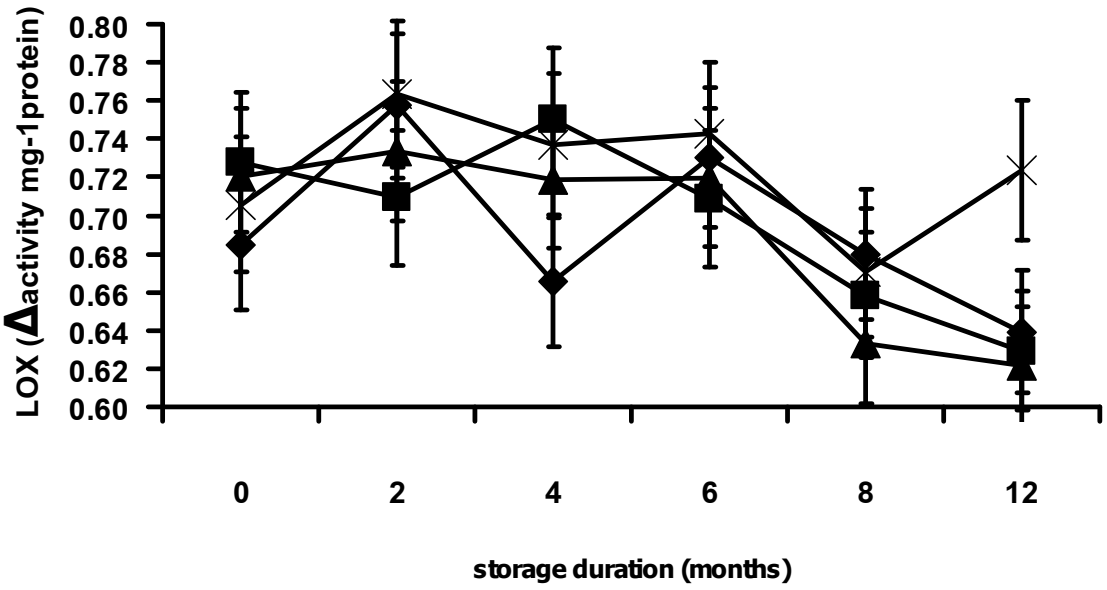
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

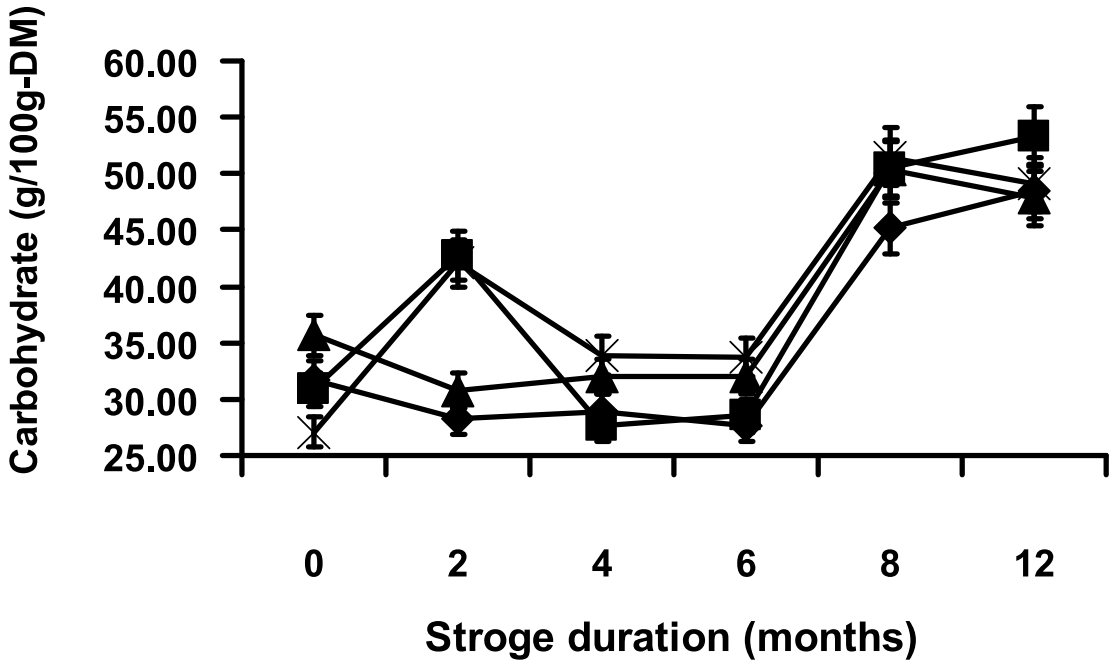



**รูปที่ 44:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ Superoxide dismutase (SOD) และ Ascorbate peroxidase (APX)

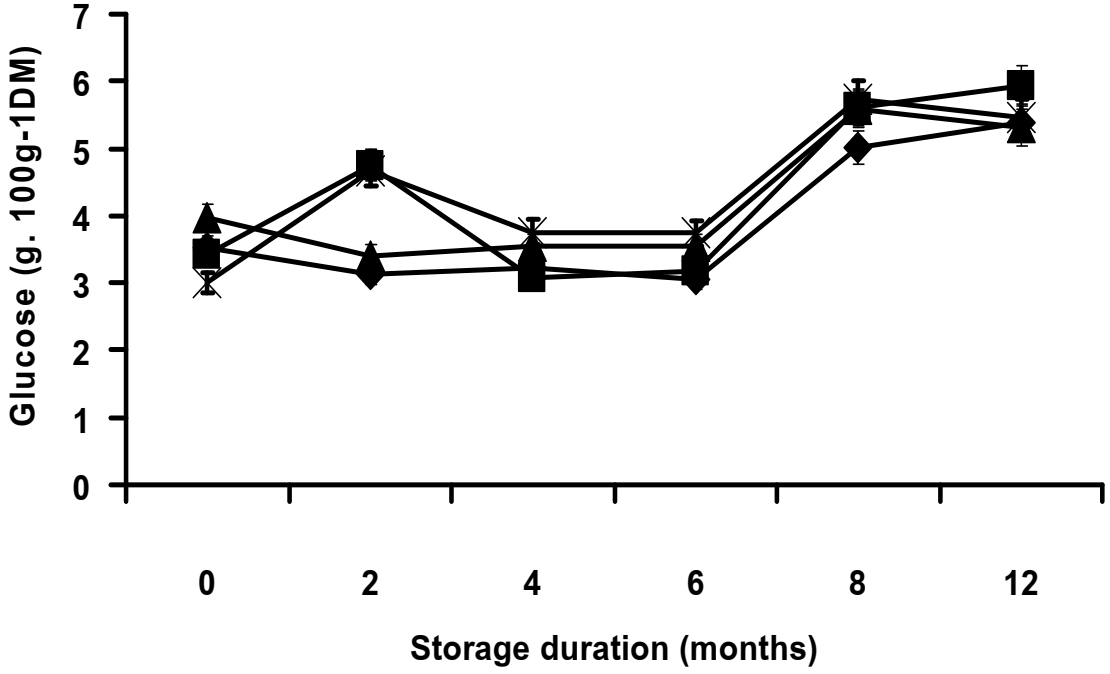
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

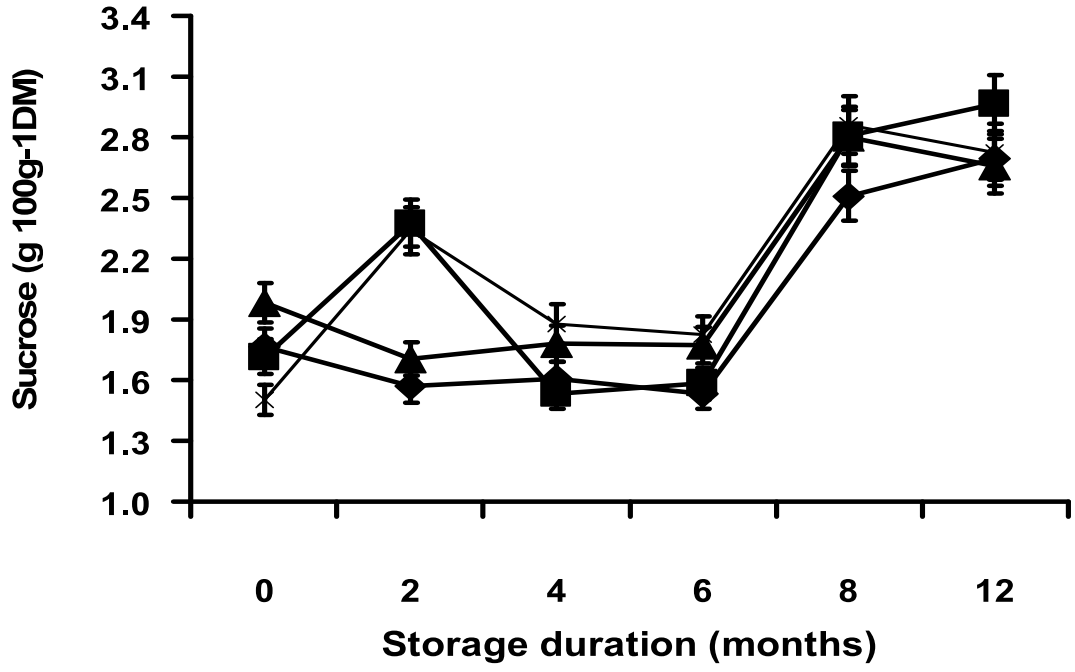



**รูปที่ 45:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ Lipoxygenase (LOX) และปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

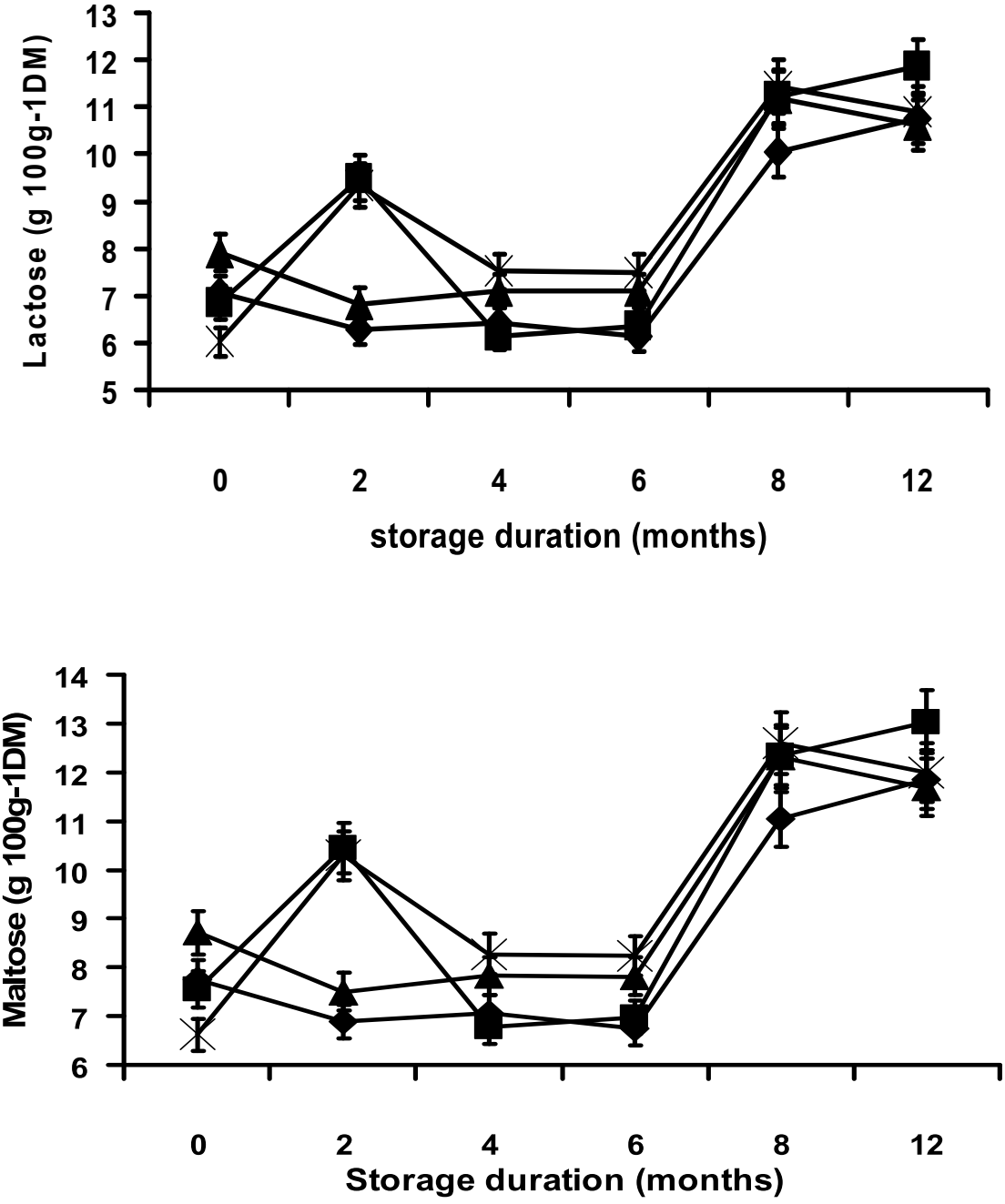
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส



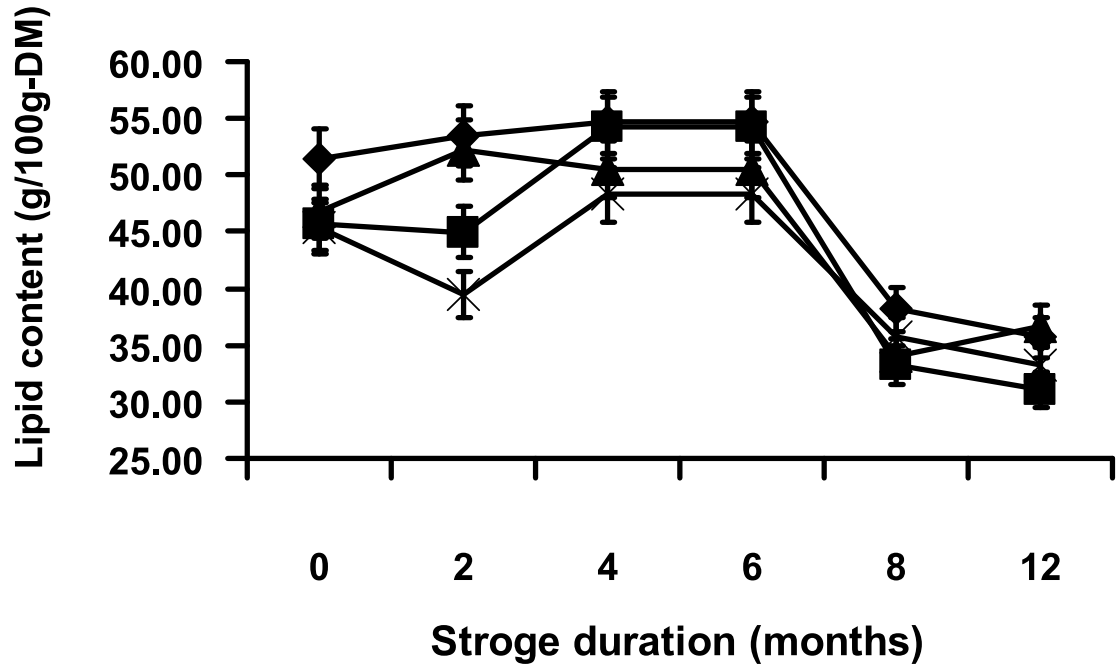

**รูปที่ 46:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคสและซูโครสของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

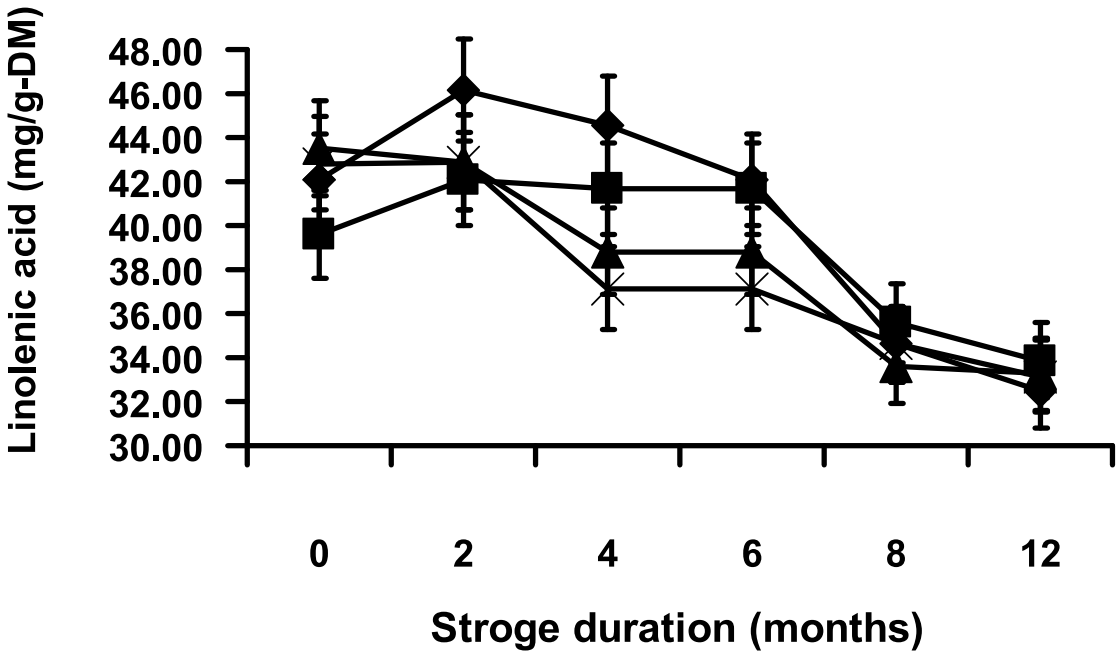
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 47:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลแลคโทส และมัลโทสของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

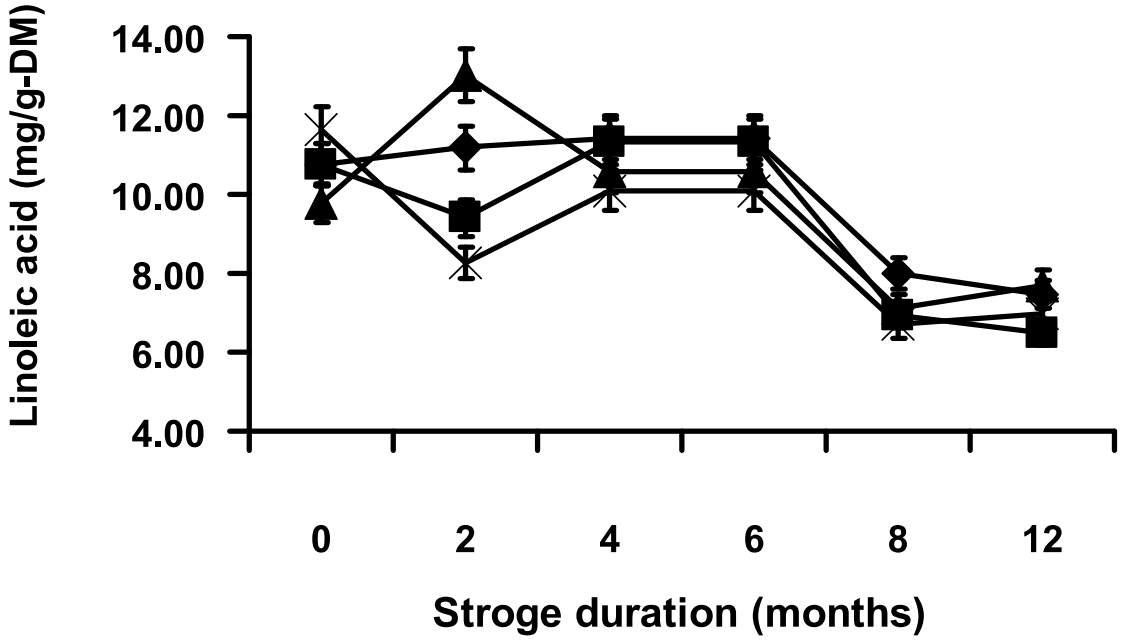
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

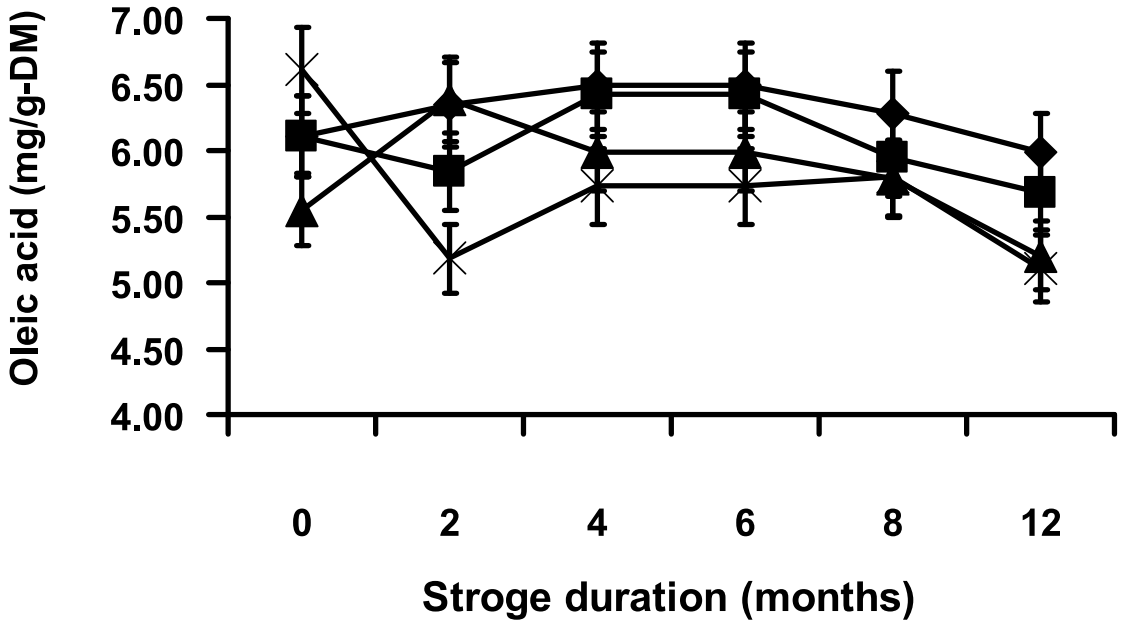



**รูปที่ 48:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมด และกรดไขมัน α - Linolenic acid ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

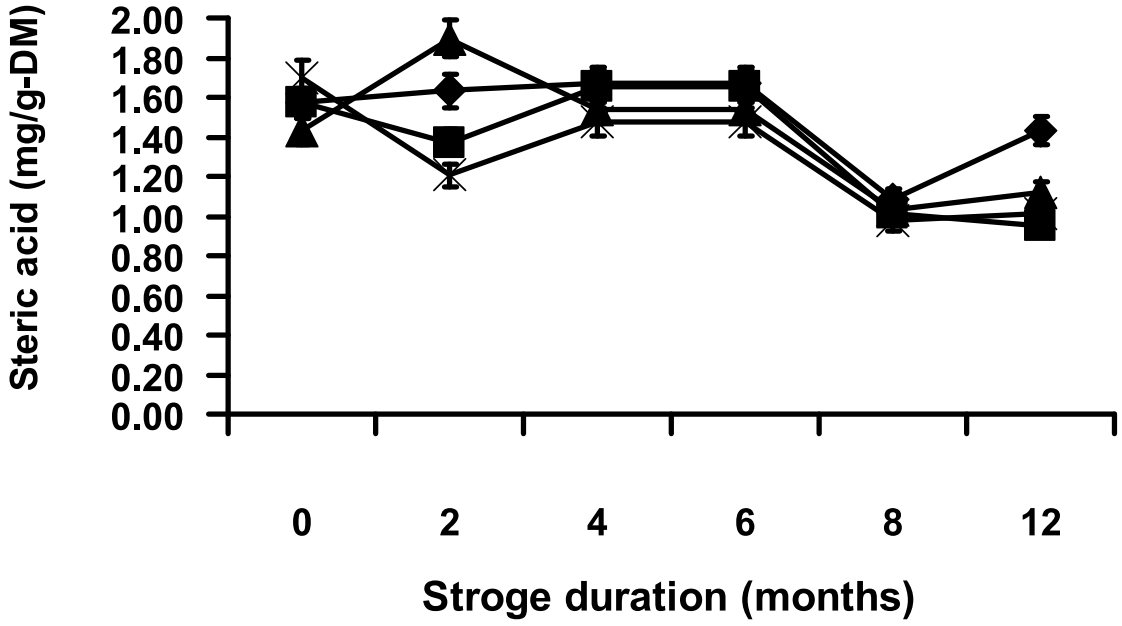
4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

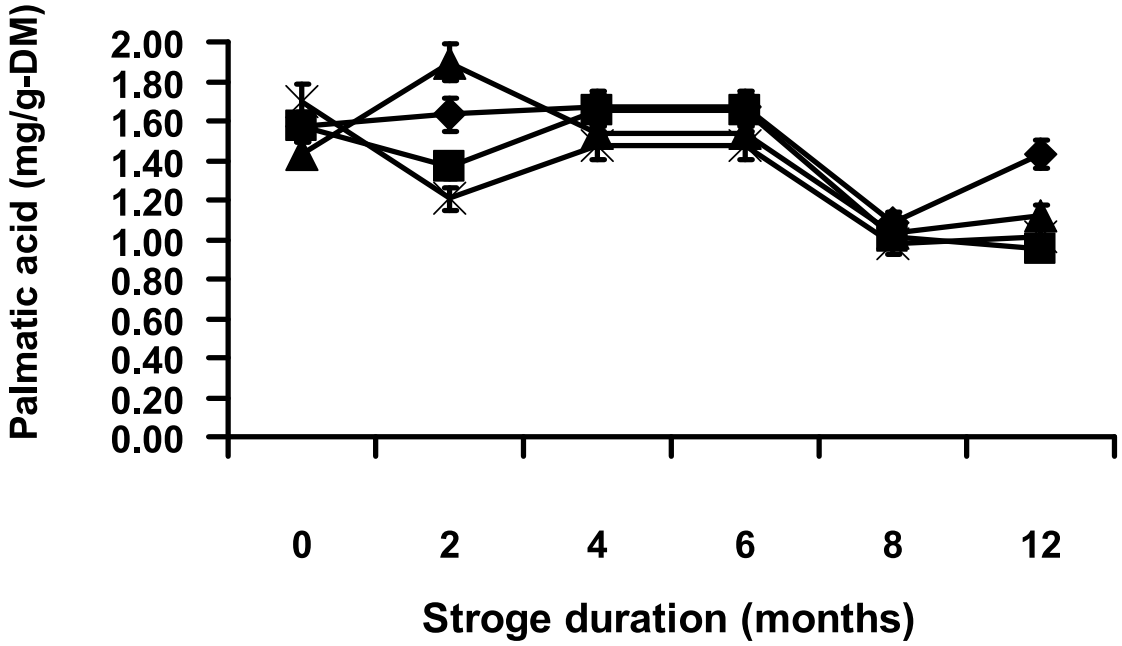



**รูปที่ 49:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมัน Linoleic acid และ Oleic acid ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส




**รูปที่ 50:** อิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมัน Steric acid และ Palmatic acid ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

**2.7.4 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา**

2.7.4.1 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้งคุณภาพทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ซึ่งเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ภายในเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงบวก (positive correlation) กับการเพิ่มขึ้นของค่ากิจกรรมของน้ำภายในเมล็ด และปริมาณน้ำตาลภายในเมล็ดพันธุ์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ซึ่งชักนำให้น้ำ หรือความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์สามารถทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กับองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดพันธุ์ได้ โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ นั้นอาจเป็นผลเนื่องจากการเกิดกระบวนการ Hydrolysis ขององค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่มีการสะสมภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลทำให้องค์ประกอบของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมด และองค์ประกอบ และปริมาณของกรดไขมันอิสระชนิดต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากเมื่อเกิดการเสื่อมสภายของผนังเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เกิดกระบวนการ Hydrolysis และ Oxidation ที่บริเวณที่มีการสะสมไขมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมสภายของไขมัน และกรดไขมันที่มีการสะสม อีกทั้งเมื่อเกิดการเสื่อมสภายของไขมันและกรดไขมันผ่านกระบวนการ Lipid hydrolysis และ Lipid oxidation นั้นมีผลต่อการสร้าง และสะสมของสารในกลุ่มอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species) เช่น superoxide หรือ $H_2O_2$ ภายในเซลล์ต่าง ๆ ของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งสารในกลุ่มอนุมูลอิสระดังกล่าวมีความสามารถในการเกิด Oxidation ได้สูง (Oxidizing agent) ซึ่งชักนำให้เกิดการเสื่อมสภาพ – สูญเสียการทำงานของเซลล์ ส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ต่อมา ซึ่งแสดงดังค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) กับคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนทั้งความงอก และความมีชีวิต และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ดังที่ได้นำเสนอผลข้างต้น

แต่ทั้งนี้ในสภาพธรรมชาติภายในเซลล์ หรือเมล็ดพันธุ์พืชจะมีกระบวนการในการต้านสารอนุมูลอิสระ (Antioxidant process) ซึ่งกระบวนการต้านอนุมูลอิสระผ่านการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate

peroxidase (APX) และ Superoxide dismutase (SOD) เป็นกระบวนการหนึ่งในการลดความเป็นพิษ หรือออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเอนไซม์ SOD จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปของ superoxide ไปเป็น $H_2O_2$ และเอนไซม์ APX จะทำการเปลี่ยนรูป $H_2O_2$ ไปเป็น $H_2O$ โดยสามารถประเมินการเกิดกระบวนการดังกล่าวโดยการหาค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเกิดการเสื่อมสภายของผนังเซลล์ต่าง ๆ ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนซึ่งชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน ยังมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidative enzyme) โดยเฉพาะเอนไซม์ SOD และ APX ลดลง ซึ่งแสดงในความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) ระหว่างค่า EC และ SOD และ APX ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองชนิดมีผลทำให้กลไกในการลดความเป็นพิษ หรือออกฤทธิ์ในการต้านการทำงานของสารกลุ่มอนุมูลอิสระภายในเมล็ดพันธุ์ลดลง ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ที่มีการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวต่ำ เกิดการเสื่อมสภายได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีการศึกษา พบว่า เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลานานส่งผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ SOD และ APX และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเป็นกลไกหนึ่งที่ทำให้เมล็ดพันธุ์ที่ทำกาเก็บรักษาเป็นเวลานานเกิดการเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงให้เห็นในความสัมพันธ์เชิงบวก (positive correlation) ระหว่าง APX, SOD และ Total antioxidant activity ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ (ตารางที่ 31)

**ตารางที่ 31:** ความสัมพันธ์ (Pearson correlation) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากปัจจัยของระยะเวลาการเก็บรักษา

| | LOX | Mal | MC | Oleic | Pamatic | Protein | SDW | SGR | SOD | Steric | Suc | TZ | AAT | Antiox | APX | AW | EC | Germ | GI | Glu | Lac | Linoleic | Linolenic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mal** | -0.356 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **MC** | 0.269 | ns | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Oleic** | ns | -0.462 | ns | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Pamatic** | ns | -0.694 | ns | 0.576 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Protein** | ns | -0.311 | ns | 0.25 | 0.401 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **SDW** | ns | ns | ns | 0.224 | ns | 0.466 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **SGR** | -0.244 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **SOD** | 1.000 | -0.356 | 0.269 | ns | ns | ns | ns | 0.244 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Steric** | 0.288 | -0.976 | ns | 0.565 | 0.742 | 0.319 | ns | ns | 0.288 | | | | | | | | | | | | | | |
| **Suc** | -0.356 | 1 | ns | -0.462 | -0.694 | -0.311 | ns | ns | -0.356 | -0.976 | | | | | | | | | | | | | |
| **TZ** | 0.422 | -0.517 | ns | 0.281 | 0.419 | 0.574 | ns | ns | 0.422 | 0.512 | -0.517 | | | | | | | | | | | | |
| **AAT** | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | | | | | | | | | | | |
| **Antiox** | 0.349 | -0.471 | ns | 0.276 | 0.341 | 0.564 | ns | -0.204 | 0.349 | 0.456 | -0.471 | 0.827 | ns | | | | | | | | | | |
| **APX** | 0.289 | -0.976 | ns | 0.565 | 0.743 | 0.319 | ns | ns | 0.289 | 1 | -0.976 | 0.513 | ns | 0.456 | | | | | | | | | |
| **Aw** | -0.2466 | ns | ns | 0.266 | 0.229 | 0.413 | 0.428 | ns | -0.246 | ns | ns | ns | ns | 0.258 | ns | | | | | | | | |
| **EC** | ns | 0.305 | ns | -0.309 | -0.293 | -0.633 | -0.494 | ns | ns | -0.311 | 0.306 | -0.594 | ns | -0.712 | -0.31 | 0.517 | | | | | | | |
| **Germ** | ns | -0.239 | ns | 0.35 | 0.267 | 0.213 | 0.548 | ns | ns | 0.269 | -0.239 | 0.544 | ns | 0.584 | 0.27 | 0.46 | -0.745 | | | | | | |
| **GI** | ns | ns | ns | 0.25 | ns | 0.467 | 0.68 | ns | ns | ns | ns | 0.421 | ns | 0.405 | ns | 0.409 | -0.544 | 0.512 | | | | | |
| **Glu** | -356 | 1 | ns | -0.462 | 0.694 | -0.311 | ns | ns | -0.356 | -0.976 | 1 | -0.517 | ns | -0.471 | -0.976 | ns | 0.305 | -0.239 | ns | | | | |
| **Lac** | -0.356 | 1 | ns | 0.462 | 0.694 | 0.311 | ns | ns | -0.356 | -0.976 | 1 | -0.517 | ns | 0.471 | -0.976 | ns | 0.305 | -0.239 | ns | 1 | | | |
| **Linoleic** | 0.289 | -0.976 | ns | 0.565 | 0.743 | 0.319 | ns | ns | 0.289 | 1 | 0.976 | 0.513 | ns | 0.456 | 1 | ns | -0.311 | 0.27 | ns | -0.96 | -0.976 | | |
| **Linolenic** | 0.373 | -0.737 | ns | 0.565 | 0.57 | 0.397 | ns | ns | 0.373 | 0.727 | -0.737 | 0.646 | ns | 0.654 | 0.727 | ns | -0.523 | 0.473 | 0.262 | 0.737 | -0.737 | 0.727 | |
| **Lipid** | 0.289 | -0.976 | ns | 0.565 | 0.743 | 0.319 | ns | ns | 0.899 | 1 | -0.976 | 0.513 | ns | 0.456 | 1 | ns | -0.31 | 0.27 | ns | -0.976 | -0.976 | 1 | 0.727 |

2.7.4.2 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ทั้งคุณภาพทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์เชิงบวก (Positive correlation) กับกิจกกรมของน้ำภายในเมล็ด และค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งส่งผลให้เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเกิดกระบวนการเสื่อมสภาพเหมือนกับอิทธิพลเนื่องจากระยะเวลาในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์

โดยเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของเมล็ดพันธุ์ซึ่งเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึงการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ภายในเมล็ดพันธุ์เพิ่มสูงขึ้น โดยค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงบวก (positive correlation) กับการเพิ่มขึ้นของค่ากิจกรรมของน้ำภายในเมล็ด และปริมาณน้ำตาลภายในเมล็ดพันธุ์ ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษามากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ซึ่งชักนำให้น้ำ หรือความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์สามารถทำปฏิกิริยาต่าง ๆ กับองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดพันธุ์ได้ ซึ่งเมื่อเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดกระบวนการหายใจ (Respiration) ของเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำตาลชนิดต่าง ๆ นั้นอาจเป็นผลเนื่องจากการเกิดกระบวนการ Hydrolysis ขององค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ที่มีการสะสมภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลทำให้องค์ประกอบของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมันทั้งหมด และองค์ประกอบ และปริมาณของกรดไขมันอิสระชนิดต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากเมื่อเกิดการเสื่อมสภายของผนังเซลล์ต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้เกิดกระบวนการ Hydrolysis และ Oxidation ที่บริเวณที่มีการสะสมไขมัน และกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลทำให้เกิดการเสื่อมสภายของไขมัน และกรดไขมันที่มีการสะสม อีกทั้งเมื่อเกิดการเสื่อมสภายของไขมันและกรดไขมันผ่านกระบวนการ Lipid hydrolysis และ Lipid oxidation นั้นมีผลต่อการสร้าง และสะสมของสารในกลุ่มอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species) เช่น superoxide หรือ $H_2O_2$ ภายในเซลล์ต่าง ๆ ของเมล็ดพันธุ์ ซึ่งสารในกลุ่มอนุมูลอิสระดังกล่าวมีความสามารถในการเกิด Oxidation ได้สูง (Oxidizing agent) ซึ่งชักนำให้เกิดการเสื่อมสภาพ – สูญเสียการทำงานของเซลล์ ส่งผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ต่อมา ซึ่งแสดงดังค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) กับคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนทั้งความงอก และความมีชีวิต และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ดังที่ได้นำเสนอผลข้างต้น

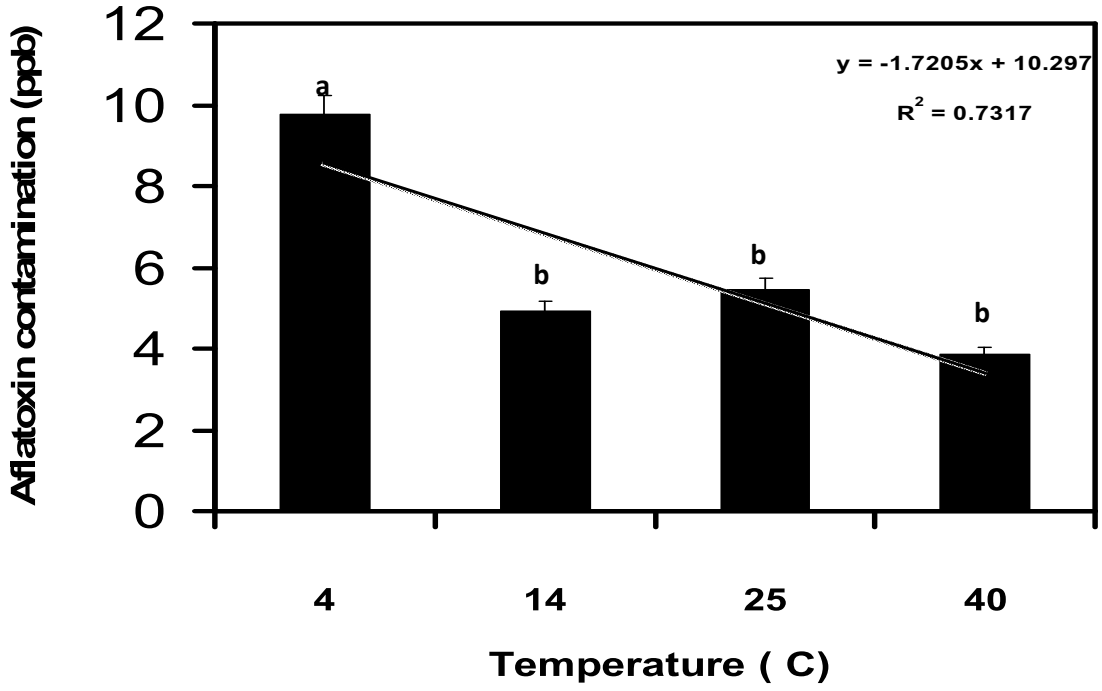
แต่ทั้งนี้ในสภาพธรรมชาติภายในเซลล์ หรือเมล็ดพันธุ์พืชจะมีกระบวนการในการต้านสารอนุมูลอิสระ (Antioxidant process) ซึ่งกระบวนการต้านอนุมูลอิสระผ่านการทำงานของเอนไซม์ Ascorbate peroxidase (APX) และ Superoxide dismutase (SOD) เป็นกระบวนการหนึ่งในการลดความเป็นพิษ หรืออออกฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยเอนไซม์ SOD จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปของ superoxide ไปเป็น $H_2O_2$ และเอนไซม์ APX จะทำการเปลี่ยนรูป $H_2O_2$ ไปเป็น $H_2O$ โดยสามารถประเมินการเกิดกระบวนการดังกล่าวโดยการหาค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรวม ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากอิทธิพลของระยะเวลาในการเก็บรักษา พบว่า ภายหลังการเกิดการเสื่อมสภายของผนังเซลล์ต่าง ๆ ของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนซึ่งชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน ยังมีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidative enzyme) โดยเฉพาะเอนไซม์ SOD และ APX ลดลง ซึ่งแสดงในความสัมพันธ์เชิงลบ (negative correlation) ระหว่างค่า EC และ SOD และ APX ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของการทำงานของเอนไซม์ทั้งสองชนิดมีผลทำให้กลไกในการลดความเป็นพิษ หรือออกฤทธิ์ในการต้านการทำงานของสารกลุ่มอนุมูลอิสระภายในเมล็ดพันธุ์ลดลง ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ที่มีการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวต่ำ เกิดการเสื่อมสภายได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีการศึกษา พบว่า เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลานานส่งผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ SOD และ APX และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเป็นกลไกหนึ่งที่ทำให้เมล็ดพันธุ์ที่ทำกาเก็บรักษาเป็นเวลานานเกิดการเสื่อมสภาพได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงให้เห็นในความสัมพันธ์เชิงบวก (positive correlation) ระหว่าง APX, SOD และ Total antioxidant activity ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์ (ตารางที่ 32)

**ตารางที่ 32:** ความสัมพันธ์ (Pearson correlation) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเนื่องจากปัจจัยของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษา

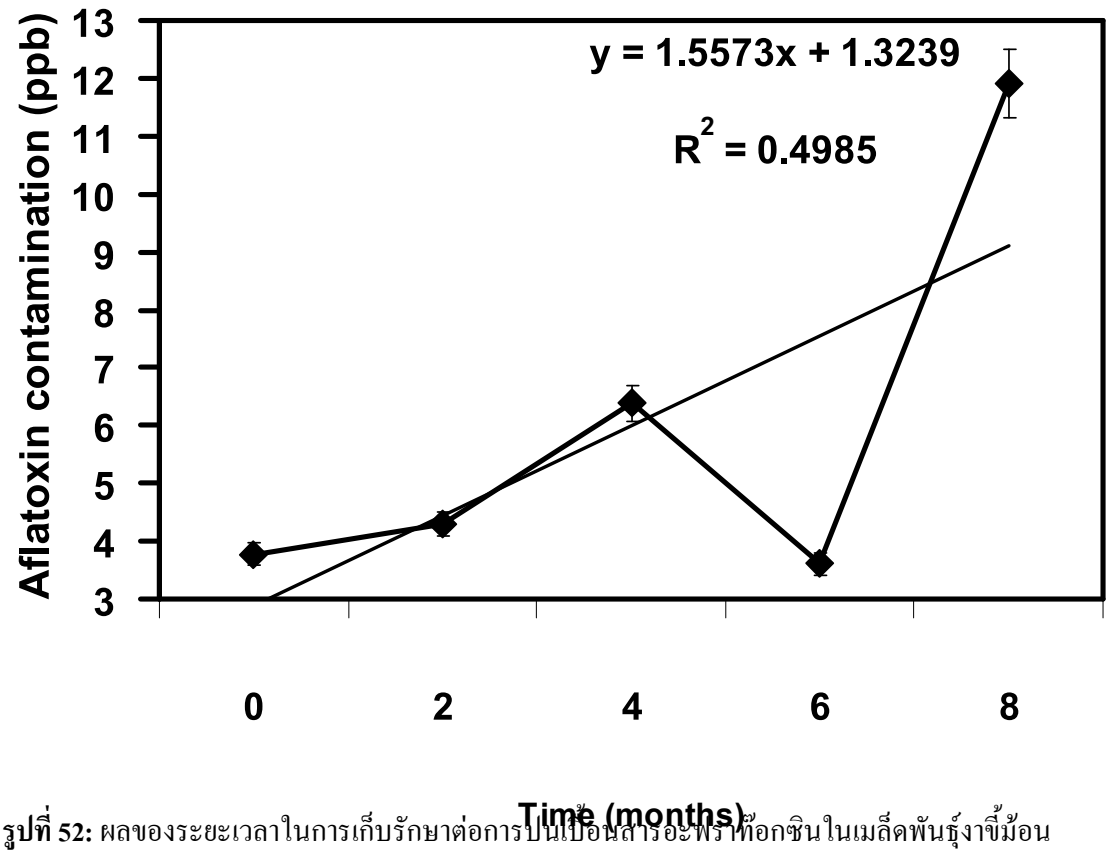
| | LOX | Mal | MC | Oleic | Pamatic | Protein | SDW | SGR | SOD | Steric | Suc | TZ | AAT | Antiox | APX | AW | EC | Germ | GI | Glu | Lac | Linoleic | Linolenic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mal** | -0.297 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **MC** | ns | ns | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Oleic** | ns | -0.452 | ns | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Pamatic** | ns | -0.761 | ns | 0.694 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Protein** | ns | -0.3071 | ns | 0.222 | 0.391 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **SDW** | NS | ns | ns | ns | ns | 0.37 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **SGR** | -0.220 | ns | ns | ns | ns | ns | ns | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **SOD** | 1.000 | -0.297 | ns | ns | 0.073 | ns | ns | -0.22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Steric** | 0.243 | -0.939 | ns | 0.653 | 0.858 | 0.319 | ns | ns | 0.243 | | | | | | | | | | | | | | |
| **Suc** | -0.300 | 1 | ns | -0.453 | -0.761 | -0.07 | ns | ns | -0.297 | -0.939 | | | | | | | | | | | | | |
| **TZ** | 0.413 | -0.516 | ns | 0.265 | 0.463 | 0.568 | ns | ns | 0.412 | 0.525 | -0.516 | | | | | | | | | | | | |
| **AAT** | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | ns | | | | | | | | | | | |
| **Antiox** | 0.2958 | -0.456 | ns | 0.23 | 0.381 | 0.619 | 0.201 | ns | 0.295 | 0.439 | -0.456 | 0.769 | ns | | | | | | | | | | |
| **APX** | 0.243 | -0.939 | ns | 0.653 | 0.858 | 0.318 | ns | ns | 0.243 | 1 | -0.939 | 0.526 | ns | 0.439 | | | | | | | | | |
| **AW** | -0.265 | ns | 0.24 | 0.271 | 0.282 | 0.338 | 0.444 | ns | -0.264 | ns | ns | ns | ns | 0.309 | ns | | | | | | | | |
| **EC** | ns | 0.329 | 0.209 | -0.236 | -0.336 | -0.581 | -0.439 | ns | ns | -0.325 | 0.329 | -0.576 | -0.268 | -0.709 | -0.325 | 0.526 | | | | | | | |
| **Germ** | ns | -0.261 | ns | 0.301 | 0.338 | 0 | 0.446 | ns | ns | 0.321 | -0.26 | 0.517 | 0.267 | 0.58 | 0.322 | 0.517 | -0.764 | | | | | | |
| **GI** | ns | ns | ns | ns | ns | 0.452 | 0.688 | ns | ns | ns | ns | 0.211 | ns | 0.237 | ns | 0.364 | -0.323 | 0.222 | | | | | |
| **Glu** | -0.297 | 1 | ns | -0.453 | -0.761 | 0.334 | ns | ns | -0.297 | -0.939 | 1 | -0.516 | ns | -0.456 | -0.939 | ns | 0.329 | -0.261 | ns | | | | |
| **Lac** | -0.297 | 1 | ns | -0.453 | -0.761 | -0.307 | ns | ns | -0.297 | -0.939 | 1 | -0.516 | ns | -0.456 | -0.939 | ns | 0.329 | -0.261 | ns | 1 | | | |
| **Linoleic** | 0.243 | -0.939 | ns | 0.653 | 0.858 | 0.8579 | ns | ns | 0.243 | 1 | -0.939 | 0.526 | ns | 0.439 | 1 | ns | -0.325 | 0.322 | ns | -0.939 | -939 | | |
| **Linolenic** | 0.327 | -0.691 | ns | 0.428 | 0.565 | 0.565 | ns | ns | 0.327 | 0.668 | 0.69 | 0.639 | ns | 0.623 | 0.668 | ns | -0.575 | 0.477 | ns | -0.691 | -691 | 0.668 | |
| **Lipid** | 0.243 | 0.939 | ns | 0.654 | 0.858 | 0.858 | ns | ns | 0.243 | 1 | -0.939 | 0.526 | ns | 0.439 | 1 | ns | -0.325 | 0.322 | ns | -0.939 | -939 | 1 | 0.668 |

**2.7.5 ผลของการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนภายใต้ระดับอุณหภูมิการเก็บรักษาต่าง ๆ ต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน**

จากการศึกษาระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินในเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า การปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินภายในเมล็ดงาขี้ม้อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยเมื่อทำการเก็บรักษาเมล็ดงาขี้ม้อนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบสารอะฟลาท๊อกซินปนเปื้อนในเมล็ดงาขี้ม้อนสูงสุด ขณะที่เมื่อมีการเพิ่มระดับอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาสูงขึ้นจะมีแนวโน้มการปนเปื้อนของสารอะฟราท๊อกซินในเมล็ดงาขี้ม้อนลดลง (รูปที่ 14) เมื่อพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บรักษาต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินในเมล็ดงาขี้ม้อน พบว่า การปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 15)

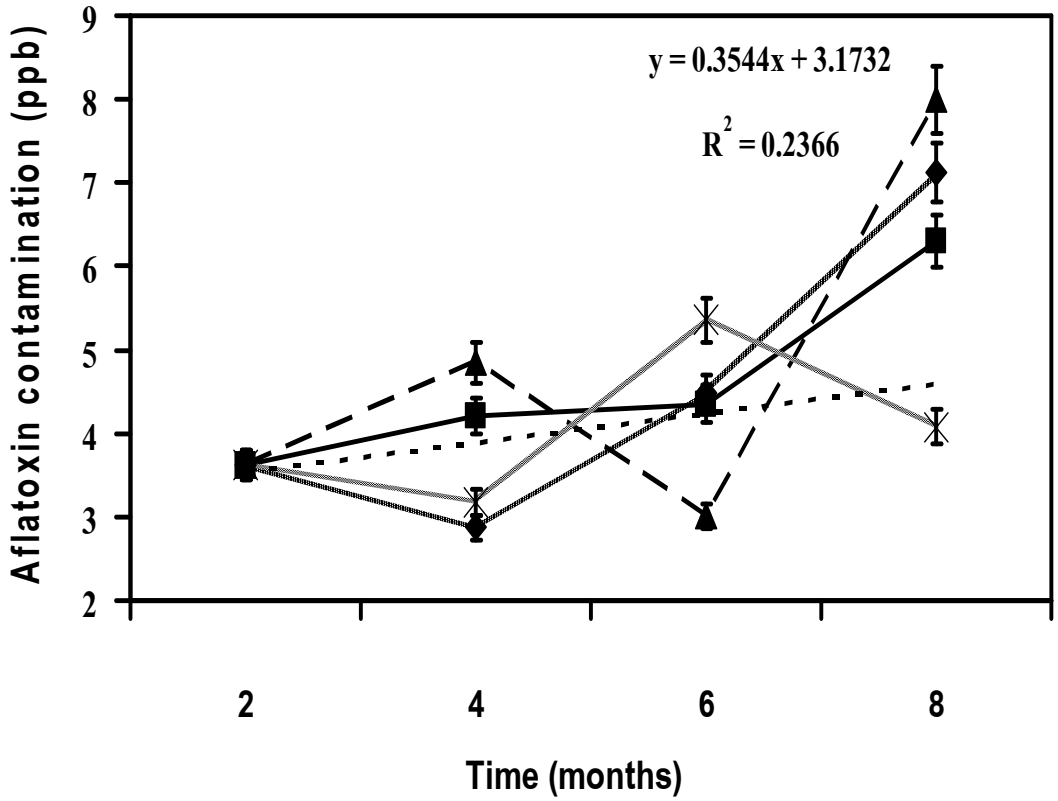



**รูปที่ 51:** อิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษาต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน




**รูปที่ 52:** ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการปนเปื้อนสารอะฟราท๊อกซินในเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน

จากรูปที่ 11 แสดงถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษาต่อการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินในเมล็ดงาขี้ม้อน โดยพบว่าการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีการปนเปื้อนสารอะฟลาท๊อกซินสูงสุด ในขณะที่เมื่อทำการเก็บรักษาที่ระดับอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า มีการปนเปื้อนสารอะฟราท๊อกซินต่ำสุดเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 เดือน




**รูปที่ 53:** การปนเปื้อนสารอะฟราท๊อกซินในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน : 4 องศาเซลเซียส, 14 องศาเซลเซียส, 25 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส

**2.8 สรุปผลการดำเนินการวิจัย**

จากการศึกษาอิทธิพลของผลของสภาพการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของเมล็ด/เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อเพื่อนศึกษาสภาพในการเก็บรักษาต่อการเสื่อมคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน เพื่อคงไว้ซึ่งวัตถุดิบที่มีคุณภาพ มีความสะอาด และปลอดภัยจากสารพิษตกค้าง ตอบสนองต่อความต้องการของตลาด และเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับรองรับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์งาขี้ม้อนต่อไปในอนาคตสามารถสรุปผลการดำเนินการดังนี้

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนทั้งทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วหากทำการเก็บรักษาในระดับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม นอกจากนั้นจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมล็ดงาขี้ม้อนซึ่งมีไขมัน และกรดไขมันเป็นองค์ประกอบเคมีที่สำคัญภายในเมล็ด เมื่อทำการเก็บรักษาไว้ในระดับอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ไขมัน และกรดไขมัน

อิสระง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพทั้งทางกายภาพ และทางองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของเมล็ดพันธุ์อย่างรวดเร็ว

นอกจากนั้น จากผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพทั้งทางการยภาพ และองค์ประกอบทางเคมีได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถทำการเก็บรักษาเพื่อคงคุณภาพทั้งทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีไว้ได้เพียง 6 เดือน

อีกทั้งปัญหาที่สำคัญที่พบระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อน คือ ปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาท๊อกซิน (Aflatoxin) ซึ่งเป็นสารพิษที่สร้างโดยเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* sp. ซึ่งเป็นกลุ่มเชื้อราที่สำคัญระหว่างการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะในกลุ่มเมล็ดธัญพืช โดยสารพิษอะฟลาท๊อกซินเป็นสารปนเปื้อนที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยจากการศึกาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาท๊อกซินดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา หากทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม

ทั้งนี้จากการศึกษาหากต้องการเก็บรักษาเมล็ดงาขี้ม้อนให้คงคุณภาพทั้งทางกายภาพ และรักษาองค์ประกอบทางเคมี ควรทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนไว้ในสภาวะการเก็บรักษาที่มีการควบคุมอุณหภูมิต่ำ คือ ประมาณ 5 - <25 องศาเซลเซียส

**2.9 ข้อเสนอแนะของโครงการ**

จากาการศึกษาครั้งนี้ควรมีการนำผลที่ได้ไปใช้เพื่อการส่งเสริมให้แก่กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกงาขี้ม้อน หรือกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้ผลผลิตงาขี้ม้อน เพื่อให้ทราบถึงอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ หรือการใช้ประโยชน์จากเมล็ดงาขี้ม้อนในแง่ของประโยชน์ทางด้านองค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดงาขี้ม้อน โดยเฉพาะเกษตรกรที่ต้องการเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้เพื่อใช้ในการทำพันธุ์ต่อไป เนื่องจาก เมล็ดพันธุ์งาขี้ม้อนมีการเสื่อมสภาพที่รวดเร็ว ซึ่งหากเกษตรกรทำการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ในสภาพการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เกิดการเสื่อมสภาพ ความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกษตรกรต้องใช้เมล็ดพันธุ์ในเพาะปลูกในอัตรามากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการเพาะปลูกงาขี้ม้อน

จากการศึกษาพบปัญหาการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาท๊อกซินเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่งสารอะฟลาท๊อกซินดังกล่าวเป็นสารที่มีผลกระทบโดยตรงต่อผู้บริโภค ชักนำให้เกิดเนื้อเยื่อมะเร็งที่สำคัญ ดังนั้น หากมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการที่ควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อราระหว่างการเก็บรักษาและการกำจัดการปนเปื้อนของสารอะฟลาท๊อกซินในผลผลิตเมล็ดงาขี้ม้อน อีกทั้งรวมถึงการถ่ายทอดองค์ความรู้ดังกล่าวแก่เกษตรกร ผู้บริโภค และกลุ่มอุตสาหกรรมอย่างเป็นระบบมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อ

เป็นการสร้างผลผลิต หรือผลิตภัณฑ์การแปลรูปจากงาขี้ม้อนที่ปลอดภัย ปราศจากสารพิษตกค้าง เพื่อเป็นการสร้างอาหารที่สะอาด และปลอดภัย และเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่พืชพื้นเมืองอย่างยั่งยืน

ดังนั้น จากผลการวิจัยครั้งนี้หากสามารถนำผลที่ได้ไปใช้เพื่อการส่งเสริมในด้านการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตร ซึ่งเป็นพืชพื้นบ้านของเกษตรกรภาคเหนือตอนบนของประเทศ โดยจากการศึกษาคุณสมบัติของงาขี้ม้อน พบว่า เป็นพืชที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับพืชท้องถิ่นชนิดนี้ โดยการพัฒนาเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทั้งการบริโภคโดยตรง และสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เข้มข้นเพื่อใช้ประโยชน์ด้านสารเสริมสุขภาพ และป้องกันโรคได้ เนื่องจาก คุณสมบัติของงาขี้ม้อนมีสารที่สามารถช่วยในการพัฒนาสู่อุตสาหกรรมสารเสริมสุขภาพ ยา และผลิตภัณฑ์เสริมความงามต่าง ๆ ดังผลการวิจัยที่ได้เสนอไปแล้วข้างต้น

เนื่องด้วย สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้กำหนดวิทัศน์ประเทศสู่ปี 2570 โดยเตรียมการเพื่อวางแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555 - 2559) ได้มองหาพลังขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจใหม่ที่เน้นการพัฒนาด้วยการเจริญเติบโตแบบสมดุลและยั่งยืนบนพื้นฐานของความได้เปรียบที่แท้จริงของประเทศ โดยการมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มคุณค่า/สร้างมูลค่าให้กับสินค้าที่ไทยมีความสามารถในการแข่งขันอยู่แล้ว รวมถึงการมุ่งเน้นส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันในกลุ่มสินค้าที่ไทยมีศักยภาพ/มีความสามารถหลัก (Core Competency) และสร้างสรรค์มูลค่าให้เป็นปัจจัยขับเคลื่อนใหม่ ซึ่งนำไปสู่จุดเปลี่ยนโครงสร้างสินค้าและบริการที่สำคัญของไทยในอนาคต เป็นการยกระดับสู่เศรษฐกิจยุคใหม่ด้วยการนำความคิดเรื่อง “เศรษฐกิจสร้างสรรค์ (Creative Economy)” มาเป็นแนวทางในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนเป็นอย่างมาก หากสามารถพัฒนาต่อยอดจนนำไปสู่การผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ เนื่องจากด้วยตัวของผลิตภัณฑ์จากงาขี้ม้อนสามารถที่จะพัฒนาไปสู่การเป็นเศรษฐกิจสร้างสรรค์ได้ โดยสามารถเชื่อมโยงได้ทั้งภาคการศึกษา การพัฒนาระบบการเกษตร อุตสาหกรรม บริการ และการตลาด ซึ่งจะส่งผลต่อการกระจายรายได้ และความยั่งยืนในระยะยาว นั่นคือการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สมดุลและยั่งยืนอย่างแท้จริงต่อไป

ดังนั้น จากข้อมูลพื้นฐานดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวิจัย และพัฒนาการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เช่น การวิจัย และพัฒนาสารสกัดจากผลผติดทางการเกษตรเพื่อเป็นสารเสริมสุขภาพ และความงาม การวิจัย และพัฒนาผลิตภัณฑ์เข้มข้นเพื่อใช้ประโยชน์ด้านสารเสริมสุขภาพ ผลิตภัณฑ์เสริมความงาม และป้องกันโรค ต่อไปในอนาคต