ผลของอุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพเมล็ดถั่วมะแฮะระหว่างการเก็บรักษา

Effects of Temperature and Packaging on Quality of Pigeon Pea Seeds (*Cajanus cajan* L.) During Storage

มยุรา ล้านไชย*, เรวัตร จินดาเจี่ย, พิมพ์พิสุทธิ์ ซื่อตรง, สะใบทอง ภูมิคอนสาร, จิตตา สาตร์เพ็ชร์ และ โสภิดา ศรีวิลัยวรรณ

ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เทคโนธานี

Mayura Lanchai*, Rewat Chindachia, Pimpisut Suetrong, Sabaitong Phumkonsan, Chitta Sarpetch and Sopida Sriwilaiwan

Expert Center of Innovative Agriculture, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Technopolis,

Received: January 10, 2024 ; Revisions: February 29, 2024 ; Accepted: March 5, 2024

บทคัดย่อ

ถั่วมะแฮะ (*Cajanus cajan* L.) เป็นถั่วพื้นเมืองที่มีโปรตีนสูง นิยมนำมาปรุงเป็นอาหารพื้นเมืองของจังหวัดตาก การพัฒนาวิธีการเก็บรักษาเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์และเพื่อเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปอาหารให้สามารถคงคุณภาพของเมล็ดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาด้วยวิธีการที่เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เอ งจะช่วยเพิ่มมูลค่าของผลผลิต การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดถั่วมะแฮะในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 และ 30 ° ซ ร่วมกับการบรรจุในบรรจุภัณฑ์ทางการค้าต่างๆ ได้แก่ ถุงชนิด PE (ถุงร้อน), ถุงชนิด PEA (ถุงหายใจได้) และถุงชนิด PA/PE (ถุงสุญญากาศ) โดยบันทึกผลการงอกของ เมล็ด, ความชื้นเมล็ด, น้ำหนักเมล็ด, ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรจุภัณฑ์, การเข้าทำลายของแมลง, การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ด (L* C* h°) และปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วมะแฮะ โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ° ซ สามารถคงค่าคุณภาพได้ดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ° ซ ในทุกชนิดของบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในถุงชนิด PA/PE เมล็ดที่ผ่านการเก็บรักษาตลอดระยะเวลา 12 เดือน มีอัตราการงอกของเมล็ดสูง และพบการเข้าทำลายของแมลงศัตรูต่ำ ทั้งนี้เกษตรกรสามารถนำวิธีการเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะไปปรับใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาในระดับครัวเรือนได้

คำสำคัญ: การเก็บรักษา; ถั่วมะแฮะ; อุณหภูมิ**;** บรรจุภัณฑ์

**Corresponding author: mayura_l@tistr.or.th*

Abstract

Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) is a native legume crop with high protein content. It is the main ingredient in a traditional dish in Tak province. A method to maintain the quality of pigeon pea seeds during long-term storage for seed saving and food processing as raw materials were developed. Pigeon pea seeds were stored at 13 and 30 °C using different packaging types including PE (polyethylene) bags, PEA (polyethylene base active) bags and PA/PE (vacuum; polyamide & polyethylene) bags. Seed quality is determined by several factors like seed germination, seed moisture content, seed weight, O_2 and CO_2 in packaging, insect infestation, seed color (L* C* h°) and seed protein content. Results showed that storing at 13 °C can maintain better quality than storing at 30 °C in all types of packaging, especially storing in PA/PE bags during 12 months of storage, the seed germination rate was high and low insect infestation. This method can be adopted by farmers to extend the shelf life of their pigeon pea seeds.

Keywords: Storage; Pigeon pea; Temperature; Packaging

1. บทนำ

ถั่วมะแฮะ (*Cajanus cajan* L.) เป็นพืชตระกูลถั่วที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ปัจจุบันพบว่านิยมปลูกมากในประเทศอินเดียและเป็นแหล่งผลิตถั่วมะแฮะที่ใหญ่ที่สุด โดยประชากรในประเทศอินเดียใช้ประโยชน์พืชนี้เป็นอาหารเสริมแทนเนื้อสัตว์ ซึ่งเป็นแหล่งธาตุอาหารโปรตีนที่สำคัญสำหรับประชาชนที่บริโภคอาหารมังสวิรัติ ทั้งนี้ถั่วมะแฮะมีปริมาณโปรตีนในเมล็ดสูงถึง 18 - 28 เปอร์เซ็นต์ (Locali-Pereira et al., 2023) และมีกรดอะมิโนต่างๆ ที่จำเป็นต่อร่างกายอีกหลายชนิด เช่นเดียวกับอาหารในกลุ่มธัญพืชต่างๆ (กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน, ม.ป.ป.)

ปัจจุบันพบว่ามีการนำถั่วมะแฮะมาใช้ในการปรับปรุงดิน เนื่องจากถั่วมะแฮะเป็นไม้พุ่มที่มีอายุ 2 -3 ปี ที่มีการเจริญเติบโตได้ดีบนที่ดอน จึงนิยมนำมาปลูกเป็นแนวขวางความลาดเทของพื้นที่ เพื่อช่วยลด การพังทลายของหน้าดินและเพิ่มการดูดซับน้ำ รวมถึงการนำมาเป็นวัสดุคลุมดินและบำรุงดิน หลังการตัดแต่งกิ่ง ต้นถั่วมะแฮะจะออกดอกและติดเมล็ด ซึ่งเกษตรกรสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตไปบริโภคในครัวเรือน หรือจำหน่ายเป็นรายได้เสริมได้ (พิทักษ์ และสวัสดี, 2533) การเก็บรักษาเมล็ดเพื่อนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ในเมล็ดพืชตระกูลถั่วมักประสบปัญหาการเข้าทำลายของแมลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยส่วนใหญ่เป็นแมลงศัตรูในตระกูลด้วงถั่ว (*Callosobruchus maculatus* F.) ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิต อีกทั้งในระหว่างการเก็บรักษา เมล็ดจะมีการเสื่อมสภาพอยู่ตลอดเวลา หากเมล็ดมีการเสื่อมสภาพมากขึ้นองค์ประกอบภายในเมล็ดจะส่งผลให้ไม่สามารถงอกเป็นต้นอ่อนได้ Abdule Baki and Anderson (1970) รายงานว่า ความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์พืชมีความเกี่ยวข้องกับระยะเวลา อุณหภูมิและความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสูญเสียความมีชีวิตของเมล็ด (Abdalla and Robert, 1969) การเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์เกิดขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และมีเปอร์เซ็นต์ความงอก

ลดลงเมื่อเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 6 – 9 เดือน (Vertucci and Roos, 1990)

คุณภาพของเมล็ดไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้จากการเก็บรักษาในสภาวะที่เหมาะสม แต่ส่งผลให้สามารถคงคุณภาพเมล็ดได้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยสภาพแวดล้อมในการเก็บรักษาประกอบด้วยหลายปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ หรือสภาพแสงซึ่งส่งผลต่อการงอกของเมล็ด เป็นต้น (Kibar and Yücesan, 2021) ทั้งนี้อุณหภูมิในการเก็บรักษาส่งผลต่อคุณภาพทางโภชนาการของของเมล็ดพืชโดยตรง โดยเฉพาะพืชตระกูลถั่ว เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อปฏิกิริยาเคมีภายในภายในเมล็ด หากเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดการสลายของสารสำคัญต่างๆ

การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ในปัจจุบันพบว่า มีความนิยมใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกในการเก็บรักษา จากคุณสมบัติที่สำคัญในการป้องกันความชื้นและการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Emblem, 2012) เนื่องจากความชื้นของเมล็ดพันธุ์ในบรรจุภัณฑ์ขึ้นอยู่กับอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของบรรจุภัณฑ์นั้นๆ ทำให้เมล็ดมีความชื้นเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก (Walters, 2007) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิร่วมกับบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพการเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะ

2. วิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

ทดลองเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะ โดยใช้เมล็ดจากแปลงของเกษตรกร ซึ่งปลูกในพื้นที่จังหวัดตาก โดยเก็บเกี่ยวเมล็ดในระหว่างเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ 2565 จากนั้นนำมาคัดเลือก กำจัดสิ่งเจือปนเมล็ด และลดความชื้นเมล็ดให้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

2.2 อุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์

ทำการเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะที่อุณหภูมิ และบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน อุณหภูมิ 2 ระดับ ได้แก่ (1) 13 °ซ และ (2) 30 °ซ บรรจุภัณฑ์ชนิดถุงพลาสติกทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ (1) ถุงชนิด PE (polyethylene; ถุงร้อน), (2) ถุงชนิด PEA (polyethylene base active; ถุงหายใจได้) และ (3) ถุงชนิด PA/PE (polyamide & polyethylene; ถุงสุญญากาศ) ทั้งนี้ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ก่อนนำมาใช้งาน (Table 1) จากนั้นทำการบรรจุเมล็ดถั่วมะแฮะปริมาณถุงละ 300 กรัม จำนวน 3 ซ้ำต่อทรีตเมนต์ต่อรอบการสุ่มตัวอย่างเพื่อบันทึกผลการทดลองทุก 2 เดือน เป็นระยะเวลา 12 เดือน

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพของเมล็ดถั่วมะแฮะ

2.3.1 น้ำหนักเมล็ด โดยทำการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของถั่วมะแฮะก่อนและหลังการเก็บรักษา ทุกๆ 2 เดือน จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่ได้มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก} = \frac{\left(\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนัก ณ วันที่ทำการบันทึกผล}\right)}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

Table 1. Results of testing of various types of packaging properties.

Packaging types	Water vapor permeability rate ($g/m^2/day$)	Oxygen permeability rate ($m^3/ m^2 /day$)	Thickness (μm)
PE; Polyethylene	8.18	2,684	34.5
PEA; Polyethylene base active;	2.53	14,444	23.7
PA/PE ; polyamide & polyethylene	3.80	43.90	90.8

Remarks: Analyzed by the Thai Packaging Center, Thailand Institute of Science and Technological Research

2.3.2 ความชื้นเมล็ด ทำการสุ่มเมล็ดถั่วมะแฮะตัวอย่างละ 200 กรัม นำมาวัดความชื้นเมล็ด ด้วยเครื่องวัดความชื้นเมล็ด (seed moisture content) รายงานผลโดยอัตโนมัติ แสดงในค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นภายในเมล็ด

2.3.3 ปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ปริมาณก๊าซ Headspace gas analyzer OXYBABY (WITTGAS, Germany) ในการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งรายงานผลอัตโนมัติในหน่วยเปอร์เซ็นต์

2.3.4 การเข้าทำลายของแมลง โดยการให้คะแนนจากการสังเกต ดังนี้

1 คะแนน = ไม่พบการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดถั่วมะแฮะ

2 คะแนน = พบการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดถั่วมะแฮะ ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

3 คะแนน = พบการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดถั่วมะแฮะ ไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์

4 คะแนน = พบการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดถั่วมะแฮะ ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์

5 คะแนน = พบการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดถั่วมะแฮะ เกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

2.3.5 สีเมล็ด ทำการวัดสีผิวของเมล็ดถั่วมะแฮะด้วยเครื่องวัดสี chroma meter CR-400 (Konita Minolta, Japan) โดยรายงานผลในค่าปริภูมิสี L* c* h° ดังนี้

2.3.5.1 ค่า L* (Lightness) คือค่าแสดงถึงความสว่าง โดยมีค่าในช่วง 0 ถึง 100

2.3.5.2 ค่า C* (Chroma) คือค่าแสดงถึงความเข้มของสี

2.3.5.3 ค่า h° (Hue angle) คือค่าแสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น โดยมีค่าในช่วง 0 - 360

2.3.6 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีมาตรฐาน AOAC (2019) 981.10.

2.3.7 ร้อยละการงอกของเมล็ด ทำการเพาะเมล็ดถั่วมะแฮะ จากการสุ่มตัวอย่างๆละ 3 ซ้ำ ด้วยวิธีการตรวจสอบความงอกของเมล็ดโดยกระดาษ แบบ BP (between paper) (ดัดแปลงตามวิธีการของ ISTA 2022) โดยวางเมล็ดถั่วมะแฮะ 100 เมล็ดระหว่างกระดาษเพาะขนาด 25 x 28 เซนติเมตร ก่อนนำไปเพาะในกล่องพลาสติกที่คลุมด้วยถุงพลาสติกเพื่อรักษาความชื้น จากนั้นทำการเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ก่อนบันทึกผล

2.4 แผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

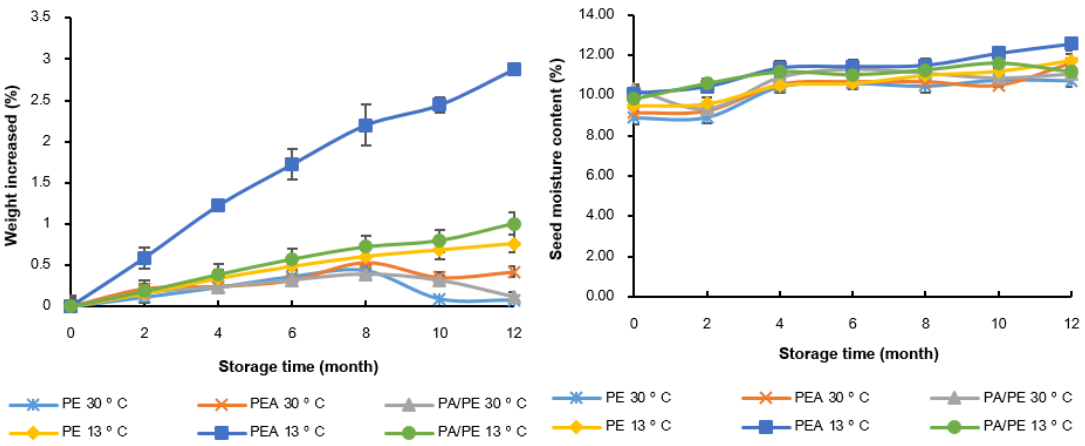
การวิจัยนี้ได้ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบ 2 x 3 factorial in Completely Randomized Design (CRD) ซึ่งปัจจัยในการศึกษาประกอบด้วย 1) อุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ ได้แก่ (1) 13 ° ซ และ (2) 30 ° ซ และ 2) ชนิดของบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ (1) ถุงชนิด PE (ถุงร้อน), (2) ถุงชนิด PEA (ถุงหายใจได้) และ (3) ถุงชนิด PA/PE (ถุงสุญญากาศ) จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากสิ่งทดลองต่างๆ ด้วยวิธี Duncan' s multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะตลอดระยะเวลา 12 เดือน พบการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพเมล็ดที่เก็บรักษาในระดับอุณหภูมิ และชนิดบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

น้ำหนักเมล็ด พบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเมล็ดโดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกปัจจัยการทดลอง และมีความสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของความชื้นเมล็ด จากความชื้นเมล็ดเริ่มต้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยพบการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเมล็ด และความชื้นเมล็ดในกลุ่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 °ซ (Figure 1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดที่บรรจุในถุงชนิด PEA ที่เก็บรักษาทั้ง 2 ระดับอุณหภูมิมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักและความชื้นเมล็ดมากกว่าบรรจุในถุงชนิดอื่น ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ชนิด PEA ที่มีอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนสูง จึงส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก และความชื้นเมล็ดมากตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สภาวะการเก็บรักษา (ความชื้นสัมพัทธ์ 75.1- 89.8 เปอร์เซ็นต์ที่อุณหภูมิ 13±2 °ซ และมีความชื้นสัมพัทธ์ 48.7 - 76.6 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30±2 °ซ) การที่มีความชื้นในอากาศมาก แสดงถึงอากาศมีความหนาแน่นของไอน้ำมาก ส่งผลให้เมล็ดที่มีความชื้นเมล็ดน้อยกว่าดูดไอน้ำจากอากาศเข้าไปในเมล็ดเพื่อให้คงสภาพความสมดุลกับสภาพแวดล้อมภายนอก (Teter, 1981) เมล็ดจึงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา

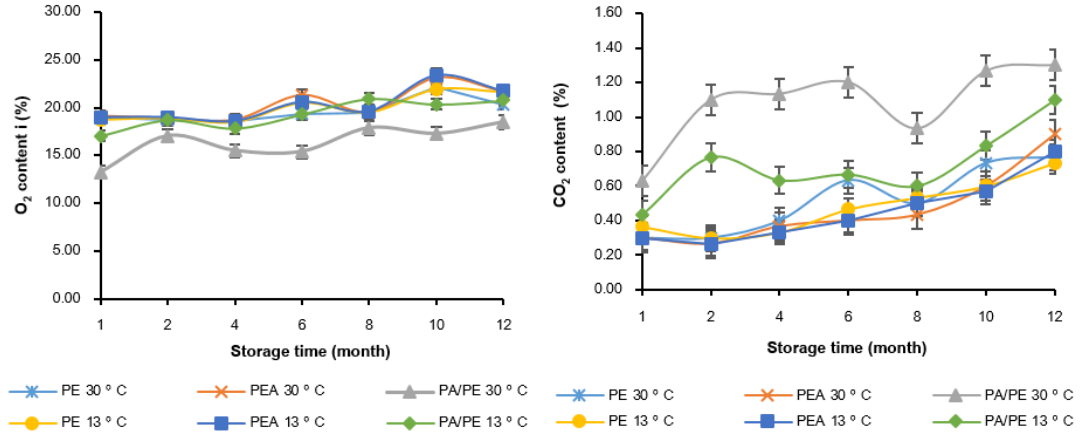
ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของความชื้นเมล็ดยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการเก็บรักษาเมล็ด โดยไม่เกินกว่า 13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความชื้นของเมล็ดในระหว่างการเก็บรักษา นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ด โดย จวงจันทร์ (2529) กล่าวว่า ความชื้นของเมล็ดส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เนื่องจากเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีต่างๆ ภายในเมล็ด ส่งผลถึงอายุการเก็บรักษา และหากได้รับความชื้นมากเกินจุดปลอดภัยเมล็ดจะเสื่อมคุณภาพได้ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุให้เกิดเชื้อราต่างๆ ที่สร้างความเสียหายให้กับเมล็ด ดังเช่นรายงานการศึกษาของ Al-Yahya (1999) ซึ่งพบการเข้าทำลายของเชื้อราในเก็บรักษาข้าวสาลีที่อุณหภูมิ 40 ° ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 24 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ° ซ ความชื้นสัมพัทธ์ 15 เปอร์เซ็นต์อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิต่ำส่งผลดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงแต่ต้องคำนึงถึงปัจจัยของความชื้นสัมพัทธ์ด้วย



(A) (B)

Figure 1. Weight increased (A) and seed moisture content (B) of pigeon pea seeds during stored in different packaging and storage temperatures within 12 months.

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซในบรรจุภัณฑ์ก่อนทำการเปิดถุงเพื่อบันทึกข้อมูลคุณภาพอื่นๆ พบแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นในทุกระดับอุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์ (Figure 2) ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซ O_2 และก๊าซ CO_2 มากที่สุดในถุงบรรจุเมล็ดถั่วมะแฮะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ° ซ ด้วยบรรจุภัณฑ์ชนิดถุง PA/PE จากคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซ O_2 ได้น้อยกว่าบรรจุภัณฑ์อื่นๆ และส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณก๊าซ CO_2 ในบรรจุภัณฑ์



(A) (B)

Figure 2. Oxygen content (A) and Carbon dioxide content (B) in pigeon pea seeds packaging during storage in different temperatures.

ทั้งนี้การเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรภายในบรรจุภัณฑ์ปิดนั้น จะส่งผลให้ปริมาณก๊าซ O_2 ภายในบรรจุภัณฑ์ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ในขณะที่ปริมาณก๊าซ CO_2 จะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของผลผลิต หากผลผลิตมีอัตราการหายใจมากเกินไปจะส่งผลให้ผลผลิตมีอายุการเก็บรักษาสั้นและเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการหายใจเป็นกระบวนการเร่งปฏิกิริยาและการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ให้เกิดเร็วขึ้น และในสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง พืชจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (Cameron และคณะ, 1994)

การเข้าทำลายของแมลงในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะ พบการเข้าทำลายของแมลงจากการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (30 °ซ) มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (13 °ซ) (Table 2) เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของไข่และแมลงที่อยู่ภายในเมล็ด รวมทั้งคุณสมบัติของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ แต่ละชนิด ที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซ O_2 แตกต่างกัน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแมลงเช่นเดียวกัน โดยเมล็ดถั่วมะแฮะที่บรรจุในถุงชนิด PEA พบการเข้าทำลายของแมลงมากที่สุดที่ 4 คะแนน (พบการเข้าทำลายของแมลงในเมล็ดถั่วมะแฮะ ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์) รองลงมา ได้แก่ ถุงชนิด PE และถุงชนิด PA/PE ตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดถั่วมะแฮะ ในค่าความสว่าง (L*) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับอุณหภูมิและชนิดบรรจุภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 51 - 56 เช่นเดียวกับค่า h° (Hue angle) ซึ่งแสดงถึงค่าสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น (Table 2) ในขณะที่ค่า C* ซึ่งแสดงถึงความเข้มของสี พบว่ามีค่ามากในกลุ่มที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (13 °ซ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดถั่วมะแฮะที่บรรจุในถุงชนิด PE และถุงชนิด PA/PE ทั้งนี้ในกรณีเมล็ดถั่วมะแฮะมีค่า C* ดังกล่าว ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 14 - 18 แสดงให้เห็นถึงความมีสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน พบว่ามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ พัสกร (2546) ในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือก และการเก็บรักษาข้าวสารก็เช่นเดียวกัน เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและมีระยะเวลาการเก็บรักษาที่ยาวนาน สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลประเภท maillard reaction ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับน้ำตาลในเมล็ดข้าวสารในรูปของแอมโมเนีย เมื่อปฏิกิริยานี้เกิดอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นสาร melanoidins ที่มีสีน้ำตาล ส่งผลให้ข้าวมีความสว่างลดลงและมีสีที่คล้ำมากขึ้น (Primo *et al*., 1970)

ปริมาณโปรตีนในเมล็ดถั่วมะแฮะ ไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกระดับอุณหภูมิและชนิดบรรจุภัณฑ์ โดยมีความต่างของปริมาณโปรตีนที่มีความแปรผันในช่วงระหว่าง 0.1 – 0.8 กรัมต่อน้ำหนักเมล็ดแห้ง 100 กรัม (Table 2) โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโปรตีนขึ้นอยู่กับสภาวะในการเก็บรักษา โดยหากนำเมล็ดพันธุ์ที่เจริญเต็มที่ มีความชื้นเมล็ดระหว่าง10 - 15 เปอร์เซ็นต์ มาเก็บรักษาในภาชนะปิด จะสามารถทำให้อัตราการหายใจและกิจกรรมทางชีวเคมีภายในเมล็ดลดลง จากนั้นเมล็ดจะเข้าสู่ระยะพักตัว เกิดการสลายสารอาหารภายในเมล็ดช้าๆ ปริมาณโปรตีนภายในเมล็ดจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อย โดยเฉพาะในพืชตระกูลถั่วที่มีลักษณะเมล็ดแข็ง และมีอายุการเก็บรักษานาน แต่เมื่อได้รับอุณหภูมิ และความชื้นที่เหมาะสมจะเกิดกระบวนการงอกในที่สุด ซึ่งจะเกิดการสลายโปรตีนภายในเมล็ดอย่างรวดเร็ว (จวงจันทร์, 2529)

อัตราการงอกของเมล็ด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 เดือน พบว่าเมล็ดถั่วมะแฮะที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ° ซ มีอัตราการงอกของเมล็ดสูงกว่าการเก็บรักษาที่ 30 ° ซ (Table 2) ทั้งนี้พบความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญระหว่างอุณหภูมิและชนิดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บรักษาที่ต่างกัน โดยเมล็ดที่บรรจุในถุงชนิด PA/PE มีอัตราการงอกเมล็ดสูงสุด (94.00 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาได้แก่ ถุงชนิด PE และถุงชนิด PEA ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม จะพบว่าอัตราการงอกของเมล็ดมีความสามารถลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของเมล็ด แม้ว่ามีการเก็บรักษาภายใต้สภาพที่เหมาะสม (Pomeranz and Zeleny, 1971)

Table 2. Insect infestation, seed color (L*, C*, h°), seed protein content and seed germination of pigeon pea seeds stored in different packaging and storage temperatures within 12 months.

Factor		Insect infestation (score)	Seed color			Seed protein content (g /100g dry weight)	Seed germination (%)
Packaging types (A)	Temperature (B)		L*	C*	h°		
PE	30±2 ° C	3.00^{c}	51.95	15.11^{bc}	71.21	20.83	89.50^{b}
PEA		4.00^{d}	53.37	14.88^{c}	69.61	20.61	82.33^{c}
PA/PE		2.00^{b}	53.68	14.56^{c}	69.59	20.15	91.00^{ab}
PE	13±2 ° C	2.00^{b}	55.56	17.12^{a}	69.69	20.38	92.00^{ab}
PEA		2.00^{b}	55.95	16.46^{ab}	69.27	20.24	90.67^{ab}
PA/PE		1.00^{a}	55.37	17.06^{a}	69.34	20.84	94.00^{a}
A		**	NS	NS	NS	NS	**
B		**	**	**	NS	NS	**
A*B		**	NS	NS	NS	NS	**
% C.V.		3.98	3.61	8.00	1.83	3.48	4.71

Remarks: Significantly different at 0.05 probability levels; means with different lowercase letters within a column indicate a significant difference according to Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$., PE= polyethylene; PEA= polyethylene base active; PA/PE = polyamide & polyethylene

4.สรุป

การเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะในอุณหภูมิและบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณภาพเมล็ดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 เดือน โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 ° ซ มีคุณภาพเมล็ดดีกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 ° ซ ในทุกบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบรรจุในถุงชนิด PA/PE ซึ่งมีอัตราการงอกของเมล็ดสูง และเกิดความเสียหายจากการเข้าทำลายของแมลงศัตรูต่ำ ในขณะที่อุณหภูมิและชนิดบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ

โปรตีนภายในเมล็ดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา จากการพักตัวของเมล็ดและเมล็ดมีลักษณะเปลือกแข็ง และสามารถนำเมล็ดถั่วมะแฮะที่ผ่านการเก็บรักษาไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูง รวมถึงเกษตรกรสามารถปรับใช้วิธีการเก็บรักษาเมล็ดถั่วมะแฮะเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาในระดับครัวเรือนได้เอง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ปีงบประมาณ 2566 ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมเกษตรสร้างสรรค์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

6. References

Abdalla, F.H., and Roberts, E.H. (1969). The effect of seed storage conditions on the growth and yield of Barley, Broad Beans, and Peas. *Annals of Botany*, 33, 169-184.

Abdule-Baki, A.A., and Anderson, J.D. (1970). Viability and leaching of sugars from germinating barley. *Crop Science*, 10, 31-34.

AI-Yahya, S. (1999). Change of fungal infection during wheat storage at different condition. *J Agricultural Science*, 7, 531-545.

Cameron, C., Beaudry, R.M., Banks, N.H. and Yelanich, M.V. (1994). Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. *J Am Soc Hor. Sci*, 119(3), 534-539.

Congress, Dresden, 4/59-4/68. Publishing Company Inc., Location: Lancaster PA. 231-245.

Duangpatra, J. (1986). *Seed technology*. Location: Faculty of Agriculture (Department of Agronomy). Kasetsart University, Bangkhen Campus, Bangkok. 210 pp.

Emblem, A. (2012). *Plastics Properties for Packaging Materials*. P.287-309. In A. Emblem and H. Emblem (Eds.), Packaging Technology. Location: Woodhead Publishing, Cambridge.

Inthaphan, P., Peukrai, S., and Boonchee, S. (1991). *The study on conservation cropping systems on sloping land in northern Thailand*. Location: Office of Land Development Region 6, Chiang Mai.

ISTA. (2022). *International Rules for Seed Testing 2022*. Location: The International Seed Testing Association. Bassersdor.

Jiatrakul, P. (2003). Chilled storage bin for rice khao dawk mali 105. (Master of Science). Chiang Mai University, Postharvest Technology.

Kibar, H., and Yücesan, B. (2021). Effects of storage durations at different temperatures on various physiological parameters of einkorn seed (*Triticum monucocum* L.) germination. *J Stored Prod Res*, 93, 101851.

Locali-Pereira, A.R., Boire, A., Berton-Carabin, C., Tabiga, S.R., Sole-Jamault, V. and Nicoletti, V.R. (2023). Pigeon Pea, An Emerging Source of Plant-Based Proteins. *ACS Food Sci Technol*, 3(11), 1777–1799.

Pomeranz, Y., and Zeleny, L. (1971). Biochemical and functional changes in stored cereal grains. *C R C Critical Reviews in Food Technology*, 2, 45-80.

Primo, E., Benedito-Barber, C., and Barber, S. (1970). The Chemistry of rice aging. *Proceeding 5th World Cereal and Bread***.**

Research and Development for Land Management Division, (N.D.). *Pigeon Pea Seeds (Cajanus cajan L.): Earth food that we can eat*. Location: [Publish document], Bangkok, Land Development Department.

Teter, N.C. (1981). Grain Storage. Location: Southeast Asia Cooperative Post-harvest Research and Development Programme, SEARCA, College, Laguna, Philippines. March, 1981.

Vertucci, C. W., and Roos, E. E. (1990). Theoretical basis of protocols for seed storage. *Plant Physiology*, 94, 1019-1023.

Walters, C., (2007). Materials used for seed storage containers: response to Gómez-Campo [Seed Science Research 16, 291-296 (2006)]. *Seed Science Research*, 17, 233-242.