ผลของการลดความชื้นแบบยิ่งยวดและความเข้มข้นออกซิเจนในบรรยากาศต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริกหลังการเก็บรักษา

Effects of Ultra-drying and Storage Oxygen Concentrations on Hot-chili Seed Quality after Storage

อนุรัชนี ยนปลัดยศ[1] สุรพงษ์ ดำรงกิตติกุล[1] เกียรติสุดา เหลืองวิลัย[1] เสริมศิริ จันทร์เปรม[1] และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ[1*]

Anuratchanee Yonpaladyot[1], Surapong Dumrongkittikul[1], Kietsuda Luengwilai[1], Sermsiri Chanprame[1] and Thammasak Thongket[1*]

Received: July 19, 2023
Revised: July 25, 2023
Accepted: July 26, 2023

Abstract: The objective of this research was to explore an energy-saving method to store hot-chili seed without using a cold storage room by using ultra-dry seed moisture and low-O_2 storage atmosphere. The 4 x 2 factorial in a completely randomized design with 4 replications was used. Factor A consisted of 4 seed moisture content (SMC) levels namely, 2, 4, 6 and 8% and factor B consisted of 2 storage oxygen concentrations namely, 10 and 21%. Hot-chili seeds cv. TVRC 365 from the Tropical Vegetable Research Center, Kasetsart University with initial germination percentage of 96.5% and seed moisture of 8% fresh weight basis (FWB) were subjected to ultra-drying by using saturated salt solutions to lower seed moisture to desirable levels prior to placing inside air-tight jars filled with air containing 10% and 21% O_2 and stored in a cooler cabinet controlled temperature at 25 °C for 10 months. The results revealed that after 10 months in storage, the highest laboratory germination, greenhouse germination, and germination after a controlled deterioration test, superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) enzyme activities and lowest membrane electrolyte leakage, malondialdehyde and hydrogen peroxide contents was found in the hot-chili seed with 2% SMC stored under 21% O_2 atmosphere while under 10% O_2 atmosphere, it was found in hot-chili seed with 4% SMC. These results suggest an economic potential to store hot-chili seed at ambient temperature of 25 °C.

Keywords: storability, vigor, lipid peroxidation, membrane degradation

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกที่ประหยัดพลังงาน โดยอาศัยการลดความชื้นแบบต่ำยิ่งยวดและความเข้มข้นออกซิเจนในบรรยากาศที่ต่ำ วางแผนการทดลองแบบ 4 x 2 factorial in completely randomized design จำนวน 4 ซ้ำ ปัจจัย A คือ ความชื้นเมล็ดพันธุ์ 4 ระดับ (8, 6, 4, และ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด) และปัจจัย B คือ ระดับความเข้มข้นออกซิเจนในอากาศ 2 ระดับ (10 เปอร์เซ็นต์ และ 21เปอร์เซ็นต์) นำเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์ TVRC 365 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน

[1] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

[1] Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakon Pathom, 73140

*Corresponding author: thammasak.t@ku.th

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่มีเปอร์เซ็นต์ความงอกที่ 96.5 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ มาลดความชื้นแบบยิ่งยวดให้เหลือ 8, 6 , 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยการบ่มในสารละลายเกลืออิ่มตัว ก่อนนำไปใส่ในโหลแก้วที่มีก๊าซออกซิเจนที่ระดับ 10 และ 21 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในตู้ทำความเย็นตั้งอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าหลังจากเก็บรักษานาน 10 เดือน เปอร์เซ็นต์ความงอกในห้องปฏิบัติการ ในโรงเรือน และหลัง CD test กิจกรรมเอนไซม์ superoxide dismutase และ catalase ที่มีค่าสูงที่สุด และปริมาณการรั่วไหลของผนังเซลล์ สาร malondialdehyde และ hydrogen peroxide ที่มีค่าต่ำที่สุด พบในเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้น 2 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ และในเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้น 4 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาเสนอศักยภาพในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกแบบประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: อายุเก็บรักษา, ความแข็งแรง, ลิปิดเปอร์ออกซิเดชั่น, การเสื่อมของเยื่อหุ้มเซลล์

คำนำ

พริกเป็นพืชผักที่มีผู้บริโภคชาวไทยและในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกนิยมบริโภค จึงทำให้ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพริกชนิดต่างๆ รวมกันมากกว่าพืชผักชนิดอื่น จากสถิติการเพาะปลูกในหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกพริกประมาณ 250,000–300,000 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ดังนั้น ในแต่ละปีประเทศไทยจึงมีความต้องการใช้เมล็ดพันธุ์พริกคุณภาพดี ปีละ 30–50 ตัน (คิดจากอัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ 0.2–0.25 กิโลกรัมต่อไร่) พริกยังเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของโลก จึงมีการปลูกพริกได้ทั่วทุกภาคของประเทศและปลูกได้ตลอดทั้งปี (สุชีลา, 2548) ประเทศไทยมีการปลูกพริกทั้งเพื่อเป็นผลผลิตสำหรับการบริโภคสดและแปรรูป และเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการส่งออกเมล็ดพันธุ์พริกถึง 95.1 ตัน มูลค่า 930.6 ล้านบาท ก่อนที่ในปี พ.ศ. 2564 จะลดเหลือ 47.1 ตัน มูลค่า 674.3 ล้านบาท จากปัญหาเศรษฐกิจถดถอย แต่ยังมีมูลค่าเป็นลำดับ 3 รองจากมะเขือเทศ และข้าวโพดหวาน (กรมวิชาการเกษตร, 2566)

โดยทั่วไป ในการผลิตเมล็ดพันธุ์พริกต้องมีการวางแผนการผลิตล่วงหน้า 1–2 ปี ทำให้หลังจากการเก็บเกี่ยวเมล็ดพันธุ์จากแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์แล้ว เมล็ดพันธุ์พริกจะต้องถูกเก็บรักษาไว้อย่างน้อย 1 ปี ก่อนจะถูกนำไปจำหน่าย เนื่องจากเมล็ดพันธุ์พริกมีไขมันเป็นองค์ประกอบทางเคมีในระดับสูง โดยที่เมล็ดพันธุ์พริก 100 กรัมน้ำหนักสด มีปริมาณกรดไขมันอยู่ถึง 23.65 กรัม (Zou *et al*., 2015) จึงทำให้เมล็ดพันธุ์พริกมีอายุการเก็บรักษาไม่นานเมื่อเทียบกับเมล็ดพันธุ์ชนิดอื่นที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบน้อยกว่า (วันชัย, 2538) Harrington (1972) ได้กล่าวว่าอุณหภูมิต่ำช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้ โดยการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ลงทุก 5 องศาเซลเซียส จะสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้อีก 1 เท่าตัว ดังนั้นในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกไว้ก่อนถึงเวลาจำหน่าย บริษัทเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่จึงเก็บเมล็ดพันธุ์ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำประมาณ 10±2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศประมาณ 40–50 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเก็บเมล็ดพันธุ์เป็นเวลานานปานกลาง (medium-term storage) นานประมาณ 9–18 เดือน (McCormack, 2004) ส่งผลให้บริษัทผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานงานไฟฟ้าที่สูงในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกไว้ก่อนถึงเวลาจำหน่าย ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตและราคาจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พริกสูงตามไปด้วยและสุดท้ายเกษตรกรผู้ซื้อเมล็ดพันธุ์พริกต้องเป็นผู้รับภาระค่าใช้จ่ายนี้ ดังนั้น หากสามารถหาวิธี

วิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริก ที่ไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิต่ำแต่ยังคงชะลอการเสื่อมและรักษาคุณภาพเมล็ดพันธุ์ไว้ได้ ก็จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับบริษัท ส่งผลให้ราคาจำหน่ายเมล็ดพันธุ์พริกที่เกษตรกรต้องจ่ายลดลงได้

ความชื้นในเมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูงจะมีอัตราการหายใจ และการเผาผลาญอาหารสะสมที่สูงกว่าเมล็ดพันธุ์ชนิดเดียวกันที่มีความชื้นที่ต่ำกว่า ส่งผลให้มีการเสื่อมคุณภาพและมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่า (วันชัย, 2538) Harrington (1972) รายงานว่าการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ลงทุก 1% ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้ 1 เท่าตัว ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้นานขึ้น โดยการลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ให้ต่ำแบบยิ่งยวด (ultra-drying) หรือต่ำกว่า 5% w/w ขึ้นกับชนิดของเมล็ดพันธุ์ สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ลงได้โดยไม่กระทบต่อความมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ (Du *et al*., 2019) เช่นการทดลองของ Vijay *et al*. (2015) ซึ่งได้ทำการลดความชื้นในเมล็ดข้าวฟ่างให้ต่ำกว่า 5% ด้วยซิลิกาเจล กรดซัลฟูริกเข้มข้น สารละลายเกลืออิ่มตัวของสาร lithium chloride (EMC=12-13% RH) และ seed dryer (RH=15%) พบว่า การใช้สารละลายเกลือลดความชื้นในเมล็ดมีผลทำให้เมล็ดข้าวฟ่างมีดัชนีความงอกสูงที่สุด และมีการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์น้อยที่สุดภายหลังการเก็บรักษาเมล็ดเป็นระยะเวลา 6 เดือน อย่างไรก็ตาม Li *et al*. (2010) รายงานว่า หากลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์จนต่ำเกินไป อาจกระตุ้นให้เกิดปฏิกริยา ออกซิเดชั่น (oxidation) ในเมล็ดพันธุ์นั้นที่รุนแรงขึ้น เพราะเมื่อภายในเมล็ดมีความชื้นต่ำมาก ทำให้ส่วนต่างๆ ภายในเมล็ดสัมผัสกับออกซิเจนได้มากขึ้น มีผลให้กระบวนการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เกิดในอัตราที่เร็วขึ้น Groot *et al*. (2012) รายงานว่า การเก็บเมล็ดพันธุ์ในสภาพที่มีออกซิเจนสูงกว่าปกติเร่งให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เร็วขึ้นจากปฏิกริยาออกซิเดชั่นภายในเมล็ดที่เกิดรุนแรงมากขึ้น ในทางกลับกัน หากลดความเข้มข้นของออกซิเจนในบรรยากาศที่เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้ต่ำลงกว่าระดับปกติ น่าจะช่วยลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้นานขึ้น ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศที่เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์

Kittiwatchana *et al*. (2021) รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ superoxide dismutase (SOD) และ catalase (CAT) และปริมาณสาร hydrogen peroxide (H_2O_2) ในเมล็ดพันธุ์พริกมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้น การประเมินเปอร์เซ็นต์ความงอก และความแข็งแรงของต้นกล้า รวมทั้งการทดสอบยืนยันด้วยการตรวจสอบสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระจึงสามารถชี้วัดระดับการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พริกในระหว่างการเก็บรักษาได้

การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาอิทธิพลของการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พริกให้ต่ำแบบยิ่งยวดและอิทธิพลของความเข้มข้นออกซิเจนในบรรยากาศเก็บรักษาต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์พริก และศึกษาปริมาณสารและกิจกรรมเอนไซม์เกี่ยวข้องกับการต้านอนุมูลอิสระภายในเมล็ดพันธุ์พริกที่มีความชื้นต่ำยิ่งยวด และเก็บรักษาภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ องค์ความรู้ที่ได้จากการทดลองครั้งนี้สามารถนำไปพัฒนาเทคโนโลยีการยืดการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกในสภาพอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียสซึ่งประหยัดพลังงานไฟฟ้า

อุปกรณ์และวิธีการ

วางแผนการทดลองแบบ 4 x 2 factorial in completely randomized design, จำนวน 4 ซ้ำ มี 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัย A คือ ระดับความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริก 4 ระดับ ได้แก่ 8, 6, 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัย B คือ ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศ 2 ระดับ ได้แก่ 10 เปอร์เซ็นต์ และ 21 เปอร์เซ็นต์ (ปกติ) ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์ และห้องปฏิบัติการ

เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2565 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2566

นำเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์ TVRC 365 จากศูนย์วิจัยและพัฒนาพืชผักเขตร้อน ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครปฐม ที่มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 96.5 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสด มาลดความชื้นแบบยิ่งยวดให้เหลือ 8 เปอร์เซ็นต์ (ไม่ลด), 6, 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว 4 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมคาร์บอเนต (potassium carbonate, K_2CO_3) โพแทสเซียมฟลูออไรด์ (potassium fluoride, KF) โพแทสเซียมอะซิเตท (potassium acetate, CH_3CO_2K) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, NaOH) ตามลำดับ (Greenspan, 1977) จากนั้น นำเมล็ดพันธุ์ดังกล่าวบรรจุในหลอดพลาสติกเจาะรูให้อากาศถ่ายเทแล้วนำไปบรรจุในโหลแก้วดัดแปลงฝาปิดให้มีช่องเติมก๊าซ ภายในบรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัวดังกล่าวเพื่อรักษาความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกแต่ละระดับให้คงที่ ก่อนเก็บรักษาเติมอากาศที่ดัดแปลงให้มีความเข้มข้นออกซิเจนเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ (ระดับต่ำ) และ 21 เปอร์เซ็นต์ (ระดับปกติ) จากนั้นนำภาชนะทั้งหมดไปเก็บรักษาในตู้แช่ที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 เดือน ก่อนเริ่มเก็บรักษาและทุก 2 เดือนหลังการเก็บรักษา สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์พริกจากโหลแก้วจำนวน 10 กรัมต่อซ้ำ มาทดสอบคุณภาพดังต่อไปนี้ ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ (ISTA, 2019) ความงอกในห้องปฏิบัติการ (ISTA, 2019) ความงอกหลัง controlled deterioration (CD) test (Powell, 1995), ปริมาณการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ (electrolyte leakage) (ISTA, 2019) ทดสอบปริมาณสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาออกซิเดชั่น ได้แก่ malondialdehyde (MDA) (Matkovich *et al*., 1989) และ hydrogen peroxide (H_2O_2) (Veliko *et al*., 2000) และทดสอบกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระของเอนไซม์ superoxide dismutase (SOD) (Ukeda *et al*., 1997) และ catalase (CAT) (Bailly and Kranner, 2011) นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ความแปรรวนทางสถิติ (analysis of variance) แยกความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์ TVRC ที่ถูกลดความชื้นแบบยิ่งยวดมีความชื้นเริ่มต้น 8, 6, 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ก่อนเก็บรักษาในโหลแก้วที่มีความเข้มข้นออกซิเจนในบรรยากาศ 10 เปอร์เซ็นต์และ 21 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลานาน 10 เดือน พบว่า ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ (Figure 1) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 8.1-8.4 เปอร์เซ็นต์, 6.1-6.4 เปอร์เซ็นต์, 3.9-4.2 เปอร์เซ็นต์ และ 1.9–2.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับเมล็ดพันธุ์ของกรรมวิธีที่มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 8, 6, 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะอิทธิพลของสารละลายเกลืออิ่มตัวทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมฟลูออไรด์ โพแทสเซียม อะซิเตท และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่บรรจุไว้ในขวดโหลสามารถสร้างความชื้นสัมพัทธ์อากาศในโหลแก้วให้อยู่ที่ 45 30, 22.5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกมีความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) อยู่ในระดับใกล้เคียง 8, 6, 4 และ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ (Greenspan, 1977)

2. เปอร์เซ็นต์ความงอก และความแข็งแรง

ผลการทดลองพบว่าระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ต่ำยิ่งยวดและความเข้มข้นออกซิเจนในบรรยากาศมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์ TVRC 365 อย่างมีนัยสำคัญ และมีอิทธิพลร่วมกัน (interaction) กล่าวคืออิทธิพลของระดับความชื้นต่ำยิ่งยวดที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์นั้นขึ้นกับระดับออกซิเจนในบรรยากาศที่เก็บรักษา

เมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ นาน 10 เดือน เปอร์เซ็นต์ความงอกในห้องปฏิบัติการและในโรงเรือนของเมล็ดพันธุ์พริก TVRC 365 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระดับความชื้นในเมล็ด ยิ่งความชื้นในเมล็ดมีค่าสูงขึ้น เปอร์เซ็นต์ความงอกยิ่งลดลงมากขึ้น ในขณะที่เมื่อเก็บรักษาที่บรรยากาศออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ความงอกในห้องปฏิบัติการและในโรงเรือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะช่วงความชื้นเมล็ดพันธุ์ระดับสูงระหว่าง 4–8 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่พบความแตกต่างกันในช่วงความชื้นระหว่าง 2–4 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความงอกเริ่มต้นที่ 96.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมล็ดพันธุ์พริกที่มีความชื้น 2–4 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในบรรยากาศออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ มีความงอกห้องปฏิบัติการและในโรงเรือนลดลงน้อยที่สุด ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นในเมล็ด 8 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาในบรรยากาศออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ มีความงอกทั้งสองแบบลดลงมากที่สุด (Table 1) สอดคล้องกับ rules of thump ของ Harrington (1972) ซึ่งอธิบายบทบาทของความชื้นในเมล็ดต่ออายุการเก็บรักษาว่าทุกๆ ความชื้นในเมล็ดที่ลดลง 1เปอร์เซ็นต์ ช่วยยืดอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้อีก 1 เท่าตัว

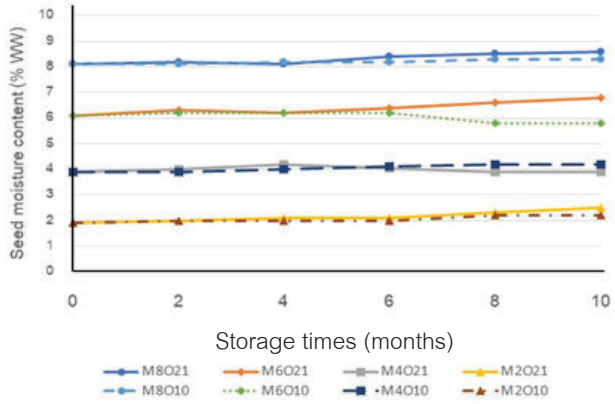

Figure 1 The changes of seed moisture contents (SMC) of hot-chili seeds cv. TVRC 365 with ultra-low seed moisture stored in air-tight jars filled with 10% and 21% O_2 atmosphere for 10 months (M8O21= 8%SMC; 21% O_2, M6O21= 6%SMC, 21% O_2; M4O21= 4%SMC, 21% O_2; M2O21= 2%SMC, 21% O_2; M8O10= 8%SMC, 10% O_2; M6O10= 6%SMC, 10% O_2; M4O10= 4%SMC, 10% O_2; M2O10= 2%SMC, 10% O_2),

ผลการทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธี CD test พบอิทธิพลของความชื้นในเมล็ดและออกซิเจนในบรรยากาศต่อเปอร์เซ็นต์ความงอกหลัง CD test ในทำนองเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าหากเก็บเมล็ดพันธุ์พริกในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 21% ควรลดความชื้นให้ต่ำถึง 2 เปอร์เซ็นต์ แต่หากเก็บในบรรยากาศออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดความชื้นให้ต่ำเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ก็เพียงพอต่อการรักษาความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์ TVRC 365 Basak *et al*. (2006) รายงานว่า CD test สามารถใช้ประเมินอายุเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ผลที่ได้จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการลดความชื้นให้ต่ำยิ่งยวดร่วมกับการเก็บรักษาในบรรยากาศออกซิเจนต่ำดังกล่าวข้างต้น น่าจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกได้ในสภาพเก็บรักษา อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

Table 1 Laboratory germination, greenhouse germination and germination after CD test of hot-chili seeds cv. TVRC 365 with ultra-low moisture contents (8%, 6%, 4% and 2%), stored under 10% and 21% O_2 atmosphere at 25°C for 10 months

No.	Treatment factors		Laboratory germination (%)	Greenhouse germination (%)	Germination after CD test (%)
	Factor A Seed moistures (%)	Factor B O_2 concentrations (%)			
1	2	21	93 ab[1]	89 ab[1]	90 a[1]
2	4		91 b	84 c	86 b
3	6		85 c	82 c	79 c
4	8		78 d	75 d	74 d
5	2	10	94 a	91 a	92 a
6	4		93 ab	90 a	91 a
7	6		91 b	87 b	90 a
8	8		87 c	84 c	84 b
	p -value		<0.001	<0.001	<0.001
	CV (%)		1.75	1.85	1.75

** highly significant difference, [1]means within a column followed by common letters are not significantly different by DMRT at p-value < 0.5

3. การรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์

ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายที่แช่เมล็ดพันธุ์สะท้อนการรั่วไหลของสารออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งบ่งบอกถึงความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์ (วันชัย, 2538) ในการทดลองนี้พบอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกและระดับออกซิเจนในบรรยากาศต่อการเสื่อมของเยื่อหุ้มเซลล์ กล่าวคือ ในการเก็บรักษาที่บรรยากาศมีออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พริกให้ต่ำลงเท่าใด การรั่วไหลของสารออกจากเยื่อหุ้มเซลล์ยิ่งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Table 2) แต่ที่บรรยากาศออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ การรั่วไหลของสารเกิดขึ้นน้อยที่สุดเมื่อความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกยังไม่ต่ำเกินไป อยู่ระหว่าง 4–6 เปอร์เซ็นต์ หากลดความชื้นในเมล็ดให้ต่ำกว่านี้ ปรากฏว่าทำให้การรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์เกิดมากขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากมีปฏิกริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นที่เยื่อหุ้มเซลล์ได้มากขึ้นเมื่อเมล็ดพันธุ์มีความชื้นต่ำเกินไป (Li *et al*., 2010) และเมื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของออกซิเจนในบรรยากาศต่อการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ พบว่า ที่ระดับความชื้นในเมล็ดเดียวกัน การเก็บรักษาที่ออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ให้การรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์น้อยกว่าที่ 21 เปอร์เซ็นต์ (Table 2) ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าหากต้องการเก็บเมล็ดที่ที่บรรยากาศที่มีออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ ควรใช้เมล็ดพันธุ์พริกที่มีความชื้นไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และหากเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่บรรยากาศที่มีออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ไม่ควรลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์

4.ปริมาณสารเกี่ยวข้องกับกิจกรรมออกซิเดชั่น

Malondialdehyde (MDA) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (lipid peroxidation) จึงนิยมใช้เป็นดัชนีชี้สถานะภาพการเสื่อมของเยื่อหุ้มเซลล์จากปฏิกริยาออกซิเดชั่น (Reuzeau and Covalie, 1995) ในขณที่ H_2O_2 เป็นผลผลิตที่เกิดจากปฏิกริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free radical) (Kittiwatchana *et al*., 2021) ทั้งสองจึงเป็นดัชนีวัดการเกิดกิจกรรมออกซิเดชั่นได้ ในการทดลองนี้พบอิทธิพลร่วมกันของระดับความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริก และระดับออกซิเจนในบรรยากาศต่อปริมาณสารเกี่ยวข้องกับกิจกรรมออกซิเดชั่น

กล่าวคือว่าเมื่อเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริก TVRC 365 ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ การลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์ให้ต่ำลงมากขึ้นเท่าใด การเกิดสาร MDA จากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเมล็ดยิ่งเกิดขึ้นน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ (10 เปอร์เซ็นต์) การลดความชื้นในเมล็ดให้ต่ำปานกลางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ มีการสร้าง MDA หรือมีการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นกับเยื่อหุ้มเซลล์น้อยกว่าการลดความชื้นในเมล็ดให้ต่ำถึง 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน่าจะเป็นเพราะเมื่อภายในเมล็ดมีความชื้นต่ำมากเกินไป ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ในเมล็ดได้สัมผัสกับออกซิเจนมากขึ้นจึงเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นได้มากขึ้น (Li *et al*., 2010) และผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการศึกษาการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ข้างต้น ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณ H_2O_2 ในเมล็ดพันธุ์พริกหลังการเก็บรักษาก็สอดคล้องกับปริมาณ MDA กล่าวคือปริมาณ H_2O_2 ในเมล็ดพันธุ์พริกมีค่าน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกมีค่าต่ำลงในทั้งสองระดับออกซิเจนในบรรยากาศ แสดงให้เห็นว่าความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกยิ่งต่ำลง ยิ่งพบการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชั่นน้อยลง จนถึงเมื่อความชื้นเมล็ดพันธุ์ลดต่ำมากเกินไป ปฏิกริยาออกซิเดชั่นจะกลับมาเกิดรุนแรงขึ้นได้ เช่นที่พบเมื่อความชื้นเมล็ดพันธุ์พริกลดต่ำลงถึง 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาในบรรยากาศออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาว่าทำไมผลเสียของการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่ต่ำเกินไปจึงเกิดขึ้นเฉพาะกับบรรยากาศเก็บรักษาที่มีออกซิเจนระดับต่ำ (10 เปอร์เซ็นต์) เท่านั้น น่าจะเป็นเพราะในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง (21เปอร์เซ็นต์) การเกิดออกซิเดชั่นน่าจะเกิดขึ้นในอัตราที่สูงกว่าบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำกว่า (Groot *et al*., 2012) เห็นได้จากที่ระดับความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่เท่ากันในช่วง 8–4 เปอร์เซ็นต์ การเก็บในสภาพบรรยากาศออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์พบปริมาณ MDA สูงกว่าของการเก็บรักษาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ในบรรยากาศที่มีความชื้น 21 เปอร์เซ็นต์ การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้ต่ำลงจึงส่งผลดี (impact) สูงกว่าของบรรยากาศออกซิเจนต่ำที่ 10 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าความชื้นเมล็ดพันธุ์จะต่ำถึง 2 เปอร์เซ็นต์ แล้วก็ตาม สอดคล้องกับปริมาณการเกิด H_2O_2 ที่ลดอย่างมีนัยสำคัญต่อเนื่องเมื่อความชื้นในเมล็ดลดลงจาก 8 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 2 เปอร์เซ็นต์ (Table 2)

5.กิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ

SOD เป็นเอนไซม์ที่ทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระที่เกี่ยวข้องกับทำปฏิกริยาออกซิเดชั่นของเยื่อหุ้มเซลล์ และ CAT เป็นเอนไซม์หลักที่ทำหน้าที่ในการกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยเปลี่ยนให้เป็นน้ำ (H_2O) และออกซิเจน (O_2) (Bailly *et al*, 2008) เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูง มีเซลล์ที่แข็งแรงจะมีกิจกรรมของเอนไซม์ SOD และ CAT ที่ดี และจะเริ่มลดลงเมื่อเมล็ดพันธุ์เริ่มเสื่อมคุณภาพ ในการทดลองนี้พบอิทธิพลร่วมกันของระดับความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกและระดับออกซิเจนในบรรยากาศต่อกิจกรรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ กล่าวคือเมื่อเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริก TVRC 365 ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง 21 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกมีค่าต่ำลงมากเท่าใด กิจกรรมของ SOD และ CAT ยิ่งสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในการเก็บรักษาในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ 10 เปอร์เซ็นต์ การลดความชื้นในเมล็ดพันธุ์พริกต่ำลงเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ให้กิจกรรมเอนไซม์ SOD สูงที่สุด หากลดความชื้นต่ำลงไปกว่านี้ กิจกรรมของ SOD กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Table 2 Electrolyte leakage of hot-chili seeds cv. TVRC 365 with ultra-low moisture contents (8%, 6%, 4% and 2%), stored under 10% and 21% O_2 atmosphere at 25°C for 10 months

No.	Treatment factors		Electrolyte leakage (µs/cm)	Malondialdehyde ($nmol^{-1}$/ml)	H_2O_2 content (nmol/g fw)
	Factor A Seed moistures (%)	Factor B O_2 concentrations (%)			
1	2	21	6.92 d[1]	9.05 e[1]	0.067 c[1]
2	4		7.19 c	12.34 c	0.064 d
3	6		8.32 b	12.98 b	0.074 b
4	8		9.45 a	17.39 a	0.084 a
5	2	10	7.08 c	10.03 d	0.049 e
6	4		6.77 e	8.05 f	0.046 e
7	6		6.89 de	9.19 e	0.064 cd
8	8		7.17 c	12.03 c	0.073 b
	p -value		<0.001	<0.001	<0.001
	CV (%)		1.09	2.53	2.97

* *highly significant difference, [1]means within a column followed by common letters are not significantly different by DMRT at p-value < 0.5

Table 3 SOD and CAT activities found in hot-chili seeds cv. TVRC 365 with ultra-low moisture contents (8%, 6%, 4% and 2%), stored under 10% and 21% O_2 atmosphere after 10 months in storage at 25°C

No.	Treatment factors		SOD activity (units/mg protein)	Catalase activity (units/mg protein)
	Factor A Seed moistures (%)	Factor B O_2 concentrations (%)		
1	2	21	33.08 c	20 b[1]
2	4		32.15 c	17.99 c
3	6		24.45 e	11 d
4	8		18.39 f	6.05 e
5	2	10	35.6 b	21.96 a
6	4		39.54 a	22.01 a
7	6		33.56 c	20.19 b
8	8		29.46 d	18.08 c
	p -value		<0.001	<0.001
	CV (%)		4.51	4.89

* *highly significant difference, [1]means within a column followed by common letters are not significantly different by DMRT at p-value < 0.5

ในขณะที่กิจกรรมของ CAT มีค่าสูงขึ้นเมื่อความชื้นลดลงจนถึงค่าสูงสุดที่ความชื้นลดลงถึง 4 เปอร์เซ็นต์ และไม่เปลี่ยนแปลงแม้ว่าความชื้นจะลดต่ำกว่านี้อีก (Table 3) ผลการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระนี้ สอดคล้องกับการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ และปริมาณสาร MDA ข้างต้น จึงยืนยันให้เห็นว่าหากเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกในบรรยากาศที่มีออกซิเจนต่ำ (10 เปอร์เซ็นต์) ไม่ควรลดความชื้นในเมล็ดพันธุพริกให้ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ เพราะกลับทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เสียหายมากขึ้น

สรุป

การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พริกแบบยิ่งยวดและความเข้มข้นออกซิเจนในบรรยากาศมีอิทธิพลร่วมกันต่อเปอร์เซ็นต์ความงอก ความแข็งแรง การรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ กิจกรรมออกซิเดชั่น และกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดพันธุ์พริกพันธุ์ TVRC 365 หลังการเก็บรักษานาน 10 เดือน ในบรรยากาศที่มีออกซิเจนสูง 21 เปอร์เซ็นต์ การลดความความชื้นในเมล็ดพันธุ์ให้ต่ำลงเท่าใด ยิ่งช่วยชะลอการสูญเสียเปอร์เซ็นต์ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ยับยั้งการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ ลดการเกิดกิจกรรมออกซิเดชั่น และชะลอการลดลงของกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ SOD และ CAT ได้มากขึ้น แต่ในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ การลดความชื้นในเมล็ดแบบยิ่งยวดจนเหลือ 4 เปอร์เซ็นต์ ช่วยชะลอการเสื่อมคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ลดกิจกรรมออกซิเดชั่น และชะลอการลดลงกิจกรรมเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวได้ดีที่สุด หากความชื้นในเมล็ดพันธุ์ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ กลับทำให้เกิดการรั่วไหลของเยื่อหุ้มเซลล์ และการเกิดออกซิเดชั่นเพิ่มขึ้น

ผลการศึกษานี้จึงชี้ว่าถ้าต้องการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พริกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส หากเก็บในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 21 เปอร์เซ็นต์ ควรลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้เหลือเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ และหากเก็บในบรรยากาศที่มีออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ ควรลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ไม่ให้ต่ำกว่า 4 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2566. การส่งออกเมล็ดพันธุ์ควบคุม (รายชนิด) (ระบบออนไลน์).แหล่งข้อมูล: https://data.go.th/dataset/exportplantitem (18 กรกฎาคม 2566).

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2538. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ 213 หน้า

สุชีลา เตชะวงค์เสถียร. 2548. การพัฒนาพันธุ์พริกขี้หนูหอม. หนังสือพิมพ์และนิตยสารในเครือมติชน.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. การใช้ที่ดินในด้านการเกษตร ปี 2559. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=151 (20 มกราคม 2562).

Bailly C. and I. Kranner. 2011. Analyses of reactive oxygen species and antioxidants in relation to seed longevity and germination. Methods in Molecular Biology 773: 343–367.

Bailly, C., H. El-Maarouf-Bouteau and F. Corbineau. 2008. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. Comptes Rendus Biologies 311: 806-814.

Basak, O., I. Demir, K. Mavi and S. Matthews. 2006. Controlled deterioration test for predicting seedling emergence and longevity of pepper (*Capsicum annuum* L.) seed lot. Seed Science and Technology 34(3): 701–712.

Du, j., Y. Wen, E. Yang, J. Duan, X. Liu, L. Zhang, F. Zhao and C. Xiang. 2019. pp.108-113. *In*: Advances in ultra-dry seed storage. 2019 International Symposium on Agriculture, Food and Biotechnology.

Greenspan L. 1977. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. Journal of Research of the National Bureau of standards-A Physics and Chemistry 81: 89-96.

Groot, S.P.C., A. Surki, R.C. de Vos and J. Kodde. 2012. Seed storage at elevated partial pressure of oxygen, a fast method for analyzing seed ageing under dry conditions. Annals of Botany 110: 1149–1159.

Harrington, J.F. 1972. Seed storage and longevity. pp.145–245. In Kozlowski, T.T., Seed Biology 3:145-245, illus. New York and London.

ISTA. 2019. International Rules for Seed Testing Edition 2012. International Seed Testing Association (ISTA), CH-Switzerland. 163 p.

Kittiwatchana, W., W. Imsabai, S. Chanprame and T. Thongket. 2021. Effects of drying rates on quality of Thai hot-chili (*Capsicum annuum* L.) seed after priming. Agriculture and Natural Resource 55: 863–872.

Li, Y., J. Qu, W. Zhang, L. An, P. Xu and Y. Li. 2010. Impact of ultra-dry storage on vigor capacity and antioxidant enzyme activities in seed *Ammopiptanthus mangolica*. Botanical Studies 51: 465-472.

McCormack, J.H. 2004. Seed Processing and Storage: Principles and Practices of Seed Harvesting, Processing and Storage: an Organic Seed Production manual for seed growers in the Mid-Atlantic and Southern U.S. Earlysville, VA. 28 p.

Matkovich, B., O. Gaši**ć**, Sz.I. Varga, D. Štajner and M. Kraljevi**ć**-Balali**ć**. 1989. The antioxidant enzyme activities in wheat seeds and their F1 hybrids. Cereal Research Communication 17: 113-119.

Powell, A. A. 1995. The controlled deterioration test. pp.73-87. *In*: Venter, H.A. Van de Seed Vigour Testing Seminar Copenhagen: The International Seed Testing Association.

Reuzeau, C. and G. Cavalie. 1995. Activities of free radical processing enzymes in dry sunflower seed. New Phytologist 130: 89-66.

Ukeda, H., S. Maeda, T. Ishii and M. Sawamura. 1997. Spectrophotometric assay for superoxide dismutase based on tetrazolium salt 3'-{1-{phenylamino)-carbonyl}-3,4-tetrazolium}-bis(4-methoxy-6-nitro) benzenesulfonic acid hydrate reduction by xanthine-xanthine oxidase. Analytical Biochemistry 251(2): 206-209.

Veliko, V., I. Yordanov and A.Edreva. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenouse polyamines. Plant Science 151(1): 59-66.

Vijay, K.M., S. Pandey, C.D. Pandey and Y. Jeshima. 2015. Impact of drying methods on the seed quality of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). African Journal of Agriculture of Agricultural Research 10(16): 1898-1903

Zou, Y. K. Ma and M. Tian. 2015. Chemical composition and nutritive value of hot pepper seed (*Capsicum annum*) grown in Northeast region of China. Food Science and Technology 35(4): 659–663.