ปัญหาพิเศษ

การประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว

Evaluation of Maize (*Zea mays* Linn.) Seed Deterioration Using Fast Ethanol Assay

นางสาวอิศราภรณ์ อภิวัฒน์

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์เกษตร — **สาขา**

พืชไร่นา — **ภาควิชา**

เรื่อง การประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว

Evaluation of Maize (*Zea mays* Linn.) Seed Deterioration Using Fast Ethanol Assay

นามผู้วิจัย นางสาวอิศราภรณ์ อภิวัฒน์

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก .....

(อาจารย์ ดำรงวุฒิ อ่อนวิมล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม .....

(อาจารย์ ปิติพงษ์ โตบันลือภพ, Dr.sc.)

หัวหน้าภาควิชา.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปิยะ กิตติภาดากุล, Ph.D.)

วันที่ เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559 บ

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลอย่างรวดเร็ว

Evaluation of Maize (*Zea mays* Linn.) Seed Deterioration Using Fast Ethanol Assay

โดย

นางสาวอิศราภรณ์ อภิวัฒน์

เสนอ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY

บทคัดย่อ

อิศราภรณ์ อภิวัฒน์ 2559: การประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษา: ดำรงวุฒิ อ่อนวิมล, ดร. 40 หน้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว (Fast Ethanol Assay, FEA) ดำเนินการศึกษาเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 พันธุ์ แต่ละพันธุ์แบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง ที่มีปีการผลิตแตกต่างกัน นำเมล็ดพันธุ์ทั้ง 4 ตัวอย่างไปวัดความชื้น เพาะทดสอบในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์ความแข็งแรงโดยวิธีการนับเมล็ดงอกรากแรกเกิดครั้งเดียว (Single Counts of Radicle Emergence, SCRE) และวิธีการเร่งอายุ (Accelerated Aging, AA, Test) สำหรับ FEA จัดการทดลองแบบแฟกทอเรียล $2^5$6 ในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (2^kr factorial in CRD) ที่มี 5 ปัจจัย 2 ระดับ ประกอบด้วย ความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ (20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด) ระยะเวลาการบ่มเมล็ดพันธุ์ (3 และ 6 ชั่วโมง) อุณหภูมิในการบ่มเมล็ดพันธุ์ (40 และ 60 องศาเซลเซียส) พันธุ์ (A และ B) และการเสื่อมตามอายุ (เมล็ดเก่าและเมล็ดใหม่) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในปีที่แตกต่างกันของทั้ง 2 พันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิต ($P\leq0.01$) ต่างกับค่าการประเมินความแข็งแรงด้วยวิธี SCRE ที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในปีที่แตกต่างกันของทั้ง 2 พันธุ์ออกจากกันได้ สำหรับการประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วย FEA พบว่าการบ่มเมล็ดพันธุ์ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง โดยปรับความชื้นเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถแยกความแตกต่างระหว่างเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในปีที่แตกต่างกันได้ในพันธุ์ A ได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินความเสื่อมด้วย AA Test แต่ FEA ใช้ระยะเวลาในการประเมินน้อยกว่า AA Test ประมาณ 9 วัน

_____ _____ ___ /___ /___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ABSTRACT

Issaraporn Apiwat. 2016: Evaluation of Maize (*Zea mays* Linn.) Seed Deterioration Using Fast Ethanol Assay. Special Problems, Bachelor's Degree (Agriculture) Major Field Agriculture Science Department of Agronomy Special Problems Advisor: Damrongvudhi Onwimol, Dr. 40 pages

The objective of this research is analysis of ethanol production of maize seed using a fast ethanol assay (FEA). Two varieties of maize were separated into 2 sub-samples with different production years. Germination test, accelerated Aging (AA) test and a single count of radicle emergence (SCRE) were executed for seed qualities testing in all sub-samples. For FEA, a complete $2^5 6$ factorial arrangement in a completely randomized design was used. There were 5 factors with 2 levels that consisted of maize varieties (A and B), seed ages (old and new seed), seed moisture contents (20 and 30% fresh weight basis, FWB), incubation times (3 and 6 hours), and incubation temperatures (40 and 60 °C). These, therefore, consisted of 32 treatment combinations with 6 replications per each treatment combination. Results revealed that there was no significant difference between old seed and new seed of both of varieties in the germination test ($Pr \leq 0.01$). This result differed from SCRE's results that old seed and new seed of both varieties could be distinguished by this test. A modified method of FEA using seed moisture content of 20% FWB and incubated maize seed in 40 °C for 6 hours was the optimal condition for separating old seed from new seed in variety A. The FEA result was according to the results of AA test but time period of FEA assessment is less than AA test about 9 days.

_____ _____ ___ /___ /___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ดำรงวุฒิ อ่อนวิมล อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ ผู้สนับสนุนและจัดหาเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆในการทดลองครั้งนี้ซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการทำการทดลองเป็นอย่างสูง ที่ช่วยทำให้การทำปัญหาพิเศษนี้สำเร็จ และส่งเสริมการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์เมล็ดพันธุ์ของข้าพเจ้า และยังเป็นผู้ให้คำปรึกษาและข้อคิดที่มีประโยชน์ ซึ่งสามารถนำไปใช้พัฒนาศักยภาพตนเองในอนาคตได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วันชัย จันทร์ประเสริฐ และปิติพงษ์ โตบันลือภพ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่สนับสนุนการทำปัญหาพิเศษและเป็นแบบอย่างที่ดีของนิสิตเสมอมา ขอขอบคุณ บริษัท ไพโอเนีย ไฮ-เบรด (ไทยแลนด์) จำกัด และ บริษัท เจริญโภคภัณฑ์โปรดิ๊วส์ จำกัด ที่สนับสนุนข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่อบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณ นางสาวธัญภัค รุ่งแสงชัยเจริญ ที่ให้คำปรึกษาในการทำปัญหาพิเศษและช่วยเก็บข้อมูลในครั้งนี้

อิศราภรณ์ อภิวัฒน์

ตุลาคม 2559

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	9
อุปกรณ์	9
วิธีการ	13
สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย	15
ผลและวิจารณ์	17
สรุป	25
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	26
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	30

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การงอก (Gmax, เปอร์เซ็นต์) การงอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (AA test) และ การแทงราก 2 มิลลิเมตรหลังการเพาะที่ 52 ชั่วโมง (Single count of radicle emergence) ของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ A และ B	18
2	ปริมาณเอทานอลที่วัดได้จากเครื่อง Dräger Alcotest 6810 ‘agri’ จากเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 พันธุ์ (Varieties) ที่มีอายุการผลิต (Age) แตกต่างกัน เมื่อนำไปบ่มด้วยระยะเวลา (Incubation Time) ความชื้น (Seed moisture content) และอุณหภูมิ (Incubation temperature) ที่แตกต่างกัน	20

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์กับอุณหภูมิที่ใช้บ่ม (ก) พันธุ์กับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ (ข) อุณหภูมิที่ใช้บ่มกับระยะเวลาในการบ่ม (ค) และ อุณหภูมิที่ใช้บ่มกับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ (ง)	22
2	ความงอกมาตรฐาน (ก) ความงอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (ข) การแทงรากแรกเกิดหลังการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตรวจนับรากแรกเกิดครั้งเดียว (ค) และปริมาณเอทานอลหลังการบ่มเมล็ดพันธุ์ (ง)	24

การประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลอย่างรวดเร็ว

Evaluation of Maize (*Zea mays* Linn.) Seed Deterioration Using Fast Ethanol Assay

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (*Zea mays* Linn.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์ และเอทานอล จากการขยายตัวของเศรษฐกิจและความต้องการอาหารประเภทโปรตีนที่เพิ่มมากขึ้นของชนชั้นกลางส่งผลให้ความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์และเมล็ดพันธุ์ซึ่งเป็นวัสดุปลูกมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2015)

ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกเมล็ดพันธุ์อันดับที่ 3 ของภูมิภาคอาเซียน และเป็นอันดับที่ 18 ของโลก (สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์พืชไทย, 2014) ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์สามารถดำรงอยู่ในธุรกิจเมล็ดพันธุ์ได้อย่างยาวนานและประสบความสำเร็จ คือกระบวนการจัดการการผลิตเมล็ดพันธุ์อย่างมีคุณภาพ เพื่อให้ได้เมล็ดพันธุ์ดีไว้จำหน่าย อย่างไรก็ตามเมล็ดพันธุ์เป็นสิ่งมีชีวิต มีการเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา ระหว่างการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมีเกิดขึ้นภายในเซลล์และเนื้อเยื่อต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ส่งผลให้ความงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ลดลง (จวงจันทร์, 2529; McDonald, 1999; Atici *et al*., 2007) การเสื่อมของเมล็ดพันธุ์จะเริ่มต้นหลังจากที่เมล็ดพันธุ์ผ่านระยะแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological Maturity; PM) Delough and Baskin (1973) รายงานว่าการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์จะเริ่มต้นจากการเสื่อมของผนังของออร์แกเนลล์ (organelle) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไมโทคอนเดรีย (Mitochondria) ที่เปรียบเสมือนโรงงานผลิตพลังงานของเซลล์ หากเมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงสูง ผนังของ ไมโทคอนเดรีย จะอยู่ในสภาพดี ต่างกับเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพที่จะมีไมโทคอนเดรียที่เสื่อมสภาพในสัดส่วนที่สูง ฉะนั้นการตรวจวัดการเสื่อมสภาพของไมโทคอนเดรียจึงอาจเป็นสัญญาณแรกของการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์และอาจใช้เป็นดัชนีสำหรับการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้

นักเมล็ดพันธุ์สามารถใช้การเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อหรือเซลล์ภายในเมล็ดพันธุ์คาดคะเนความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้ ซึ่งการตรวจวัดความเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่อหรือเซลล์ภายในเมล็ด

พันธุ์ทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity Test; EC Test) ที่เป็นการทดสอบปริมาณสารที่รั่วไหลออกมาจากเมล็ด แม้จะเป็นเทคนิคที่ทำให้โดยสะดวกแต่มักจะมีความแม่นยำและความถูกต้องต่ำ ในหลายกรณี อาทิ กรณีที่เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ทดสอบมีความชื้นไม่เท่ากัน หรือในพืชหลายชนิดมีสัดส่วนของเอ็มบริโอต่อเมล็ดที่ต่ำ เหล่านี้จะส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Hampton *et al*., 1995) อีกวิธีหนึ่งคือ วิธีการเร่งอายุ (Accelerated aging test; AA) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานในการทดสอบ (ISTA, 2013) ปัจจุบันการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยการวัดปริมาณเอทานอลอย่างรวดเร็ว (Fast Ethanol Assay) เป็นวิธีการที่สะดวก ถูกต้อง และแม่นยำ เนื่องจากเป็นการวัดการเสื่อมสภาพของไมโทคอนเดรียที่ไม่จำเป็นต้องเนินการผ่านขั้นตอนที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูงดัง ดังเช่นเทคนิค Gas Chromatography เนื่องจากจะดำเนินการผ่านเครื่อง Breath Analyzer - Agri Version ที่เป็นเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์จากลมหายใจที่ดัดแปลงมากจากเครื่องมือที่ใช้ในงานตำรวจจราจร

อย่างไรก็ตามการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการวัดปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการวัดปริมาณเอทานอลอย่างรวดเร็ว จำเป็นต้องทราบเงื่อนไขการดำเนินที่เหมาะสม อาทิ ระดับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ ระยะเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนการวัด ซึ่งเงื่อนไขที่สำคัญเหล่านี้ยังไม่มีการรายในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญดังกล่าวแล้ว การทดลองนี้จึงพยายามศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ระยะเวลา และความชื้นของเมล็ดพันธุ์ต่อการผลิตเอทานอลของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่มีความแข็งแรงต่างกันเนื่องจากมีอายุที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบเงื่อนไขการดำเนินที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงหรือตรวจสอบการเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ระยะเวลา และความชื้นของเมล็ดต่อการผลิตเอทานอลของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว

2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณเอทานอลด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วกับความแข็งแรงหรือความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การตรวจเอกสาร

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเมล็ดพันธุ์อันดับ 3 ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเป็นอันดับที่18 ของโลก ปัจจุบันอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ของไทยเติบโตอย่างรวดเร็วซึ่งในแต่ละปีจะมีเงินหมุนเวียนในธุรกิจเมล็ดพันธุ์เฉลี่ยปีละราว 7,000 ล้านบาท (นลินทิพย์, 2015) ตลาดหลักที่ไทยส่งออกเมล็ดพันธุ์ได้แก่ เวียดนาม อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และมาเลเซีย โดยเมล็ดพันธุ์ที่มีมูลค่าส่งออกมากที่สุดหรือเกินครึ่งของเมล็ดพันธุ์พืชที่ส่งออกทั้งหมดคือเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่สร้างมูลค่าการส่งออกในปี พ.ศ. 2558 สูงถึง 1,882.807 ล้านบาท โดยมีปริมาณการส่งออก 21.804 ล้านตัน (สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย, 2559) ทั้งนี้เนื่องจากคุณภาพเมล็ดพันธุ์ของไทยเป็นที่ยอมรับของนานาชาติ จึงส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ที่ผลิตได้จากประเทศไทยเป็นที่นิยม

ลักษณะทางคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ (Quality Characteristics of Seed)

เมล็ดพันธุ์ดีที่เกษตรกรต้องการโดยทั่วไปควรประกอบด้วยคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. ความบริสุทธิ์ทางพันธุกรรม (Genetic Purity) หมายถึง การที่พืชมีลักษณะต่าง ๆ ตรงตามพันธุ์ที่ระบุไว้ ไม่มีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปจากลักษณะประจำพันธุ์หรือมีต้นของพันธุ์อื่นปะปน ซึ่งสามารถตรวจสอบได้หลายวิธี เช่น วิธีปลูกทดสอบ (Growth-out Test) วิธีการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาของเมล็ดพันธุ์ (Morphological Method) และวิธีทางชีวเคมี (Biochemical Method)

2. ความบริสุทธิ์ทางกายภาพ (Physical purity) โดยเมล็ดพันธุ์ที่จำหน่ายต้องปราศจากสิ่งเจือปน (กรวด หิน ดิน ทราย) เมล็ดวัชพืช และเมล็ดพันธุ์ชนิดอื่น ซึ่งถือว่าเป็นการตรวจสอบเมล็ดพันธุ์ในขั้นพื้นฐานต่อการรับรองคุณภาพของเมล็ดพันธุ์

3. ความมีชีวิตหรือความงอก (Viability หรือ Germination) หมายถึง เมล็ดที่มีชีวิตและสามารถงอกเป็นต้นกล้าปกติได้ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งสามารถตรวจสอบความงอกได้โดยการเพาะทดสอบความงอกมาตรฐาน หรือการทดสอบเตตราโซเลียม

4. ความแข็งแรงของเมล็ด (Seed Vigour) หมายถึง ความดีเด่นของเมล็ดพันธุ์ที่แสดงออกในสภาวะแวดล้อมในการงอกไม่เหมาะสม โดยจะสามารถงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าปกติได้

5. ความชื้นของเมล็ด (Seed Moisture Content) หมายถึง น้ำหรือความชื้นในเมล็ดที่อยู่ในรูปอิสระ (Free Water) และไม่อิสระ (Bound Water) ซึ่งเกี่ยวข้องต่อกระบวนการสรีระวิทยาภายในเมล็ดพันธุ์ ตลอดจนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแมลง เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงจึงควรมีความชื้นในระดับที่เหมาะสม

6. สุขภาพเมล็ดพันธุ์ (Seed Health) หมายถึง การปราศจากเชื้อสาเหตุโรคของเมล็ดพันธุ์ รวมทั้งสัตว์และแมลงศัตรูต่าง ๆ ที่ทำให้เมล็ดเสื่อม ตลอดจนเกิดการแพร่ระบาดของโรคในโรงเก็บเมล็ดพันธุ์

7. ความเสียหายของเมล็ดพันธุ์ (Seed Damage) หมายถึง ร่องรอยหรือความบอบช้ำที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บเกี่ยวไปจนถึงการเก็บรักษา ส่วนใหญ่เป็นความเสียจากเครื่องจักร (Mechanical Damage) ซึ่งอาจกระทบกระเทือนความงอกโดยทันที หรือ มีผลแฝง คือไม่ปรากฏทันที แต่สามารถตรวจสอบได้ด้วยการเพาะทดสอบ หรือการทดสอบความแข็งแรง หรือการตรวจสอบด้วยวิธี Fast Green Test

นอกจากนี้ลักษณะทางคุณภาพอื่น ๆ เช่น ขนาด น้ำหนัก รูปร่าง และ สีของเมล็ด รวมทั้งความสม่ำเสมอภายในกองเมล็ดพันธุ์ (Homogeniety in Seed Lot) ก็ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อเมล็ดพันธุ์ของเกษตรกรเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยมีความแข็งแกร่งด้านบุคลากร สถานที่ตั้ง และสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์คุณภาพดีหลายชนิดจึงส่งผลให้เมล็ดพันธุ์จากประเทศไทยเป็นที่ยอมรับของนานาชาติ แต่การจัดการกับเมล็ดพันธุ์จำนวนมากในโรงเก็บโดยไม่ทราบเวลาการจำหน่ายที่แน่นอนเป็นปัญหาสำคัญของธุรกิจเมล็ดพันธุ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่เกษตรกรต้องการแต่เป็นลักษณะที่เมล็ดพันธุ์สามารถสูญเสียได้ง่ายที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะทางคุณภาพอื่น ๆ ของเมล็ดพันธุ์ (McDonald and Copeland, 1995)

ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

ตามทฤษฎี เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงจะมีความงอกสูง และเมล็ดพันธุ์ที่มีความงอกสูงย่อมมีความมีชีวิตสูงตามไปด้วย เมื่อเมล็ดเกิดการเสื่อมสภาพความแข็งแรง และความสม่ำเสมอในการงอกจะลดลง ทำให้เมล็ดพันธุ์มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและการเจริญเติบโตของต้นกล้าลดลง ซึ่งอัตราการเสื่อมสภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและระยะเวลาการเก็บรักษา ดังนั้นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงควรงอกได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ รวมทั้งสามารถเติบโตได้ดีในแปลงปลูก (Hampton and TeKrony, 1995) ISTA (1999) ให้คำจำกัดความของความแข็งแรง ว่าเป็นลักษณะดีเด่นของเมล็ดพันธุ์ที่แสดงออกเมื่อเผชิญสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ไม่ได้เป็นคุณสมบัติที่อาจระบุได้ด้วยวิธีการประเมินเพียงวิธีเดียว แต่ต้องอาศัยหลักการและวิธีประเมินที่หลากหลายประกอบการตัดสินใจ เช่น การทดสอบในสภาพแปลง (Field Emergence) และการทดสอบโดยผ่านสภาพเค้น (Stress Test) เพื่อให้มาสารถ

ประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์และ/หรือสามารถคาดคะเนความสามารถในการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ได้ (Delouche and Baskin, 1973)

ปัจจัยต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

1. ปัจจัยทางพันธุกรรม (Genetic Constitution) เป็นลักษณะที่อยู่ภายใต้การควบคุมของพันธุกรรม ยกตัวอย่างเช่น ความไวต่อความเสียหายจากเครื่องจักรกล (Susceptibility to Mechanical Damage) และ องค์ประกอบทางเคมี (Seed Chemical Composition) ที่แตกต่างกันในแต่ละชนิดพืช ที่เอื้อให้เกิดความเสื่อมที่แตกต่างกัน ลักษณะเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์พืช

2. ความแก่ของเมล็ดพันธุ์ (Seed Maturity) เมล็ดพันธุ์จะมีความแข็งแรงสูงสุดที่ระยะแก่ทางสรีรวิทยา (Physiological Maturity; PM) จากนั้นความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จะลดลง

3. สภาพแวดล้อมระหว่างการพัฒนาของเมล็ด (Environment During Seed Development) เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความอุดมสมบูรณ์ของดิน โรค และแมลง ซึ่งสาเหตุภายนอกที่ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ที่ผลิตได้มีความแข็งแรงแตกต่างกัน

4. การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (Seed Storage) โดยรวมการปฏิบัติตั้งแต่ระยะเวลาก่อนเก็บรักษาและระหว่างการเก็บรักษา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น สัมพัทธ์ในบรรยากาศ และความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ เหล่านี้จะส่งผลต่อความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์อย่างสำคัญ หากเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ในสภาพที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เมล็ดพันธุ์มีอัตราการเสื่อมคุณภาพเพิ่มขึ้น

การเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์

เมื่อเมล็ดพันธุ์เติบโตและพัฒนาถึงระยะแก่ทางสรีรวิทยาแล้วจะมีการเสื่อมสภาพลงจนกระทั่งตายไปในที่สุด ระยะแก่ทางสรีรวิทยาเป็นระยะที่เมล็ดพันธุ์ยังอยู่บนต้นแม่ เป็นระยะที่เมล็ดพันธุ์มีการพัฒนาจนกระทั่งมีน้ำหนักแห้งสูงสุด ณ จุดนี้เมล็ดพันธุ์จะมีความงอกและความแข็งแรงสูงที่สุด ขณะเดียวกัน จุดนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์ (Seed Deterioration) ด้วยเช่นกัน การเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ไม่สามารถป้องกันหรือหยุดยั้งได้ แต่ถ้าหากมีวิธีการเก็บรักษาที่ดี อาจช่วยชะลอการลงได้ (วันชัย, 2538) ขั้นตอนการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์สามารถแบ่งได้ตามช่วงเวลาของการเกิดได้ดังนี้

1. การเสื่อมสภาพของผนังเซลล์ (Membrane Degradation) และผนังออร์แกเนลล์ ภายในเมล็ดพันธุ์ โดยจะสูญเสียคุณสมบัติในการควบคุมและเก็บกักสารต่าง ๆ ภายในเมล็ด ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ ออกจากเมล็ดเมื่อแช่หรือสัมผัสกับน้ำ เมล็ดยิ่งเก่าเท่าใดการรั่วออกของสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น การรั่วไหลของสารในเมล็ดสามารถตรวจสอบได้โดยการ

วัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) หรือการตรวจสอบปริมาณน้ำตาลในสารละลายที่รั่วออกมาจากเมล็ด

2. กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง (Loss of Enzyme Activity) เมล็ดพันธุ์ที่ยังมีชีวิตอยู่จะมีเอนไซม์หลายชนิด เช่น ดีไฮโดรจีเนสเอนไซม์ (Dehydrogenase Enzyme) อะไมเลส (Amylase) แคทาเลส (Catalase) เพอรอกซิเดส (Peroxydase) และฟีโนเลส (Phenolase) เมื่อเมล็ดเสื่อมสภาพกิจกรรมของเอนไซม์เหล่านี้จะลดลงสามารถตรวจสอบได้โดยวิธีการตรวจสอบทางชีวเคมี (Biochemical Test) เช่น วิธี GADA Test (Glutamic Acid Decarboxylase Activity Test) หรือวิธีเตตราโซเลี่ยม (TZ Test)

3. อัตราการหายใจลดลง (Reduction of Respiration) การหายใจเป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานร่วมกันของเอนไซม์ต่าง ๆ เพื่อย่อยสลายอาหารที่สะสมภายในเมล็ดพันธุ์ (Break Down of Food Reserve) เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน เมล็ดที่เสื่อมสภาพอัตราการหายใจจะลดลงทำให้สูญเสียพลังในการงอก การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการหายใจ อาทิการวิเคราะห์ค่า Respiration Quotient (R.Q.) หรือสัดส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์ที่เมล็ดปลดปล่อยออกมาต่อปริมาตรของออกซิเจนที่เมล็ดดูดซับไปใช้ เมล็ดที่เก็บรักษาไว้นานจนเสื่อมสภาพจะมีค่า R.Q. เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดสามารถดูดซับออกซิเจนได้น้อยลงในขณะที่ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

4. กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น (Increase in Free Fatty Acid) เนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส (Lypase) ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายไขมัน (Storage Lipid) ที่อยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ให้เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) และกรดไขมันอิสระ เมล็ดพันธุ์ที่มีกรดไขมันอิสระสูงถึง 2 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเมล็ดมีการเสื่อมคุณภาพค่อนข้างสูง เสี่ยงต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา (Fungi) ที่อาจช่วยเร่งให้การเสื่อมของเมล็ดเพิ่มขึ้น เนื่องจากไปย่อยสลายไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น

5. เมล็ดงอกได้ในสภาพแวดล้อมที่จำกัด (Narrow Germination Environment) โดยปกติเมล็ดพันธุ์ดีจะมีความสามารถในการงอกได้ในสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยที่จำเป็นการงอกในพิสัยกว้าง แต่เมื่อเมล็ดเสื่อมลงพิสัยในการงอกจะแคบลง นั้นคือเมล็ดจะงอกได้ในสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างจำกัดหรือเฉพาะเจาะจง ในข้าวโพด เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง จะสามารถงอกได้ในอุณหภูมิ ตั้งแต่ 10 - 40 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพมากขึ้น พิสัยของอุณหภูมิจะแคบลง เหลือเพียงระหว่าง 15 - 38 องศาเซลเซียสเท่านั้น (จวงจันทร์, 2521)

6. ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์ลดลง (Slow Germination Rate) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพยังคงสามารถงอกตามปกติ แต่ความเร็วในการงอกของเมล็ดพันธุ์จะลดลง ยิ่งเมล็ด

เสื่อมสภาพมากเท่าใด การงอกจะช้ามากขึ้นตามไปด้วย การตรวจสอบอัตราการงอกนั้น จะวัดได้จากดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index) ที่คำนวณจากผลรวมของสัดส่วนของจำนวนต้นที่งอกในแต่ละวันต่อจำนวนวันหลังการเพาะ (จวงจันทร์, 2521)

7. ความสามารถในการเก็บรักษาลดลง (Reduction of Storability) วิธีการประเมินความสามารถในการเก็บรักษาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ วิธีการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ (AA test) ซึ่งเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสามารถเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บรักษาของเมล็ดชนิดเดียวกันแต่ต่างกลุ่มหรือต่างกอง (Lot) ได้

8. อัตราการเติบโตและการพัฒนาของต้นกล้าลดลง (Decreasing Rate of Seedling Growth and Development) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพไม่มากนักยังสามารถงอกในสภาพแปลงปลูกได้ตามปกติ แต่การเติบโตของต้นกล้าจะค่อนข้างช้ากว่าเมล็ดที่ไม่เสื่อมคุณภาพ ส่งผลให้การออกดอกและติดเมล็ดลดลงตามไปด้วย

9. สูญเสียความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน (Loss of Environmental Stress Resistance) ต้นกล้าที่งอกจากเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพจะมีความสามารถในการทนต่อสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติ เช่น การขาดน้ำ (Water Stress) ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ลดลง การตรวจสอบคุณสมบัติในการสูญเสียความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนส่วนใหญ่ใช้วิธีการทดสอบในสภาพอากาศหนาว (Cold Test)

10. ความสม่ำเสมอของต้นกล้าในแปลงปลูกลดลง (Decreasing Uniformity of Seedling) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพนอกจากมีการงอกช้ากว่าเมล็ดที่ไม่เสื่อมสภาพแล้ว ยังทำให้ความสม่ำเสมอในการงอกของกล้าลดลง ส่งผลให้การออกดอกและการแก่ของผลหรือฝักเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน

11. เมล็ดพันธุ์เปลี่ยนสี (Changing of Seed Color) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพจะมีสีเปลี่ยนไปจากเดิม เมล็ดที่เคยมีสีสดใสเมื่อเสื่อมสภาพสีจะหมองลง สีเมล็ดส่วนใหญ่เมื่อเก่าจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (Browning) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมล็ดที่เก็บไม่พ้นแสง

12. ผลผลิตลดลง (Yield Loss) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพเมื่อนำไปปลูกจะทำให้ได้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตต่ำกว่าเมล็ดที่ยังไม่เสื่อมคุณภาพ

13. ความงอกในไร่ลดลง (Loss of Field Emergence) เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมมาก ๆ จะแสดงออกถึงความสามารถในการงอกในไร่ที่ลดลงจากเมล็ดพันธุ์ที่ไม่เสื่อมคุณภาพ

14. ต้นกล้าผิดปกติเพิ่มขึ้น (Abnormal Seedling Increasing) ต้นกล้าที่เพาะจากเมล็ดที่เสื่อมคุณภาพจะมีความผิดปกติมากกว่าเมล็ดที่มีคุณภาพดี ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อเยื่อบางส่วนภายในเมล็ด

เสื่อมสภาพหรือตายไป จึงทำให้เกิดอาการผิดปกติทางสัณฐาน (Morphology) เช่น การเจริญของรากชะงักงัน (Stunt Root) การที่ส่วนยอด (Hypocotyl) ไม่ยืดตัวจึงไม่สามารถโผล่ขึ้นเหนือผิวดินได้

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เป็นวิธีการตรวจวัดหรือคาดคะเนคุณสมบัติต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่จะงอกเป็นต้นกล้าภายใต้สภาพที่ไม่เหมาะสม ตลอดจนการประเมินความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (Wang and Hampton, 1991) แม้ว่าในพืชบางชนิดการทดสอบความงอกมาตรฐานจะมีความสัมพันธ์กับการงอกในแปลงปลูก แต่อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของการทดสอบความแข็งแรงกับความงอกในสภาพไร่มักให้ผลที่ดีกว่า การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่นิยมใช้มีดังนี้

1. การทดสอบการเจริญเติบโตและการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า (Seedling Growth and Evaluation Test) ได้แก่ การวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (Seedling Growth Rate) ดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Germination Index หรือ Speed of Germination) น้ำหนักแห้งของต้นกล้า (Seedling Dry Weight) และการจำแนกความแข็งแรงของต้นกล้า (Seedling Vigor Classification) เป็นต้น

2. การทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดโดยวิธีการเร่งอายุ การทดสอบในสภาพอากาศหนาว การทดสอบความงอกในสภาพอากาศเย็น (Cool Germination Test) Controlled Deterioration test (CD test) และ Saturate Salt Accelerated Aging Test (SSAA test) เป็นต้น

3. การทดสอบทางชีวเคมี (Biochemical Test) ได้แก่ การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดโดยวิธีเตตราโซเลียม และการวัดค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยวิธีการเร่งอายุ

วิธีการนี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับประเมินความงอกในสภาพไร่ รวมทั้งความสามารถในการเก็บรักษาของเมล็ดพันธุ์ โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงจะยังคงงอกได้ดีแม้จะผ่านสภาพแวดล้อมที่มีความเค้น สำหรับบริบทนี้คือสภาพที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูง ปัจจุบันวิธีการเร่งอายุเมล็ดได้ถูกนามาใช้ในการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยทำให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วในสภาพความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่สูง (Hampton and Tekrony, 1995) โดยอนุมานว่าขบวนการเสื่อมสภาพภายใต้สภาพ

การเร่งอายุนี้ คล้ายคลึงกับสภาพที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติแตกต่างเพียงอัตราการเสื่อมที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเท่านั้น (Delouche and Baskin, 1973)

เมล็ดพันธุ์ที่ผ่านการเร่งอายุแล้วจะถูกนำไปทดสอบความงอก เมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงหลังจากผ่านการเร่งอายุแล้วความงอกจะลดลงน้อยกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ (Abdullah et al., 1992) ชวนพิศ (2529) รายงานว่า การเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ นาน 48 ชั่วโมง เป็นวิธีที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม วัลลภและคณะ (2536) รวมทั้ง Santipracha *et al.* (1997) ได้ทดลองเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด 2 พันธุ์ คือ สุวรรณ 2 และนครสวรรค์ 1 พบว่าการเร่งอายุที่อุณหภูมิ 44 องศาเซลเซียส นาน 96 ชั่วโมง สามารถใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาในเขตร้อนชื้นได้ดีกว่าอุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส นาน 96 ชั่วโมง ซึ่งเป็นคำแนะนาโดยสมาคมนักทดสอบเมล็ดพันธุ์ (AOSA, 1983) นอกจากนี้ Woltz and Tekrony (2001) ได้ทดสอบการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่คลุกและไม่คลุกสารเคมี ที่อุณหภูมิ 41 และ 45 องศาเซลเซียส เวลา 72 96 และ 120 ชั่วโมง กับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม 2 ชนิด พบว่า AA Test ที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส 96 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง สามารถประเมินความงอก และความแข็งแรงได้ดีที่สุด

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า

ในสภาพเมล็ดแห้งผนังเซลล์จะเรียงตัวโดยหันขั้วที่ชอบน้ำเข้าหาโมเลกุลของน้ำซึ่งมีอยู่น้อยทำให้ขั้วที่ไม่ชอบน้ำหันออกจากกัน เมื่อเมล็ดมีการดูดน้ำเกิดขึ้นผนังเมมเบรนภายในเซลล์จะมีการจัดเรียงตัวเพื่อให้เข้าสู่สภาพปกติอีกครั้ง การดูดน้ำอย่างรวดเร็วอาจทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปมาของฟอสฟอไลปิด (Phospholipid) และไลโพโปรตีน (Lipoprotein) ขณะเดียวกันก็อาจมีกระบวนการซ่อมแซมเกิดขึ้นในระหว่างการจัดเรียงตัว ช่วงเวลานี้จะมีการรั่วไหลของสารต่าง ๆ เช่น น้ำตาล กรดอินทรีย์ ธาตุที่มีประจุ กรดอะมิโน และโปรตีน จากภายในเซลล์ออกสู่นอกเซลล์ซึ่งสารละลายที่รั่วไหลออกมาสามารถวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าได้ (วันชัย, 2538) เมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงผนังเซลล์จะเกิดการเรียงตัวและมีการซ่อมแซมส่วนที่เสียหายได้อย่างรวดเร็ว สารประกอบต่าง ๆ จะรั่วไหลออกมาได้น้อยทำให้มีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำ ในทางตรงกันข้ามถ้าเมล็ดมีความแข็งแรงต่ำการจัดเรียงตัวใหม่ของผนังเซลล์และการซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ เกิดขึ้นช้า สารประกอบจะรั่วไหลออกมามาก ส่งผลให้มีค่าการนำไฟฟ้าสูง (Hampton and TeKrony, 1995) ดังนั้นน้ำที่ผ่านการแช่เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพหรือเมล็ดที่มีความแข็งแรงต่ำ เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องมือ Electrical Conductivity Meter จึงมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเนื่องจากปริมาณของสารต่างๆ ที่รั่วไหลออกมาสูง

การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้ามีข้อจำกัดหลายประการ เช่น เมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ที่จำหน่ายเป็นการค้าจะมีการเคลือบสารเคมีเพื่อป้องกันเชื้อรา ดังนั้น ก่อนนำมาทดสอบ AOSA (1983) แนะนำว่าควรล้างสารเคมีที่เคลือบนั้นออกด้วยเมธานอลก่อนที่จะนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากสารเคมีดังกล่าวจะมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าที่วัดได้ ในขณะที่ Tao (1980) พบว่า การล้างสารเคมีที่เคลือบเมล็ดโดยใช้เมธานอลมีผลกระทบต่อค่าการนำไฟฟ้าในเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด และขนาดของเมล็ดมีอิทธิพลต่อการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Hampton *et al*., 1992) สามารถแก้ไขได้โดยการชั่งน้ำหนักเมล็ดก่อนการตรวจสอบ และหน่วยที่ได้จากการวัดค่าการนำไฟฟ้า คือ μS/cm/g·seed นอกจากนี้ความชื้นของเมล็ดเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของการวัดค่าการนำไฟฟ้า (Hampton *et al*., 1992) ซึ่งก่อนการตรวจสอบควรวัดความชื้น และปรับให้อยู่ในช่วง 10 - 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

การตรวจวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการวัดปริมาณเอทานอล

Kodde and Buckley (2011) ได้รายงานความสำเร็จของการตรวจวัดปริมาณเอทานอลเพื่อจำแนกการเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ โดยได้เสนอวิธีการที่ง่ายและรวดเร็วในการวิเคราะห์การเสื่อมของเมล็ดพันธุ์กะหล่ำปลีโดยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว (Fast เอทานอล Assay) ด้วยเครื่องตรวจสอบลมหายใจแบบพกพา (Breath Analyser) ซึ่งสะดวกกว่าการตรวจวัดด้วย Gas Chromatography หรือการตรวจวัดเอนไซม์ การตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วใช้เวลาในการตรวจสอบทั้งกระบวนการเพียง 4 – 5 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการผลิตเอทานอลของเมล็ดพันธุ์มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ กล่าวอีกนัยหนึ่ง การผลิตเอทานอลที่เพิ่มขึ้นของเมล็ดพันธุ์เป็นสัญญาณที่ชี้ว่าเมล็ดพันธุ์กำลังเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของไมโทคอนเดรีย และพบว่าเมล็ดพันธุ์ที่ยังไม่โตเต็มที่จะมีการผลิตเอทานอลมากกว่าเมล็ดพันธุ์ที่โตเต็มที่แล้ว (Groot *et al*.,2012) ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Woodstock and Taylorson (1981) ที่ได้รายงานว่า ระหว่างการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ มีการเพิ่มขึ้นของ Acetaldehyde และเอทานอลในเอมบริโอของเมล็ด ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของ Acetaldehyde และเอทานอลกับการเสื่อมสภาพของเมล็ดพันธุ์เป็นแบบผกผัน

วิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วเป็นกรรมวิธีที่สะดวก แม่นยำ และถูกต้อง นอกจากนี้ยังปราศจากสารอันตราย และความคลาดเคลื่อนจากการแปรผลของมนุษย์ ซึ่งขั้นตอนหลักของกรรมวิธีดังกล่าวมีเพียง 3 ขั้นตอนได้แก่ การชักนำเมล็ดพันธุ์ให้มีความชื้นตามต้องการ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิจำเพาะ และวัดปริมาณเอทานอลปากขวด ด้วยเครื่องตรวจสอบลมหายใจแบบ

พกพาหรือเครื่องตรวจวัดเอทานอลแบบดัดแปร วิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วเริ่มมีการใช้แพร่หลายมากขึ้นในทวีปยุโรป ในชนิดพืชที่ชาวยุโรปมักใช้ประโยชน์ เช่น Cabbage Canola และ Rape Seed เป็นต้น (Groot *et al*., 2012) แม้จะยังไม่มีรายงานความสำเร็จในการใช้วิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วกับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แต่สิ่งที่จะเกิดขึ้นอย่างแน่นอนหากมีการค้นพบเงื่อนไขที่จะทำให้สามารถใช้วิธีดังกล่าวกับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ คือการที่ผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์และศูนย์เก็บเมล็ดเชื้อพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั่วโลกจะได้ใช้องค์ความรู้และวิธีการนี้เพื่อประกอบการตัดสินใจและจัดการกับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ตนเก็บรักษาอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วให้ประสบผลสำเร็จนอกจากปัจจัยด้านพันธุกรรมแล้ว ปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ที่สำคัญซึ่งจะช่วยให้สามารถตรวจวัดได้อย่าง แม่นยำ และถูกต้อง คือ ความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ ระยะเวลาที่ใช้บ่มในกระบวนการ และอุณหภูมิที่จะใช้ในการบ่ม ซึ่งช่วงของแต่ปัจจัยที่ใช้เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยเท่าที่มีอยู่อย่างจำกัดในอดีต ได้แก่ 20 - 30 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักสด) 3 - 6 ชั่วโมง และ 40 - 60 องศาเซลเซียส สำหรับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ ระยะเวลาที่ใช้บ่ม และอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม ตามลำดับ (Kodde *et al*., 2012) ฉะนั้นช่วงความชื้น ระยะเวลา และอุณหภูมิเหล่านี้ควรถูกใช้เป็นกรอบในการพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วกับพืชที่ยังไม่ได้รับรายงาน ซึ่งในกรณีนี้ก็คือเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เมล็ดพันธุ์
   1.1. บริษัท A ผลิตเมื่อ พ.ศ. 2557 (เมล็ดเก่า)
   1.2. บริษัท A ผลิตเมื่อ พ.ศ. 2558 (เมล็ดใหม่)
   1.3. บริษัท B ผลิตเมื่อ พ.ศ. 2557 (เมล็ดเก่า)
   1.4. บริษัท B ผลิตเมื่อ พ.ศ. 2558 (เมล็ดใหม่)
2. การสุ่มเมล็ด (Seed Sampling)
   2.1. ถุงมือยาง
   2.2. ถุงพลาสติกหรือกระสอบ ที่มีความลึกน้อยกว่า 40 เซนติเมตร
   2.3. เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. การตรวจสอบความงอก (Germination test)
   3.1. ตู้เพาะเมล็ด (Seed Germinator) ปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์
   3.2. กระดาษเพาะ(Paper Towel) และอุปกรณ์การเพาะ
   3.3. ถาดเพาะเมล็ด
   3.4. ปากคีบ ปากกา และกระดาษสติ๊กเกอร์
   3.5. น้ำขจัดไอออน
4. การตรวจสอบความชื้นของเมล็ดพันธุ์ (Seed Moisture Test)
   4.1. ตู้อบลมร้อน (Hot-Air Oven)
   4.2. กระป๋องอลูมิเนียม (Aluminium Can)
   4.3. โถดูดความชื้น (Desiccator)
5. การทำให้เมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงต่ำโดยวิธีการเร่งอายุ (Accelerated Aging Test)
   5.1. ตู้อบลมร้อน (Hot-Air Oven)
   5.2. ขวดโหลเร่งอายุ (ขวดโหลอับอากาศ พร้อมตะแกรงลวดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ขาตั้งสูง 3 เซนติเมตร)
   5.3. บีกเกอร์ และน้ำขจัดไอออน

6. การวัดปริมาณเอทานอล (Fast Ethanol Assay)
   6.1. Dräger Alcotest 6810 ‘agri’ Version Breathe Analyser
   6.2. เข็มฉีดยาขนาด 23G
   6.3. ขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร
   6.4. จุกยางและฝาอลูมิเนียมปิดปากขวด
   6.5. คีมปิดฝาอลูมิเนียม
   6.6. คีมเปิดขวด
   6.7. ไมโครปิเปต
7. การวิเคราะห์ข้อมูล
   7.1. โปรแกรม R
   7.2. โปรแกรม Excel 2010

วิธีการ

การทดลองที่ 1 การทดสอบความชื้น (Seed Moisture Content, %) ของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สุ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตัวอย่างละ 40 เมล็ด ชั่งน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียม (M1) นำเมล็ดพันธุ์แต่ละตัวอย่างใส่ในกระป๋อง โดยใส่กระป๋องล่ะ 20 เมล็ด แล้วชั่งน้ำหนัก (M2) นำเมล็ดพันธุ์ทั้งหมดบ่มในตู้อบลมร้อน (Hot air oven) อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ประมาณ 30 นาที และนำมาชั่งน้ำหนักทีละกระป๋อง (M3) นำค่าที่ได้ทั้งหมดคำนวณหาค่าความชื้นของเมล็ดพันธุ์ ตามสมการ

$$\%SMC = (M2-M3)/(M2-M1)$$

การทดลองที่ 2 การทดสอบความงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตัวอย่างละ 400 เมล็ด โดยแต่ละตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน นำ 200 เมล็ดแรกในแต่ละตัวอย่างมาเร่งอายุ โดยใส่ในตะแกรงลวด และนำไปวางในขวดโหลอับอากาศที่มีน้ำขจัดไอออนอยู่ภายใน 70 มิลลิลิตร นำขวดโหลเร่งอายุใส่ในตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง หลังครบระยะเวลาที่กำหนด นำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมดมาเพาะโดยวิธี Between Paper (BP) เพาะเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ลงบนกระดาษเพาะ ตัวอย่างละ 50 เมล็ด 4 ซ้ำ โดยใช้ถาดเพาะเมล็ด จากนั้นม้วนกระดาษที่มีเมล็ดอยู่ภายใน นำไปเพาะในตู้เพาะเมล็ดที่มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 54 ชั่วโมง แล้วนับการงอกรากแรกเกิด (Single Counts of Radicle Emergence, SCRE) โดยนับเมล็ดที่มีรากงอกไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร จากนั้นเพาะต่อ และนับจำนวนต้นกล้าที่งอกปกติทุก 4 และ 7 วัน บันทึกผลการทดลองประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ก่อนการเร่งอายุและหลังการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 4 ตัวอย่าง

การทดลองที่ 3 การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยการวัดปริมาณเอทานอล

สุ่มเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้ง 4 ตัวอย่างใส่ลงในขวดแก้วขนาด 20 มิลลิลิตร ขวดละ 10 เมล็ด (เนื่องจากเมล็ดที่วางควรหนาสามชั้นของความหนาเมล็ดภายในขวด) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) โดยจัดสิ่งทดลองแบบ $2^k r$ Factorial โดยที่ k คือปัจจัยที่ต้องการทดสอบรวมทั้งสิ้น 5 ปัจจัย ได้แก่ พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (พันธุ์ A และ B) อายุเมล็ดพันธุ์ (ใหม่และเก่า) ความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ (20 และ 30 เปอร์เซ็นต์) อุณหภูมิในการบ่ม (40 และ 60 องศาเซลเซียส) และ ระยะเวลาที่ใช้บ่ม (3 และ 6 ชั่วโมง) ขณะที่ r คือ ซ้ำจำนวนทั้งสิ้น 6 ซ้ำ หลังการใส่เมล็ดพันธุ์ในขวดแล้วให้ปรับความชื้นในเมล็ดพันธุ์ที่ได้ทราบค่าความชื้นเริ่มต้น (Initial Seed MC) จากการทดลองที่ 1 ให้ได้ความชื้นตามต้องการโดยการเติมน้ำขจัดไอออน ตามสมการ

$$\text{Water to be added } (\mu l) = (\text{initial weight in mg}) \times \frac{\text{(initial seed mc - desired seed mc)}}{\text{(desired seed mc - 1)}}$$

จากนั้นนำเมล็ดพันธุ์เข้าตู้อบลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการบ่มตามกำหนด จากนั้นนำออกมาวัดปริมาณเอทานอลอย่างรวดเร็วโดยใช้เครื่อง Dräger Alcotest 6810 ‘agri’ โดย

ดำเนินการตามคู่มือ บันทึกผล และวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองด้วยโปรแกรม R ข้อมูลที่เป็นเปอร์เซ็นต์ จะถูกแปลงเป็นค่าอาร์คไซน์ (Arcsine Transformation) ก่อนนำไปวิเคราะห์

สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย

1. สถานที่การทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

2. ระยะเวลาการทำวิจัย

แผนงานวิจัย	ระยะเวลาดำเนินงาน						
	พ.ศ. 2559						
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1. กำหนดหัวข้อปัญหาพิเศษ	●						
2. วางแนวทางการปฏิบัติงาน	●						
3. ประชุมวางแผนการทดลอง		●					
4. ออกแบบแผนการทดลองเบื้องต้น		●					
5. กำหนดกรอบการทดลองและสร้างแบบบันทึกผลการทดลอง		●					
6. จัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลอง			●				
7. ทำการทดลอง การทดลองที่ 1 - 3				●	●		
8. วิเคราะห์ผลการทดลอง						●	
9. เขียนและจัดรูปเล่มปัญหาพิเศษ						●	
10. ส่งรูปเล่มปัญหาพิเศษ							●

ผลและวิจารณ์

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์

จากการทดสอบความงอกและแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งสองพันธุ์ ภายในพันธุ์ประกอบด้วยสองปีการผลิต พบว่าเปอร์เซ็นต์การงอกในห้องปฏิบัติการของเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในปีที่แตกต่างกันของทั้งสองพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ *($P \leq 0.01$)* ต่างกับค่าที่ได้จากการประเมินความแข็งแรงโดยการเร่งอายุของเมล็ดพันธุ์ พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดของพันธุ์ B มีความแข็งแรงสูงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P \leq 0.01$)* เมื่อเทียบกับพันธุ์ A ที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า ความแข็งแรงของเม็ดพันธุ์ที่ผลิตในปีที่แตกต่างกันภายในพันธุ์เดียว พบว่า เมล็ดพันธุ์อายุน้อยกว่ามีความแข็งแรงสูงกว่าที่มีอายุมากกว่า โดยมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($P \leq 0.01$)* ดังตารางที่ 1 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ A ซึ่งผลิตในปีที่เก่ากว่า มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดอยู่ที่ 52 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่ผลิตในปีที่ใหม่กว่า มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุด 89.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ B ที่ผลิตก่อนและหลัง มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงสุดอยู่ที่ 93 และ 98 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

Abdullah *et a*l. (1992) รายงานว่าเมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงหลังจากผ่านการเร่งอายุแล้วความงอกจะลดลงน้อยกว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นระหว่างการเก็บรักษาที่สูงส่งผลให้เมล็ดพันธุ์เสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว Robert *et al*., (1973) ได้อธิบายว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่ำ จะมีความเสถียรของกรดไรโบนิวคลีอิก (RNA integrity) ลดลง ซึ่งการสูญเสียความเสถียรของ rRNA จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ไรโบโซมลดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์โปรตีนลง เนื่องจาก rRNA มีบทบาทสำคัญในกระบวนการแปรรหัส (Translation) การนี้จึงมีความเป็นไปได้ว่าพันธุ์ B มีรูปแบบการเก็บรักษาที่เหมาะสมกว่าพันธุ์ A จึงทำให้มีความงอกภายหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 ความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การงอก (Gmax, เปอร์เซ็นต์) การงอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (AA test) และ การแทงราก 2 มิลลิเมตรหลังการเพาะที่ 52 ชั่วโมง (Single count of radicle emergence) ของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ A และ B

Source of variation	Gmax (%)	AA test (%)	Single count of radicle emergence (%)
Varieties (A)			
A	89.00	70.75	52.50
B	97.50	95.50	65.75
Age (B)			
Old	90.75	72.50	45.00
New	95.75	93.75	73.25
C.V. (%)	8.21	23.18	29.69
Pr>F			
A	Ns	***	***
B	Ns	***	**
A×B	Ns	***	Ns

Ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.01$

*** แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญยิ่งที่ $P \leq 0.001$

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยวิธีการนับเมล็ดงอกรากแรกเกิดครั้งเดียว

จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดพันธุ์ที่งอกรากแรกเกิด (ยาวไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร) หลังการเพาะ 52 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถแยกความแตกต่างของความแข็งแรงระหว่างเมล็ดพันธุ์ที่ผลิตในปีที่แตกต่างกันของทั้ง 2 พันธุ์ออกจากกันได้ นั้นคือ เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ B ในปีการผลิตใหม่ มีเปอร์เซ็นต์การงอกรากแรกเกิดสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ *($P \leq 0.01$)* เมื่อเทียบกับเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์เดียวกันที่ผลิตในปีที่เก่ากว่า ซึ่งผลการทดสอยที่ได้จากการรวิเคราะห์การนับรากแรกเกิด (2 มิลลิเมตร) ครั้งเดียวที่ 52 ชั่วโมง สอดคล้องกับที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงจากเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (ตารางที่ 1)

Khajeh-Hosseini *et al.* (2009) กล่าวว่า อัตราการแทงรากของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (2 มิลลิเมตร) มีความสัมพันธ์กับความสามารถของการงอกในสภาพไร่ นอกจากนี้ Matthews *et al.* (2010) ยัง

พบว่า ค่าเฉลี่ยในการงอก และ เปอร์เซ็นต์การแทงรากแรกเกิดซึ่งเพาะทดสอบที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 วัน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเปอร์เซ็นต์การงอกต้นกล้าปกติสูงสุดในการทดสอบความงอกในสภาพอากาศเย็น (Cold Test) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 66 ชั่วโมง

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็ว

จากการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่วัดได้ด้วยเครื่อง Dräger Alcotest 6810 'agri' ที่มี 6 ซ้ำ และภายใต้อิทธิพลของ 5 ปัจจัย ปัจจัยแรกคือความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์จำนวน 2 ระดับ (20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักสด) ปัจจัยที่สองคือระยะเวลาที่ใช้บ่มเมล็ดพันธุ์ 2 ช่วง (3 และ 6 ชั่วโมง) และปัจจัยที่สามคืออุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเมล็ดพันธุ์ 2 อุณหภูมิ (40 และ 60 องศาเซลเซียส) ปัจจัยที่สี่คือพันธุ์ (A และ B) และปัจจัยที่ห้าคืออายุของเมล็ดพันธุ์ (เมล็ดเก่าและเมล็ดใหม่) การวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่พบอิทธิผลร่วมทุกปัจจัยต่อปริมาณการผลิตเอทานอลของเมล็ดพันธุ์ ($P \leq 0.01$) แต่เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยแล้ว พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกปัจจัย ($P \leq 0.01$) กล่าวคือทั้ง 5 ปัจจัยมีผลต่อการผลิตเอทานอลในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การงอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ และเมื่อพิจารณาถึงปฏิสัมพันธ์เป็นคู่ระหว่างปัจจัยแล้ว พบว่า พันธุ์กับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ (ระหว่างกระบวนการ) และ ความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์กับอุณหภูมิในการบ่ม มีปฏิสัมพันธ์และส่งผลต่อการผลิตเอทานอลของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$) นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุ์กับอุณหภูมิในการบ่ม และ อุณหภูมิที่ใช้บ่มกับระยะเวลาในการบ่มปฏิสัมพันธ์และส่งผลต่อการผลิตเอทานอลของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในการทดลองอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.001$) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณเอทานอลที่วัดได้จากเครื่อง Dräger Alcotest 6810 ‘agri’ จากเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 2 พันธุ์ (Varieties) ที่มีอายุการผลิต (Age) แตกต่างกัน เมื่อนำไปบ่มด้วยระยะเวลา (Incubation Time) ความชื้น (Seed moisture content) และอุณหภูมิ (Incubation temperature) ที่แตกต่างกัน

Source of Variation	Headspace Ethanol
Varieties (A)	
A	684.22
B	171.43
Age (B)	
Old	460.24
New	395.41
Incubation Time (C)	
3 Hours	267.44
6 Hours	588.21
Seed moisture content (D)	
20 %	404.40
30 %	451.25
Incubation temperature (E)	
40 °C°	223.708
60 °C°	631.937
C.V. (%)	101.72
P>F	
A × B	Ns
A × C	Ns
A × D	**
A × E	***
B × C	Ns
B × D	Ns
B × E	Ns
C × D	Ns
C × E	***
D × E	**
A × B × C	Ns
A × B × D	Ns
A × B × E	Ns
A × C × D	Ns
A × C × E	Ns
A × D × E	Ns
B × C × D	Ns
B × C × E	Ns
B × D × E	Ns
C × D × E	Ns
A × B × C ×D	Ns
A × B × C ×E	Ns
A × C × D ×E	Ns
A × B × D ×E	Ns
B × C × D ×E	Ns
A × B × C ×D × E	Ns

Ns ไม่แตกต่างทางสถิติ

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $Pr \leq 0.01$

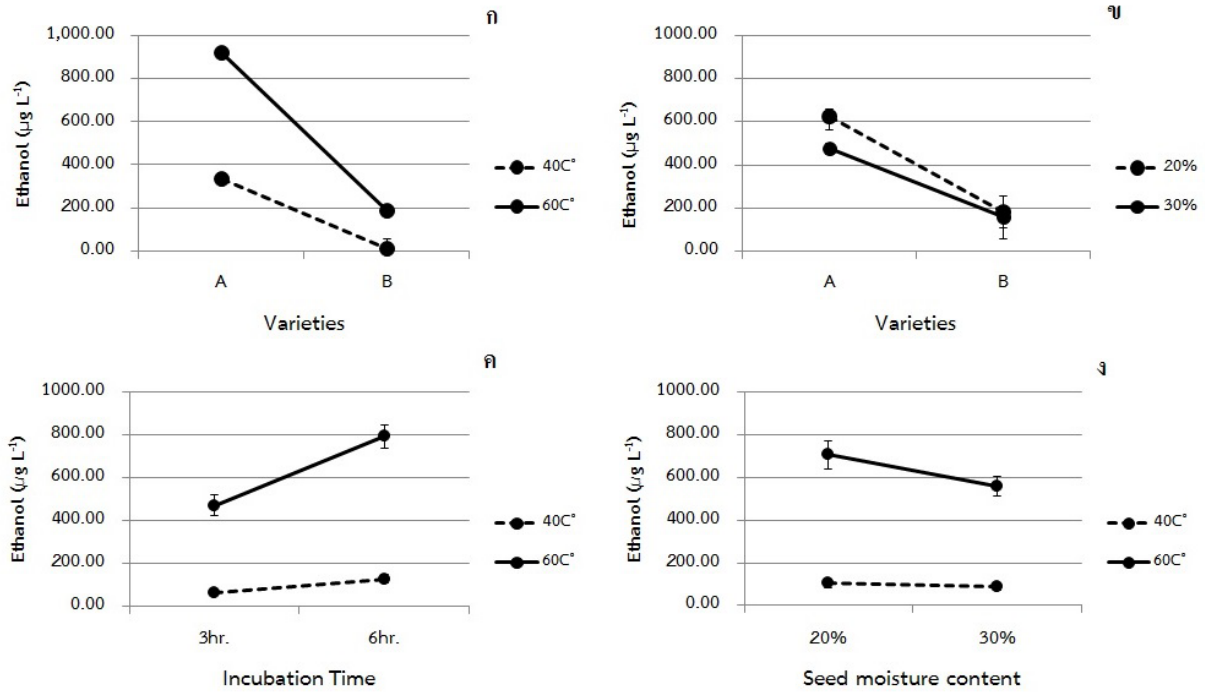
*** แตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญยิ่งที่ $Pr \leq 0.001$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์และอุณหภูมิในการบ่มเมล็ดพันธุ์ จากภาพ 1ก พบว่าพันธุ์ A และการบ่มที่ 60 องศาเซลเซียสสามารถชักนำให้เกิดเอทานอลได้มากกว่า พันธุ์ B และการบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยพันธุ์ A ที่บ่มที่ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 922.40 ไมโครกรัมต่อลิตร ขณะที่ พันธุ์ B ที่บ่มที่ 40 องศาเซลเซียสมีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 6.73 ไมโครกรัมต่อลิตร

ภาพที่ 1ข อิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์กับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ พบว่าการปรับเมล็ดพันธุ์ A ให้มีความชื้น20 เปอร์เซ็นต์ สามารถชักนำให้เกิดเอทานอลได้มากกว่า เมล็ดพันธุ์ B ที่มีความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเมล็ดพันธุ์ A ที่มีความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 626.15 ไมโครกรัมต่อลิตร ขณะที่เมล็ดพันธุ์ B ที่มีความชื้น 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 160.21 ไมโครกรัมต่อลิตร

อิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลาในการบ่มกับอุณหภูมิในการบ่ม พบว่าการบ่มเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง สามารถชักนำให้เกิดเอทานอลได้มากกว่า การบ่มเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 40 องซาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการบ่มเมล็ดพันธุ์ด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมงมีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 792.73 ไมโครกรัมต่อลิตร ขณะที่การบ่มเมล็ดพันธุ์ด้วยอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมงมีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 63.73 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 1ค)

อิทธิพลร่วมระหว่างความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์กับอุณหภูมิที่ใช้บ่ม พบว่าการบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่มีความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถชักนำให้เกิดเอทานอลได้มากกว่า การบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยการบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส และความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ 20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 705.46 ไมโครกรัมต่อลิตร สูงกว่า การบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส ที่มีความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ 30 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณเอทานอลที่วัดได้ 15.42ไมโครกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 1ง)



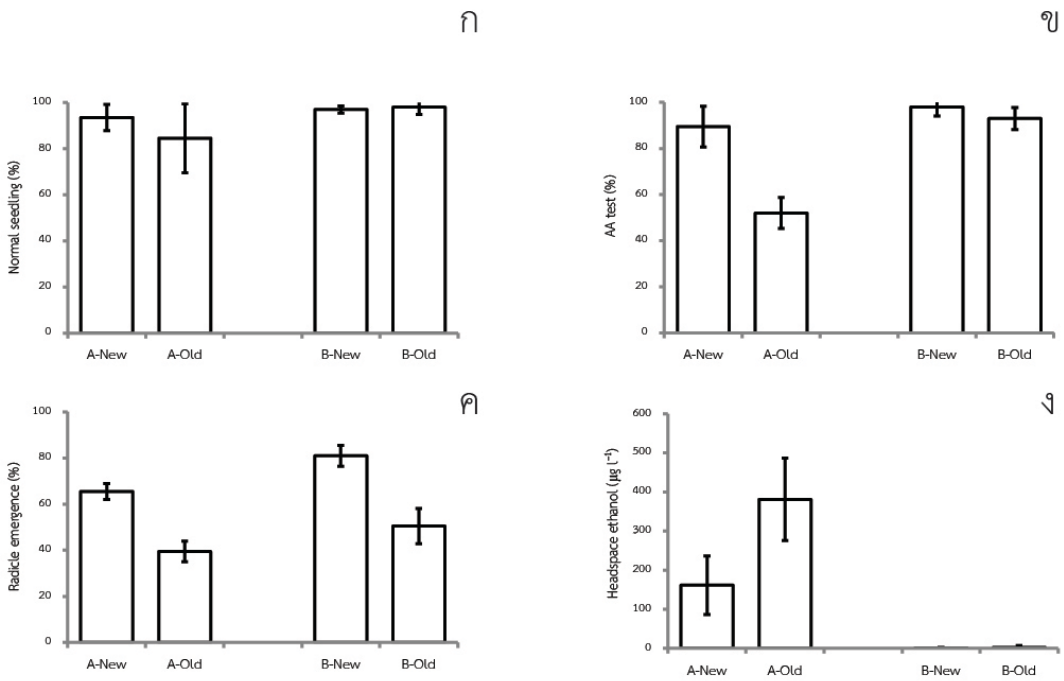
ภาพที่ 1 อิทธิพลร่วมระหว่างพันธุ์กับอุณหภูมิที่ใช้บ่มเมล็ดพันธุ์ (ก) พันธุ์กับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ (ข) ระยะเวลาในการบ่มกับอุณหภูมิที่ใช้บ่ม (ค) และ ความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์กับอุณหภูมิที่ใช้บ่ม (ง)

การใช้อุณหภูมิที่ต่างกันสำหรับการบ่มเมล็ดพันธุ์ 2 ระดับ เป็นปัจจัยที่มีส่งผลต่อการผลิตเอทานอลของเมล็ดพันธุ์อย่างยิ่ง จากการทดลองพบว่าการบ่มเมล็ดพันธุ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีการผลิตเอทานอลที่สูง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจะกระตุ้นให้เมล็ดพันธุ์เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว และอุณหภูมิสูงจะไปกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Pyruvate Decarboxylase ให้สูงมากขึ้น ซึ่งเอนไซม์นี้มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนสาร Pyruvate ไปเป็นเอทานอลในกระบวนการหมัก (Fermentation) ส่งผลให้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีการผลิตเอทานอลได้อย่างต่อเนื่อง Davies *et al*., (1974) รายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียส เป็น 40 องศาเซลเซียส สามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ Pyruvate Decarboxylase สูงขึ้นถึง 5 เท่า

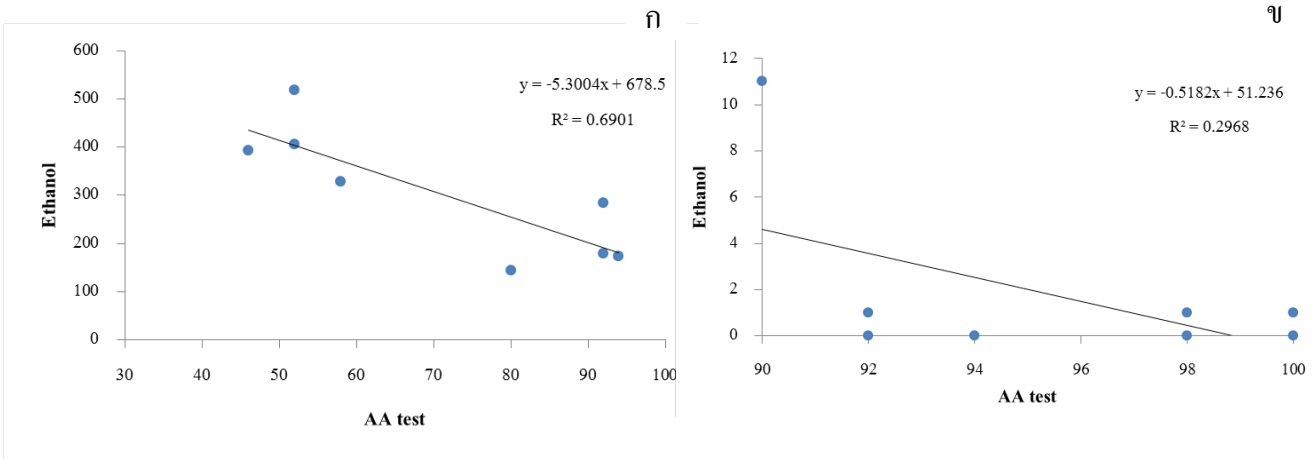
ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลกับปริมาณเอทานอลที่เมล็ดพันธุ์ผลิตขึ้น กล่าวคือเมื่อระยะเวลาในการบ่มมากขึ้น ส่งผลให้เมล็ดพันธุ์ได้รับปัจจัยต่างๆในกระบวนการมากขึ้น เกิดการเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเมล็ดพันธุ์ ซึ่งส่งผลให้ความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์สูงขึ้น ปริมาณเอทานอลจึงสูงตามไปด้วย จนถึงระยะหนึ่ง ปริมาณเอทานอลจะลดลง เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ตายและไม่สามารถผลิตเอทานอลได้อีกต่อไป (จวง จันทร์, 2529)

Delough and Baskin *et al.* (1973) เสนอว่าการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์จะเริ่มต้นจากการเสื่อมของผนังของ organelle ต่าง ๆ ภายในเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไมโทคอนเดรีย ที่เปรียบเสมือนโรงงานผลิตพลังงานของเซลล์ หากเมล็ดพันธุ์มีความแข็งแรงสูง ผนังของ ไมโทคอนเดรีย จะอยู่ในสภาพดี Pyruvate จากภายนอกจากไซโตพลาสซึมจะสามารถเข้าสู่ภายในของ ไมโทคอนเดรีย และถูกนำไปใช้ในกระบวนการ Citric Acid Cycle จนกระทั่งได้นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ (NADH) และ $FADH_2$ และถูกเปลี่ยนต่อ ให้เป็นอะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต (Adenosine Triphosphate, ATP) ที่ผนังของ ไมโทคอนเดรีย แต่เมล็ดที่มีความแข็งแรงต่ำผนังของไมโทคอนเดรีย จะเริ่มเสื่อมสภาพส่งผลให้การสร้างอะดีโนซีนไตรฟอสเฟตหยุดชะงัก แต่เซลล์ยังคงต้องการพลังงานในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องมีการดำเนินการผ่านกระบวนการหมักที่เกิดในบริเวณ Cytosol ในกระบวนการนี้ สาร Pyruvate จากกระบวนการ Glycolysis จะถูกเปลี่ยนเป็น Acetaldehyde แล้วเปลี่ยนไปเป็น เอทานอล ทำให้ได้นิโคตินาไมด์อะดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ เป็นสารให้พลังงานขึ้นมาแทนที่อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟต ดังกล่าวแล้ว (Benamar *et al*., 2003) แม้จะให้พลังงานได้แต่เอทานอล เป็นพิษกับเซลล์ เมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมคุณภาพมากจะมี ไมโทคอนเดรียที่เสื่อมสภาพในสัดส่วนที่สูง ทำให้มีการผลิตเอทานอลมากกว่า ดังนั้นการเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่เมล็ดผลิตขึ้นจึงสามารถนำมาใช้แยกเมล็ดเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงต่างกันได้ (Taylor and Kodde *et al*., 2001)

ผลที่ได้ทำให้ทราบว่า การปรับระดับความชื้นภายในเมล็ดพันธุ์ให้เป็น 20 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักสด) ใช้ระยะเวลาในบ่มเมล็ดพันธุ์ที่ 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะให้ผลการดำเนินการที่มีความถูกต้องและแม่นยำในการตรวจวัดปริมาณเอทานอลในทุกตัวอย่างเมล็ดพันธุ์สูงที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ (กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือการดำเนินการตามเงื่อนไขดังกล่าวจะสามารถแยกเมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพแตกต่างกันออกจากกันได้ และให้ค่าความแปรปรวนของปริมาณเอทานอลที่วัดได้ต่ำที่สุด) ซึ่งผลการวิเคราะห์ความปริมาณเอทานอลที่ได้สอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่ประเมินได้ภายหลังการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (Accelerated aging (AA) test) ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ตามกรรมวิธีของ ISTA (1995) นอกจากนี้ผลของการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่ได้ยังสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่ได้ภายหลังการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตรวจนับรากแรกเกิดครั้งเดียว (single count of radicle emergence for seed vigour evaluation) ซึ่งได้ดำเนินการที่ 52 ชั่วโมงหลังการเพาะทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ 25 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความงอกมาตรฐาน (ก) ความงอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (ข) การแทงรากแรกเกิดหลังการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตรวจนับรากแรกเกิดครั้งเดียว (ค) และปริมาณเอทานอลหลังการบ่มเมล็ดพันธุ์ (ง) ของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 4 ตัวอย่าง (จาก 2 พันธุ์ A และ B) ที่มีการเสื่อมตามธรรมชาติแตกต่างกัน (Old = เมล็ดเก่า New = เมล็ดใหม่) (แถบความคลาดเคลื่อนคือ 95% confidence interval error bars)



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลหลังการบ่มเมล็ดพันธุ์กับค่าความงอกหลังการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ของพันธุ์ A (ก) และพันธุ์ B (ข)

จากภาพที่ 3 พบว่าการประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วโดยเตรียมเมล็ดพันธุ์ที่ความชื้นเริ่มต้น 20 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และเวลาในการบ่ม 6 ชั่วโมง ปริมาณเอทานอลที่เมล็ดพันธุ์ของพันธุ์ A ผลิตขึ้นจากการเสื่อมสภาพของไมโทคอนเดรียภายในเมล็ดพันธุ์มี

ความสัมพันธ์ที่สอดคล้องในระดับที่สูงกับเปอร์เซ็นต์การงอกหลังเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (R^2= 69.01 เปอร์เซ็นต์) (ภาพที่ 3ก) กล่าวคือ เมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมสภาพตามธรรมชาติมากกว่า มีเปอร์เซ็นต์ความงอกต่ำกว่าเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมสภาพน้อยกว่า และปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จะสูงกว่า เมื่อพิจารณาการประเมินความเสื่อมสภาพเมล็ดพันธุ์ของพันธุ์ B ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วพบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับต่ำกับวิธีการประเมินความเสื่อมด้วยการวัดเปอร์เซ็นต์ความงอกหลังเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (R^2= 29.68%) (ภาพที่ 3ข) เนื่องจากคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ B อยู่ในระดับที่ดี สังเกตจากเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์หลังการเร่งอายุนั้นมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงในทั้งสองช่วงอายุการผลิต ปริมาณเอทานอลที่เมล็ดพันธุ์ผลิตได้จึงอยู่ในระดับต่ำ ไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของความแข็งแรงในเมล็ดพันธุ์ทั้งสองช่วงอายุได้ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการจัดการเมล็ดพันธุ์ที่ดีของพันธุ์ B วิธีการประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ด้วยการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วอาจนำมาใช้ทำนายหรือจำแนกความแข็งแรงได้ โดยต้องมีการปรับระดับของอิทธิพลของความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ และระยะเวลาในการบ่มที่ใช้เตรียมเมล็ดพันธุ์ก่อนการวัดปริมาณเอทานอลให้เหมาะสมจะช่วยให้สามารถจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยวิธีการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การประเมินปริมาณของเอทานอลที่เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดผลิตได้ตามเงื่อนไขดังกล่าว ยังคงให้ผลที่ชัดเจนในบางพันธุ์ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งพันธุ์ A) อย่างไรก็ตามการดำเนินการตรวจวัดปริมาณเอทานอลตามเงื่อนไขนี้ ยังไม่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างเมล็ดพันธุ์ที่มีการเสื่อมตามธรรมชาติของพันธุ์ B ได้ อาจเป็นเพราะพันธุ์ B มียีนที่รักษาระดับแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ระหว่างเก็บรักษาไม่ให้ลดลงมากเกินไป หรือผู้ผลิตมีระบบการเก็บรักษาพันธุ์ B ที่ดี ซึ่งสามารถชะลอการเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่ง ส่งผลให้ขณะนี้ผู้วิจัยยังไม่พบเงื่อนไขที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีกับทุกพันธุ์ ทั้งนี้เพื่อให้ได้กรรมวิธีที่มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น (สามารถจำแนกคุณภาพของข้าวโพดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในหลากหลายพันธุ์) โดยผู้วิจัยจะนำผลการพิจารณาที่ได้นี้ ไปดำเนินการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยจะปรับแต่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดอีกครั้ง และทำการทสอบกับตัวอย่างเดิมเพื่อให้ได้การวิธีการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดที่เหมาะสมเพื่อเทคนิคการตรวจวัดปริมาณเอทานอลด้วยเครื่องตรวจวัดเอทานอลแบบดัดแปรสำหรับการทดสอบกับเมล็ดพันธุ์ที่ถูกเก็บรักษาในรูปแบบและระยะเวลาที่แตกต่างกันต่อไป

สรุป

1) การตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วโดยการบ่มเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง สามารถแยกความแตกต่างของความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ A และ B ออกจากกันได้

2) การจำแนกความแตกต่างของความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์พันธุ์ A และ B ที่ได้จากการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การงอกต้นกล้าปกติสูงสุดทั้งก่อนและหลังการเร่งอายุ รวมทั้งการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การแทงรากแรกเกิดครั้งเดียว ฉะนั้นการตรวจวัดเอทานอลที่รวดเร็วสามารถใช้ประเมินความเสื่อมของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์**. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. พิมพ์ครั้งที่ 2**. กลุ่มหนังสือเกษตร. กรุงเทพฯ.

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล. 2529. **เทคนิคการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์กับการประเมินอายุการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวาน**. วารสารวิชาการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. นครปฐม.

ชูศักดิ์ จอมพุก. 2555. **สถิติ : การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย R**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

พิเชษฐ์ กรุดลอยมา และคณะ. 2547. **เอกสารวิชาการ เรื่อง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. กรมวิชาการเกษตร** สถาบันวิจัยพืชไร่. กรุงเทพฯ.

นลินทิพย์ ภัคศรีกุลกำธร. 2558. **ธุรกิจเมล็ดพันธุ์ไทย: เร่งพัฒนาสู่ศูนย์กลางการผลิตและกระจายเมล็ดพันธุ์แห่งภูมิภาค**. กองบรรณาธิการ Positioning. กรุงเทพฯ.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2542. **เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

วัลลภ สันติประชา, ขวัญจิตร สันติประชา และ กาญจนา สุวรรณสินธุ์. 2536. **ศักยภาพการเก็บรักษาและการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดในเขตร้อนชื้น**. ว. สงขลานครินทร์ 15: 243-250.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. **ข้อมูลเศรษฐกิจ พยากรณ์ผลผลิตการเกษตร**. วารสารการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย. 2559. **สถิตินำเข้า-ส่งออกเมล็ดพันธุ์ควบคุมปี 2558**. สมาคมการค้าเมล็ดพันธุ์ไทย. กรุงเทพฯ.

Abdullah, W.D. 1988. **Factors affecting seed quality in long bean (*Vigna sesquipedalis*) and French bean (*Phaseolus vulgaris*)**. MscThesis, University of Aberdeen, Scotland

AOSA. 1983. **Seed vigor testing handbook**. Contribution No. 32 to Handbook on seed testing. Association of Official Seed Analysts. 93 pp.

Atici Ö, Agar G, Battal P. 2007. **Influence of long term storage on plant growth substance levels, germination and seedling growth in legume seeds stored for 37 years**. Indian Journal Plant Physiology 12: 1–5

Benamar A, Tallon C, Macherel D. 2003. **Membrane integrity and oxidative properties of mitochondria isolated from imbibing pea seeds after priming or accelerated ageing**. Seed Sci Res 13: 35–45

Bewley, J.D. and M. Black. 1982. **Physiology and Biochemistry of seeds in Relation to Gemination**. Vol l. Seed viability, Dormancy and Environmental Control. Plenum Press, New York. 375 p.

Buckley, W.T., J. Huang, and M.A. Monreal, 2013. **Ethanol emission seed vigour test for canola: minimal effects from variation in incubation conditions, sample size and seed moisture content**. Seed Sci. & Technol. 41: 270-280.

Copeland LO, McDonald Jr MB. 1995. **Principles of seed science and technology**. McMillan, 321p

Davies, D. D., S. Grego, and P. Kenworthy. 1974. **The control of the production of lactate and ethanol by higher plants**. Planta 118:297-310

Delouche, J.C. and C.C. Baskin. 1973**. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots**. Seed Sci. & Technol. 1: 427-452.

Groot, S., Surki, A.A., Vos, R. and Kodde, J. 2012. **Seed storage at elevatedpartial pressure of oxygen, a fast method for analysing seed ageingunder dry conditions**. Ann. Bot. 110: 1149–1159

Hampton, J.G. and D.M. TeKrony. 1995. **Handbook of vigour test methods. International**. Seed Testing Association. Zurich, Switzerland.

Hampton, J.G.; Johnstone, K.A.; Eua-Umpon, V. 1992. **Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and French bean seedlots**. Seed Science and Technology, v.20, p.677-686, 1992

ISTA. 2011. **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association, Switzerland.

Kodde, J. and W.T. Buckley. 2011. **A fast ethanol assay to detect seed deterioration**. Seed Science Research. 22: 55-62.

Matthews, S., Beltrami, E., El-Khadem, R., Khajeh-Hosseini, M., Nasehzadeh, M. and Urso, G. 2011. **Evidence that time for repair during early germination leads to vigour differences in maize**. Seed Sci. & Technol., 39, 501-509

McDonald MB. 1999. **Seed deterioration: physiology, repair and assessment**. Seed Science Technology 27, 177–237.

Santipracha, W.; Santipracha, Q.;Wongvarodom, V. 1997. **Hybrid corn seed qualityand accelerated aging**. Seed Science and Technology, Zürich, v. 25, n. 1, p. 203-208

Tao, K. J. 1980. **The 1980 vigor "referee" test for soybean and corn seed**. Association of Official Seed Analysts Newsletter. 54(3): 53-68.

Wang, Y.R. and Hampton, J.G. 1991. **Seed vigour and storage in 'Grasslands Pawera' red clover**. Plant Varieties and Seeds 4: 61-66.

Woltz, J.M., and D.M. TeKrony. 2001. **Accelerated aging test in corn**. Seed Technol. 23: 21–34

Woodstock LW and Taylorson RB. 1981. **Ethanol and acetaldehyde in imbibing soybean seeds in relation to deterioration**. Plant Physiol. 67: 424-428.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวอิศราภรณ์ อภิวัฒน์
วัน เดือน ปี เกิด	25 ธันวาคม พ.ศ.2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเดชะปัตตนยานุกูล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-