



ปัญหาพิเศษ

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยการทดสอบการ
แตงรากร่วมกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน

Evaluation of maize seed vigor using the radicle emergence test and the
K-means clustering algorithm

นางสาวฐิติรัตน์ อินทะ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์เกษตร)

ปริญญา

.....
วิทยาศาสตร์เกษตร

.....
พืชไร่นา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยการทดสอบการแทงรากร่วมกับ
การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน

Evaluation of maize seed vigor using the radicle emergence test and the K-means
clustering algorithm

นามผู้วิจัย นางสาวจิตติรัตน์ อินทะ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดำรงวุฒิ อ่อนวิมล, ปร.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วม

(..... อาจารย์อรุณี วงษ์แก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาริชาติ พรหมโชติ, Ph.D.)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2565

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยการทดสอบการแทงรากร่วมกับการแบ่งกลุ่ม
ข้อมูลแบบเคมีน

Evaluation of maize seed vigor using the radicle emergence test and the K-means clustering
algorithm

โดย

นางสาวฐิติรัตน์ อินทะ

เสนอ

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF AGRONOMY

FACULTY OF AGRICULTURE KASETSART UNIVERSITY

บทคัดย่อ

จิตรีรัตน์ อินทะ 2565: การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยการทดสอบการแทงรากร่วมกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน ปัญหาพิเศษปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์เกษตร ภาควิชาพืชไร่ฯ อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดำรงวุฒิ อ่อนนิมล, ปร.ค. 30 หน้า.

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เป็นสิ่งสำคัญในการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพื่อใช้ในการเพาะปลูกและปรับปรุงพันธุ์พืช อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์เป็นกระบวนการที่ใช้ระยะเวลา แรงงาน และความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงาน จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการที่สามารถลดระยะเวลาและแรงงาน รวมถึงเพิ่มความแม่นยำในขั้นตอนการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยการทดสอบการแทงรากและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน โดยเฉพาะทดสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 120 ล็อต ซึ่งในแต่ละล็อตจะทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด ด้วยเทคนิค Between paper ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่มืด จากนั้นเก็บค่าการแทงรากที่ความยาว 2 มิลลิเมตร ทุกวันเป็นเวลา 7 วัน นับจากวันเริ่มเพาะ นำค่าการแทงรากมาคำนวณดัชนีการแทงรากโดยโปรแกรม GERMINATOR[®] โดยนำพารามิเตอร์ที่ได้ เช่น maximum radicle emergence (MaxRE), radicle emergence speed (t_{50RE}), area under the curve of the radicle emergence fitted curve (AUC), mean radicle emergence time (MRET) และ uniformity of radicle emergence (U_{7525}) มาวิเคราะห์จัดกลุ่มข้อมูล (Principle component analysis, PCA) ด้วย K-means โดยโปรแกรม Matlab[®] ซึ่งจะคำนวณจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมด้วยวิธี Elbow และ Silhouette ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} ในการวิเคราะห์จัดกลุ่มโดยการทำ normalized data ด้วย STANDARDIZE Function จากการคำนวณของโปรแกรม Matlab[®] จะให้ค่า OptimalK เท่ากับ 2 ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ 2 คลัสเตอร์ ซึ่งเหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริง ดังนั้นการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ด้วยการทดสอบการแทงรากและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน โดยใช้ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} สามารถจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้อย่างเหมาะสม

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษหลัก

ABSTRACT

Thitirat Intha. 2022: Evaluation of maize seed vigor using the radicle emergence test and the K-means clustering algorithm. Bachelor's special problem in Agricultural Science, Department of Agronomy. Special problem advisor: Assist. Prof. Damrongvudhi Onwimol, Ph.D. 30 pages.

The evaluation of seed vigor is significant in seed quality evaluation for cultivation and plant breeding. However, seed testing is a time-consuming and laborious process that requires specialized expertise. Consequently, it is necessary to design and fabricate methods that reduce labor, increase precision in seed vigor testing, and reduce labor costs. The objective of this study was to classify seed vigor using the radicle emergence test and the K-means clustering algorithm. Radicle emergence of maize seeds, 120 lots, was tested using between paper technique at 25 °C in the dark with 4 replications of 50 seeds. The radicle emergence was scored at 2 mm in length daily for seven days from the start of seed testing. GERMINATOR[®] then used to calculate the radicle emergence indices such as maximum radicle emergence (MaxRE), radicle emergence speed (t_{50RE}), area under the curve of the radicle emergence fitted curve (AUC), mean radicle emergence time (MRET) and uniformity of radicle emergence (U_{7525}). Principle component analysis (PCA) was analyzed with K-means by Matlab[®], which calculated the optimal number of clusters using the Elbow and Silhouette methods. The results showed that using MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET and U_{7525} by normalizing the data with the STANDARDIZE function, based on the calculations of Matlab[®], OptimalK is equal to 2, which can be grouped into 2 clusters which is appropriate for practical use. Therefore, the evaluation of seed vigor using the radicle emergence test and the K-means clustering technique using MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET and U_{7525} can appropriately classify maize seed vigor.

Student's signature

Special Problem Advisor's signature

27 / 2 / 2023

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงวุฒิ อ่อนวิมล และ อาจารย์อรุณี วงษ์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่กรุณาให้คำปรึกษาตั้งแต่เริ่มศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัย ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ บริษัท เจริญโภคภัณฑ์ โปรตีนสัตว์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด และห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่เอื้อเฟื้อพื้นที่ในการทดลอง

ขอขอบคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้าจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จิตรัตน์ อินทะ

มกราคม 2566

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญภาพ	(2)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	10
อุปกรณ์	10
วิธีการ	10
สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย	12
ผลและวิจารณ์	13
สรุป	17
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	18
ภาคผนวก	21
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	22

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 The Germinator set-up	8
2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-means clustering	9
3 การจัดกลุ่มของข้อมูลที่มีการ normalized data โดยใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525}	13
4 การจัดกลุ่มของข้อมูลด้วยพารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , MRET และ U_{7525} โดยไม่มีการ normalized data	14
5 การจัดกลุ่มของข้อมูลโดยใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET, U_{7525} และ r^2 โดยไม่มีการ normalized data	14
6 การจัดกลุ่มของข้อมูลโดยใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} โดยไม่มีการ normalized data	15
ภาพผนวกที่	
1 Germination curve fitting ที่ได้จาก GERMINATOR®	21

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยการทดสอบการแทงรากและการ แบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน

Evaluation of maize seed vigor using the radicle emergence test and the K-means clustering algorithm

คำนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของไทย เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์มีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้น ทำให้ต้องใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์มากตาม ส่งผลให้มีการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้นทุกปี เพื่อให้ได้ผลผลิตปริมาณมากและมีคุณภาพทำให้ต้องใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดี

เมล็ดพันธุ์ จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดปริมาณและคุณภาพของผลผลิต การเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดี เช่น อัตราความงอกและความแข็งแรงสูง ทำให้สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมได้ ส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันการผลิตเมล็ดพันธุ์ในประเทศที่กำลังพัฒนายังพบปัญหาหลายอย่าง ทั้งด้านกระบวนการผลิตและกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์ รวมถึงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ต้องใช้ทรัพยากรมนุษย์เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลา แรงงาน และความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย นักเมล็ดพันธุ์จึงพยายามศึกษาหาวิธีการวิเคราะห์คุณภาพและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่จะช่วยลดต้นทุนแรงงานในกระบวนการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์จำนวนมากได้ในระยะเวลาอันรวดเร็ว และไม่ทำลายตัวอย่างเมล็ดพันธุ์

อย่างไรก็ตามผู้วิจัยคาดว่าการศึกษาครั้งนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานทดสอบเมล็ดพันธุ์ เพื่อลดระยะเวลาและแรงงานของมนุษย์ รวมถึงเพิ่มความแม่นยำในการทำงานวิจัย อีกทั้งสามารถนำไปพัฒนาเป็นนวัตกรรมใหม่ที่นำไปต่อยอดได้ในอนาคต สอดคล้องกับปริมาณทรัพยากรผู้เชี่ยวชาญที่ลดลงสวนทางกับความต้องการที่คงที่หรือเพิ่มขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อกำหนดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด
2. เพื่อลดระยะเวลา แรงงาน และเพิ่มความแม่นยำ ในขั้นตอนการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

การตรวจเอกสาร

ความสำคัญของข้าวโพด

ข้าวโพด (Maize หรือ Corn, *Zea mays* L.) เป็นธัญพืช (cereal crops) ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ จัดอยู่ในวงศ์ Gramineae ใช้ประโยชน์เป็นอาหารของมนุษย์มาตั้งแต่สมัยอดีต ข้าวโพดมีการเพาะปลูกแพร่กระจายในทวีปยุโรป เอเชีย และแอฟริกา ในบรรดาพืชอาหารที่ใช้เมล็ด ข้าวโพดเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 3 ของโลกรองจากข้าวสาลีและข้าว มีการผลิตโดยทั่วไปในเขตอากาศอบอุ่น (temperature) เขตอากาศกึ่งร้อนชื้น (subtropic) และพื้นที่ราบเขตร้อน (lowland tropic) ข้าวโพดสามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อม ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 55 องศาเหนือ ถึง 40 องศาใต้

ข้าวโพดมีพื้นที่ปลูกคิดเป็นร้อยละ 18 และมีผลผลิตประมาณประมาณร้อยละ 25 ของการผลิตธัญพืชของโลก โดยมีปริมาณการผลิตในเอเชียและภาคพื้นแปซิฟิก ร้อยละ 15 (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

เมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูก การใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีทำให้ได้จำนวนต้นต่อพื้นที่สูงกว่าการใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพต่ำ ส่งผลให้เกษตรกรประหยัดปริมาณการใช้เมล็ดพันธุ์ต่อพื้นที่ เป็นการลดต้นทุนการผลิตได้ เมล็ดพันธุ์ที่ดีต้องมีความงอก และความแข็งแรงสูง

International Seed Testing Association ได้นิยามความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ ดังนี้ “ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์คือผลรวมของคุณสมบัติที่กำหนดกิจกรรมและประสิทธิภาพของกองเมล็ดพันธุ์ (seed lots) ที่ตอบสนองการงอกในสภาพแวดล้อมแบบเปิด” การตรวจสอบความแข็งแรงให้ผลลัพธ์อย่างแม่นยำในการทำซ้ำ ซึ่งสามารถอธิบายถึงศักยภาพของความเร็วและความสม่ำเสมอของการงอกในแปลงปลูกและอธิบายถึงการจัดอันดับของกองเมล็ดพันธุ์ (International Seed Testing Association, 2014)

วันชัย จันทน์ประเสริฐ (2542) นิยามความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (seed vigor) หมายถึงความสามารถที่เด่นชัดของเมล็ดพันธุ์ที่แสดงออกเมื่อสภาวะแวดล้อมในการงอกไม่เหมาะสม ทำให้สามารถงอกและเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่ปกติได้ การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีหลากหลายวิธี มีทั้งวิธีทางกายภาพ (physical test) เช่น วิธีทางสรีรวิทยา (physiological test) และวิธี

ทางชีวเคมี (biochemical test) โดยสามารถใช้หลายวิธีร่วมกันในการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เช่น วิธีการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ วิธีการวัดการนำไฟฟ้า วิธีการทดสอบในสภาพอากาศหนาว (cold test) วิธีเตตราโซเลียม (tetrazolium test) เป็นต้น

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคาดการณ์มูลค่าของกองเมล็ดพันธุ์ในการปลูกพืช การตรวจสอบความแข็งแรงนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการพิจารณาคุณภาพทางสรีรวิทยาในอุตสาหกรรมการผลิตเมล็ดพันธุ์ การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ให้มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามถึงแม้กองเมล็ดพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ความงอกเท่ากันจะมีคุณภาพความแข็งแรงต่างกันทั้งในโรงเก็บและในแปลง ดังนั้นการใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีจำเป็นต้องมีการตรวจสอบก่อนนำออกสู่ตลาด สรุปได้ว่าการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ควรมีต้นทุนไม่แพง รวดเร็ว ไม่ซับซ้อน สามารถทำซ้ำได้ และควรมีความสัมพันธ์สูงกับประสิทธิภาพในแปลง (International Seed Testing Association, 2016)

การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เป็นการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพื่อใช้ในการนำไปเพาะปลูกในสภาพแปลง หรือประเมินความสามารถในการเก็บรักษา รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืช การผลิตและควบคุมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ การประเมินค่าความงอกในไร่ การวางแผนการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์และการกำหนดราคามูลค่าเมล็ดพันธุ์ (จวงจันทรดวงพัตรา, 2529) การทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ควรทำการทดสอบหลาย ๆ วิธีร่วมกัน จึงจะมีความน่าเชื่อถือและถูกต้อง

การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์มีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับเมล็ดพืชต่างชนิดกัน ดังนี้

1. การทดสอบการเจริญเติบโตและการประเมินความแข็งแรงของต้นกล้า (seedling growth and evaluation test) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการเจริญเติบโตของต้นกล้า (seedling growth rate), การวัดดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (germination index หรือ speed of germination), การหาน้ำหนักแห้งของต้นกล้า (seedling dry weight), การจำแนกความแข็งแรงของต้นกล้า (seedling vigor classification)
2. การทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ประกอบด้วย การเร่งอายุ (accelerate aging test) เป็นวิธีเหมาะสำหรับใช้ในการประเมินค่าความสามารถในการงอก

ของเมล็ดพันธุ์ในแปลงปลูก อีกวิธีคือการทดสอบในสภาพหนาว (cold test) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการคัดเลือกหรือปรับปรุงพันธุ์พืชที่จะนำไปปลูกในสภาพดินที่มีอากาศหนาวและชื้น ใช้ตรวจสอบความเสียหายที่เกิดจากผลกระทบของอุณหภูมิต่ำ (freezing injury) และผลเสียหายที่เกิดกับเมล็ดพันธุ์อันเนื่องมาจากการลดความชื้นของเมล็ด (drying) การอีกวิธีหนึ่งที่ดัดแปลงมาจากการทดสอบในสภาพหนาว คือ การทดสอบการงอกในสภาพอากาศเย็น (cool germination test หรือ Texas cool test)

3. การทดสอบทางชีวเคมี (biochemical test) เช่น วิธีเตตราโซเลียม (tetrazolium technique หรือ TZ test) เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์อย่างรวดเร็ว หรือการวัดการนำไฟฟ้า (conductivity test) เป็นวิธีการตรวจสอบความเสื่อมคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ โดยเมล็ดพันธุ์ที่เสื่อมคุณภาพจะสูญเสียคุณสมบัติในการกักเก็บสารต่าง ๆ เนื่องจากการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มต่าง ๆ ภายในเซลล์ (membrane degradation) หรือวิธีกาตา (GADA test หรือ glutamic acid decarboxylase activity test) นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการวัดอัตราการหายใจและการวัดระดับของ ATP (adenosine triphosphate level)

การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการวิเคราะห์การแทงราก

การทดสอบการงอกมาตรฐาน (germination test) เป็นการทดสอบที่นิยมใช้สำหรับทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์เพื่อประเมินศักยภาพสูงสุดของกองเมล็ดพันธุ์ที่มีความจำเพาะภายใต้เงื่อนไขทางสภาพอากาศ การทดสอบความงอกมาตรฐานใช้เวลานานและไม่แสดงถึงศักยภาพของเมล็ดพันธุ์เสมอไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากสภาพของแปลงไม่เหมาะสม (Mavi, Powell และ Matthews, 2016) เมล็ดที่มีความงอกไม่แตกต่างกัน แต่อาจมีความต่างกันในระดับความเสื่อมสภาพและประสิทธิภาพในแปลงปลูก ด้วยเหตุนี้การทดสอบความแข็งแรงจึงมีความสำคัญอย่างมากในการจำแนกเมล็ดพันธุ์ออกเป็นกลุ่มหรือระดับ (Kolasinska, Szyrmer และ Dul, 2000)

การทดสอบการแทงราก (radicle emergence test) เป็นการทดสอบอย่างรวดเร็วที่ใช้ในการประเมินระดับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันและประสิทธิภาพภายในแปลง ซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าการทดสอบความงอกมาตรฐานในพืชหลายชนิด การงอกของราก (radicle emergence) คือ การปรากฏของรากแรกเกิด (ที่มีความยาว 2 มิลลิเมตร) ซึ่งแทงออกมาจากเยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) วิธีนี้ได้รับการยอมรับว่าเป็นการทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ถูกต้องโดย International Seed Testing Association (ISTA) สำหรับข้าวโพด (Matthews และ Powell, 2011) วิธีนี้สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการขนาดเล็กและให้ข้อมูลเบื้องต้นในการคาดการณ์ต้นอ่อนปกติ

(Mavi, Powell และ Matthews, 2016) รวมถึงสามารถปฏิบัติได้ง่ายและไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ทันสมัยหรือบุคลากรที่มีทักษะสูงและสามารถใช้เพื่อลดระยะเวลาการตัดสินใจในการจัดการอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ Chinnasamy และคณะ (2021) ได้ทำการศึกษาวิธีการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์อย่างรวดเร็วในเมล็ดพันธุ์ข้าว (*Oryza sativa* L.) ด้วยวิธีการทดสอบการแทงราก (radicle emergence test) รายงานว่าวิธีนี้เป็นวิธีการที่รวดเร็วในการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยนักวิเคราะห์เมล็ดพันธุ์และอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์

การวิเคราะห์พฤติกรรมการงอกของเมล็ดพันธุ์ด้วยโปรแกรม GERMINATOR®

นักเมล็ดพันธุ์ หรือนักวิชาการเกษตร นิยามการงอกของเมล็ด หมายถึง ระยะตั้งแต่เริ่มแรกที่มีเมล็ดเกิดกระบวนการต่าง ๆ ภายในเมล็ดที่กำลังพักตัว เช่น การดูดน้ำ การย่อยสลายอาหารและการหายใจ เป็นต้น ไปจนถึงระยะที่ต้นอ่อนเจริญเติบโตและพัฒนาเป็นต้นกล้าที่แข็งแรง สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ต่อไปภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (จงจันทร์ ดวงพัตรา, 2529) ในการรวบรวมข้อมูลการงอกสะสมต้องใช้ระยะเวลาและแรงงาน โดยโปรแกรมที่สามารถลดปัญหาเหล่านี้ได้ คือ โปรแกรม GERMINATOR ซึ่งมีขั้นตอนที่ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย และสามารถใช้ประเมินความงอกของตัวอย่างเมล็ดพันธุ์จำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น โดยไม่ต้องพึ่งระบบการทำงานที่ซับซ้อน (Joosen และคณะ, 2010) การวิเคราะห์การแทงรากจากโค้งการแทงรากสะสม (Curve Fitting Technique) จะใช้โปรแกรมเสริม (Solver.xlam) ที่พัฒนาใน Microsoft Excel (Germinator_curve-fitting1.0.xls) ใช้ร่วมกับผลรวมกำลังสองที่น้อยที่สุดเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อปรับให้เข้ากับเส้นโค้งที่พล็อตด้วย Four-Parameter Hill Function (สมการที่ 1) (El-Kassaby และคณะ, 2008)

$$y = y_0 + \frac{ax^b}{c^b + x^b}$$

สมการที่ 1 Four-Parameter Hill Function

โดย y คือ เปอร์เซ็นต์การงอกสะสม ที่เวลา x (h)

y_0 คือ จุดตัดบนแกน y (≥ 0)

a คือ เปอร์เซ็นต์การงอกสะสมสูงสุด (≤ 100)

b คือ การควบคุมรูปร่างและความชันของเส้นโค้ง

c คือ เวลาที่จำเป็นสำหรับ 50% ของเมล็ดที่มีชีวิตในการงอก (t_{50})

ดัชนีการแทงรากที่นิยมใช้ ได้แก่ ค่า MaxRE (maximum radicle emergence) ค่า t_{50RE} (radicle emergence speed) ค่า U_{7525} (uniformity of radicle emergence) ค่า AUC (area under the curve of the radicle emergence fitted curve) และค่า MRET (mean radicle emergence time)

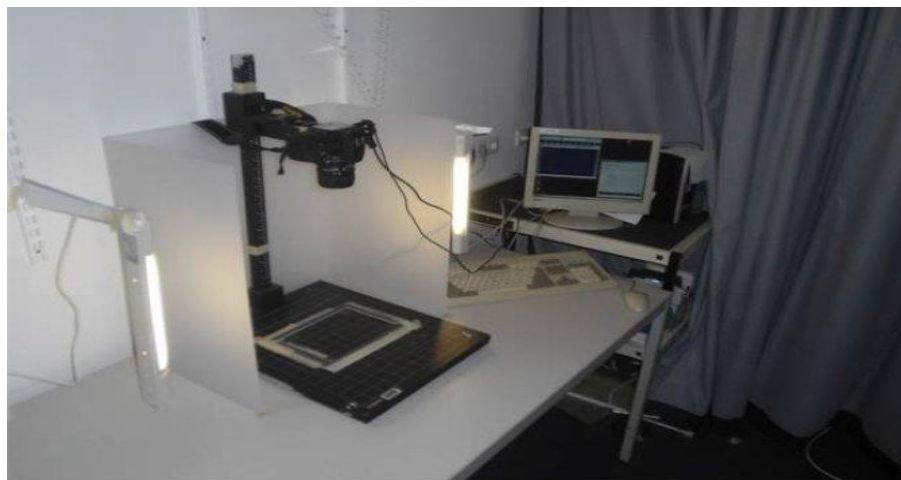
1. ค่า **MaxRE** แสดงให้เห็นถึงศักยภาพสูงสุดในการแทงรากในเมล็ดพันธุ์แต่ละตัวอย่าง ซึ่งหากเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างใดมีค่า MaxRE ที่สูงกว่านั้นแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเมล็ดพันธุ์ที่สูงกว่า

2. ค่า t_{50RE} เป็นเวลาที่ใช้ในการงอกรากแรกเกิดจนถึงครึ่งหนึ่ง (50 เปอร์เซ็นต์) ของจำนวนเมล็ดพันธุ์ทั้งหมด เมล็ดพันธุ์ตัวอย่างใดมีค่า t_{50RE} ที่ต่ำกว่านั้นแสดงให้เห็นว่าเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างนั้นมีความแข็งแรงที่สูงกว่า เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างนั้นมีศักยภาพ ในการงอกของรากแรกเกิดจนถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนเมล็ดทั้งหมด

3. ค่า U_{7525} เป็นเวลาที่ใช้ในการงอกของรากแรกเกิดตั้งแต่ 25 -75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนเมล็ดพันธุ์ทั้งหมด ซึ่งหากเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างใดที่มีค่า U_{7525} ที่น้อยกว่านั้น แสดงให้เห็นว่าเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างนั้น มีความสม่ำเสมอในการงอกที่สูงกว่า เนื่องจากเมล็ดพันธุ์ส่วนใหญ่ใช้เวลาในการงอกที่ใกล้เคียงกัน

4. ค่า **AUC** เป็นค่าที่หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งหากมีค่ามาก แสดงว่าเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างนั้นมีความแข็งแรงที่สูงกว่า เนื่องจากทำให้กราฟมีพื้นที่มากขึ้น นอกจากกราฟความงอกต้องมีเปอร์เซ็นต์ความงอกที่สูงแล้ว ความงอกที่รวดเร็วเป็นเหตุผลให้เส้นกราฟชิดกับแกน y มากจึงทำให้มีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าเมล็ดพันธุ์ที่งอกช้า

5. ค่า **MRET** เป็นค่าเวลาการแทงรากเฉลี่ย คำนวณโดยใช้สมการ $MRET = \sum(n \times d) / N$ โดยที่ n = จำนวนเมล็ดที่เกิดการแทงรากในแต่ละวัน d = จำนวนวันตั้งแต่เริ่มการทดสอบ และ N = จำนวนเมล็ดที่งอกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



ภาพที่ 1 The Germinator set-up

การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-means clustering algorithm

การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการวิเคราะห์การแตกรากจากโค้งการแตกรากสะสม (Curve Fitting Technique) ที่พล็อตด้วย Four-Parameter Hill Function โดย GERMINATOR® จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นกราฟเส้นโค้งที่สามารถบ่งบอกถึงความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์แต่ละตัวอย่าง ซึ่งเมื่อมีจำนวนข้อมูลของตัวอย่างมากส่งผลให้เส้นโค้งแต่ละเส้นซ้อนทับกันมาก ซึ่งยากต่อการวิเคราะห์และจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ในแต่ละกอง การวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูลจึงเป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาในกรณีที่มีปริมาณข้อมูลเป็นจำนวนมากได้

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มข้อมูล (cluster analysis) หรือการจัดครัสเตอร์ เป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (unsupervised learning) สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยพิจารณาจากลักษณะความเหมือนของข้อมูล (similarity) หรือตามความแตกต่างของข้อมูล (dissimilarity or distance) โดยจะนำข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายกันมาอยู่กลุ่มเดียวกัน การจัดกลุ่มที่ดี คือ การที่ระยะห่างของสิ่งที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันอยู่ใกล้กันมากที่สุด (minimize intra-cluster distances) และระยะห่างที่อยู่ต่างกลุ่มมีความห่างแตกต่างกันมากที่สุด (maximize inter-cluster distances) (วิภาวรรณ บัวทอง, 2557)

เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-means clustering algorithm) หรือ การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (nonhierarchical cluster analysis) หรือการแบ่งส่วน (partitioning) เป็นเทคนิคที่มีความนิยมเนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน และเข้าใจง่ายที่สุด โดยการแบ่งข้อมูลออกจากกันเป็นกลุ่ม ๆ อย่างสิ้นเชิง ซึ่งแต่ละข้อมูลจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น อัลกอริทึม K-means จะตัดแบ่ง (partition) วัตถุออกเป็น k กลุ่ม จากนั้นแทนค่าแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม

ซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน (ไกรศักดิ์ เกษร, 2557) การจัดกลุ่มข้อมูลแบบเคมีนจึงเป็น partitional clustering คือ การแบ่งกลุ่มอย่างชัดเจน โดยไม่มีกลุ่มข้อมูลใดซ้อนทับกัน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

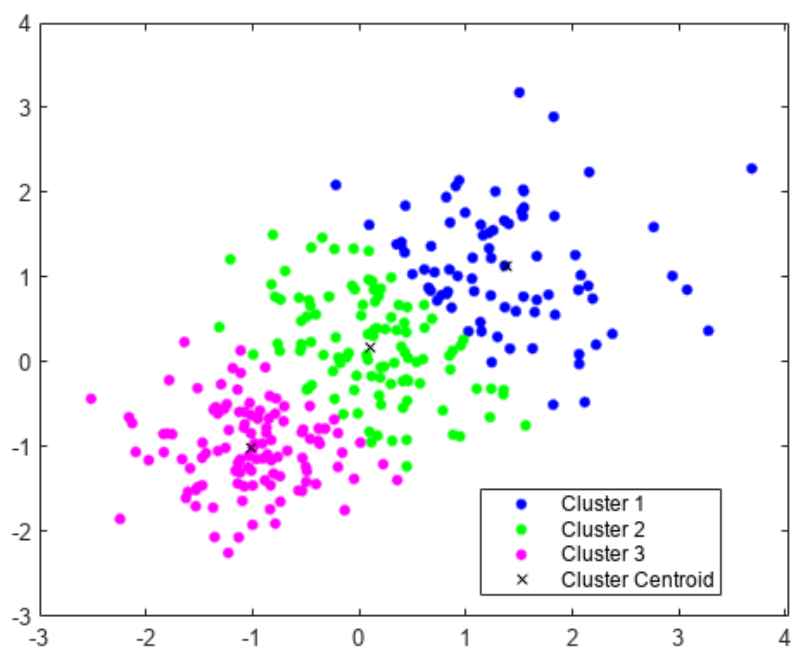
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่า k หรือจำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มวางตำแหน่งจุดศูนย์กลางของข้อมูลแต่ละกลุ่ม หรือ centroid

ขั้นตอนที่ 3 จากจุดศูนย์กลางแต่ละจุดจะมีการคำนวณระยะทางกับทุกข้อมูลในชุดข้อมูล ซึ่งคำนวณโดยวิธียูคลิดี언 จากนั้นแต่ละข้อมูลจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มของจุดศูนย์กลางที่มีระยะทางใกล้ที่สุดเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากทำการจัดกลุ่มข้อมูลใหม่แล้วทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของสมาชิกในกลุ่ม เพื่อกำหนดเป็นจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูลใหม่

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำข้อ 3 ถึง 4 จนกระทั่งค่าจุดศูนย์กลางของข้อมูลใหม่ได้ค่าไม่ต่างหรือต่างเพียงเล็กน้อยจากค่าจุดศูนย์กลางรอบก่อนหน้า



ภาพที่ 2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-means clustering

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. การทดสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด

1.1 เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งหมด 17 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11 A12 A13 A14 A15 A16 A17 จำนวน 120 ลีต

1.2 อุปกรณ์การเพาะทดสอบแบบ Between Paper technique เช่น กระดาษเพาะ ตู้เพาะ น้ำสะอาด

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 โปรแกรมคำนวณดัชนีความงอก GERMINATOR[®] (Joosen และคณะ, 2010)

2.2 โปรแกรม Matlab[®] R2022a

2.3 โปรแกรม Excel[®]

วิธีการ

1. การตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการวิเคราะห์การแทงราก

เพาะทดสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ทั้งหมด 17 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11 A12 A13 A14 A15 A16 A17 จำนวน 120 ลีต (แต่ละลีตมีพันธุ์ที่ซ้ำและแตกต่างกัน) ซึ่งในแต่ละลีตจะทำ 4 ซ้ำ ๆ ละ 50 เมล็ด ด้วยเทคนิค Between Paper ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในที่มืด ตามกฎการทดสอบของ International Seed Testing Association (2018) จากนั้นเก็บค่าการแทงรากที่ความยาว 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน นับจากวันเริ่มเพาะ นำค่าการแทงรากมาคำนวณดัชนีการแทงรากจากโค้งการแทงรากสะสม (Curve Fitting Technique) ที่พล็อตด้วย Four-Parameter Hill Function โดย GERMINATOR[®] (Joosen และคณะ, 2010)

2. การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมิน

นำพารามิเตอร์ที่ได้ (ดัชนีการแทงราก) เช่น MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} มาผ่านกระบวนการปรับปรุงโครงสร้างข้อมูลของฐานข้อมูลที่มีความซ้ำซ้อนให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นบรรทัดฐาน (normalized data) ด้วย STANDARDIZE Function ในโปรแกรม Excel[®] ซึ่งจะคืนค่า

บรรทัดฐาน (z-score) ตามค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน z-score หรือ ค่ามาตรฐานใช้สำหรับกำหนดค่ามาตรฐานในระดับเดียวกันโดยการหารค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่ามาตรฐาน ซึ่งจะเป็นการวัดจำนวนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่จุดข้อมูลหนึ่งที่มาจากค่าเฉลี่ย โดยใช้ Z-Score Formula ดังนี้

$$= \text{STANDARDIZE}(x, \text{mean}, \text{standard_dev})$$

โดย x คือ ค่าที่ต้องการทำให้เป็นมาตรฐาน

mean คือ ค่าเฉลี่ยของการแจกแจง

standard_dev คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจง

จากนั้นนำไปวิเคราะห์จัดกลุ่มข้อมูล (Principle component analysis, PCA) ด้วย K-means วิเคราะห์จัดกลุ่มข้อมูลด้วย K-means โดยโปรแกรม Matlab[®] R2022a (ElMasry และคณะ, 2019) ที่เขียนให้คำนวณจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมด้วยวิธี Elbow และ Silhouette พิจารณาดัชนีที่นำมาใช้จัดกลุ่มที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่คำนวณได้ตรงกันจากวิธี Elbow และ Silhouette

สถานที่และระยะเวลาการทำวิจัย

1. สถานที่การทำวิจัย

ห้องปฏิบัติการเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตบางเขน

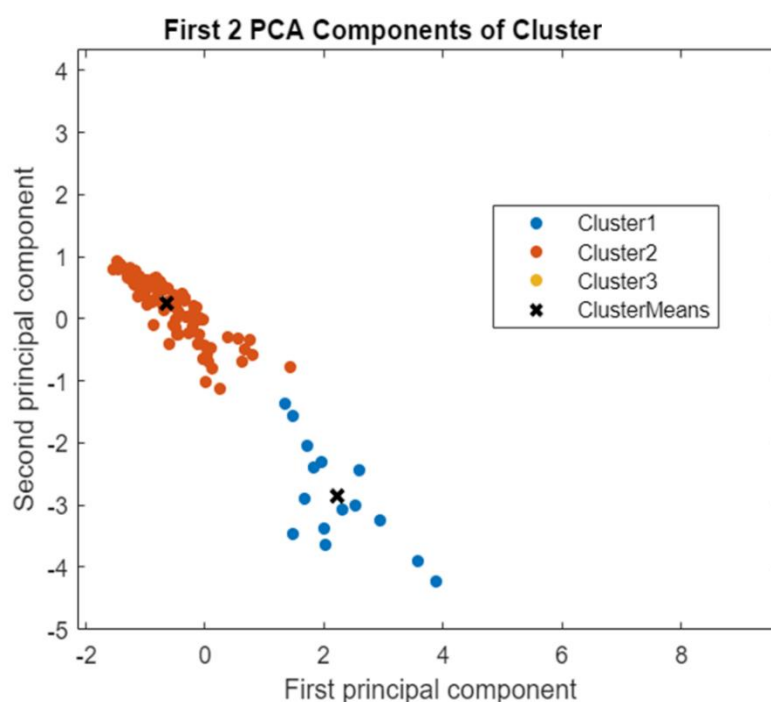
2. ระยะเวลาการทำวิจัย

เริ่มทดลองในเดือน พฤษภาคม 2565 และสิ้นสุดการทดลองในเดือน ตุลาคม 2565

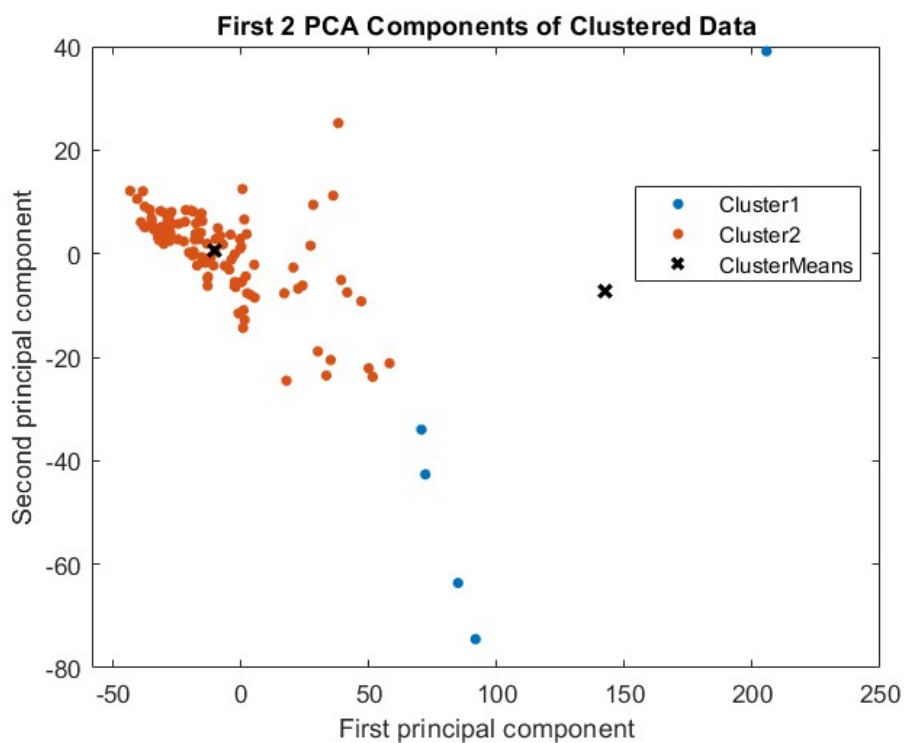
ผลและวิจารณ์

ผลการตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยการวิเคราะห์การแทรกจากโค้งการแทรกสะสม (Curve Fitting Technique) ที่พล็อตด้วย Four-Parameter Hill Function โดย GERMINATOR® พบว่า เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดแต่ละล็อตมีความแข็งแรงแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากมีช่วงเวลาการผลิต การเก็บรักษา และพันธุ์ที่แตกต่างกัน (ภาพผนวกที่ 1) แต่เนื่องด้วยข้อมูลที่มีปริมาณมากส่งผลให้เส้นโค้งมีการซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่สามารถจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ในแต่ละกองได้อย่างถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์จัดกลุ่มข้อมูลด้วย K-means โดยใช้ดัชนีการแทรกจากโค้งการแทรกสะสม

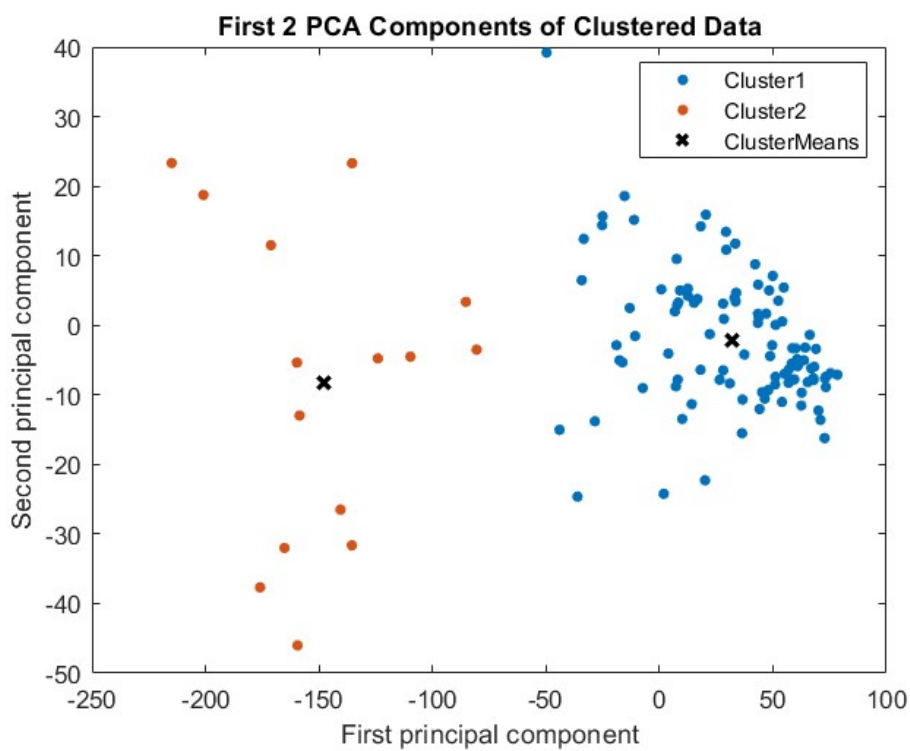
ผลที่ได้จากการใช้ดัชนีการแทรก MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} ในการวิเคราะห์จัดกลุ่มจะสามารถจัดกลุ่มได้ 3 คลัสเตอร์ หรือ ค่า OptimalK = 3 (ภาพที่ 6) ในทางตรงกันข้ามเมื่อนำข้อมูลของพารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} มาทำการ normalized data ด้วย STANDARDIZE Function ผลที่ได้คือมีค่า OptimalK = 2 ดังภาพที่ 3 และเมื่อมีการเพิ่มพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ เช่น r^2 หรือลดจำนวนพารามิเตอร์ลงเหลือ 3 หรือ 4 พารามิเตอร์ โดยไม่มีการ normalized data จะส่งผลให้ OptimalK มีค่าเท่ากับ 2 เช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 4 และ 5



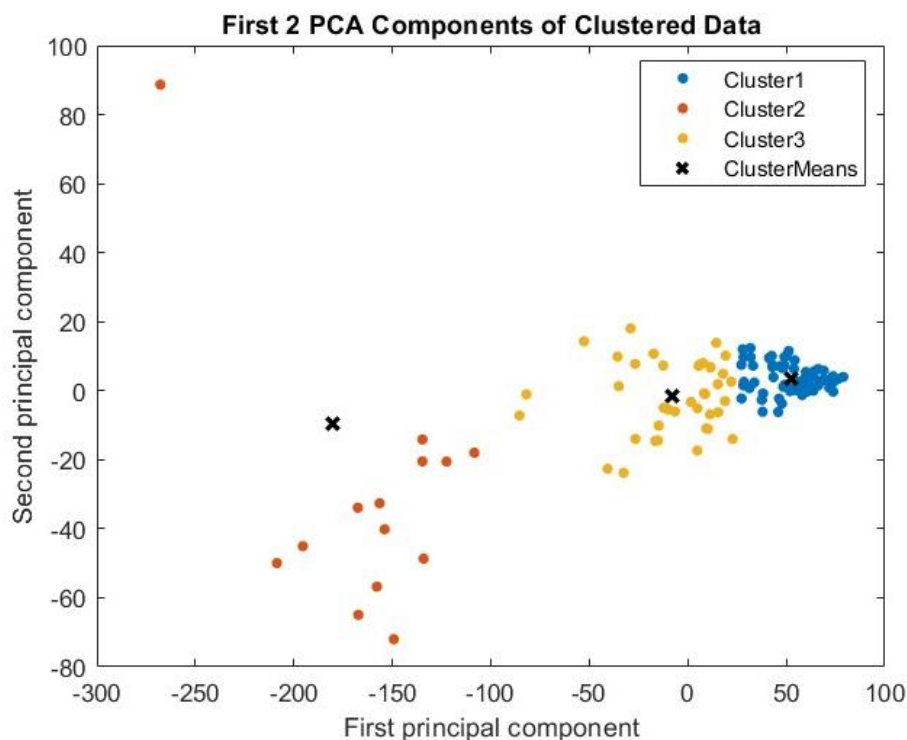
ภาพที่ 3 การจัดกลุ่มของข้อมูลที่มีการ normalized data โดยใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525}



ภาพที่ 4 การจัดกลุ่มของข้อมูลด้วยพารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , MRET และ U_{7525} โดยไม่มี
การ normalized data



ภาพที่ 5 การจัดกลุ่มของข้อมูลโดยใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET, U_{7525} และ
 r^2 โดยไม่มีการ normalized data



ภาพที่ 6 การจัดกลุ่มของข้อมูลโดยใช้พารามิเตอร์ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} โดยไม่มีการ normalized data

เมื่อทำการพิจารณาข้อมูลของดัชนีการแทรกในงานวิจัยของ Onwimol และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาการจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวและถั่วเขียว โดยใช้ MRET รายงานว่า MaxRE และ MaxG สามารถใช้ในการจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ 3 กลุ่ม ในขณะที่ MRET และ MGT สามารถใช้ในการจัดกลุ่มความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้ 3-4 กลุ่ม ซึ่งละเอียดกว่า MaxRE, MaxG, t_{50RE} และ t_{50G} ในขณะที่ MRET ไม่สามารถใช้ในการจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว แต่สามารถใช้ t_{50G} ในการจำแนกความแข็งแรงได้ถึง 4 กลุ่ม รวมถึงหากใช้พารามิเตอร์อื่น ๆ ในการประเมินด้วย เช่น AUC, U_{7525} และ t_{50RE} จะสามารถเพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำมากขึ้น

จากการทดลองของ Onwimol และคณะ (2021) พบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการเก็บรักษาไว้ 12 เดือน ภายใต้สภาพอากาศที่ควบคุมได้สามารถจัดกลุ่มความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้ 2, 3 และ 2 กลุ่ม โดยใช้ MaxRE, MRET และ t_{50} ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ 12 เดือน

ในสภาพอากาศปกติจะสามารถจำแนกกลุ่มได้ 5, 2 และ 3 กลุ่ม (Onwimol, Sermwuthisarn, Phimcharoen and Chaisan, 2021)

การทดสอบการแท่งรากร่วมกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีนสามารถดำเนินการให้แล้วเสร็จภายใน 1 สัปดาห์ ต่างกับการทดสอบในแปลงที่อาจใช้เวลานานถึง 1 เดือน (วรารักษ์ และ สุนันทา, 2547) ผลการทดลองดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดด้วยการทดสอบการแท่งรากและร่วมกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีนสามารถลดระยะเวลาแรงงาน และเพิ่มความแม่นยำได้

สรุป

การประเมินความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ด้วยการทดสอบการแทงรากและการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน โดยใช้ MaxRE, t_{50RE} , AUC, MRET และ U_{7525} ภายหลังจากทำ normalized data สามารถจำแนกความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ได้อย่างเหมาะสมที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2547. เอกสารวิชาการ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. สถาบันวิจัยพืชไร่
กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

ไกรศักดิ์ เกษร. 2557. บทที่ 8 การจัดกลุ่ม (Clustering). แหล่งที่มา
<https://csit.nu.ac.th/kraisak/ds/ds/chapter08/Chapter08.pdf>, 15 ธันวาคม 2565.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา,
คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์. ภาควิชาพืชไร่นา, คณะเกษตร,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันชัย จันทรประเสริฐ. 2542. เทคโนโลยีเมล็ดพันธุ์พืชไร่. ภาควิชาพืชไร่นา,
คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิภาวรรณ บัวทอง. 2557. Chapter 8 Clustering : K-means. แหล่งที่มา
<https://wipawanblog.files.wordpress.com/2014/06/chapter-8-clustering-k-means.pdf>,
15 ธันวาคม 2565.

วราภรณ์ สิงห์บำรุง และ สุณันทา จันทกุล. 2547. การศึกษาวิธีวัดความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์เพื่อ
การประเมินความงอกในสภาพไร่สำหรับข้าวโพดหวาน. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ
ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาพืช สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร.
การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42. (หน้า 291-299).
สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

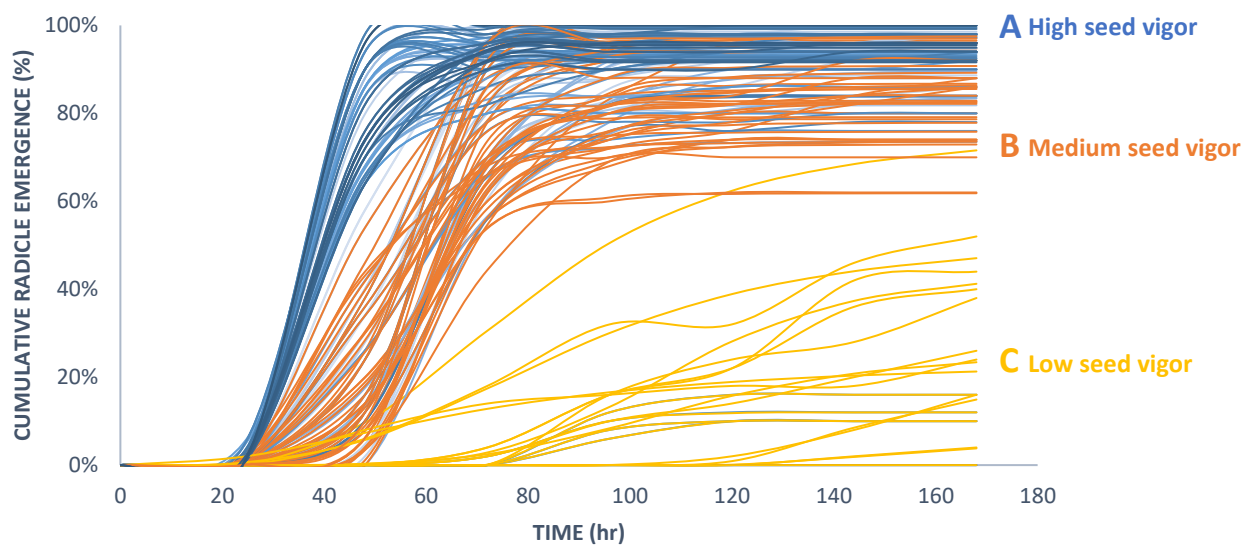
Chinnasamy, G. P. et al. 2021. Radicle emergence test as a quick vigour test to predict field
emergence performance in rice (*Oryza sativa* L.) seed lots. **Journal of Applied and
Natural Science**, 13 (SI), 86 – 93.

- El-Kassaby, Y. A., Moss, I., Kolotelo, D. and Stoehr, M. 2008. Seed germination: Mathematical representation and parameters extraction. **Forest Science**, 54(2). 220-227.
- ElMasry, G., Mandour, N., Al-Rejaie, S., Belin, E. and Rousseau, D. 2019. Recent Applications of Multispectral Imaging in Seed Phenotyping and Quality Monitoring—An Overview. **Sensors**, 19(5):1090.
- ISTA. 2014. **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- ISTA. 2016. **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- ISTA. 2018. **International Rules for Seed Testing**. International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Joosen, R.V., J. Kodde, L.A. Willems, W. Ligterink, L.H. van der Plas and H.W. Hilhorst. 2010. GERMINATOR: a software package for high-throughput scoring and curve fitting of Arabidopsis seed germination. **The Plant Journal** 62(1): 148-159.
- Kolasinska, K., Szyrmer, J. and Dul, S. 2000. Relationship between laboratory seed quality tests and field emergence of common bean seed. **Crop Sci.** 40, 470-475.
- Matthews, S., Powell, A., 2011. Towards automated single counts of radicle emergence to predict seed and seedling vigour. **Seed Sci. Technol.** 142, 44-48.
- Mavi, K., Powell, A.A. and Matthews, S. 2016. Rate of radicle emergence and leakage of electrolytes provide quick predictions of percentage normal seedlings in standard germination tests of radish (*Raphanus sativus*). **Seed Sci. Technol.** 44: 393-409.

Onwimol, D., Chanmprasert, W., Changsee, P. and Rongsangchaichareon, T. 2016. Seed vigor classification using analysis of mean radicle emergence time and single counts of radicle emergence in rice (*Oryza sativa* L.) and mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Agriculture and Natural Resources**, 50(5), 345–350.

Onwimol, D., Sermwuthisarn, P., Phimcharoen, W. and Chaisan, T. 2021. An Automatic Method for Rice Seed Vigor Classification Via Radicle Emergence Testing Using Image-Processing, Curve-Fitting and Clustering Methods. **Research Square**.

ภาพผนวก



ภาพผนวกที่ 1 Germination curve fitting ที่ได้จาก GERMINATOR®

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวจิตรีรัตน์ อินทะ
วัน เดือน ปี เกิด	26 กันยายน 2542
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	มัธยมศึกษา โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	• ทุนประเภทเรียนดี คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2564 • ทุนประเภทเกียรติคุณและรางวัลสำหรับนิสิตเรียนดีเยี่ยม ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2564 และ 2565 • ทุนการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2565 • ทุนการศึกษา RTG Fellowships ระดับปริญญาโท ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology)