

การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ปนในถั่วเขียว โดยการวิเคราะห์ภาพถ่าย

Separation the mingling varieties of the mungbean seeds by image processing

อนล ไพศาล^{1*} และ ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม¹

Anol Paisal^{1*} and Teerasit Kasetkasem¹

บทคัดย่อ: ปัญหาการปนของเมล็ดพันธุ์ต่างสายพันธุ์เป็นปัญหาที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากทุกขั้นตอนของการผลิต ตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการจำหน่าย แต่การคัดแยกเมล็ดพันธุ์ที่ปนออกจากกันนั้นเป็นไปได้ยาก จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะที่มีราคาสูง หรือบุคลากรผู้เชี่ยวชาญที่มีจำนวนจำกัด หรือส่งไปวิเคราะห์ผ่านห้องปฏิบัติการซึ่งต้องใช้เวลานาน ในการจำแนกเมล็ดพันธุ์ การแก้ไขปัญหาในการคัดแยกการปนของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่สะดวกและรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การคัดแยกเมล็ดพันธุ์โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายเมล็ดจำนวน 200 เมล็ด เป็นพันธุ์ชัยนาท 72 และพันธุ์กำแพงแสน 2 จากลักษณะของเมล็ดโดยโมเมนต์ของ Hu และ Support Vector Machine สามารถจำแนกภาพของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวพันธุ์ชัยนาท 72 และพันธุ์กำแพงแสน 2 ที่ปนกัน ได้ถูกต้องมากกว่า 90 % ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์สายพันธุ์อื่น จนนำไปสู่การพัฒนาเครื่องมือในการคัดแยกต่อไป

คำสำคัญ: ถั่วเขียว, พันธุ์ปน, คัดแยก, วิเคราะห์ภาพถ่าย

ABSTRACT: The mixed varieties of seed of different crop varieties are likely to occur in all stages of production. Such as harvesting, storage and distribution. However, the separation of mingling seeds is difficult. Requires specialized tools that are invaluable. A human resource professional is limited. Through laboratory analysis to take a long time. In the classification of seeds. Troubleshooting in the separation of the seeds of mungbean, quick and easy. It is absolutely essential. The separation of mungbean seeds by analyzing the latest seed, 200 seed varieties of Chainat 72 and Kumphangsean 2 by the Hu's moments and Support Vector Machine to classify images of the seeds of mungbean varieties, Chainat 72 and Kumphangsean 2. The same is valid for more than 90%, which can be used to analyze other varieties. It led to the development of tools to isolate further.

Keywords: mungbean, mingling, separation, image processing

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่จึงประกอบอาชีพเกษตรกรรม ปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้แนะนำและสนับสนุนให้เกษตรกรปลูกพืชไร่

ดินที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตและทำรายได้หลังจากฤดูเก็บเกี่ยวข้าวนาปี ซึ่งถั่วเขียวนับว่าเป็นพืชไร่ชนิดที่สำคัญพืชหนึ่ง และเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่หน่วยงานของรัฐบาลสนับสนุนให้เกษตรกรปลูกหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวนาปี เพราะถั่วเขียวเป็นพืชที่ใช้น้ำ

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

* Corresponding author: anolpaisal@gmail.com

น้อยกว่าพืชชนิดอื่นที่ภาครัฐสนับสนุน เหมาะกับพื้นที่ที่แหล่งน้ำเข้าถึงไม่สะดวก และเป็นพืชที่ไม่จำเป็นต้องดูแลมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2552; สมชาย, 2554) ด้านเศรษฐกิจ ถั่วเขียวเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการบริโภคภายในประเทศเป็นหลัก ใช้เพาะถั่วงอกทำวุ้นเส้น ขนมหวาน แปรรูปเป็นแป้งใช้ในการประกอบอาหาร เป็นต้น ซึ่งการจำแนกชนิดของพันธุ์เมล็ดถั่วที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของแต่ละผลิตภัณฑ์

ปัจจุบันพื้นที่เพาะปลูกถั่วเขียวมีแนวโน้มลดลงทุกปี แต่ปริมาณในการบริโภคถั่วเขียวเพิ่มมากขึ้น (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) เนื่องจากจำนวนผลผลิตต่อไร่ต่ำ เมล็ดพันธุ์มีราคาสูง ชาดการใช้เมล็ดพันธุ์และเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการใช้งาน (กรมวิชาการเกษตร, 2552) แล้วเกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการผลิต การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา และการจำหน่าย ทำให้เกิดการปนของถั่วเขียวต่างสายพันธุ์ขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาในการรับซื้อคืนเมล็ดพันธุ์บริสุทธิ์จากเกษตรกร และในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพลดลง จากเมล็ดต่างสายพันธุ์ที่นำไปใช้ในการผลิต

งานวิจัยการคัดแยกถั่วเขียวที่ผ่านมา สมนึก (2531) พัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดถั่วเขียวที่ปรับปรุงนำเอาตะแกรงโยกร่วมกับการกะเทาะไว้ในเครื่องเดียวกัน และใช้แผ่นยางประเก็นแผ่นเดียวในแต่ละจานกะเทาะ จารุวัฒน์ (2531) ได้พัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดถั่วเขียวฝัมนั้ที่ดัดแปลงจากเครื่องกะเทาะข้าวโพด โดยทำให้มีความทนทานมากขึ้น Satake et al. (2002) ผลิตอุปกรณ์คัดแยกเมล็ดพืช โดยใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากการส่องแสงผ่านเมล็ดทั้งสองด้าน เพื่อหาคุณภาพของเมล็ดพืช และสามารถหารอยร้าวบนเมล็ดได้ Maejima (2004) พัฒนาเครื่องตรวจสอบเมล็ดพืชหุ้มด้วยวุ้นโดยมีจำนวนที่แน่นอนเรียงเมล็ดเป็นแถวเดียว วิเคราะห์พื้นที่เงาของภาพ เพื่อเปรียบเทียบค่าพื้นที่เงามาตรฐานและคัดเมล็ดที่สมบูรณ์ตามมาตรฐาน ยอดชัย และคณะ (2548) เครื่องคัดแยกเมล็ดถั่วเขียวเพาะ จากการมุดตกกระทบ ที่สามารถคัดแยกเมล็ดลีบ เมล็ดแตก เมล็ดกลวงและเมล็ดที่ไม่งอกออกจาก

เมล็ดที่สามารถนำไปเพาะได้ Tantasawat et al. (2010) ศึกษาเกี่ยวกับการระบุความหลากหลายและความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของถั่วเขียวและถั่วเขียวผิวดำในประเทศไทยบนลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการวิเคราะห์ ISSR (Inter Simple Sequence Repeat) เป็นการวิเคราะห์ในระดับดีเอ็นเอ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือเฉพาะ หรือการนำตัวอย่างส่งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งใช้เวลานานในการตรวจสอบ

ลักษณะภาพถ่ายจากเมล็ดของถั่วเขียวที่มีรูปทรงตัน และบิดเบี้ยว การใช้โมเมนต์ในการวิเคราะห์เป็นอีกเทคนิคหนึ่ง ที่ช่วยให้วิเคราะห์จำแนกประเภทของวัตถุจากภาพถ่ายได้ HU (1962) ได้ศึกษาการนำ moment invariants มาใช้กับการจดจำรับรู้รูปแบบของตัวอักษร จนได้ลำดับทั้ง 7 ลำดับ โดยวิเคราะห์จากสามลำดับแรกของ central moments ในภาพระนาบ 2 มิติ ซึ่งเป็นอิสระในเรื่องของตำแหน่งที่ตั้ง ขนาดของวัตถุ และการวางตัวบนระนาบในองศาที่แตกต่างกัน บนภาพถ่ายได้ Flusser and Suk (1994) ได้คิดค้นเครื่องมือใหม่ที่เรียกว่า affine moment invariants ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าโมเมนต์ของ Hu ในลำดับที่ 1 ถึง 4 มาใช้กับการจดจำตัวอักษร (character recognition) Sivaramakrishna (1997) ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของ Hu's moment invariants ภายใต้ การบิดเบี้ยว ลาดเอียง และ มอมุมที่เปลี่ยนไปของวัตถุ และอธิบายลักษณะโมเมนต์ของ Hu สามารถใช้กับการเข้ากันได้ของวัตถุที่บิดเบี้ยว ลากเอียง และมอมุมที่เปลี่ยนไป Flusser (2000) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ moment invariants บนการการหมุนอย่างอิสระ โดยพิจารณา complex moment และพบว่าระบบของ Hu ยังไม่เป็นอิสระ และยังไม่สมบูรณ์ Cheng (2001) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแยกส่วนภาพด้วยองค์ประกอบสีของภาพ เป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญมากในการวิเคราะห์ภาพถ่าย และการจดจำรับรู้รูปแบบ กล่าวถึงคุณสมบัติที่แตกต่างกันของสีแต่ละประเภท ปัญหาในการนำกระบวนการทางสีไปใช้ในการแยกภาพ และจุดเด่น จุดด้อยของ color space ในรูปแบบต่างๆ Flusser and Suk (2006) ศึกษาการหมุนตัวของ moment invariants สำหรับการ

รับรู้รูปแบบของวัตถุที่สมมาตรไม่สามารถใช้ได้เพราะ moment ส่วนมากของวัตถุที่สมมาตรไม่ปรากฏค่าใดๆ

ดังนั้นการแก้ไขปัญหานี้ในการคัดแยกการปนของ เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่สะดวกและรวดเร็ว จึงมีความ จำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพถ่ายในการจำแนก และคัดแยกเมล็ดพันธุ์ป่นในถั่วเขียว โดยวิเคราะห์รูป ทรงของเมล็ดถั่วเขียวจากภาพถ่าย เพื่อช่วยในการคัด แยกเมล็ดพันธุ์ป่นในถั่วเขียว

วิธีการศึกษา

สายพันธุ์เมล็ดถั่วเขียว

เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวที่นำมาศึกษาเป็นถั่วเขียวหลัก พันธุ์ชยันนาท 72 กับพันธุ์กำแพงแสน 2 ได้รับมาจาก สถาบันวิจัยพืชไร่ (Field Crops Research Institute) กรุงเทพมหานคร จำนวนพันธุ์ละ 100 เมล็ด รวมเป็น 200 เมล็ด

ภาพและการวิเคราะห์ภาพถ่าย

ใช้กล้อง Quick Pro ของ Logitech ขนาด 3264 x 2448 พิกเซล ถ่ายภาพถั่วเขียวแต่ละเมล็ดลักษณะ การวางตัวแบบขีดขาวของถั่วเขียว ตั้งเข้าหากกล้อง ระยะถ่ายภาพ 48 มม. ตัดภาพเฉพาะเมล็ดเดี่ยวขนาด 500 x 500 พิกเซล ทั้งสองสายพันธุ์ คือ ถั่วเขียวพันธุ์ ชยันนาท 72 (Figure 1) และถั่วเขียวพันธุ์กำแพงแสน 2 (Figure 2) นำภาพแต่ละเมล็ดมาแยกพื้นหลังออก จากตัวเมล็ด โดยเปลี่ยน ภาพ RGB (Red Green Blue) ที่มีขนาดแถบสีละ 8 บิตต่อพิกเซลเป็นภาพ HSI จากสมการที่ 1 เพื่อแยกวัตถุออกจากสีต่างๆ Cheng (2001) (Figure 3) แสดงแถบสีของ HSI

$$H = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{3}(G-B)}{(R-G)+(R-B)} \right),$$

$$S = 1 - \frac{\min(R,G,B)}{I},$$

$$I = \frac{(R+G+B)}{3}$$

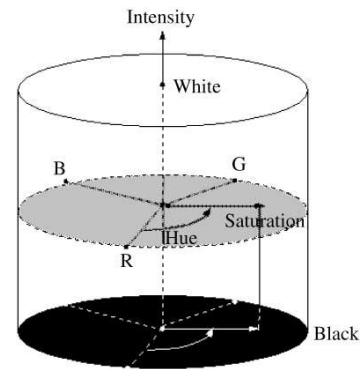


Figure 3 HSI (Hue Saturation Intensity) color space

นำภาพส่วน saturation ที่ทำให้เมล็ดมีความโดดเด่นกว่าพื้นหลัง ใช้ตัวกรอง Median ขนาด 3 x 3 พิกเซล เพื่อกรองส่วนรบกวนที่ไม่ต้องการออก Arias-Castro and Donoho (2009) ทำให้ส่วนที่เป็นขอบของเมล็ดเด่นชัดขึ้น ตัดส่วนพิกเซลที่มีค่า $src(x,y)$ ที่ค่าขีด (threshold) สูงกว่าค่า 100 เพื่อเอาภาพพื้นหลังออก ส่วนที่เหลือปรับให้เป็นค่าสูงสุด (max value) เท่ากับ 255

$$dst(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{if } src(x,y) > \text{threshold} \\ \text{max value}, & \text{otherwise} \end{cases}$$

วิเคราะห์ หาค่าโมเมนต์ทั้ง 7 ลำดับของ Hu ของ เมล็ดถั่วเขียวพันธุ์ชยันนาท 72 และพันธุ์กำแพงแสน 2 ดัง Figure 4 และ Figure 5

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \phi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \phi_4 &= (\eta_{30} - \eta_{12})^2 + (\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{30} - \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 + 4\eta_{11}(\eta_{30} - \eta_{12})(\eta_{21} - \eta_{03}) \\ \phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{30} - \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ &\quad - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \end{aligned}$$

เมื่อ $\mu_{pq} = \iint_{-\infty}^{\infty} (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x, y) dx dy$ เป็น central moment ของ $f(x, y)$ (x_c, y_c) เป็นจุดศูนย์กลางของวัตถุ (centroid)

$$\eta_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_{00} \left(1 + \frac{i+j}{2}\right)} \text{ เป็น scale invariant moments}$$

ปรับค่าของข้อมูลที่ได้มาทั้งหมดให้มีหน่วยวัดที่เท่ากัน (normalization) อยู่ระหว่างค่า -1 ถึง 1

การคัดเลือกลักษณะที่โดดเด่น (feature selection)

คัดเลือกลักษณะของค่าข้อมูลที่โดดเด่นและที่มีค่าเฉลี่ยที่มีระยะห่างมากที่สุด ระหว่างค่าข้อมูลที่แตกต่างกันในลำดับโมเมนต์ของ HU ด้วย Fisher's Discriminant Ratio

$$F(t_k) = \frac{(E(t_k|P) - E(t_k|N))^2}{D(t_k|P) + D(t_k|N)}$$

เมื่อ $E(t_k|P)$ และ $E(t_k|N)$ เป็นค่าเฉลี่ยเงื่อนไข (condition mean) ของลักษณะ t_k กับประเภท P และ N $D(t_k|P)$ และ $D(t_k|N)$ เป็นค่าแปรปรวนเงื่อนไข (condition variance) ของลักษณะ t_k กับประเภท P และ N โดยเป็นการหาอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าแปรปรวนของแต่ละค่าของลักษณะ เพื่อนำค่าของลักษณะที่มีระยะห่างมากที่สุดที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจประเภทของวัตถุนั้น จาก Suge et al. (2009) โดยกำหนดให้ขีด (threshold) แบ่งมากกว่าค่า 50 ขึ้นไปจะได้ค่าโมเมนต์ของ Hu ในลำดับที่ 5, 6 และ 7 ดังแสดงใน Figure 6

การสอนเครื่องจักรเรียนรู้ (machine learning) และการแยกประเภท (classification)

แยกข้อมูลของเมล็ดออกเป็น 2 กลุ่มเท่าๆ กัน กลุ่มแรกที่ไว้สอนเครื่องจักร จำนวน 100 รูปแบบเป็นพันธุ์ชัยนาท 72 จำนวน 50 รูปแบบ พันธุ์กำแพงแสน 2 จำนวน 50 รูปแบบ นำมาหา Support Vector เพื่อสร้าง Discriminant Function ให้กับ Support Vector Machine (SVM) ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในการแบ่งประเภทของวัตถุ (Ben-Hur and Weston, 2008; Elisseeff et al., 2011)

กลุ่มที่สองเป็นกลุ่มไว้ทดสอบจำนวน 100 รูปแบบปนกัน เป็นพันธุ์ชัยนาท 72 จำนวน 50 รูปแบบ พันธุ์กำแพงแสน 2 จำนวน 50 รูปแบบ มาแยกเมล็ดพันธุ์ระหว่างพันธุ์ชัยนาท 72 กับพันธุ์ กำแพงแสน 2 หลังจากผ่านการคัดเลือกลักษณะที่ได้จากโมเมนต์ของ Hu

ในลำดับที่ 5, 6 และ 7 โดยใช้เครื่องมือ SVM ช่วยในการจำแนกเมล็ดทั้งสองพันธุ์

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การคัดแยกหรือจำแนกเมล็ดพันธุ์สามารถแยกได้จากรูปทรงที่แตกต่างระหว่างเมล็ด 2 สายพันธุ์ จากคุณลักษณะโมเมนต์ของ Hu ในลำดับที่ 5, 6 และ 7 ที่แสดงค่าและมีผลตอบสนองต่อรูปแบบการวางตัวที่ชัดเจนเข้าหากล้องของรูปทรงที่บิดเบี้ยวของถั่วเขียว สายพันธุ์กำแพงแสน 2 มากกว่าพันธุ์ชัยนาท 72 จาก Table 1 แสดงถึงจำนวนที่จำแนกและแยกระหว่างสองสายพันธุ์ที่ปนกันนำมาทดสอบได้ สามารถจำแนกได้อย่างถูกต้อง สายพันธุ์กำแพงแสน 2 จำนวน 48 เมล็ด และสายพันธุ์ชัยนาท 72 จำนวน 49 เมล็ด (Table 1) จากทั้งหมด 100 เมล็ด ส่วนเมล็ดที่จำแนกผิดพลาดไป สายพันธุ์กำแพงแสน 2 จำนวน 2 เมล็ด และสายพันธุ์ชัยนาท 72 จำนวน 1 เมล็ดนั้นอาจเกิดจากเมล็ดที่นำมาใช้ในการทดสอบไม่สมบูรณ์ หรืออาจปะปนกันมา Figure 7 เป็นการแสดงถึงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของค่าความถูกต้องต่อค่าความผิดพลาดจากขั้นตอนการจำแนกคัดแยกในกระบวนการทดลองนี้

สิ่งที่ต้องศึกษาต่อไปในรูปแบบการวางตัวของเมล็ดในรูปอื่นๆ และในจำนวนที่มากขึ้น การคัดแบ่งแยกเมล็ดพันธุ์ที่ไม่สมบูรณ์ออกก่อนนำมาวิเคราะห์ การวิเคราะห์แยกเมล็ดที่มีลักษณะที่วางขอบติดกันหรือทับซ้อนกัน ด้วยวิธีการ ของ Mebatsion and Paliwal (2011) โดยนำภาพที่มีลักษณะของเมล็ดติดกัน มาวิเคราะห์ขอบของเมล็ดว่ามีลักษณะเป็นเส้นโค้งหรือขอบมุมที่เมล็ดติดหรือซ้อนทับกันอย่างไร เพื่อให้มั่นใจว่าเป็นเมล็ดเดียวในการนำมาทดสอบ และรวมไปถึงในการคัดแยกเมล็ดสายพันธุ์อื่น จนนำไปสู่การพัฒนาเครื่องคัดแยกต้นแบบในอนาคต

สรุป

การคัดแยกหรือจำแนกเมล็ดพันธุ์ปนในถั่วเขียวระหว่างสายพันธุ์ชัยนาท 72 กับ สายพันธุ์กำแพงแสน

2 สามารถแบ่งแยกชนิดของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว สายพันธุ์ชยันต 72 กับ สายพันธุ์กำแพงแสน 2 ที่ปนออกจากรันได้มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองสรุปได้ว่าการคัดแยกหรือจำแนกเมล็ดพันธุ์ของถั่วเขียว

สามารถใช้ลักษณะของรูปทรงที่ฉายลงบนระนาบ 2 มิติ อย่างเช่นภาพถ่ายในการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ปนในถั่วเขียวด้วยโมเมนต์ของ Hu



Figure 1 Chainat 72 10 x 10 pieces

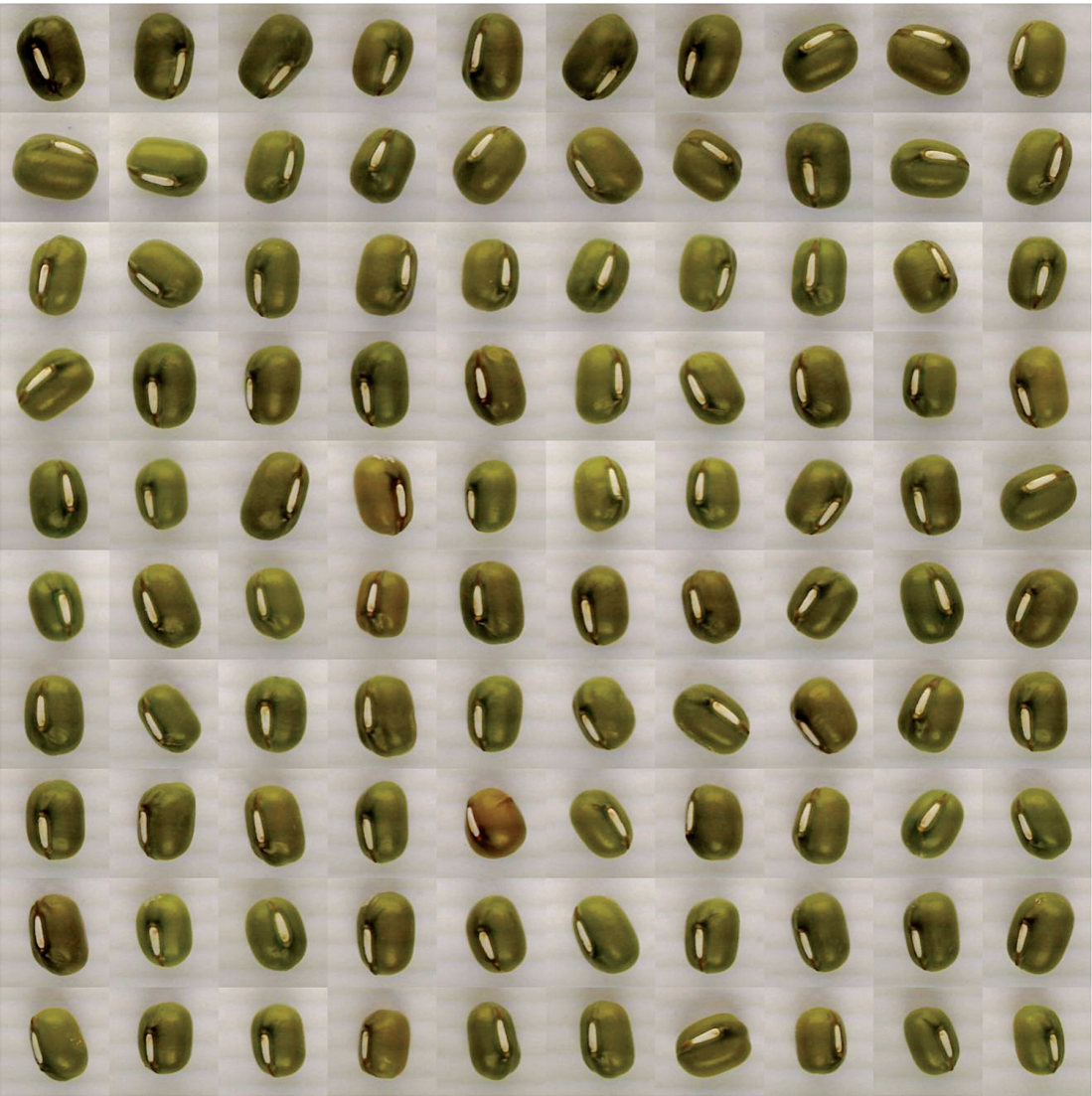


Figure 2 Kamphengsean 2 10 x 10 pieces

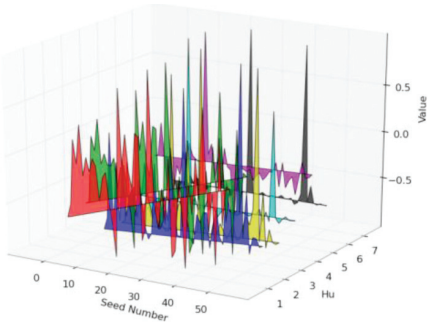


Figure 4 Hu's Moments of the CN 72

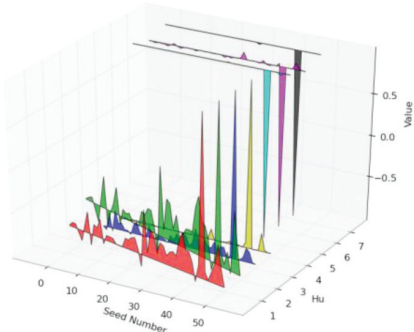


Figure 5 Hu's Moments of the KPS 2

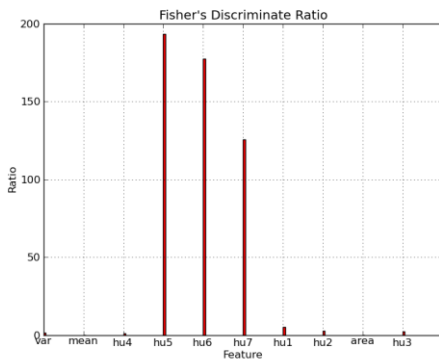


Figure 6 Fisher's Discriminant Ratio (Threshold > 50)

Varieties	CN72	KPN2	Success rate: 0.970000
CN72	48	1	Balanced success rate: 0.970707
KPN2	2	49	Area under ROC curve: 0.980808
			Area under ROC 50 curve: 0.980808

ROC: the Receiver Operation Characteristics

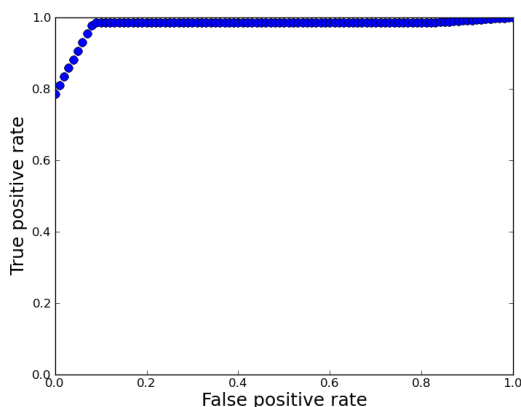


Figure 7 Receiver Operation Characteristics (ROC) Curve

คำขอบคุณ

ขอบคุณ ผศ.ดร.ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม และ ผศ.ดร. ยอดเยี่ยม ทิพย์สุวรรณ ที่ปรึกษาทางวิจัย รศ.ดร. วุฒิพงศ์ อารีกุล ที่ปรึกษาด้านการจดจำรูปแบบ และ คุณสุวิมล ถนอมทรัพย์ จากสถาบันวิจัยพืชไร่ ที่ให้เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ และ ข้อมูลทางเศรษฐกิจการเกษตร

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2552. ถั่วเขียว. คลังข้อมูล กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ <http://it.dog.go.th/vichakan/news.php?newsid=33> ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2553
- จารุวัฒน์ มงคลธนธรศ. 2531. การพัฒนาเครื่องกะเทาะถั่วเขียวผิวมัน. น. 77-78. ใน: การประชุมสัมมนาทางวิชาการเรื่อง เครื่องมือและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม. เชียงใหม่, 2531. <http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?researchid=sf092>. ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2553
- ยอดชัย รักถนอม, เอ็นดู ตังคโนภาส, และอนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2548. เครื่องคัดแยกเมล็ดถั่วเขียวเพาะ. น. 126-127. ใน: ผลงานโครงการที่ได้รับทุน IRPUS ประจำปี 2548 สำนักงานโครงการให้ทุนสนับสนุนโครงการอุตสาหกรรมสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- สมชาย บุญประดับ. 2554. การตัดสินใจปลูกพืชไร่หลังนา. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ <http://m.doa.go.th/fcri/files/fledrice.pdf>. ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2553.
- สมนึก สุวรรณประดิษฐ์. 2531. การปรับปรุงเครื่องกะเทาะเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว. โครงการวิศวกรรมเกษตร ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ <http://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?researchid=wf004>. ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2553.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตร ปี 2553 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 416 http://www.oae.go.th/download/download_journal_fundemation-2553.PDF. ค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2553.
- Arias-Castro, E., and D.L. Donoho. 2009. Does median filtering truly preserve edges better than linear filtering?. Ann. Statist. 37:1172.

- Ben-Hur, A., and J. Weston. 2008. A User's Guide to Support Vector Machines. Department of Computer Science, Colorado State University, USA.
- Cheng, H. D. 2001. Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognit.* 34:2259-2281.
- Elisseeff, A., S. Bernhhard, and P. Fernando. 2011. Support Vector Machine – Recursive Feature Elimination (SVM-RFE). Health Discovery Corporations, Savannah, GA.
- Flusser, J., and T. Suk. 1994. Affine moment invariants: A new tool for character recognition. *Pattern Recognit.* 15:433-436.
- Flusser, J. 2000. On the independence of rotation moment invariants. *Pattern Recognit.* 33:1405-1410.
- Flusser, J. and T. Suk. 2006. Rotation moment invariants for recognition of Symmetric objects. *IEEE Trans. Image Process.* 15:3784-3790.
- Hu, M. K. 1962. Visual pattern recognition by moment invariants. *IRE Trans. Inf. Theory.* 8:179-187.
- Mebatsion, H. K., and J. Paliwal. 2011. A fourier analysis based algorithm to separate touching kernels in digital images. *Biosyst. Eng.* 108:66-74.
- Maejima, T. 2004. Apparatus for Inspecting Gel Covering Seed. US Patent 6, 683266.
- Satake, S., M. Ikeda, S. Takashita, and T. Doi. 2002. Apparatus and Method for Evaluating Quality of Granular Object. US Patent 6, 427,128.
- Sivaramakrishna, R. 1997. Hu's moment invariants: How invariant are they under skew and perspective transformation. *WESCANEX'97 Proceeding; Winnipeg; MB; pp. 292-295.* University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Suge, W., L. Deyu, W. Yingjie, and L. Hongxia. 2009. A feature selection method based on fisher's discriminant ratio for text sentiment classification. *Proceeding WISM '09 proceedings of the international conference on web information systems and mining.* China.
- Tantasawat, P., T. Juthamas, P. Thongchai, T. Thanawit, P. Chutamas, S. Worapa, and M. Thitiporn. 2010. Variety identification and genetic relationships of mungbean and blackgram in Thailand and based on morphological characters and ISSR analysis. *Afr. J. Biotechnol.* 9:4452-4464.