ปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำในฤดูแล้งและฤดูปลายฝน

Hard Seed, Seed Quality and Chemical Composition of Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] and Black Gram [*Vigna mungo* (L.)] in Dry and Late Rainy Seasons

กนกวรรณ เที่ยงธรรม,[1*] พรศิริ เลี้ยงสกุล,[1] จุฑามาศ ร่มแก้ว[1] และ ประกิจ สมท่า[1]

Kanokwan Teingtham,[1*] Ponsiri Liangsakul,[1] Jutamas Romkaew[1] and Prakit Somta[1]

บทคัดย่อ: เมล็ดแข็งหรือถั่วหินเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งในอุตสาหกรรมเพาะถั่วงอก และแปรรูปถั่วเขียว แต่ยังไม่มีรายงานปริมาณเมล็ดแข็งในพื้นที่เพาะปลูกถั่วเขียวของประเทศไทย งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำจากแปลงเกษตรกรทั้งในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนในพื้นที่ปลูกถั่วเขียวที่สำคัญของประเทศไทย โดยการสำรวจและเก็บตัวอย่างเมล็ดถั่วเขียวในปีเพาะปลูก 2560 ทั้งหมด 121 ตัวอย่าง จาก 10 จังหวัดบริเวณภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน ผลการสำรวจพบว่า ปริมาณเมล็ดเมล็ดแข็งในตัวอย่างถั่วเขียวผิวดำสูงกว่าถั่วเขียวผิวมันทั้งในฤดูแล้งและฤดูปลายฝน โดยตัวอย่างในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีปริมาณเมล็ดแข็งเฉลี่ย 0.21 และ 1.72% ในถั่วเขียวผิวมัน และ 5.35 และ 23.36% ในถั่วเขียวผิวดำ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่า ตัวอย่างถั่วเขียวจากฤดูแล้งมีคุณภาพดีกว่าฤดูปลายฝนทั้งในถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำ ส่วนผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด พบว่า ตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันจากฤดูแล้งมีเปอร์เซ็นต์โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าฤดูปลายฝน แต่องค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวผิวดำจากทั้งสองฤดูปลูกไม่แตกต่างกัน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดแข็งกับคุณภาพเมล็ดพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมี พบว่า ปริมาณเมล็ดแข็งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนัก 100 เมล็ดมากที่สุด (r = -0.60) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับเยื่อใย (r = 0.25) และเถ้า (r = 0.25)
คำสำคัญ: การพักตัวของเมล็ด, ถั่วเขียว, เมล็ดแข็ง, สหสัมพันธ์, แปลงเกษตรกร

ABSTRACT: Hard seed is an important problem in mungbean sprouting industry and processing of mungbean products. Quantitative determination of hard seeds in the major planting area of mungbean and black gram in Thailand have not been reported. Thus, the objective of this research is to measure and analyze correlation of hard seeds, seed quality, and chemical composition of mungbean and black gram produced by local farmers in the major planting area of Thailand in dry and late rainy seasons. A total of 121 mungbean samples produced by farmers were collected from 10 provinces of the lower north and the upper central of Thailand in 2017. The results showed that the percentage of hard seeds in samples of black gram were higher than mungbean for the both seasons. The averages of hard seed in mungbean samples from dry and late rainy season were 0.21 and 1.72%, respectively while those of black gram samples were 5.35 and 23.36%, repectively. Seed quality of mungbean and black gram

Received Augst 3, 2019
Accepted October 11, 2019
[1] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 73140
Department of Agronomy, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Nakon Pathom, 73140 Thailand
* Corresponding author: agrknw@ku.ac.th

seeds produced in the dry season were higher than those in the late rainy season. Similarly, protein and carbohydrate contents of mungbean seeds produced in the dry season were higher than those in the late rainy season but the chemical composition of black gram seeds from the both seasons were not different. Hard seed had the highest negative correlation with 100 seed weight (r=-0.60) and significantly postitive correlation with fiber (r = 0.25) and ash (r = 0.25).

Keywords: seed dormancy, green gram, hard-to-cook phenomenon, correlation, farmer fields

บทนำ

ถั่วเขียวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทย เกษตรกรนิยมปลูกเป็นพืชหลักและพืชหมุนเวียน เนื่องจากเป็นพืชที่อายุสั้นและมีคุณค่าทางโภชนาการสูง (พีระศักดิ์, 2547) ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูกถั่วเขียวประมาณ 0.85 ล้านไร่ (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ซึ่งมากที่สุดในบรรดาพืชตระกูลถั่วชนิดอื่นๆ โดยปลูกมากในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบนในจังหวัดเพชรบูรณ์ สุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร กำแพงเพชร ตาก น่าน อุตรดิตถ์ นครสวรรค์ ลพบุรี สระบุรี อุทัยธานี ชัยนาท อ่างทอง สิงห์บุรี และอยุธยา (ชูชาติ, 2558) ถั่วเขียวสามารถใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเพาะถั่วงอก วุ้นเส้น และขนมหวาน (อารดา และคณะ, 2551) อย่างไรก็ตาม ปริมาณการผลิตถั่วเขียวยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ปัญหาการผลิตถั่วเขียวในปัจจุบัน คือ การขาดแคลนเมล็ดพันธุ์ดี นอกจากนี้ เมล็ดแข็ง หรือเมล็ดหินถือเป็นปัญหาสำคัญอีกปัญหาหนึ่งในการผลิตถั่วเขียวทั้งเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ และบริโภค อารดา และคณะ (2554) ได้สำรวจอุตสาหกรรมการเพาะถั่วงอกในเขตภาคเหนือตอนล่าง จากผู้ประกอบการเพาะถั่วงอก จำนวน 44 ราย พบว่าส่วนใหญ่ซื้อเมล็ดจากร้านขายเมล็ดพันธุ์ และปัญหาที่พบคือถั่วงอกเน่า และเมล็ดแข็ง การเกิดเมล็ดแข็งเป็นกระบวนการพักตัวของเมล็ดพืชตระกูลถั่วเพื่อรักษาความมีชีวิตของเมล็ดในระยะยาว โดยเปลือกหุ้มเมล็ดมีลักษณะแข็งไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน (Rolston, 1978) การเกิดเมล็ดแข็งเป็นกลไกของเมล็ดเพื่อให้มีชีวิตรอดในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แต่เป็นปัญหาเมื่อต้องการใช้ประโยชน์จากเมล็ดหลังจากเก็บเกี่ยว ไม่ว่าจะเพื่อใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ใช้ในการเพาะถั่วงอก ตลอดจนการใช้ในการแปรรูปอื่นๆ เนื่องจากเมล็ดไม่มีการดูดน้ำ ไม่มีการงอก หรือไม่สามารถทำให้สุกได้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการพักตัวแบบเมล็ดแข็งยังไม่ชัดเจน แต่มีรายงานปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเมล็ดแข็งหลายปัจจัย ได้แก่ พันธุกรรม ลักษณะทางกายวิภาคของเมล็ด และสภาพแวดล้อม ในการศึกษาลักษณะเมล็ดแข็งในถั่วเหลือง พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์ป่าจะพบเมล็ดแข็งมากกว่าถั่วเหลืองที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์ (Potts et al., 1978) สุวิมล (2538) ได้ศึกษาลักษณะเมล็ดแข็งในถั่วเขียวสองสายพันธุ์ได้แก่ถั่วเขียวพันธุ์ มอ-1 ที่มีเมล็ดแข็ง 0-16% และพันธุ์ TC1966 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีความต้านทานการเจาะทำลายของด้วงถั่วเขียวและมีเมล็ดแข็งมากกว่า 80% พบว่า ถั่วเขียวทั้งสองพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกัน แต่ถั่วเขียวพันธุ์ TC1966 มีความหนาและความหนาจำเพาะของ palisade layer มากกว่าพันธุ์ มอ-1 ส่วนผลของสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกต่อการเกิดเมล็ดแข็งนั้น Kebede et al. (2014) รายงานว่าสภาพอุณหภูมิสูงในระยะการสะสมน้ำหนักแห้งทำให้เกิดปริมาณเมล็ดแข็งของถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น และยังพบว่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดเมล็ดแข็งภายหลังจากที่เมล็ดพัฒนาผ่านจุดสุกแก่ทางสรีรวิทยาแล้วซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในเมล็ด โดยพบว่า ความชื้นในเมล็ดที่เริ่มพบเมล็ดแข็งของถั่วเขียวทั้งสองพันธุ์แตกต่างกันคือ พันธุ์ TC 1966 จะเริ่มพบเมล็ดแข็งเมื่อเมล็ดมีความชื้นต่ำกว่า 19% ขณะที่พันธุ์ มอ-1 จะเริ่มพบเมล็ดแข็งเมื่อเมล็ดมีความชื้นต่ำกว่า 14% นอกจากนี้ Rodriguez and Mendoza (1990) ศึกษาลักษณะเมล็ดแข็งในถั่วเขียวพันธุ์การค้า 4 พันธุ์ พบเมล็ดแข็ง 0-3.8% โดยในเมล็ดแข็งมีปริมาณเยื่อใย (fiber content) ลิกนิน (lignin) และซิลิกา (silica) มากกว่าเมล็ดปกติ การเกิดเมล็ดแข็งสามารถพบได้ตั้งแต่ก่อนเก็บเกี่ยว และเกิดขึ้นระหว่างการเก็บรักษา (El-Tabey Shehata, 1992) และในเมล็ดพืช

ตระกูลถั่วปริมาณเมล็ดแข็งจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษาภายใต้สภาพอุณหภูมิสูงกว่า 25˚C และความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 65% (Hussain et al., 1989; Liu et al., 1992; Reyes-Moreno et al., 2000; Reyes-Moreno et al., 1993) นอกจากนี้ยังมีรายงานการค้นหายีนและ QTL ที่ควบคุมที่ควบคุมลักษณะเมล็ดแข็งในพืชตระกูลถั่ว โดยส่วนใหญ่พบว่ามียีนเพียง 1-2 ตำแหน่งที่ควบคุมลักษณะเมล็ดแข็ง (Humphry et al., 2005; Isemura et al., 2012; Kebede et al., 2014)

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานการสำรวจปริมาณเมล็ดแข็งในพื้นที่ผลิตถั่วเขียวที่สำคัญของประเทศไทยอย่างชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปริมาณเมล็ดแข็ง รวมถึงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวจากแปลงเกษตรกรทั้งในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นฤดูที่เหมาะสำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวคุณภาพดี และฤดูปลายฝนซึ่งเป็นฤดูปลูกถั่วเขียวเกือบ 80% ของผลผลิตทั้งหมดของประเทศ เพื่อให้ได้ข้อมูลปัญหาการเกิดเมล็ดแข็งในพื้นที่การผลิตถั่วเขียว และความสัมพันธ์ของปริมาณเมล็ดแข็งกับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบน 10 จังหวัด ในฤดูแล้ง และฤดูปลายฝน ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวเพื่ออุตสาหกรรมการเพาะถั่วงอกและอุตสาหกรรมการแปรรูปถั่วเขียว และยังได้ทราบปัญหาและข้อจำกัดในการผลิตถั่วเขียวที่สำคัญ เพื่อเป็นข้อมูลในการแก้ปัญหาการผลิตถั่วเขียวของประเทศไทยต่อไป

วิธีการศึกษา

การสำรวจและเก็บตัวอย่างเมล็ดถั่วเขียว

สำรวจเกษตรกรผู้ปลูกถั่วเขียวผิวมัน และถั่วเขียวผิวดำใน 10 จังหวัดภาคกลางตอนบน และภาคเหนือตอนล่าง ได้แก่ จังหวัด สระบุรี นครสวรรค์ ชัยนาท อุทัยธานี พิจิต กำแพงเพชร พิษณุโลก สุโขทัย และเพชรบูรณ์ และขอซื้อเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจากเกษตรกรแต่ละรายๆ ละ 2 กิโลกรัม เพื่อนำมาศึกษาปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมี โดยรวบรวมตัวอย่างได้ทั้งหมด 121 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างจากฤดูแล้ง (มกราคม – มีนาคม 2560) 53 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นถั่วเขียวผิวมัน 43 ตัวอย่าง และถั่วเขียวผิวดำ 10 ตัวอย่าง และตัวอย่างจากฤดูปลายฝน (ตุลาคม – ธันวาคม 2560) 68 ตัวอย่าง เป็นถั่วเขียวผิวมัน 61 ตัวอย่าง และถั่วเขียวผิวดำ 7 ตัวอย่าง รายละเอียดของตัวอย่างที่เก็บในแต่ละจังหวัดในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนแสดงใน **Table 1**

Table 1 Collection of 121 mungbean and black gram samples produced by farmers in 10 provinces of upper central and lower north of Thailnad in dry and late rainy seasons of 2017

Province	Dry Season (Jan – March, 2017)			Late Rainy Season (Oct – Dec, 2017)		
	Mungbean	Black gram	Total	Mungbean	Black gram	Total
1. Saraburi	5	-	5	21	-	21
2. Nakhon Sawan	6	-	6	-	-	0
3. Chai Nat	5	-	5	-	-	0
4. Uthai Thani	6	-	6	-	-	0
5. Phichit	5	-	5	5	-	5
6. Kamphaeng Phet	5	1	6	2	-	2
7. Phitsanulok	-	5	5	5	3	8
8. Sukhothai	1	4	5	2	4	6
9. Phetchabun	5	-	5	14	-	14
10. Tak	5	-	5	5	-	5
Total	43	10	53	61	7	68

การตรวจสอบปริมาณเมล็ดแข็งและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว

ทดสอบเมล็ดแข็งตามวิธีการของ Lawn et al. (1988) โดยสุ่มเมล็ดถั่วเขียวตัวอย่างละ 50 เมล็ด 4 ซ้ำ แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วแยกนับจำนวนเมล็ดที่ดูดน้ำและเมล็ดแข็งที่ไม่ดูดน้ำ คำนวณเป็น % เมล็ดแข็ง ตรวจวัดความบริสุทธิ์ และความชื้นของเมล็ดตามวิธีการของ ISTA (2016) ตรวจวัดน้ำหนัก 100 เมล็ด โดยสุ่มเมล็ดถั่วเขียวตัวอย่างละ 100 เมล็ด 4 ซ้ำ ชั่งน้ำหนัก 100 เมล็ด แล้วคำนวณค่าเฉลี่ย ตรวจวัดความงอกมาตรฐานโดยวิธีเพาะในทราย โดยสุ่มเมล็ดถั่วเขียวตัวอย่างละ 50 เมล็ด 4 ซ้ำ เพาะที่อุณหภูมิ 20-30˚C แล้วประเมินความงอกหลังการเพาะที่ 4 วัน และ 7 วัน (ISTA, 2016) ตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดถั่วเขียวจากระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก โดยการเพาะเมล็ดเช่นเดียวกับวิธีทดสอบความงอก ตรวจนับต้นกล้าปกติที่งอกทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน แล้วคำนวณระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (Matthews and Khajeh Hosseini, 2006) จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก (วัน)} = \frac{\sum (G_t \times T_t)}{\sum G_t}$$

เมื่อ G_t คือ จำนวนต้นกล้าที่งอกในแต่ละวันหลังเพาะ

T_t คือ จำนวนวันหลังเพาะ

ตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดถั่วเขียวจากน้ำหนักแห้งต้นกล้า โดยการเพาะเมล็ดเช่นเดียวกับวิธีทดสอบความงอกเป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดนำเฉพาะต้นกล้าปกติไปอบที่อุณหภูมิ 80˚C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักต้นกล้า คำนวณเป็น มก./ต้น (จวงจันทร์, 2529) และตรวจสอบความแข็งแรงของเมล็ดถั่วเขียวโดยวิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ตามวิธีการของ Araujo et al. (2011) โดยสุ่มเมล็ดถั่วเขียวตัวอย่างละ 50 เมล็ด 4 ซ้ำ นำไปใส่ในบีคเกอร์ขนาด 200 มล. เติมน้ำกลั่นลงไป 75 มล. แล้วนำไปไว้ในตู้เพาะหรือห้องที่มีอุณหภูมิ 25˚C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำมาวัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity meter) Mettler Toledo รุ่น FP30-Meter ด้วยหัววัดรุ่น LE740

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl ตามวิธีการมาตรฐาน AOAC (2000) วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธี traditional Soxhlet extraction ตามวิธีการมาตรฐาน AOAC (2016) วิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (neutral detergent fiber: NDF) โดยวิธี sequential detergent analysis ตามวิธีการของ (Ankom, 2006) ด้วยเครื่อง ANKOM (ANKOM Technol. Corp., Fairport, NY) วิเคราะห์เถ้า (ash) ตามวิธีการมาตรฐาน AOAC (1980) โดยการเผาตัวอย่างถั่วเขียวบดประมาณ 3 กรัมในเตาเผาความร้อนสูง (Muffle Furnace) รุ่น DMF-05K ที่อุณหภูมิ 550˚C เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง และวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ตามวิธีการของ Hailu (2018) โดยคำนวณจากการหักค่าองค์ประกอบเคมีอื่นๆ จากสูตร

คาร์โบไฮเดรต (%) = 100 – (เปอร์เซ็นต์ความชื้น +โปรตีน+ไขมัน+เยื่อใย+เถ้า)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คำนวณค่าเฉลี่ย (mean) ความผิดพลาดมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error of mean, SEM) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่างๆ ของปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีระหว่างฤดูแล้งและฤดูปลายฝนโดยใช้ t-test procedure และวิเคราะห์ค่า Peasson's correlation coefficients ระหว่างปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ด้วยโปรแกรม STAR (IRRI, 2018)

ผลการศึกษา

ปริมาณเมล็ดแข็ง

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำจากฤดูแล้งและฤดูปลายฝนทั้งหมด 121 ตัวอย่าง พบว่าตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันในฤดูแล้งมีปริมาณเมล็ดแข็งน้อยกว่าในฤดูปลายฝน ($p<0.01$) โดยในตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันที่ผลิตในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีปริมาณเมล็ดแข็งเฉลี่ย 0.21 และ 1.72% ตามลำดับ **(Table 2)** ส่วนในถั่วเขียวผิวดำพบปริมาณเมล็ดแข็งมากกว่าในถั่วเขียวผิวมัน แต่เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างฤดูปลูกพบว่า ถั่วเขียวผิวดำที่ผลิตในฤดูปลายฝนมีปริมาณเมล็ดแข็งมากกว่าในฤดูแล้ง ($p<0.05$) โดยถั่วเขียวผิวดำที่ผลิตในฤดูแล้งมีปริมาณเมล็ดแข็งเฉลี่ย 5.35% แต่ในฤดูปลายฝนมีปริมาณเมล็ดแข็งสูงถึง 23.36% (**Table 3**)

คุณภาพของเมล็ดพันธุ์

จากการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์พบว่า ตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันที่ได้จากแปลงเกษตรกรในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีความบริสุทธิ์ และความงอกไม่แตกต่างกัน โดยถั่วเขียวผิวมันในฤดูแล้ง และฤดูปลายฝนมีความบริสุทธิ์เฉลี่ย 96.11 และ 97.16% และมีความงอกเฉลี่ย 93.51 และ 94.40% ตามลำดับ **(Table 2)** ส่วนความชื้นและน้ำหนัก 100 เมล็ด พบว่ามีความแตกต่างกันระหว่างฤดูปลูก ($p<0.01$) โดยตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันที่ได้จากแปลงเกษตรกรในฤดูแล้งมีความชื้นต่ำกว่าในฤดูปลายฝน (8.22 และ 9.53%) แต่มีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูงกว่า (6.29 และ 5.79 กรัม) **(Table 2)** ส่วนความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ซึ่งประเมินจากน้ำหนักแห้งต้นกล้า ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอก และค่าการนำไฟฟ้า พบว่า น้ำหนักแห้งต้นกล้าของถั่วเขียวในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูปลายฝน (3.16 และ 2.86 ก./ต้น) ในขณะที่ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยกว่า (3.27 และ 3.74 วัน, $p<0.01$) แต่ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่เมล็ดถั่วเขียวจากฤดูแล้งสูงกว่าฤดูปลายฝน (29.20 และ 13.50 µs/cm/g.seed, $p<0.01$) **(Table 2)** ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำแช่เมล็ดที่มีความแข็งแรงสูงกว่าในฤดูปลายฝน เช่นเดียวกับถั่วเขียวผิวมันจะมีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าเมล็ดที่มีความแข็งแรงต่ำกว่า แต่เมื่อพิจารณาผลจากวิธีการตรวจวัดความแข็งแรงทั้งสามวิธี พบว่าตัวอย่างถั่วเขียวในฤดูแล้งมีคุณภาพดีกว่าในฤดูปลายฝนเนื่องจากมีน้ำหนักแห้งต้นกล้าสูงกว่า แต่ใช้ระยะเวลาในการงอกเฉลี่ยต่ำกว่า

สำหรับคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ตัวอย่างถั่วเขียวผิวดำจากแปลงเกษตรกรในฤดูแล้งและฤดูปลายฝน พบว่า ความบริสุทธิ์ ความชื้น และน้ำหนัก 100 เมล็ดของตัวอย่างถั่วเขียวผิวดำในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนไม่แตกต่างกัน โดยถั่วเขียวผิวดำจากแปลงเกษตรกรในฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีความบริสุทธิ์เฉลี่ย 94.14 และ 97.74% มีความชื้นเฉลี่ย 8.88 และ 8.46% และมีน้ำหนัก 100 เมล็ดเฉลี่ย 4.55 และ 3.88 กรัม ตามลำดับ **(Table 3)** ในขณะที่ตัวอย่างถั่วเขียวผิวดำที่ได้จากแปลงเกษตรกรในฤดูแล้งมีความงอกสูงกว่าจากฤดูปลายฝน (94.90 และ 83.36%, $p<0.01$) **(Table 2)** แต่ผลการตรวจวัดความแข็งแรงของเมล็ดพบว่า น้ำหนักแห้งต้นกล้า (2.82 และ 2.49 กรัมต่อต้น) และค่าการนำไฟฟ้า (21.09 และ 20.83 µs/cm/g.seed) ของตัวอย่างถั่วเขียวจากฤดูแล้งและฤดูปลายฝนไม่แตกต่างกัน แต่ถั่วเขียวผิวดำจากฤดูแล้งใช้ระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอกน้อยกว่าในฤดูปลายฝน (3.27 และ 4.69%, $p<0.01$) ทั้งนี้ความงอกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการประเมินคุณภาพเมล็ดพันธุ์ เป็นการตรวจสอบความมีชีวิตของเมล็ด จึงสรุปว่าถั่วเขียวผิวดำในฤดูแล้งมีคุณภาพดี

Table 2 Hard seed and seed quality of mungbean seeds in dry and late rainy seasons of Thailand in 2017

Seed quality	Dry Season	Late Rainy Season	SEM[1/]	P-Value
Hard seed (%)	0.21 (±0.07)[2/]	1.72 (±0.17)	0.24	<0.0001
Seed purity (%)	96.11 (±0.66)	97.16 (±0.33)	0.82	0.1665
Moisture content (%)	8.22 (±0.17)	9.53 (±0.20)	0.32	<0.0001
100 seed weight (g)	6.29 (±0.10)	5.79 (±0.08)	0.15	0.0002
Germination (%)	93.51 (±1.82)	94.40 (±0.68)	1.94	0.7067
Seedling dry weight (g/plant)	3.16 (±0.06)	2.86 (±0.05)	0.09	0.0034
Mean germination time (day)	3.27 (±0.04)	3.74 (±0.05)	0.07	<0.0001
Electrical Conductivity (µs/cm/g.seed)	29.20 (±1.95)	13.50 (±0.78)	2.06	<0.0001

[1/] SEM = standard error of mean

[2/] Mean (± SEM)

Table 3 Hard seed and seed quality of black gram seeds in dry and late rainy seasons of Thailand in 2017

Seed quality	Dry Season	Late Rainy Season	SEM[1/]	P-Value
Hard seed (%)	5.35 (±1.89)[2/]	23.36 (±4.22)	5.35	0.0179
Seed purity (%)	94.14 (±1.64)	97.74 (±0.49)	2.45	0.3339
Moisture content (%)	8.88 (±0.53)	8.46 (±0.43)	0.46	0.8337
100 seed weight (g)	4.55 (±0.15)	3.88 (±0.16)	0.04	0.2466
Germination (%)	94.90 (±0.88)	83.36 (±1.80)	1.42	0.0001
Seedling dry weight (g/plant)	2.82 (±0.12)	2.49 (±0.13)	0.16	0.1302
Mean germination time (day)	3.27 (±0.09)	4.69 (±0.08)	0.06	<0.0001
Electrical Conductivity (μs/cm/g.seed)	21.09 (±2.12)	20.83 (±2.08)	2.97	0.8035

[1/] SEM = standard error of mean

[2/] Mean (±SEM)

องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด

องค์ประกอบทางเคมีภายในเมล็ดมีความเกี่ยวข้องกับคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดถั่วเขียว ในงานวิจัยนี้ตัวอย่างถั่วเขียวทั้งหมด 121 ตัวอย่างถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เยื่อใย และเถ้า ผลการวิเคราะห์ พบว่า ตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันจากฤดูแล้งมีปริมาณโปรตีนคาร์โบไฮเดรต และเถ้าสูงกว่าตัวอย่างจากฤดูปลายฝน (โปรตีนเฉลี่ย 2.59 และ 21.24%, $p<0.01$; คาร์โบไฮเดรตเฉลี่ย 51.71 และ 50.24%, $p<0.01$ และเถ้าเฉลี่ย 3.53 และ 3.36%, $p<0.05$ ตามลำดับ) แต่ปริมาณเยื่อใยของตัวอย่างในฤดูแล้งต่ำกว่าในฤดูปลายฝน (12.31 และ 15.04%, $p<0.01$) ในขณะที่ปริมาณไขมันในตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันจากทั้งสองฤดูไม่แตกต่างกัน (0.63 และ 0.59%) (Table 4)

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของถั่วเขียวผิวดำพบว่า ตัวอย่างถั่วเขียวผิวดำจากฤดูแล้งและฤดูปลายฝนมีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 25.33 และ 21.87% ไขมันเฉลี่ย 0.46 และ 0.49% คาร์โบไฮเดรตเฉลี่ย 46.49 และ 49.02% เยื่อใยเฉลี่ย 15.25 และ 16.38% และเถ้าเฉลี่ย 3.59 และ 3.78% ตามลำดับ (Table 5)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดถั่วเขียว

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) ระหว่างปริมาณเมล็ดแข็ง คุณภาพเมล็ดพันธุ์ และองค์ประกอบทางเคมีในถั่วเขียวผิวมันและผิวดำทั้งหมด 121 ตัวอย่าง พบว่า ปริมาณเมล็ดแข็งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนัก 100 เมล็ดมากที่สุด ($r = -0.60$, $p<0.0001$) รองลงมาคือ น้ำหนักแห้งต้นกล้า ($r = -0.30$, $p<0.05$) ความงอก ($r = -0.24$, $p<0.01$) และปริมาณไขมัน ($r = -0.22$, $p<0.05$) ตามลำดับ ในขณะที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการงอกสูงที่สุด ($r = 0.50$, $p<0.0001$) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณเมล็ดแข็งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเยื่อใย ($r = 0.25$, $p<0.01$) และเถ้า ($r = 0.25$, $p<0.01$) ด้วย (Table 6)

Table 4 Chemical composition of mungbean seeds in dry and late rainy seasons of Thailand in 2017

Chemical composition	Dry Season	Late Rainy Season	SEM[1/]	P-Value
Protein (%)	23.59 (±0.25)	21.24 (±0.26)	0.34	<0.0001
Fat (%)	0.63 (±0.03)	0.59 (±0.01)	0.03	0.2254
Carbohydrate (%)	51.71 (±0.55)	50.24 (±0.50)	0.81	0.0006
NDF (%)	12.31 (±0.40)	15.04 (±0.31)	0.55	<0.0001
Ash (%)	3.53 (±0.04)	3.36 (±0.03)	0.05	0.0246

[1/] SEM = standard error of mean

[2/] Mean (±SEM)

Table 5 Chemical composition of black gram seeds in dry and late rainy seasons of Thailand in 2017

Chemical composition	Dry Season	Late Rainy Season	SEM[1/]	P-Value
Protein (%)	25.33 (±0.23)[2/]	21.87 (±1.34)	1.37	0.0531
Fat (%)	0.46 (±0.07)	0.49 (±0.02)	0.09	0.9616
Carbohydrate (%)	46.49 (±1.17)	49.02 (±1.71)	2.83	0.2691
NDF (%)	15.25 (±1.38)	16.38 (±0.67)	1.99	0.8957
Ash (%)	3.59 (±0.06)	3.78 (±0.07)	0.11	0.1162

[1/] SEM = standard error of mean

แก่นเกษตร 48 ฉบับที่ 2: 357-368 (2563)./doi:10.14456/kaj.2020.32.

[2/] Mean (±SEM)

Table 6 Correlation coefficient (r) between hard seed seed quality and chemical compositions of 121 mungbean and black gram seed samples produced in dry and late rainy seasons of Thailand in 2017

	Purity	MC	100 SW	G	SDW	MGT	EC	Protein	Fat	Carb	Fiber	Ash
HS[1/]	0.01 ns	-0.01 ns	-0.60 ***	-0.24 **	-0.30 *	0.50 ***	-0.11 ns	-0.07 ns	-0.22 *	-0.15	0.25 **	0.25 **
Purity	1.00	0.07 ns	-0.01 ns	0.08 ns	-0.06 ns	0.00 ns	-0.26 **	-0.06 ns	0.03 ns	0.04 ns	-0.03 ns	-0.10 ns
MC		1.00	-0.07 ns	-0.10 ns	-0.18 *	0.02 ns	-0.30 **	-0.16 ns	-0.10 ns	-0.45 ***	0.26 **	-0.20 *
SW			1.00	0.25 **	0.73 ***	-0.40 ***	0.11 ns	-0.07 ns	0.36 ***	0.34 **	-0.35 ***	-0.41 ***
G				1.00	0.26 **	-0.35 ***	-0.37 ***	-0.08 ns	-0.12 ns	0.23 *	-0.16 ns	-0.33 **
SDW					1.00	-0.31 **	0.12 ns	0.19 *	0.20 *	0.14 ns	-0.24 **	-0.18 *
MGT						1.00	-0.20 *	-0.30 **	-0.15 ns	-0.03 ns	0.25 **	0.25 **
EC							1.00	0.32 **	0.18 ns	-0.04 ns	-0.08 ns	0.31 **
Protein								1.00	-0.08 ns	-0.43 ***	-0.14 ns	0.30 **
Fat									1.00	0.02 ns	0.04 ns	-0.14 ns
Carb										1.00	-0.76 ***	-0.21 *
Fiber											1.00	0.07 ns

[1/]HS = hard seed, MC = moisture content, 100SW = 100 seed weight, G = germination, SDW = seedling dry weight, Carb = carbohydrate

[2/]ns = not significant, * = significant at $p<0.05$, ** = significant at $p<0.01$, *** significant at $p<0.0001$

วิจารณ์

การตรวจวัดปริมาณเมล็ดแข็งจากตัวอย่างถั่วเขียวผิวมันและถั่วเขียวผิวดำที่ได้จาก 10 จังหวัดแถบภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบนเพื่อวิเคราะห์ปัญหาการเกิดเมล็ดแข็งนั้น พบว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อการเกิดเมล็ดแข็งคือพันธุกรรม เนื่องจากพบปริมาณเมล็ดแข็งในถั่วเขียวผิวดำสูงกว่าในถั่วเขียวผิวมันอย่างชัดเจน ปริมาณเมล็ดแข็งในถั่วเขียวผิวมันพบเฉลี่ยเพียงแค่ 0.24% ในขณะที่ถั่วเขียวผิวดำพบเฉลี่ย 5.35% ทั้งนี้ ธีระพล (2539) รายงานว่า ถั่วเขียวผิวดำพันธุ์พิษณุโลก 2 มีปริมาณเมล็ดแข็งสูงถึง 100% ซึ่งเป็นลักษณะการพักตัวเนื่องจากน้ำไม่สามารถซึมผ่านเปลือกหุ้มเมล็ดได้ สามารถแก้การพักตัวได้โดยการทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดเกิดแผล (scarlification) เช่นการใช้เข็มเจาะ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเมล็ดแข็งจะหมดไปหลังจากเก็บรักษานาน 2 เดือน (ธีระพล, 2539) เมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณเมล็ดแข็งใน 10 จังหวัด พบว่า จังหวัดพิษณุโลก สุโขทัย และกำแพงเพชร พบปริมาณเมล็ดแข็งในปริมาณสูงกว่าจังหวัดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นจังหวัดที่เป็นที่มาของตัวอย่างถั่วเขียวผิวดำ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมล็ดแข็งมีความสัมพันธ์เชิงลบกับน้ำหนัก 100 มากที่สุด (r = -0.60) นั่นคือเมล็ดที่มีน้ำหนัก 100 เมล็ดสูง หรือเมล็ดที่มีขนาดใหญ่จะพบเมล็ดแข็งน้อย ซึ่งสอดคล้องกับ รายงานของ Wasala et al. (2012) และยังเกี่ยวข้องกับชนิดของถั่วเขียวด้วย เนื่องจากถั่วเขียวผิวดำซึ่งพบเมล็ดแข็งในปริมาณมากกว่าถั่วเขียวผิวมันนั้น มีน้ำหนัก 100 เมล็ดต่ำกว่าถั่วเขียวผิวมันทั้งในฤดูแล้งและฤดูปลายฝน และจากการสำรวจในครั้งนี้ยังพบว่า เมล็ดแข็งในถั่วเขียวผิวมันอาจมีสาเหตุมาจากการใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีเมล็ดถั่วเขียวพันธุ์พื้นเมืองปะปน โดยพบถั่วเขียวพันธุ์พื้นเมืองปะปนมากในแปลงที่ปลูกโดยใช้เมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรเก็บไว้เอง หรือซื้อจากร้านจำหน่ายผลิตผลทางการเกษตร ไม่ได้มาจากแปลงผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งไม่มีการกำจัดพันธุ์ปนในแปลง โดยถั่วเขียวพันธุ์พื้นเมืองมีลักษณะเมล็ดเล็ก ผิวด้าน ลำต้นในระยะกล้าและก้านใบมีสีแดง

จากผลการตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวผิวมันและผิวดำพบว่า เมล็ดถั่วเขียวที่ผลิตในฤดูแล้งมีคุณภาพเมล็ดพันธุ์ดีกว่าฤดูปลายฝน โดยถั่วเขียวจากฤดูแล้งมีปริมาณเมล็ดแข็งต่ำกว่า ใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกน้อยกว่า และมีน้ำหนักแห้งของต้นกล้าสูงกว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวจากฤดูปลายฝน ซึ่งสอดคล้องกับคำแนะนำของศูนย์วิจัยพืชไร่ชัยนาท ที่แนะนำว่า การผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวในฤดูแล้ง ทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพดีที่สุด (ชูชาติ, 2559) อย่างไรก็ตามทั้งในฤดูแล้งและฤดูปลายฝน ตัวอย่างถั่วเขียวมีความชื้นเฉลี่ยต่ำกว่า 10% ซึ่งถือว่าเป็นระดับความชื้นที่ปลอดภัยในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (วันชัย, 2541) สำหรับผลการตรวจสอบความงอก พบว่า มีความงอกมากกว่า 97% ซึ่งถือว่ามีความงอกโดยเฉลี่ยสูงกว่าความงอกขั้นต่ำที่พระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518 กำหนด (75%)

จากรายงานของ USDA พบว่า เมล็ดถั่วเขียวมีปริมาณโปรตีน 23.86% ไขมัน 1.15% คาร์โบไฮเดรต 62.62% เยื่อใย 16.3% และเถ้า 3.32% (USDA, 2018) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างถั่วเขียวทั้ง 121 ตัวอย่างพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ USDA ส่วนความแตกต่างที่พบอาจมาจากพันธุ์ และสภาพแวดล้อมที่มาของเมล็ดที่ใช้ทดสอบต่างกัน จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับเมล็ดแข็ง พบว่าเมล็ดแข็งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณเยื่อใยและเถ้ามากที่สุด (r = 0.25) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rodriguez and Mendoza (1990) รายงานว่าในเมล็ดแข็งมีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยสูงกว่าเมล็ดปกติ ทั้งนี้ปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตที่ตรวจวัดจากถั่วเขียวผิวมัน พบว่า ตัวอย่างจากฤดูแล้งมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดสูงว่าฤดูปลายฝน ซึ่งผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพเมล็ดพันธุ์ แสดงให้เห็นว่า คุณภาพของถั่วเขียวที่ผลิตในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูปลายฝน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัย ภายใต้ทุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) กรอบงานวิจัยมุ่งเป้า ด้านพืชสวน ประจำปี 2560 รหัสโครงการ PRP6005020410 ขอขอบคุณภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร กำแพงแสน และหน่วยวิคราะห์วิจัยดิน พืช และวัสดุเกษตร ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่อนุเคราะห์สถานที่และห้องปฏิบัติการในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรทุกท่านที่ให้ข้อมูลและอนุเคราะห์ตัวอย่างถั่วเขียวที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมศุลกากร. 2558. สถิติการนำเข้า-ส่งออก. http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticIndex.jsp. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2559.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์. กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพฯ.

จิราลักษณ์ ภูมิไธสง. 2558. เทคโนโลยีการผลิตถั่วเขียวให้มีคุณภาพ. รายงานโครงการวิจัยกรมวิชาการเกษตร. http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=2102. ค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2561.

ชูชาติ บุญศักดิ์. 2558. เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวให้มีคุณภาพ. http://ssnet.doae.go.th/wp-content/uploads/2016/02/2558-12-16-เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว-ชูชาติ-1.pdf. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2559.

ธีระพล ศิลกุล. 2539. ศึกษาระยะพักตัวของถั่วเขียวและถั่วเขียวผิวดำเมล็ดแข็งที่เก็บในสภาพแวดล้อมต่างๆ. ผลงานฉบับเต็มขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิชาการเกษตร 6ว.

พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์. 2547. ถั่วเขียว. หน้า 152-165. ใน: พืชเศรษฐกิจ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2541. การผลิตเมล็ดพันธุ์พืชไร่. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. ถั่วเขียว. http://www.oae.go.th/download/download_journal/2559/yearbook58.pdf. ค้นเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2559.

สุวิมล ถนอมทรัพย์. 2538. พัฒนาการของเยื่อหุ้มเมล็ดและผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการเกิดลักษณะเมล็ดแข็งในถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อารดา มาสริ, สุมนา งามผ่องใส, พจนีย์ นาคีรักษ์, อาณัติ วัฒนสิทธิ์, สุวิมล ถนอมทรัพย์, สมชาย บุญประดับ, และ สุภราดา สุคนธาภิรมย์ ณ พัทลุง. 2551. ถั่วเขียวผิวดำพันธุ์ใหม่เพื่ออุตสาหกรรมการเพาะถั่วงอก. แก่นเกษตร 36: 98-107.

อารดา มาสริ, ปวีณา ไชยวรรณ์, สุมนา งามผ่องใส, และ ศักดิ์ เพ่งผล. 2554. การสำรวจการผลิตถั่วเขียวผิวดำและอุตสาหกรรมการเพาะถั่วงอกในเขตภาคเหนือตอนล่าง. แก่นเกษตร 39: 283-290.

Ankom. 2006. Acid detergent fiber in feeds. Filter bag technique (For A2000, A2000I). Ankom Technology Method 8. Ankom Technology Corp. Macedon, NY.

AOAC. 1980. Official methods of analysis of association of official analytical chemists. 13th Edition.

AOAC. 2000. Official methods of analysis of association of official analytical chemists. 17th Edition.

AOAC. 2016. Official methods of analysis of association of official analytical chemists. 20th Edition. Method 920.39.

Araujo, R.F., J.B. Zonta, E.F. Araujo, E. Heberle, and F.M.G. Zonta. 2011. Teste de condutividade elétrica para sementes de

feijão-mungo-verde. Revista Brasileira de Sementes. 33, 123-130.

El-Tabey Shehata, A.M. 1992. Hard-to-cook phenomenon in legumes. Food Rev. Inter. 8: 191-221.

Hailu, K. H. 2018. Determination of proximate composition and bioactive compounds of the Abyssinian purple wheat. Cogent. Food Agri. 4: 1421415.

Humphry, M., C. Lambrides, S. Chapman, E. Aitken, B. Imrie, R. Lawn, C. McIntyre, and C. Liu. 2005. Relationships between hard-seededness and seed weight in mungbean (*Vigna radiata*) assessed by QTL analysis. Plant Breed. 124: 292-298.

Hussain, A., B. Watts, and W. Bushuk. 1989. Hard-to-cook phenomenon in beans: changes in protein electrophoretic patterns during storage. J. Food Sci. 54: 1367-1368.

IRRI. 2018. Statistical tool for agrricultural research (STAR 2.0.1). http://bbi.irri.org/. Accessed 25 Dec. 2018.

Isemura, T., A. Kaga, S. Tabata, P. Somta, P. Srinives, T. Shimizu, U. Jo, D.A. Vaughan, and N. Tomooka. 2012. Construction of a genetic linkage map and genetic analysis of domestication related traits in mungbean (*Vigna radiata*). PloS one. 7: e41304.

ISTA. 2016. International rules for seed testing. The International Seed Testing Association, Zurich.

Kebede, H., J.R. Smith, and J.D. Ray. 2014. Identification of a single gene for seed coat impermeability in soybean PI 594619. Theo. App. Gen. 127: 1991-2003.

Lawn, R., R. Williams, and B. Imrie. 1988. Potential of wild germplasm as a source of tolerance to environmental stresses in mungbean. P. 136-145. In: Second International Symposium on Mungbean, 16-20 November 1987. Bangkok, Thailand.

Liu, K., K.H. McWatters, and R.D. Phillips. 1992. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard-to-cook defect in cowpeas. J. Agri. Food Chem. 40: 2483-2487.

Matthews, S. and M. Khajeh Hosseini. 2006. Mean germination time as an indicator of emergence performance in soil of seed lots of maize (*Zea mays*). Seed Sci. Tech. 34: 339-347.

Potts, H., J. Duangpatra, W. Hairston, and J. Delouche. 1978. Some influences of hardseededness on soybean seed quality. Crop Sci. 18: 221-224.

Reyes-Moreno, C., J. Okamura-Esparza, E. Armienta-Rodelo, R.M. Gómez-Garza, and J. Milán-Carrillo. 2000. Hard-to-cook phenomenon in chickpeas (*Cicer arietinum* L): Effect of accelerated storage on quality. Plant Foods for Human Nutri. 55: 229-241.

Reyes-Moreno, C., O. Paredes-López, and E. Gonzalez. 1993. Hard-to-cook phenomenon in common beans—A review. Cri. Rev. Food Sci. Nutri. 33: 227-286.

Rodriguez, F.M. and E.M.T. Mendoza. 1990. Physicochemical basis for hardseededness in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). J. Agri. Food Chem.

38: 29-32.

Rolston, M.P. 1978. Water impermeable seed dormancy. Bot. Rev. 44: 365-396.

Haytowitz, D.B., J.K. Ahuja, X. Wu, M. Khan, M. Somanchi, M.S. Nickle, Q. Nguyen, J.M. Roseland, J.R. Williams, K. Patterson, Y. Li, and P.R. Pehrsson. 2018. USDA National nutrient database for standard reference, https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=349687. Accessed 25 Dec. 2018.

Wasala, S., W. Fernando, and I. Narasinghe. 2012. Hardseededness of Local Mungbean (*Vigna radiata*) Varieties. Tropical Agricultural Research and Extension 14.