

อิทธิพลของความชื้นและตำแหน่งรวงข้าวที่มีผลต่อแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ขาวดอกมะลิ 105 และ กข6

Influences of moisture content and grain position of rice panicle on the tensile force in separating processes of Phitsanulok-2, Khao Dawk Mali 105 and RD-6 rice varieties

สมโภชน์ สุตาจันทร์^{1,2}, สิงห์ธัญ ชารี^{2,3*}, ชัยยันต์ จันทศิริ^{1,2}, กิตติพงษ์ ลาลูน^{1,2} และ พีรณัฐ อันสุรีย์^{2,4}

Somposh Sudajan^{1,2}, Singrun Charee^{2,3*}, Chaiyan Junsiri^{1,2}, Kittipong Laloon^{1,2} and Peeranat Ansuree^{2,4}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002

² Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

³ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กทม. 10400

⁴ Postharvest Technology Innovation Center, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok, 10400, Thailand

⁵ สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 13000

⁶ Department of Farm Machinery Technology, Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Thailand, 13000

⁷ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 30000

⁸ Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan 30000

บทคัดย่อ: การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นและตำแหน่งรวงข้าวที่มีผลต่อแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงของข้าว 3 สายพันธุ์ คือ พิษณุโลก 2 ขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 โดยแบ่งออกเป็น 3 การทดลองย่อยตามสายพันธุ์ข้าว การทดลองที่ 1 มีปัจจัยที่ศึกษา คือ ความชื้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 จำนวน 5 ระดับ การทดลองย่อยที่ 2 ความชื้นข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จำนวน 6 ระดับ และการทดลองย่อยที่ 3 ความชื้นข้าวพันธุ์กข6 จำนวน 7 ระดับ ทุกการทดลองย่อยมีปัจจัยตำแหน่งเมล็ดของรวงข้าว จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ ส่วนล่างรวงข้าว ส่วนกลางของรวงข้าว และ ส่วนปลายรวงข้าว ผลการศึกษา พบว่า การทดลองย่อยของข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแรงดึงเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสูงขึ้น ปริมาณความชื้น และตำแหน่งของรวงข้าวมีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และตำแหน่งรวงข้าวไม่มีผลต่อแรงดึง แรงดึงเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นสูงขึ้น ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 12.72 ถึง 37.43 % w.b. มีช่วงค่าแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.07 ถึง 1.64 นิวตัน ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.77 ถึง 38.36 % w.b. มีช่วงค่าแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.95 ถึง 1.47 นิวตัน และ ข้าวพันธุ์ กข6 ความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 13.54 ถึง 38.98 % w.b. มีช่วงค่าแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.02 ถึง 1.63 นิวตัน นอกจากนี้ยังพบว่าตำแหน่งส่วนล่างรวงข้าวมีค่าแรงดึงสูงสุด และส่วนปลายรวงข้าวมีค่าแรงดึงต่ำสุด ทุกการทดลองย่อย

คำสำคัญ: รวงข้าว; แรงดึง; ความชื้นของเมล็ดข้าว

ABSTRACT: The objective of the study was to determine the influences of moisture content and grain position of rice panicle on the tensile force in separating processes of 3 Thai's rice varieties; Phitsanulok-2, Khao Dawk Mali 105 (KDML-105) and RD-6. The study was divided into 3 experiments according to the variety. The experiment 1 it was

* Corresponding author: Singrun.c@rmutsb.ac.th

Received: date; April 26, 2021 Accepted: date; September 20, 2021 Published: date; March 7, 2022

a study on the 5 levels of moisture content of Phitsanulok-2. Also, 6 levels of the moisture content were investigated in the experiment 2 for KDML-105. Lastly, 7 levels of the moisture content were considered in the experiment 3 for RD-6. Moreover, the tensile forces were measured at 3 grain positions of the panicle that were lower, middle and upper for all experiments. The results show that the increasing of moisture content can improve tensile force for all experiments. Likewise, the moisture content and the panicle position had significantly affected to the tensile force. However, there was no interaction between the moisture content and the panicle position on the tensile force. Additionally, the moisture contents of Phitsanulok-2 varied from 12.72 to 37.43 % w.b and the average values for tensile force ranged from 1.07 to 1.64 N. The moisture contents of KDML-105 were between 11.77 to 38.36 % w.b. and the average values for tensile force varied from 0.95 to 1.47 N. The moisture contents of RD-6 were between 13.54 to 38.98 % w.b. and the average values for tensile force ranged from 1.02 to 1.63 N. Moreover, the highest tensile force and the lowest tensile force were discovered at the lower and upper grain position for all experiments. **Keywords:** rice panicle; tensile force; moisture content of rice grain

บทนำ

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญของประเทศไทย ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และการเมือง มีพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า 59.8 ล้านไร่ มีมูลค่าการส่งออกมากกว่าปีละ 11 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2561) ซึ่งการเพาะปลูกข้าวในประเทศไทยจะมีความแตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่ ภูมิอากาศ ฤดูกาล และความเป็นอยู่ของเกษตรกร ทำให้มีความหลากหลายของสายพันธุ์ข้าวเฉพาะแต่ละท้องถิ่น โดยขั้นตอนการเก็บเกี่ยวถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของผลผลิตข้าว เนื่องจากขั้นตอนนี้จะมีการหลุดร่วงของเมล็ดข้าวตั้งแต่ การเกี่ยว การมัดฟ่อน การตาก การขนฟ่อนไปนวด และปัจจุบันเกษตรกรนิยมใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมาใช้ทดแทนแรงงานคน มีการใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าวมากกว่า 10,000 เครื่อง และมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มขึ้น (วินิต, 2553) แต่ก็มีปัญหาของการหลุดร่วงของเมล็ดข้าวในส่วนต่างๆ จากการศึกษาความสูญเสียจากชุดหัวเกี่ยวโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวดในการเก็บเกี่ยวข้าวหอมมะลิมีความสูญเสียจากชุดหัวเกี่ยวอยู่ในช่วง 2.00 ถึง 3.43 เปอร์เซ็นต์ (Chinsuwan et al, 1999) หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียมากกว่าพันล้านบาทต่อปี การเกี่ยวนวดข้าวโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวดโดยทั่วไปอยู่ในช่วงความชื้น 20-24 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (Junsiri and Chinsuwan, 2009) ดังนั้นแรงที่ใช้ในการแยกเมล็ดข้าวออกจากรวงถือว่าเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์การประเมินการสูญเสียที่มีประสิทธิภาพในระหว่างการเก็บเกี่ยวข้าว และการนวดข้าว (Ichikawa and Sujiyama, 1986) พันธุ์ข้าวแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างการเจริญเติบโต ช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องรู้จักพฤติกรรมของต้นข้าวแต่ละสายพันธุ์ เพื่อเลือกช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวอย่างเหมาะสม และลดการสูญเสีย ความเหนียวของรวงข้าวอาจแสดงค่าโดยการวัดระดับแรงดึง หรือพลังงานที่ใช้ในการทำให้เมล็ดแต่ละเมล็ดร่วงหลุดจากรวงข้าว ซึ่งค่าแรงดึงต่ำจะส่งผลต่อการหลุดร่วงของเมล็ดจากรวง (ประสาร และคณะ, 2534) จากการศึกษาของ Lee and Huh (1984) รายงานว่าแรงนวดข้าวของพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน จะมีค่าความตึงเครียดสูงกว่าค่าที่ใช้ในการตัดเพื่อแยกเมล็ดออกจากช่อดอกอย่างมีนัยสำคัญ Szot et al. (1998) รายงานว่าแรงนวดข้าวของข้าวอิตาลีบางสายพันธุ์มีแนวโน้มของแรงแยกเมล็ดข้าวจากรวงมีค่าสูงขึ้นในตำแหน่งที่ต่ำกว่าปลายรวง Oduori et al. (2008) รายงานว่าแรงดึงที่จำเป็นในการแยกเมล็ดข้าวจากรวงของข้าวพันธุ์จาโปนิกา และการสูญเสียเป็นผลมาจากการใช้เครื่องเกี่ยวนวดข้าว และ Fangping et al. (2004) รายงานว่าระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว ความชื้นของเมล็ดข้าวขณะเก็บเกี่ยว ลักษณะพันธุ์ และตำแหน่งของเมล็ดพืชบนช่อดอกมีผลต่อแรงในการแยกเมล็ดจากรวงในการนวดข้าว ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า พันธุ์ข้าว ความชื้นของเมล็ดข้าว และ ตำแหน่งของเมล็ดข้าว เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการการหลุดร่วงของเมล็ดข้าว เนื่องจากการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวมีการกระทำกับเมล็ดข้าวโดยตรง หากใช้แรงหรือปัจจัยการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการสูญเสียจากหัวเกี่ยว และการนวดข้าวได้ ดังนั้นการศึกษาจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และตำแหน่งรวงข้าวที่มีผลต่อแรงดึงเมล็ดข้าวจากรวงของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข 6 เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องทุ่นแรงทางการเกษตร/เครื่องเกี่ยวนวดข้าวให้เหมาะสมกับช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว และช่วยลดการสูญเสียจากการร่วงหล่นของเมล็ดข้าวในขั้นตอนต่างๆ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการศึกษา

1. ตัวอย่างข้าว

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษา ณ ห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้ข้าวจำนวน 3 พันธุ์ คือ พันธุ์พิษณุโลก 2 (นาปรัง) พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (นาปี) และพันธุ์ข 6 (นาปี) ฤดูกาลเก็บเกี่ยวปี 2560/61 ซึ่งข้าวทั้งสามสายพันธุ์นิยมปลูกกันในเขตพื้นที่ อ.เมือง จ.ขอนแก่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย การเลือกแปลงข้าวที่ใช้ทดสอบต้องเป็นข้าวที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงหลังจากออกดอกประมาณ 30 วัน หรือต้นข้าวมีอายุประมาณ 90 วัน หรือสังเกตจากเมล็ดในรวงข้าวส่วนใหญ่จะเปลี่ยนเป็นสีฟาง และต้องเป็นตัวแทนของข้าวที่สุ่มได้ โดยสุ่มตัวอย่างข้าวในแปลงพื้นที่ขนาด 20×30 เมตร สุ่มเก็บจำนวน 3 แถว ได้แก่ (a) หัวแปลง (b) กลางแปลง และ (c) ห้ายแปลง ในแต่ละแถวสุ่มเก็บ 5 จุดห่างกันจุดละ 5 เมตร ขนาดพื้นที่ในการสุ่มแต่ละจุด 1×1 เมตร (Figure 1) จะมีกอข้าวประมาณ 16-20 กอ (ข้าว 1 กอมีต้นข้าว 2 ต้น ต้นละ 1 รวง) ทำการสุ่มตัวอย่างข้าวในแต่ละจุดไปทดสอบจำนวน 2 กอต่อการทดสอบ 1 ครั้ง เก็บตัวอย่างข้าวในแปลงทุก 2 วัน โดยสุ่มตัวอย่างจากแปลงทดสอบเดิมที่มีอายุการเก็บเกี่ยวมากขึ้นจากกลุ่มแรก และเก็บตัวอย่างแบบนี้จนกระทั่งถึงระยะอายุรวงข้าวสุกอมเมล็ดหลุดร่วงเองตามธรรมชาติ เพื่อให้ครอบคลุมและเป็นตัวแทนของตัวอย่างข้าวทั้งหมด ซึ่งช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างเริ่มต้น 10.00-12.00 น. การเก็บตัวอย่างโดยใช้เกี่ยวเกี่ยวต้นข้าวต่ำกว่าช่วงโคนรวงข้าวประมาณ 30 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำตัวอย่างรวงข้าวใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่นแล้วนำกลับมายังห้องปฏิบัติการเพื่อเตรียมสำหรับการทดสอบค่าแรงดึง และทำการแยกตัวอย่างข้าวส่วนหนึ่งไปตรวจสอบค่าความชื้นโดยการสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าว จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างละ 150 กรัม และนำตัวอย่างเมล็ดข้าวไปทำการอบลดความชื้นในเตาอบที่มีอากาศถ่ายเทที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำตัวอย่างข้าวที่ผ่านการอบลดความชื้นไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง (ASAE, 2006) จากนั้นนำน้ำหนักของตัวอย่างข้าวไปคำนวณหาปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าว ในการเตรียมวัสดุตัวอย่างในแต่ละความชื้นของแต่ละพันธุ์ข้าวทำการสุ่มเก็บตัวอย่าง และหาค่าความชื้นกระทำเช่นเดียวกัน สมการปริมาณความชื้น ดังนี้

$$M.C = \frac{(W_{wm} - W_{dm}) \times 100}{W_{wm}}$$

เมื่อ M.C คือ ปริมาณความชื้น(เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

W_{wm} คือ น้ำหนักของวัสดุก่อนอบ (กรัม)

W_{dm} คือ น้ำหนักของวัสดุหลังอบ (กรัม)

การเตรียมรวงข้าวที่จะใช้ในการทดสอบจะถูกนำมาแบ่งตำแหน่งของรวงข้าวออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนล่างรวงข้าว (Lower) ส่วนกลางของรวงข้าว (Middle) และ ส่วนปลายรวงข้าว (Upper) ซึ่งรวงข้าวในแต่ละตำแหน่งจะมีกึ่งเล็กหรือระแ่งที่ยึดติดกับเมล็ดข้าวที่มีประมาณ 10-15 เมล็ดต่อ 1 กิ่งเล็ก ในแต่ละตำแหน่งจะมีกึ่งเล็ก 4 กิ่ง จะทำการสุ่มดึงเมล็ดข้าวจำนวน 1 เมล็ดต่อ 1 กิ่งเล็ก รวมทั้งหมด 4 กิ่งต่อ 1 ตำแหน่งต่อพื้นที่สุ่ม 1 จุด หรือ หาค่าแรงดึงจำนวน 4 ข้างต่อพื้นที่สุ่ม 1 จุด สำหรับข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และสุ่มดึงเมล็ดข้าว 2 กิ่งต่อ 1 ตำแหน่งต่อพื้นที่สุ่ม 1 จุด สำหรับข้าวพันธุ์ข 6 เนื่องจากการปลูกแบบหว่านมีความหนาแน่นของจำนวนต้นข้าวสูงทำให้จำนวนกึ่งเล็กจะมีจำนวนน้อยกว่าข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และข้าวพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกแบบใช้กล้าดำ ดังแสดงใน Figure 2

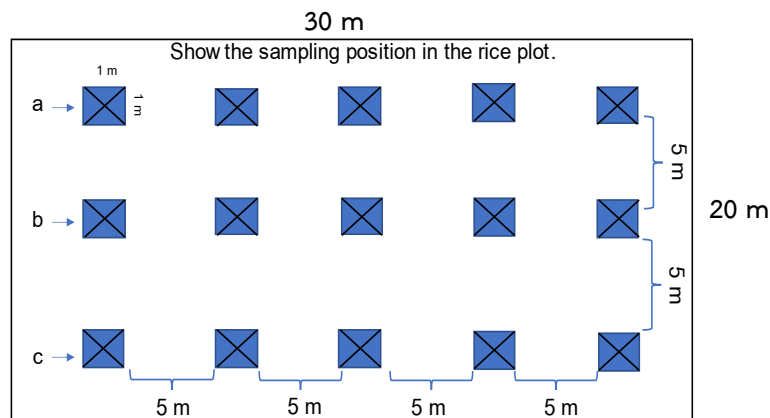


Figure 1 shows how to sampling rice grains in the plot size 20 × 30 m. The plot was separated to be three rows that are the head (a), the middle (b) and the end of the plot (c). In each row, five random sampling points were collected in 1 × 1 m and also each point was 5 m apart.

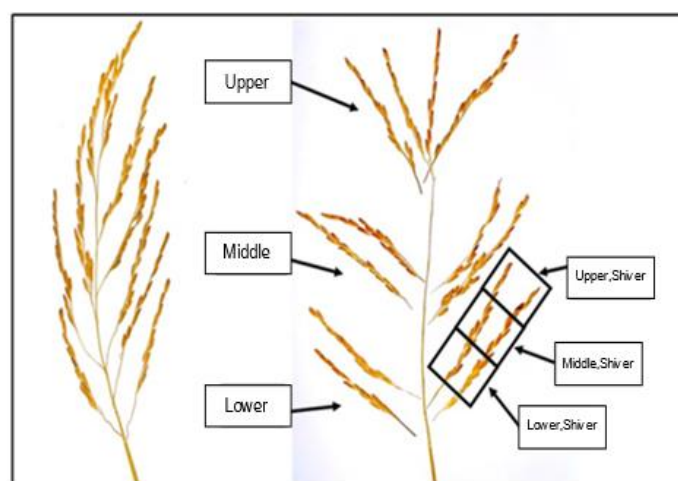


Figure 2 Grain position of rice panicle

2. วิธีการทดลอง

ในการทดสอบครั้งนี้ใช้เครื่องทดสอบวัดแรงดึง (Tensile Testing Machine, Japan) รุ่น FGP-0.5 ยี่ห้อ SHIMPO (**Figure 3a**) ของศูนย์เครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆของเครื่องดังแสดงใน **Figure 3b** โดยใช้หลักการทดสอบแรงดึงในแนวแกน (Uniaxial tensile test)

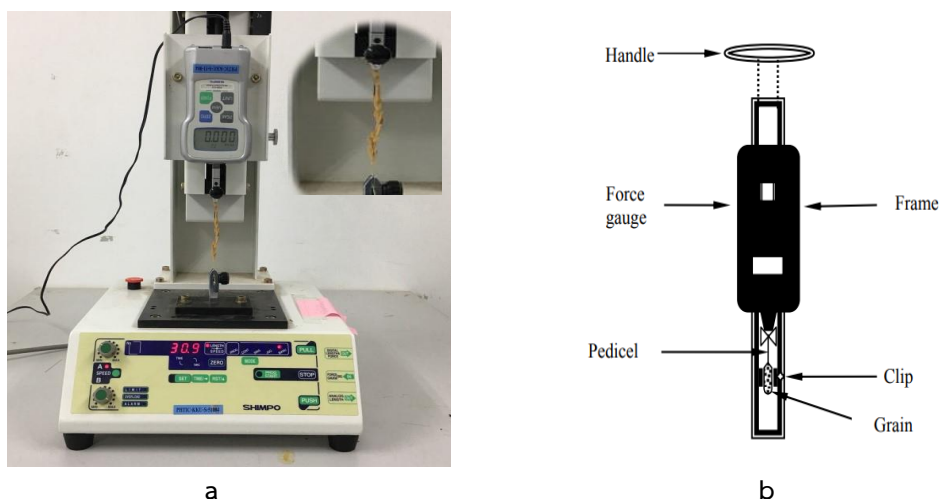


Figure 3 (a) Tensile testing machine, (b) Tensile Testing machine components
(Alizadeh and Allameh, 2011)

ปัจจัยของการศึกษาคือ ความชื้นของข้าวแต่ละสายพันธุ์ และตำแหน่งของรวงข้าว 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนล่างรวงข้าว ส่วนกลางรวงข้าว และ ส่วนปลายรวงข้าว โดยมีความชื้นของข้าวแต่ละสายพันธุ์ที่แตกต่างกันเนื่องจาก สภาพพื้นที่ในแปลงข้าว ปริมาณน้ำในแปลง ฤดูกาลปลูกข้าว วิธีการปลูก ประเภทข้าวไวแสงและไม่ไวแสง ที่ส่งผลต่อระยะเวลาการสุกแก่ของข้าวแต่ละสายพันธุ์ทำให้ความชื้นของข้าวที่ลดลงในแต่ละวันมีแตกต่างกันไป ดังนั้นเพื่อให้ได้ความชื้นที่เหมาะสมและครอบคลุมกับช่วงเวลาที่พร้อมสำหรับการเก็บเกี่ยวของข้าวในแต่ละสายพันธุ์ จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองย่อยตามสภาพของพันธุ์ข้าว ดังนี้ ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 เก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 10 วัน ความชื้นลดลง 5 ระดับ ได้แก่ 37.43, 31.73, 26.42, 18.57 และ 12.72 % w.b. จึงวางแผนการทดลองแบบ 5x3 factorial in CRD ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 12 วัน ความชื้นลดลง 6 ระดับ ได้แก่ 38.36, 31.76, 28.38, 23.34, 16.38 และ 11.77 % w.b. จึงวางแผนการทดลองแบบ 6x3 factorial in CRD และ ข้าวพันธุ์ข6 เก็บตัวอย่างข้าวจำนวน 14 วัน ความชื้นลดลง 7 ระดับ ได้แก่ 38.98, 32.94, 28.98, 24.37, 20.37, 16.40 และ 13.54 % w.b. จึงวางแผนการทดลองแบบ 7x3 factorial in CRD

เมื่อเตรียมอุปกรณ์วัดแรงดึง (FGP-0.5 Japan) และเตรียมวัสดุรวงข้าวพร้อมสำหรับการทดสอบแล้ว เริ่มการทดสอบจากตำแหน่งช่วงล่างรวงข้าว โดยนำส่วนโคนระแนงไปยึดเข้ากับแท่นยึดจับ หลังจากนั้นปรับระยะอุปกรณ์วัดแรงดึงให้เหมาะสมกับเมล็ดข้าวที่จะทำการดึง แล้วนำเมล็ดข้าวยึดเข้ากับหัวจับอุปกรณ์วัดแรงดึงที่ถูกทำขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบนี้โดยเฉพาะ ชุดอุปกรณ์วัดแรงดึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.37 เมตรต่อวินาที (Kawamura et al., 2005) ในแนวแกนตั้ง เมล็ดข้าวจะถูกดึงและแยกออกจากรวง อุปกรณ์วัดแรงดึงจะแสดงค่าแรงดึงที่หน้าจอ ค่าแรงดึงที่แสดงคือค่าแรงดึงสูงสุด ณ ช่วงเวลาที่เมล็ดข้าวหลุดออกจากกระแนง แรงดึงที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน ทำการบันทึกค่าแรงดึง โดยสุ่มเก็บค่าแรงดึงในตำแหน่งส่วนล่างรวงข้าว (Lower) สุ่มเก็บตัวอย่างค่าแรงดึงจำนวนทั้งหมด 60 ซ้ำ ส่วนกลางของรวงข้าว (Middle) สุ่มเก็บตัวอย่างค่าแรงดึงทั้งหมดจำนวน 60 ซ้ำ และ ส่วนปลายรวงข้าว (Upper) สุ่มเก็บตัวอย่างค่าแรงดึงทั้งหมดจำนวน 60 ซ้ำ สำหรับข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ส่วนข้าวพันธุ์ข6 นั้นสุ่มเก็บตัวอย่างค่าแรงดึงตำแหน่งของรวงข้าว ทั้ง 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 30 ซ้ำ เนื่องจากลักษณะของต้นข้าว และช่วงเวลาในการทดสอบมีผลต่อความชื้นที่ลดลงส่งผลต่อค่าแรงดึงที่ใช้ค่าไม่สม่ำเสมอทำให้จำเป็นต้องลดจำนวนซ้ำในการทดสอบ ซึ่งได้ทำการตรวจสอบค่าแปรปรวนของข้อมูลเบื้องต้นแล้วอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ เมื่อทำการทดสอบครบทั้ง 3 ตำแหน่ง จะเป็นการทดสอบที่ความชื้นเริ่มต้นของแต่ละสายจากนั้นทำการทดสอบเหมือนเดิมในความชื้นครั้งต่อไปใน 2 วันถัดไป จนกระทั่งถึงระยะอายุรวงข้าวสุกอมเมล็ดหลุดร่วงเองตามธรรมชาติ และดำเนินการทดสอบตามที่กล่าวมาจนครบข้าวทั้งสามสายพันธุ์

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in CRD รายละเอียดดังวิธีทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM. SPSS. Statistics version 26 (IBM Crop. Released, 2019) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและตำแหน่งของเมล็ดข้าวใน ข้าว 3 พันธุ์

ผลของความชื้นและตำแหน่งของเมล็ดข้าวต่อแรงดึงของข้าว 3 สายพันธุ์ แสดงใน Table 1 แสดงให้เห็นว่าปริมาณความชื้น (A) และ ตำแหน่งรวงข้าว (B) มีผลต่อแรงดึงพันธุ์พิษณุโลก 2 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และกข6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ($p < 0.01$) ส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (A) และ ตำแหน่งรวงข้าว (B) ไม่มีผลต่อแรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และกข6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งรายละเอียดผลการศึกษามีดังนี้

2. ผลของความชื้นและตำแหน่งเมล็ดข้าวต่อแรงดึงในข้าว 3 พันธุ์

2.1 แรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของความชื้น และ ตำแหน่งรวงข้าวในระดับต่าง ๆ มีผลต่อแรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จาก Table 1 พบว่า เมื่อความชื้นของรวงข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดึงข้าวเพิ่มขึ้น ความชื้นข้าวเพิ่มขึ้นจาก 12.72 ถึง 37.43 % w.b. ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงเพิ่มขึ้นถึง 1.54 เท่า โดยค่าเฉลี่ยแรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีค่า 1.07, 1.24, 1.35, 1.39 และ 1.64 นิวตัน ที่ความชื้น 12.72, 18.57, 26.42, 31.73 และ 37.43% w.b. ตามลำดับ ในขณะที่ความชื้น 26.42 กับ 31.73 % w.b. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยบริเวณตำแหน่งรวงข้าว พบว่า แรงดึงข้าวลดลงจากตำแหน่งล่างรวงข้าว กลางรวงข้าว และปลายรวงข้าว ตามลำดับ โดยมีค่าแรงดึงเฉลี่ยลดลงแตกต่างกันตั้งแต่ 1.42, 1.33 และ 1.26 นิวตัน ตามลำดับ มีผลแตกต่างกันต่อแรงดึงข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Figure 4a แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 12.72 เป็น 38.36 % w.b. แรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกระดับตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ โดยมีค่าแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในตำแหน่งโคนรวงข้าวจาก 1.17 1.26 1.43 1.46 และ 1.18 นิวตัน กลางรวงข้าวจาก 1.01 1.29 1.32 1.39 และ 1.64 นิวตัน และตำแหน่งบนปลายรวงข้าวจาก 1.02 1.18 1.30 1.31 และ 1.51 นิวตัน ตามลำดับ Figure 4b ที่ตำแหน่งล่างรวงข้าว มีแรงดึงสูงกว่าตำแหน่งกลางรวงข้าว และตำแหน่งปลายรวงข้าว ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (Lee and Huh, 1984; Szot et al., 1998; Alizadeh and Allameh, 2011) ที่กล่าวว่า การแยกเมล็ดพืชออกจากส่วนล่างของรวงต้องใช้แรงดึงสูงกว่าส่วนตรงกลาง และส่วนบนของรวง ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวที่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งรวงซึ่งมีผลต่อแรงดึงเมล็ดออกจากรวง โดยในการศึกษานี้ที่ปริมาณความชื้น 37.43 % w.b. ตำแหน่งล่างรวงข้าวมีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 1.77 นิวตัน และที่ความชื้น 12.72 % w.b. ตำแหน่งกลางรวงข้าว มีค่าแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ 1.01 นิวตัน

Table 1 Effect of moisture content and grain position on tensile force of 3 Thai's rice varieties.

Rice varieties	Moisture % (A)	Grain Position (B)			
		Lower	Middle	Upper	AVG
Phitsanulok-2	A1: 12.72	1.17	1.01	1.02	1.07d
	A2: 18.57	1.26	1.29	1.18	1.24c
	A3: 26.42	1.43	1.32	1.30	1.35b
	A4: 31.73	1.46	1.39	1.31	1.39b
	A5: 37.43	1.77	1.64	1.51	1.64a
	AVG	1.42A	1.33B	1.26C	
LSD at $p<0.05$	A	(109.44)	*		
	B	(25.03)	*		
	A x B	(1.80)	ns		
Khao Dawk Mali 105	A1: 11.77	1.02	0.92	0.89	0.95d
	A2: 16.38	1.07	0.93	1.00	1.00d
	A3: 23.30	1.13	1.05	1.09	1.09c
	A4: 28.38	1.31	1.25	1.21	1.25b
	A5: 31.76	1.30	1.28	1.24	1.27b
	A6: 38.36	1.56	1.47	1.37	1.47a
	AVG	1.23A	1.15B	1.13C	
LSD at $p<0.05$	A	(68.67)	*		
	B	(9.76)	*		
	A x B	(0.91)	ns		
RD-6	A1: 13.54	1.16	1.01	0.90	1.02e
	A2: 16.40	1.21	1.09	0.97	1.09de
	A3: 20.37	1.27	1.11	1.05	1.14cde
	A4: 24.37	1.31	1.23	1.12	1.22cd
	A5: 28.98	1.44	1.24	1.20	1.29bc
	A6: 32.94	1.59	1.38	1.24	1.40b
	A7: 38.98	1.99	1.55	1.34	1.63a
	AVG	1.42A	1.23B	1.12C	
LSD at $p<0.05$	A	(12.34)	*		
	B	(16.10)	*		
	A x B	(0.69)	ns		

Note: The same lowercase letter in the column for each indication means there is no statistical difference using LSD method with 95% confidence. The same horizontal capitalization letter for each result indicated no statistical difference using LSD method with 95% confidence. * = Significant at $P<0.05$, ns = not significant, AVG = average

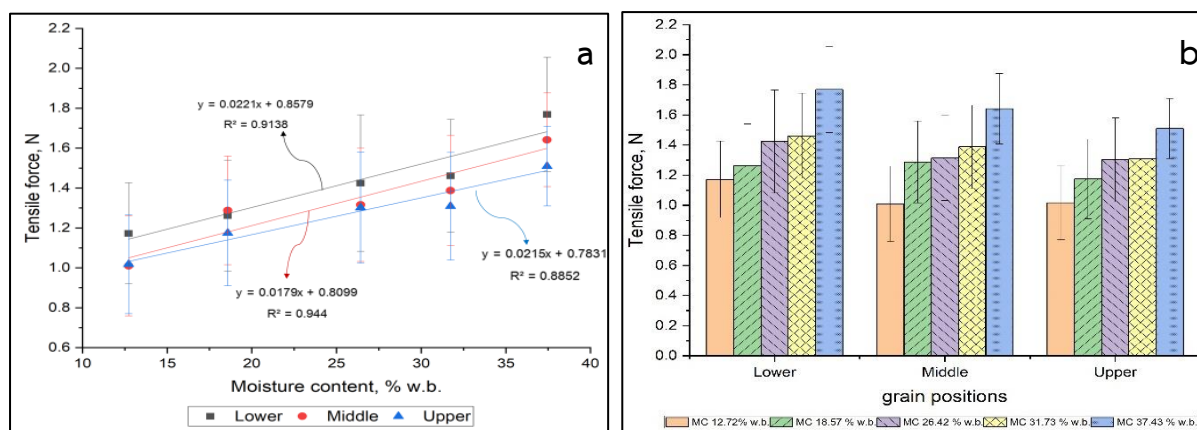


Figure 4 Correlation between moisture and tensile force of 3 different rice grains (lower, middle and upper) (a), grains position affects tensile force (b) in separating process of Phitsanulok-2 rice varieties at 90 days after planting

2.2 แรงดึงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของความชื้น และ ตำแหน่งรวงข้าวในระดับต่าง ๆ มีผลต่อแรงดึงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จาก **Table 1** พบว่า เมื่อความชื้นของรวงข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดึงข้าวเพิ่มขึ้น ความชื้นข้าวเพิ่มขึ้นจาก 11.77 ถึง 38.36 % w.b. ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงเพิ่มขึ้นถึง 1.55 เท่า โดยค่าเฉลี่ยแรงดึงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีค่า 0.95, 1.00, 1.09, 1.25, 1.27 และ 1.47 นิวตัน ที่ความชื้น 11.77, 16.38, 23.34, 28.38, 31.76 และ 38.36 % w.b. ตามลำดับ ในขณะที่ความชื้น 28.38 กับ 31.76 % w.b. และ ความชื้น 11.77 กับ 16.38 % w.b. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยบริเวณตำแหน่งรวงข้าว พบว่า แรงดึงข้าวที่ลดลงจากตำแหน่งล่างรวงข้าว กลางรวงข้าว และปลายรวงข้าว ตามลำดับ มีค่าแรงดึงลดลงแตกต่างกันตั้งแต่ 1.23, 1.15 และ 1.13 นิวตัน ตามลำดับ ในขณะที่ตำแหน่งกลางรวงข้าว กับปลายรวงข้าว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

Figure 5a แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 11.77 เป็น 38.36 % w.b. แรงดึงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกระดับตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ โดยมีค่าแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในตำแหน่งล่างรวงข้าวจาก 1.02, 1.07, 1.125, 1.30 และ 1.56 นิวตัน กลางรวงข้าว จาก 0.92, 0.93, 1.05, 1.25, 1.28 และ 1.47 นิวตัน และตำแหน่งบนปลายรวงข้าว จาก 0.89, 1.00, 1.09, 1.21, 1.24 และ 1.366 นิวตัน ตามลำดับ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความชื้นของต้นพืช เมื่อต้นพืชมีความชื้นต่ำจะเริ่มมีลักษณะแห้งกรอบ และความเปราะ ซึ่งต่างกับพืชที่มีความชื้นสูงจะมีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่เหนียว ดึง และหนา โครงสร้างเหล่านี้ยังมีการสะสมของ Lignin จากส่วนล่างของพืชมากกว่าส่วนบนปลายสุดของพืช ทำให้รวงข้าวที่มีความชื้นสูงและตำแหน่งล่างของรวงข้าวมีแรงดึงข้าวสูงกว่าทุกระดับที่ทดสอบ ซึ่งมีการรายงานผลที่สอดคล้องกันกับการศึกษาของ (Zhang et al., 2016) สำหรับลำต้นข้าวโพด (O'Dogherty et al., 1995) สำหรับฟางข้าวสาลี ส่วน **Figure 5b** ที่ตำแหน่งล่างรวงข้าว มีแรงดึงสูงกว่าตำแหน่งกลางรวงข้าว และตำแหน่งปลายรวงข้าว ตามลำดับ โดยที่ปริมาณความชื้น 38.36 % w.b. ตำแหน่งล่างรวงข้าวมีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 1.56 นิวตัน และที่ความชื้น 11.77 % w.b. ตำแหน่งปลายรวงข้าว มีค่าแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ 0.89 นิวตัน ดังที่ได้มีการอธิบายผลเช่นเดียวกับแรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

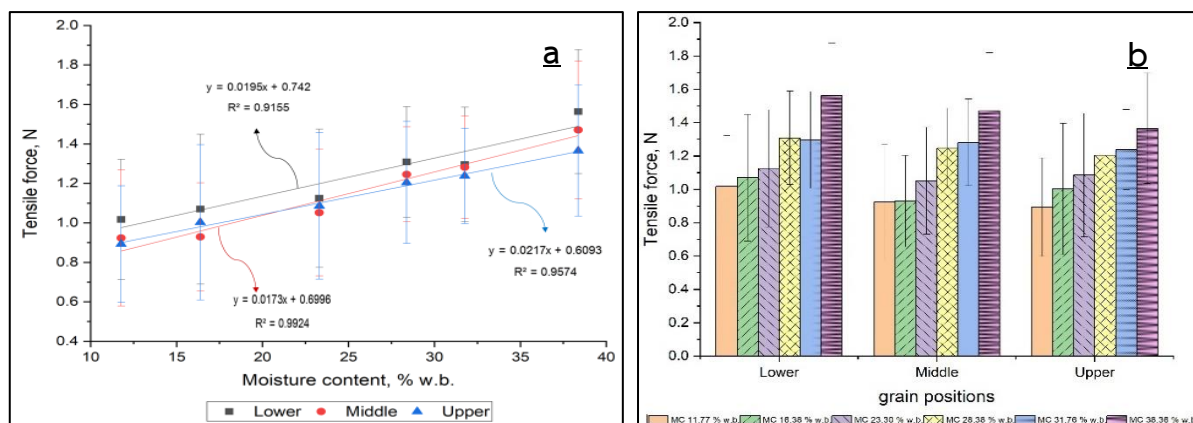


Figure 5 Correlation between moisture and tensile force of 3 different rice grains (lower, middle and upper) (a), grains position affects tensile force (b) in separating process of Khao Dawk Mali 105 rice varieties at 90 days after planting

2.3 แรงดึงข้าวพันธุ์ กข6

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างผลกระทบของความชื้น และ ตำแหน่งรวงข้าวในระดับต่าง ๆ มีผลต่อแรงดึงข้าวพันธุ์ กข6 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จาก **Table 1** พบว่า เมื่อความชื้นของรวงข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดึงข้าวเพิ่มขึ้น ความชื้นข้าวเพิ่มขึ้นจาก 13.54 ถึง 38.98 % w.b. ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงเพิ่มขึ้นถึง 1.59 เท่า โดยค่าเฉลี่ยแรงดึงข้าวพันธุ์ กข6 มีค่า 1.02, 1.09, 1.14, 1.22, 1.29, 1.40 และ 1.63 นิวตัน ที่ความชื้น 13.54, 16.40 20.37, 24.37, 28.98, 32.94 และ 38.98 % w.b. ตามลำดับ ในขณะที่ความชื้น 13.54 ถึง 20.37 % w.b. และ 20.37 ถึง 28.98 % w.b. และ 28.98 กับ 32.94 % w.b. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยบริเวณตำแหน่งรวงข้าว พบว่า แรงดึงข้าวที่ลดลงจากตำแหน่งโคนรวงข้าว กลางรวงข้าว และปลายรวงข้าว มีค่าแรงดึงเฉลี่ยลดลงแตกต่างกันตั้งแต่ 1.42, 1.23 และ 1.12 นิวตัน ตามลำดับ มีผลแตกต่างกันต่อแรงดึงข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Figure 6a แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 13.54 เป็น 38.98 % w.b. แรงดึงข้าวพันธุ์ กข6 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกระดับตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ โดยมีค่าแรงดึงเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในตำแหน่งล่างรวงข้าว จาก 1.16, 1.21, 1.27, 1.31, 1.44, 1.59 และ 1.993 นิวตัน กลางรวงข้าว จาก 1.01, 1.09, 1.11, 1.23, 1.24, 1.38 และ 1.55 นิวตัน และตำแหน่งปลายรวงข้าว จาก 0.90, 0.97, 1.05, 1.12, 1.20, 1.24 และ 1.34 นิวตัน ตามลำดับ **Figure 6b** ที่ตำแหน่งล่างรวงข้าว มีแรงดึงสูงกว่าตำแหน่งกลางรวงข้าว และตำแหน่งปลายรวงข้าว ตามลำดับ โดยที่ปริมาณความชื้น 38.98 % w.b. ตำแหน่งล่างรวงข้าวมีค่าแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 1.99 นิวตัน และที่ความชื้น 13.54 % w.b. ตำแหน่งปลายรวงข้าว มีค่าแรงดึงต่ำสุดเท่ากับ 0.90 นิวตัน ดังที่ได้มีการอภิปรายผลเช่นเดียวกับแรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

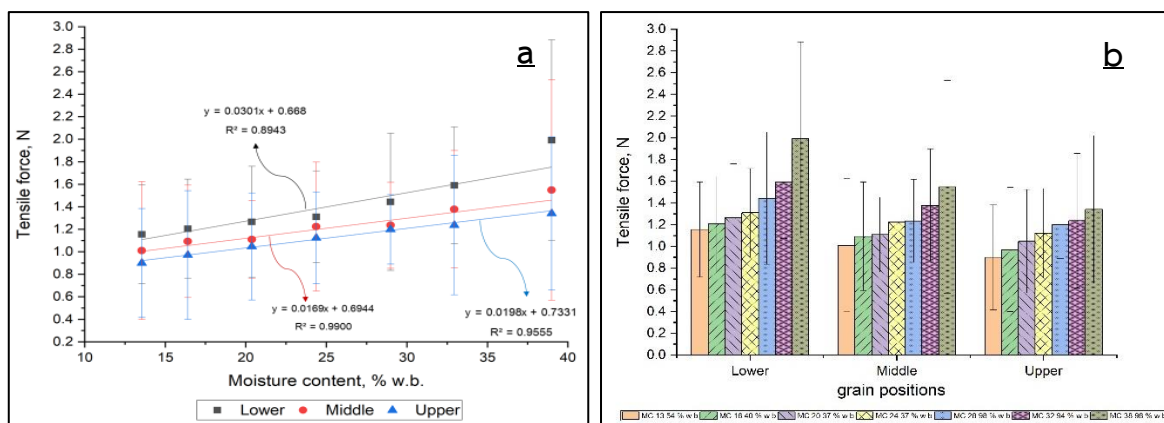


Figure 6 Correlation between moisture and tensile force of 3 different rice grains (lower, middle and upper) (a), grains position affects tensile force (b) in separating process of RD-6 rice varieties at 90 days after planting

จากที่ได้กล่าวมา ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ (พันธุ์พิษณุโลก 2 พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และ พันธุ์ กข 6) ความชื้นเมล็ดข้าว และตำแหน่งรวงข้าว ต่างก็มีผลต่อแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวง แรงดึงต่ำเมล็ดจะร่วงหล่นง่าย เช่น ข้าวหอมมะลิ (นาปี) จะร่วงหล่นได้ง่ายกว่า พันธุ์พิษณุโลก 2 (นาปรัง) ถ้าความชื้นน้อยเกินไปหรือสูงมากเกินไป จะส่งผลต่อการเก็บเกี่ยวทำให้มีความสูญเสียเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือความชื้นน้อยทำให้เมล็ดร่วงหล่นได้ง่ายทำให้มีความสูญเสียจากชุดหัวเกี่ยวมากขึ้น หากความชื้นสูงเกินไปเมล็ดร่วงหลุดออกจากรวงได้ยากส่งผลให้เกิดความสูญเสียต่อกระบวนการนวดในขั้นตอนของเครื่องเกี่ยวนวดข้าว ดังนั้นในการใช้เครื่องท่อนแรงทางการเกษตร เช่น เครื่องเกี่ยวนวดข้าวต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม เพื่อลดความสูญเสีย และคงประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวดข้าวด้วย

สรุปผล

การศึกษากาธิพลของความสัมพันธ์และตำแหน่งรวงข้าวที่มีผลต่อแรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 สามารถสรุปได้ว่า

1. ปริมาณความชื้น และ ตำแหน่งเมล็ดของรวงข้าว มีผลต่อแรงดึงข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ขาวดอกมะลิ 105 และ กข6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และ ตำแหน่งรวงข้าว
2. เมื่อความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 (นาปรัง) เพิ่มขึ้นจาก 12.72 %w.b. ถึง 37.43 %w.b. แรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงเพิ่มขึ้นจาก 1.07 นิวตัน ถึง 1.64 นิวตัน ความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (นาปี) เพิ่มขึ้นจาก 11.77 %w.b. ถึง 38.36 %w.b. แรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงเพิ่มขึ้นจาก 0.945 นิวตัน ถึง 1.467 นิวตัน และความชื้นของเมล็ดข้าวพันธุ์กข6 (นาปี) เพิ่มขึ้นจาก 13.54 % w.b. ถึง 38.98 % w.b. แรงดึงเมล็ดข้าวออกจากรวงเพิ่มขึ้นจาก 1.023 นิวตัน ถึง 1.628 นิวตัน ตามลำดับ
3. ส่วนตำแหน่งล่าง (Lower) ของเมล็ดบนรวงข้าวมีค่าแรงดึงสูงสุด รองลงมาคือตำแหน่งกลางรวงข้าว (Middle) และตำแหน่งบนปลายรวงข้าว (Upper) มีค่าแรงดึงลดลงตามลำดับ
4. ข้าวที่มีความชื้นเมล็ดข้าวต่ำหรือเมล็ดข้าวเริ่มแห้ง และเมล็ดอยู่ที่ปลายรวงข้าวจะมีแรงยึดเกาะน้อยโอกาสที่เมล็ดจะร่วงหล่นได้มากกว่า

ซึ่งความชื้นในเมล็ดมีผลต่อการร่วงหล่นของเมล็ดข้าวมาก การเก็บเกี่ยวข้าวด้วยเครื่องเกี่ยวนวดข้าวควรคำนึงถึงความชื้นที่เหมาะสม ทั้งนี้วิธีการปฏิบัติดังกล่าวทำให้ความชื้นในเมล็ด และวิธีการจัดการที่แตกต่างกันตามสายพันธุ์ ซึ่งข้าวแต่ละสายพันธุ์จะมีโครงสร้างทางกายภาพ และช่วงฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

คำขอบคุณ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยเครื่องจักรกลเกษตรและวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยขอนแก่น ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กรุงเทพฯ 10400 ให้การสนับสนุนทุนวิจัย สถานที่ และอุปกรณ์ที่ใช้ทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ประสาร กระด้าง, นิวัฒน์ สุวัฒน์กุล และ เอนก สุขเจริญ. 2534. การศึกษาค่าความเหนียวของรวงข้าว. วิศวกรรมสาร มก. 14: 25-31.
- วินิต ชินสุวรรณ. 2553. การศึกษาประเมินประสิทธิภาพเครื่องเกี่ยวรวงข้าวเพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มศักยภาพในการส่งออก. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2561. สถิติการส่งออกข้าวของไทย. แหล่งข้อมูล: <http://www.thairiceexporters.or.th/.pdf> ค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2562.
- Alizadeh, M. R., and A. Allameh. 2011. Threshing force of paddy as affected by loading manner and grain position on the panicle. *Research in Agricultural Engineering*. 57(1): 8-12.
- ASAE Standards, 52nd Ed. 2006. S358.2: 1:1 measurement - forages. St. Joseph, MI: ASABE.
- Chinsuwan, W., S. Choun-udom, V. Udompettaikul, W. Phayom, and N. Panya. 1999. A study on harvest losses of hommali rice due to manual harvesting system and the use of combine harvester. *KKU Research Journal*. 4(2): 4-12.
- Fangping, X., L. Xiwen, and T. Chuzhon. 2004. Rice grain separation force of ear. Study on grain and spikelet's detaching force of paddy rice. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science)*. 30: 469-471.
- IBM Corp. Released. 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 26.0. Armonk. Armonk, NY: IBM Corp.
- Ichikawa, T., and T. Sujiyama. 1986. Development of a new combine equipped with screw type threshing and separating mechanism. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 20: 31-37.
- Kawamura, T., K. Shoji, and M. Tokuda. 2005. Measurement of force for detaching single grain of rice [*Oryza sativa*]. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery (Japan)*. 64(5): 116-122.
- Lee, S. W., and Y. K. Huh. 1984. Threshing and cutting forces for Korean rice. *Transactions of the ASAE*. 27: 1954-1957.
- O'Dogherty, M. J., J. A. Huber, J. Dyson, and C. J. Marshall. 1995. A study of the physical and mechanical properties of wheat straw. *Journal Agricultural Engineering Research*. 62(2): 133-142.
- Oduori, M.F., O.T. Mbuya, J. Sakai, and E. Inoue. 2008. Shattered rice grain loss attributable to the combine harvester reel: Model formulation and fitting to field data. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Available: <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1023/1016>. Accessed March 2, 2011.
- Szot, B., A. Ferrero, and M. Molenda. 1998. Binding force and mechanical strength of rice grain. *International Agrophysics*. 12: 227-230.
- Zhang, L., Z. Yang, Q. Zhang, and H. Guo. 2016. Tensile properties of maize stalk rind. *BioResources*. 11(3): 6151-6161.