

การบดลำไยตกเกรดอบแห้งทั้งเปลือกที่เหมาะสมเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

Appropriate Grinding of Low Grade Longan Fruit for Feedstuff

สุนทร สืบคำ^{1*} เจษฎากร ไชยจิตร¹ พงศธร ทะตัน¹ เสมอขวัญ ดันติกุล¹ บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร¹
สมคิด ดีจริง² บัวเรียม มณีวรรณ³ และระวิน สืบคำ⁴

Sunate Surbkar^{1*} Jadsadakorn Chaijid¹ Pongsaton Tatan¹ Samerkhwan Tantikul¹

Bandit Hirunstiporn¹ Somkid Deejing² Buaream Maneewan³ and Rawin Surbkar⁴

¹ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹ Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290

² คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² Faculty of Science, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290

³ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

³ Faculty of Animal Science and Technology, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290

⁴ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 20110

⁴ School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha, Chonburi 20110

* Corresponding author: sunate@mju.ac.th

(Received: 28 May 2023; Revised: 6 October 2023; Accepted: 11 October 2023)

Abstract

Longan fruits classified as Grade C are nearly valueless and are classified as low grade longan, are usually oven dried and ground for use as animal feed raw materials to add value to the agricultural product and reduce waste from the process. As longan is an agricultural product that contains high sugar, containing high sugar, the multi-purpose hammer mill currently used in animal feed plants is incapable. In this research, the main objective was to study the grinding of low-grade whole-shelled dried longan by using a meat grinder. The trial consisted of testing grinding speed at 5 levels: 300 350 400 450 and 500 revolutions per minute (rpm) and 3 feeding rates: 5.08 5.91 and 6.92 kg/hour which were consistent with the feeding speed of 4 6 and 8 rpm, respectively. Grinding was done in two rounds: initial coarse grinding using 12 mm die size, then followed by fine grinding at 4.5 mm die size. Results showed that when the cost of grinding energy was taken into account, the grinding speed of 400 rpm and feeding rate of 6.92 kg/hr (at feeding speed of 8 rpm) were recommended. Low grade whole-shelled dried longan fruits were found to contain higher water-soluble carbohydrates (nitrogen-free extracts, NFE) and fiber, which could be stored at room temperature for at least 3 months with minimal changes in microorganism content and without any detection of fungal presence. These findings showed that low grade longan fruits have the potential to be safely utilized as animal feedstuff.

Keywords: Value added, agricultural waste, grinding, animal feed

บทคัดย่อ

การนำลำไยเกรด C ซึ่งแทบไม่มีราคาและลำไยตกเกรด (low grade) มาอบแห้งและบดเพื่อเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลเกษตรและลดของเสียจากกระบวนการรับซื้อลำไยร่วง แต่ลำไยเป็นผลิตผลเกษตรที่มีน้ำตาลอยู่มาก ดังนั้น เครื่องบดอเนกประสงค์แบบค้อนที่มีใช้อยู่ในโรงงานอาหารสัตว์จึงไม่สามารถบดได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบดลำไยตกเกรดอบแห้งทั้งเปลือกด้วยเครื่องบดเนื้อ การทดสอบความเร็วรอบการบด 5 ระดับ คือ 300 350 400 450 500 และ 500 รอบต่อนาที และอัตราการบด 3 ระดับ ได้แก่ 5.08 5.91 และ 6.92 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งตรงกับความเร็วรอบการบด 4 6 และ 8 รอบต่อนาที ตามลำดับ ทำการบด 2 ครั้ง ครั้งแรกบดที่ขนาดรูพิมพ์ 12 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นการบดหยาบและบดซ้ำด้วยขนาดของรูพิมพ์ 4.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นการบดละเอียด พบว่าเมื่อคำนึงถึงต้นทุนค่าพลังงานในการบดควรใช้ความเร็วรอบการบด 400 รอบต่อนาที และอัตราการบด 6.92 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ความเร็วรอบการบด 8 รอบต่อนาที) ลำไยตกเกรดอบแห้งทั้งเปลือกที่บดแล้วมีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (Nitrogen Free Extract; NFE) และเยื่อใยค่อนข้างสูง สามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อย 3 เดือน โดยมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ต่ำและไม่พบเชื้อราในลำไยอบแห้ง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าลำไยตกเกรดมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ: การสร้างมูลค่าเพิ่ม เศษเหลือใช้ทางการเกษตร วิธีการบด อาหารสัตว์

คำนำ

Office of Agricultural Economics (2022) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกลำไย (เฉพาะที่ให้ผลแล้ว) 1,693,261 ไร่ คิดเป็นผลผลิต 1,555,360 ตัน โดยมีผลผลิตต่อไร่ 919 กิโลกรัม ในปี พ.ศ. 2565 แม้ว่าเนื้อที่ให้ผลจะเพิ่มขึ้นจากปีก่อน แต่เนื่องจากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิตออกและติดผลอ่อน ประกอบกับเกษตรกรไม่มีแรงจูงใจในการดูแลรักษา ทำให้ต้นลำไยไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ส่งผลให้ผลผลิตและผลผลิตต่อเนื้อที่ให้ผลลดลง ต้นทุนการผลิต 14,010 บาทต่อตัน ราคาที่เกษตรกรขายได้ 20,003 และ 27,238 บาทต่อตัน สำหรับลำไยเกรด A และ AA ตามลำดับ แหล่งเพาะปลูก 5 อันดับแรก ได้แก่ เชียงใหม่ ลำพูน จันทบุรี เชียงราย และพะเยา ลำไยเป็นพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดปี เนื่องจากสามารถปลูกนอกฤดูกาลได้ แต่ช่วงเดือนที่เก็บเกี่ยวผลผลิตมาก คือ เดือนสิงหาคม และ ธันวาคม ผลผลิตลำไยมากกว่าร้อยละ 90 ส่งออกไปตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือเป็นการบริโภคภายในประเทศ ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทย ส่งออก ลำไยสด ลำไยอบแห้ง ลำไยบรรจุภาชนะอัดลม และ ลำไยแช่แข็ง คิดเป็น 470,547 159,229 12,261 และ

126 ตัน ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การส่งออกลำไยและผลิตภัณฑ์มากกว่าร้อยละ 90 อยู่ในรูปลำไยสดและลำไยอบแห้ง โดยมีตลาดส่งออกที่สำคัญ เช่น จีน อินโดนีเซีย มาเลเซีย เวียดนาม ฮ่องกง ญี่ปุ่น และฮ่องกง ส่วนคู่แข่งที่สำคัญ ได้แก่ เวียดนาม และจีน

การแปรรูปลำไยร่วงเพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการเก็บรักษา ได้แก่ ลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ลำไยอบแห้งเนื้อสีทอง น้ำลำไย ลำไยในภาชนะบรรจุ ลำไยสกัด เป็นต้น ในฤดูกาลรับซื้อลำไยร่วงเกษตรกรจะนำลำไยมาขาย ณ จุดรับซื้อและคัดขนาดลำไย (จุดร่อน) ซึ่งผู้รับซื้อลำไยร่วงจะนำลำไยของเกษตรกรไปผ่านเครื่องคัดขนาดแบบตะแกรงหมุนเพื่อคัดลำไยเป็น 5 เกรด ได้แก่ เกรด AA A B C และลำไยตกเกรด (low grade) ราคารับซื้อ ณ บ้านเลขที่ 290 หมู่ 14 ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 21 กรกฎาคม 2562 เท่ากับ 26 17 8 1 และ 0 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ลำไยตกเกรดจัดเป็นเศษเหลือใช้ทางการเกษตร (Figure 1) จะไม่มีราคา เพราะไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้ ผู้รับซื้อมักปล่อยทิ้งทำให้เกิดมลภาวะทางกลิ่นและทัศนียภาพ ซึ่งลำไยตกเกรดเหล่านี้มีเป็นจำนวนมากคิดเป็นร้อยละ 5 ของปริมาณลำไยร่วง ณ จุดร่อน

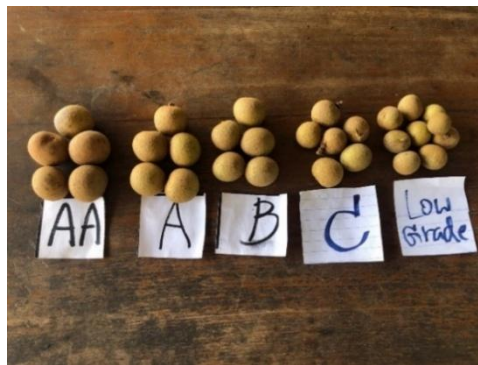


Figure 1 Grades of commercial longan

นักวิจัยมีความพยายามนำลำไยตากเกรดไปใช้ประโยชน์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดย Dutsadee *et al.* (2014) สร้างมูลค่าเพิ่มลำไยตากเกรดเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ การผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด ถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลำไยตากเกรด ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด และมีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานแยกเป็นส่วน ๆ ได้แก่ การใช้ประโยชน์จากลำไยตากเกรดในการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพ (Dutsadee *et al.*, 2012) การผลิตถ่านกัมมันต์จากเปลือกและเมล็ดลำไยตากเกรดด้วยระบบฟลูอิดไอเซชัน (Klaewkla *et al.*, 2012) และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตเอทานอลและแก๊สชีวภาพจากลำไยตากเกรด (Suankamkong *et al.*, 2012) Chongrak (2011) ศึกษาการผลิตถ่านกัมมันต์จากเมล็ดลำไยโดยการกระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ Wattanacheera *et al.* (2016) พัฒนาก่อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง Charoenphan (2018) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเนื้อลำไยตากเกรดมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตฉนวนกรอบเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเกษตรกรผู้ปลูกลำไยได้ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำน้ำตาล และเนื้อลำไยสดในการผลิตฉนวนกรอบ คือ ร้อยละ 40 30 และ 30 ตามลำดับ โดยยังไม่มีนักวิจัย

ศึกษาการนำลำไยตากเกรดไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทั้ง ๆ ที่ Maneewan *et al.* (2011) ศึกษาพบว่าเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำอาหารสัตว์ได้เนื่องจากคุณค่าทางอาหารของเมล็ดลำไยและเนื้อในเมล็ดลำไยมีคุณค่าใกล้เคียงกับอาหารสัตว์ที่จำหน่ายตามท้องตลาด โดยเมล็ดลำไยมีโปรตีนและไขมันร้อยละ 6.50 และ 1.94 ตามลำดับ เนื้อในเมล็ดลำไยมีร้อยละ 7.20 และ 2.34 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมล็ดลำไยมีค่าโปรตีนและไขมันน้อยกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย ส่วนค่าปริมาณเยื่อใยและพลังงานที่ให้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้สำหรับเมล็ดลำไยมีค่าร้อยละ 8.33 และ 3,996 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ส่วนเนื้อในเมล็ดลำไยมีค่าร้อยละ 3.58 และ 3,946 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมล็ดลำไยมีค่าปริมาณเยื่อใยและพลังงานที่ให้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์สูงกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย ดังนั้นหากพิจารณาคุณค่าทางอาหารที่ได้รับ นับว่าเมล็ดลำไยถือเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจในการที่จะนำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เนื่องจากให้พลังงานที่สูง มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ เช่น ข้าวโพดและปลายข้าว และยังมีราคาที่ถูกกว่าอีกด้วย อย่างไรก็ตามยังมีลำไยตากเกรดจำนวนมากที่มีการนำไปทิ้งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การนำลำไยตากเกรดซึ่งเป็นเศษเหลือใช้ทางการเกษตรมาสร้างมูลค่าเพิ่มด้วยการพัฒนาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารจะช่วยให้เพิ่มแหล่ง

วัตถุดิบอาหารสัตว์แหล่งพลังงาน เพิ่มมูลค่าให้กับ ลำไยตากเกรด และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีก ด้านหนึ่ง แต่การนำลำไยอบแห้งทั้งเปลือกมาใช้ ประโยชน์นั้นจะต้องมีการบดเพื่อให้สามารถนำไป ผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ ได้ ซึ่งในปัจจุบันนี้ยังไม่มี การศึกษาเรื่องนี้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมรรถนะการบดลำไยตากเกรดอบแห้งทั้ง เปลือกโดยใช้เครื่องบดเนื้อ โดยศึกษาผลของ ความเร็วการบดและอัตราการป้อนต่อสมรรถนะการ บด และศึกษาคุณค่าทางโภชนาและพลังงานรวม รวมไปถึงจำนวนจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไยตากเกรด อบแห้งทั้งเปลือกภายหลังการบด

อุปกรณ์และวิธีการ

ลำไยตากเกรดที่ใช้ในการทดลอง

ลำไยที่ใช้ในการทดลองเป็นลำไยในฤดูกาล เพาะปลูกปี พ.ศ. 2562 ได้จากโรงคัดแยกลำไย ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วยลำไยเกรด C ซึ่งมีราคาถูกมาก (1 บาท ต่อกิโลกรัม) และลำไยตากเกรดซึ่งไม่มีราคา โดย นำมาอบแห้งในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ที่ อุณหภูมิ 70 - 75 องศาเซลเซียส นาน 28 ชั่วโมง ทำให้ลดความชื้นในลำไยตัวอย่างจากร้อยละ 77.96 ± 0.23 ฐานเปียกเป็นความชื้นร้อยละ 5.59 ± 0.23 ฐานเปียกซึ่งเป็นค่าความชื้นที่ต่ำกว่าค่า มาตรฐานในการใช้เครื่องบดไม้แบบบดเชือน (Thai Industrial Standards Institute, 2020) โดยใช้ลำไย

เริ่มต้นจากประมาณ 600 กิโลกรัม จะได้ลำไยแห้ง 200 กิโลกรัม คิดเป็นสัดส่วนลำไยตัวอย่างสด 3 กิโลกรัมต่อลำไยตัวอย่างอบแห้ง 1 กิโลกรัม

การทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบเครื่องบดเนื้อ (mincer) มีต้น กำลังมอเตอร์ 1 เฟส ขนาด 1 แรงม้า ความเร็วรอบ การบด 1,430 รอบต่อนาที (rpm) มีส่วนประกอบ ที่สำคัญได้แก่ 1) รูพิมพ์ (die) 3 ขนาด คือ 14, 8 และ 4 มิลลิเมตร 2) ใบมีดเครื่องบด 1 ใบ 3) แกนเกลียวหมุน 4) มุ่เล่ ขนาด 3 และ 15 เซนติเมตร ลำไยตากเกรด อบแห้งทั้งเปลือกที่ใช้ทดสอบมีความชื้นเริ่มต้น ร้อยละ 8.58 ฐานเปียก (ทดสอบในเดือนมกราคม พ.ศ. 2563) ความหนาแน่นกอง 204 กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร การทดสอบเริ่มจากชั่งน้ำหนักลำไย ตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือก 4 ตัวอย่าง ๆ ละ 250 กรัม เริ่มทำการทดสอบโดยการจับเวลาเมื่อป้อนลำไย เข้าเครื่องทำการทดสอบ 1 ครั้งต่อ 1 ขนาดรูพิมพ์ แต่การทดสอบเมื่อใช้รูพิมพ์ 14 มิลลิเมตร และบด ซ้ำด้วยการบดผ่านรูพิมพ์ 4 มิลลิเมตร ได้ผลการ ทดสอบดัง (Table 1) และ (Figure 2) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การบดลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกซึ่งมีน้ำตาลสูง ควรบดผ่านรูพิมพ์ 4 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาด ที่เหมาะสมสำหรับเป็นอาหารไก่เนื้อและอาหารเป็ด ที่ผลิตในรูปของอาหารเม็ดจุ่มและอาหารขบเม็ด วัตถุดิบ และต้องบด 2 ครั้ง ครั้งแรกบดผ่านรูพิมพ์ 14 มิลลิเมตร ตามด้วยการบดซ้ำผ่านรูพิมพ์ 4 มิลลิเมตร

Table 1 Grinding performanc of a meat mincer ground degraded and dried whole longan fruit

Die dia. (mm)	Feed rate (kg.hr ⁻¹)	Capacity (kg.hr ⁻¹)	Efficiency (%)	Accumulattion (%)	Energy used (kW.hr)
14	23.68	19.69	83.124	16.876	0.0079
8	20.93	12.12	57.884	42.116	0.0089
4	N/A	N/A	8.64	91.36	N/A
14 & 4	9.375	5.96	63.592	36.408	0.02

Remarks: N/A means the grinding process was overloaded.

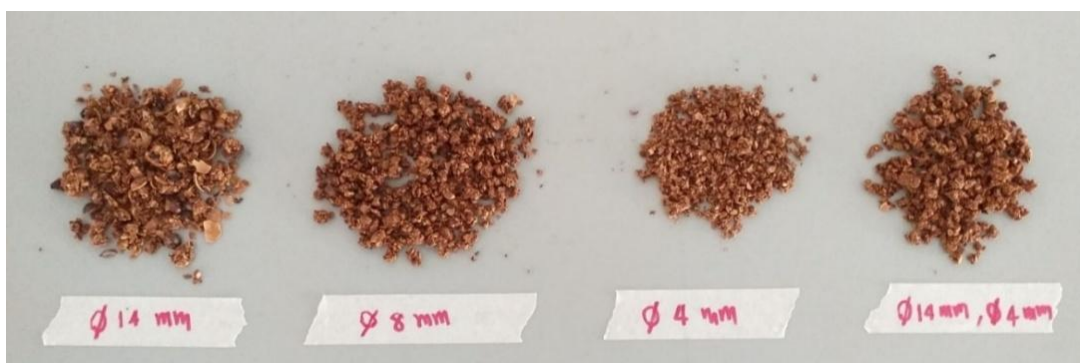


Figure 2 The characteristics of dried degraded whole longan fruit when grinding passed through dies of 14 8 4 and 14&4 mm

การปรับปรุงและแก้ไขเครื่องบดเนื้อ

เนื่องจากเครื่องบดเนื้อที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นไม่สามารถปรับความเร็วรอบและอัตราการป้อนวัสดุได้ จึงปรับปรุงและแก้ไขเครื่องบดด้วยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (inverter) เพื่อใช้ในการปรับความเร็วรอบในการบดลำไย พร้อมทั้งสร้างอุปกรณ์ป้อนแบบโรตารี (rotary feeder) โดยมีใบพัดป้อนทั้งหมด 8 ใบเพื่อใช้ศึกษาอัตราการป้อน โดยทั้งสอง

ปัจจัยมีผลอย่างยิ่งต่อสมรรถนะการบดโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของลำไยภายหลังการบด ตัวเครื่องบดเนื้อภายหลังปรับปรุงและแก้ไขมีความสูง 70 เซนติเมตร (Figure 3A) ความกว้าง 30 เซนติเมตร และความยาว 55 เซนติเมตร (Figure 3C) ประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2.27 กิโลวัตต์ ช่องป้อนวัสดุ ช่องทางออกวัสดุ เฟืองโซ่ มู่เล่ และสายพาน (Figure 3B และ 3D)

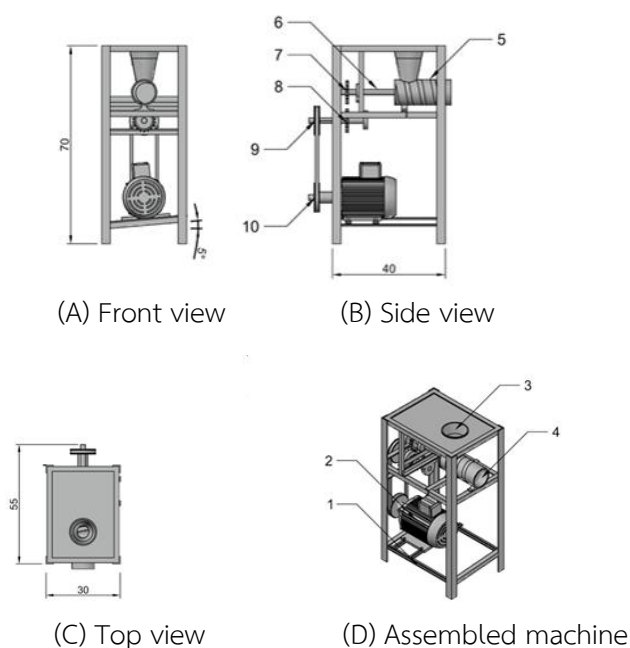


Figure 3 Exploded views (A-D) of the mincing machine with an electric motor

Remarks: 1. Machine base and motor platen; 2. 2.27 kW electric motor, 3 phase; 3. Material inlet; 4. Material outlet 5. Mincing machine; 6. Driven shaft; 7. 36-teeth driven sprockets; 8. 16-teeth driving sprockets; 9. 3-inch driven pulley; 10. 3-inch driving pulley

การศึกษาผลของอัตราการป้อนและความเร็วรอบการบด

จากการลองผิดลองถูก (trial and error) พบว่า ความเร็วรอบการบดต่ำสุดที่เครื่องบดสามารถบดลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกได้คือ 300 รอบต่อนาที ดังนั้นจึงศึกษาความเร็วรอบในการบด 5 ระดับ คือ 300 350 400 450 และ 500 รอบต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 5.08 5.91 และ 6.92 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งตรงกับความเร็วรอบการป้อน 4 6 และ 8 รอบต่อนาที ตามลำดับ จัดการทดลองเป็นแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block

Design; RCBD) โดยใช้ข้าวเป็นบล็อก (block) ทดสอบ 3 ข้าว ๆ ละ 1 กิโลกรัม คิดเป็นสิ่งทดลอง (treatment) 15 สิ่งทดลองต่อ 1 ข้าว โดยแต่ละสิ่งทดลองจะบด 2 ครั้ง โดยการบดครั้งที่ 1 เป็นการบดหยาบผ่านรูพิมพ์ 12 มิลลิเมตร (ความหนาของแผ่นรูพิมพ์ 8 มิลลิเมตร) และการบดครั้งที่ 2 เป็นการบดละเอียดผ่านรูพิมพ์ 4.5 มิลลิเมตร การที่ขนาดรูพิมพ์ทั้งสองครั้งการบดไม่เหมือนกับการทดสอบเบื้องต้นเนื่องจากในท้องตลาดไม่มีรูพิมพ์ขนาด 14 และ 4 มิลลิเมตรจำหน่าย จึงใช้ขนาดใกล้เคียงที่มีจำหน่ายแทน การหาสมรรถนะของเครื่องบดหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพการบด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{ประสิทธิผลการบด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = C/A \times 100 \quad (2)$$

$$\text{อัตราการทำงาน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)} = \frac{B}{T} \times 3.6 \quad (3)$$

$$\text{อัตราการตกค้าง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการบด (กิโลวัตต์.ชั่วโมง)} = \frac{EI}{1,000} \times \frac{t}{3,600} \quad (5)$$

- เมื่อ
- A = ลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกที่ป้อนเข้า (กรัม)
 - B = ลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกภายหลังการบด (กรัม)
 - C = ลำไยอบแห้งตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกที่มีขนาดไม่เกิน 4 มิลลิเมตร (กรัม)
 - t = เวลาในการบด (วินาที)
 - E = แรงดันไฟฟ้าในขณะที่เครื่องบดกำลังทำงาน (โวลต์)
 - I = กระแสไฟฟ้าในขณะที่เครื่องบดกำลังทำงาน (แอมแปร์)

การหาขนาดของลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกเริ่มจากนำตัวอย่างลำไยภายหลังการบดไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง จากนั้นร่อนด้วยชุดตะแกรงร่อนอนุกรม ASTM (American Society

of Testing and Materials) ใช้ขนาดของรูตะแกรงเรียงจากชั้นบนสุดไปยังชั้นล่างสุด 4.75 2.36 2 1.18 0.60 และ 0.40 มิลลิเมตร และภาตรอง (pan) เพื่อนำข้อมูลไปคำนวณหาขนาดภายหลังการบดตามวิธีการของ ASABE Standards (2008)

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาและพลังงานรวมของลำไยตากเกรดอบแห้ง

การหาค่าประกอบทางเคมีและพลังงานรวมของลำไยตากเกรดอบแห้งใช้วิธีวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณวัตถุแห้ง เถ้า โปรตีน เยื่อใย และ

ไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (1995) และวิเคราะห์พลังงานด้วยเครื่องวิเคราะห์หาพลังงานอัตโนมัติ (IKA Calorimetry System C5000, Germany) และคำนวณพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ปีกจากสมการ (6) ตามวิธีการของ Carpenter and Clegg (1956)

$$y = 53 + 38(\% \text{ crude protein} + 2.25\% \text{ ether extract} + 1.1\% [\text{starch} + \text{sugar}]) \quad (6)$$

เมื่อ y = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ปีก (แคลอรีต่อกรัม)

crude protein = โปรตีนรวม (ร้อยละ)

ether extract = ไขมัน (ร้อยละ)

starch + sugar = คาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ง่าย หรือ Nitrogen Free Extract, NFE (ร้อยละ)

การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์

การตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์โดยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ด้วยวิธี spread plate บนอาหาร Plate count agar (PCA) pH 7.0 และอาหาร Potato dextrose agar (PDA) pH 5.6 โดยตรวจทุก ๆ เดือนเป็นเวลา 3 เดือน เปรียบเทียบกับตัวอย่างภายหลังการอบแห้ง โดยนำตัวอย่างลำไยอบแห้ง 1 กรัม มาทำการเจือจางตามลำดับ จากนั้นนำไปหมักที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ หลังจากเชื้อเจริญแล้วตรวจนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ และเลือกระดับความเจือจางที่มีจำนวนโคโลนีระหว่าง 30-300 โคโลนีต่อ 1 จาน มาคำนวณและรายงานผลจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลของความเร็วการอบและอัตราการป้อนต่อสมรรถนะการอบ

งานวิจัยนี้ศึกษาการอบลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกที่มีผลต่อสมรรถนะการอบ โดยมีปัจจัยที่สนใจศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเร็วการอบ 5 ระดับ ได้แก่ 300 350 400 450 และ 500 รอบ

ต่อนาที และอัตราการป้อน 3 ระดับ ได้แก่ 5.08, 5.91 และ 6.92 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ความเร็วการอบและอัตราการป้อนซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ศึกษาอย่างน้อย 2 ระดับที่ทำให้สมรรถนะการอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักที่ศึกษา (interaction) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อทำการทดสอบต่อเนื่องด้วยวิธีการทดสอบแบบจับคู่พหุคูณ (multiple comparison test) ด้วยวิธี Duncan พบว่า ความเร็วการอบไม่มีผลต่อขนาดวัสดุภายหลังการอบ โดยที่ 400-500 รอบต่อนาที ทำให้ประสิทธิภาพการอบประสิทธิภาพการอบ อัตราการทำงาน อัตราการตกค้าง และพลังงานที่ใช้ในการอบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) เมื่อคำนึงถึงต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าแนะนำให้ใช้ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที ส่วนอัตราการป้อนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการอบ ประสิทธิภาพการอบ อัตราการตกค้าง และขนาดของวัสดุภายหลังการอบ แต่แปรผันตรงกับอัตราการทำงานและแปรผกผันกับพลังงานที่ใช้ในการอบ (Table 3) ในการพิจารณาเลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสม จะพิจารณาจากอัตราการทำงานซึ่งโดย

ปกติต้องการอัตราการทำงานที่สูง กับพลังงานที่ใช้ในการบดซึ่งโดยปกติต้องการประหยัดพลังงานซึ่งจะเห็นได้ว่าสมรรถนะการทำงานทั้งสองค่าแปรผกผันต่อกัน เมื่อใช้เทคนิคจุดตัดจึงสามารถกำหนดอัตราการบดที่เหมาะสมได้ โดยมีค่าประมาณ 6.30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (Figure 4) สอดคล้องกับ Maikhiagklang (2001) ที่ศึกษาพบว่าอัตราการบดพริกด้วยเครื่องบดเนื้อสัตว์แบบเกลียวอัดผ่านแผ่นหน้าแวน (รูปพิมพ์) มีอัตราการบดพริกแปรผันตรงกับความเร็วการบดในช่วง 200-270 รอบต่อนาที

งานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Mugabi *et al.* (2017) ที่ศึกษาการบดรำข้าวโพดด้วยเครื่องบดแบบ

ค้อนเหวี่ยง พบว่า ความเร็วปลายใบมีดตัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต และพลังงานที่ใช้ในการบด โดยที่อัตราการบดมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อพลังงานที่ใช้ในการบด แต่ไม่มีผลต่อขนาดของรำข้าวโพด ทั้งนี้พลังงานเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มความเร็วจึงและอัตราการบด Mugabi *et al.* (2019) ศึกษาพบว่า ขนาดรูตะแกรงได้ชุดใบตี (S) ในเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง ความเร็วปลายใบตี (T) และความหนาใบตี (H) มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการบดเมล็ดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตทั้ง S T และ H ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 2 Effect of mincing speed on mincing performance at the feeding rates of 5.08-6.92 kg.hr⁻¹

Speed (rpm)	Efficiency (%)	Effectiveness (%)	Capacity (kg/hr)	Accumulation (%)	Energy Used (kW.hr)	Ground size (mm)
300	80.19±2.14a	73.89±2.19a	4.34±0.52a	19.81±2.14a	0.13±0.02a	2.71±0.06
350	81.79±1.42b	74.96±1.07ab	4.51±0.53ab	18.21±1.42b	0.14±0.02b	2.71±0.10
400	82.10±1.33bc	74.49±1.96ab	4.69±0.65bc	17.90±1.32bc	0.15±0.02c	2.68±0.12
450	83.24±1.56c	76.28±2.08b	4.69±0.87c	16.76±1.56c	0.15±0.03c	2.62±0.17
500	83.31±1.48c	76.06±1.80b	4.88±0.74c	16.69±1.48c	0.16±0.03d	2.68±0.15

Remarks: Means in the same column followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 3 Effect of feeding rate on mincing performance at the grinding speeds of 300-500 rpm

Feed rate (kg.hr ⁻¹)	Efficiency (%)	Effective-ness (%)	Capacity (kg/hr)	Accumulation (%)	Energy Used (kW.hr)	Ground size (mm)
5.08	81.61±2.53	74.72±2.49	3.96±0.18a	18.39±2.53	0.17±0.02a	2.70±0.11
5.91	82.21±1.62	74.96±1.68	4.67±0.36b	17.79±1.62	0.15±0.01b	2.70±0.10
6.92	82.56±1.45	75.74±1.66	5.39±0.46c	17.44±1.45	0.13±0.01c	2.66±0.16

Remarks: Means in the same column followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$)

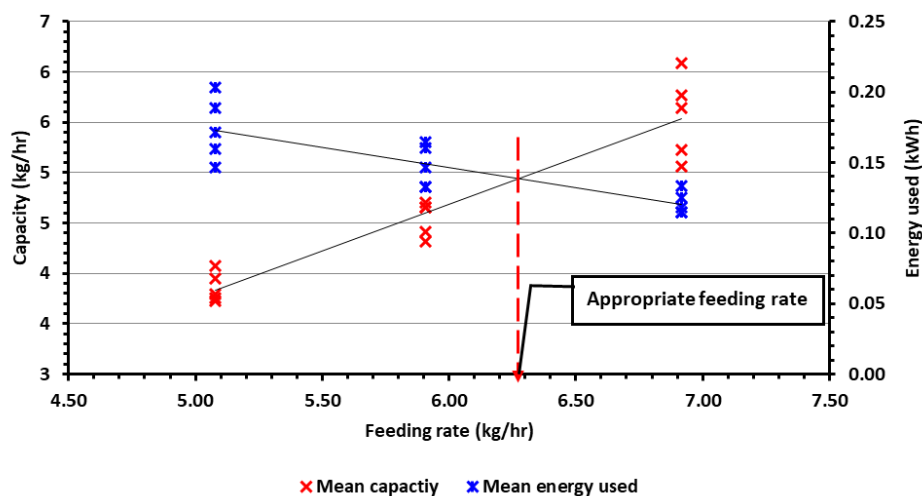


Figure 4 A plot of main effect (feed rate) on mincing performance

การเปรียบเทียบลำไยตกเกรดอบแห้งทั้งเปลือก กับวัตถุดิบอาหารสัตว์อื่น ๆ

คุณค่าทางโภชนาและพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของลำไยตกเกรดอบแห้งทั้งเปลือกแสดงใน (Table 4) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์โดยประมาณชี้ให้เห็นว่า มีพลังงานรวม 3,729.65 แคลอรีต่อกรัม คิดเป็นพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ปีกจากการคำนวณ 2,575.92 แคลอรีต่อกรัม ตามสมการที่ได้ศึกษาจากการหาพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในแม่ไก่ไข่ (Carpenter and Clegg, 1956) โดยค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้มีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานรวม เนื่องจากสัตว์ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากโภชนาได้สมบูรณ์ มีการสูญเสียพลังงานทางมูลและปัสสาวะระหว่างการย่อยและดูดซึม (Khajaroen and Khajaroen, 2017) แต่มีค่าต่ำกว่าค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของเนื้อในเมล็ดลำไย (Surbkar *et al.*, 2020) ปลายข้าวและข้าวโพดบด (Animal Nutrition Division,

Department of Livestock Development, 2017) ที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตเหมือนกับลำไยตกเกรดอบแห้งทั้งเปลือกที่แสดงในตารางเดียวกัน ซึ่งมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,546.55 3,500 และ 3,370 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ในขณะที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFE) ค่อนข้างสูงและเยื่อใยสูงจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นแหล่งอาหารชั้นในสัตว์กระเพาะรวม (Sruamsiri and Sinman, 2015) และสามารถนำไปใช้ในสัตว์ปีกแต่ในปริมาณที่จำกัด สำหรับในด้านราคาของวัตถุดิบพบว่า ข้าวโพดบดมีค่า 11.91 บาทต่อกิโลกรัม ปลายข้าวมีค่า 14.00 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นราคาในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2566 (Thai Feed Mill Association, 2023) ชี้ให้เห็นว่าสามารถนำลำไยตกเกรดที่ไม่มีราคามาใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ทดแทนการใช้ข้าวโพดหรือปลายข้าวเพื่อลดต้นทุนในการผลิตอาหารสัตว์ได้

Table 4 Chemical composition, energy, and nitrogen-free extract (NFE) of dried degraded whole longan fruit compared to other animal feedstuffs (% air dry)

Chemical composition/Energy	Dried Whole Longan Fruit	Longan seed kernel	Corn	Broken rice
price (Baht/kg)	N/A	N/A	11.91	14.00
Dry matter (%)	88.81	88.44	90.00	89.23
Ash (%)	4.45	1.64	1.3	0.7
Crude protein (%)	6.58	7.08	8	8
Fiber (%)	18.73	5.14	2.5	1
Ether extract (%)	0.61	2.45	4	0.9
Nitrogen Free Extract (NFE) (%)	58.44	72.13	74.2	78.63
Metabolizable energy in poultry (cal/g)	2,575.92	3,546.55	3,370	3,500
Gross energy (cal/g)	3,729.65	4,436.52	-	-

จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนเชื้อราใน ลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกบด

ผลการทดลองใน Table 5 ซึ่งให้เห็นว่า ลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 0 1 และ 3 เดือน มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดประมาณ 10^3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเนื้อลำไยอบแห้ง มผช. 1385/2558 ที่กำหนดไว้ว่า ให้มีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (Thai Industrial Standards Institute, 2015) และแบคทีเรียที่พบใน ลำไยอบแห้งในการทดลองนี้ อาจจะเป็นแบคทีเรีย พวกที่ชอบอากาศ เนื่องจากเจริญได้ดีเมื่อเพาะเลี้ยง เชื้อด้วยวิธี spread plate และแบคทีเรียที่แยกได้ อาจจะเป็นแบคทีเรียพวกชอบอุณหภูมิสูง เนื่องจาก สามารถมีชีวิตรอดหลังจากการอบลำไยที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส นาน 28 ชั่วโมง ซึ่งแบคทีเรีย ที่ทนต่อความร้อนมักจะเป็นแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้ เช่น *Bacillus cereus*, *Geobacillus stearothermophilus* และ *Clostridium botulinum* เชื้อนี้สามารถสร้าง สารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ได้ ซึ่งแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้และพวกทนอุณหภูมิสูง มักก่อปัญหาในผลิตภัณฑ์อาหารทำให้มีความเสี่ยง

ต่อการปนเปื้อนและความเสียหายของผลิตภัณฑ์ ในขณะเก็บรักษา (Lücking *et al.*, 2013) ใน ผลการทดลองนี้ ยังพบว่า ไม่มีเชื้อราเจริญบนอาหาร PDA แต่ในผลการทดลองนี้ พบโคโคไธของแบคทีเรีย เจริญบนอาหาร PDA ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.6 ซึ่งค่อนข้างจะเป็นกรดได้ Clavel *et al.* (2004) พบว่า เชลล์ปกติของแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* รอดชีวิตได้บนอาหารที่มีค่าความเป็น กรด-ด่าง 2.5-5.7 และเอนโดสปอร์ของแบคทีเรียนี้ รอดชีวิตได้ในสภาวะกรด-ด่าง 1.0-5.2 ซึ่งการมี จำนวนจุลินทรีย์อยู่สูงอาจเกิดจากการปนเปื้อนของ จุลินทรีย์มาจากอุปกรณ์ ภาชนะบรรจุ เครื่องบด ลำไย รวมทั้งสุขลักษณะส่วนบุคคลไม่ดีก็มีผลทำให้ เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ลงสู่ลำไยอบแห้งได้ และแหล่งปนเปื้อนของจุลินทรีย์อาจมาจากอากาศ ก็อาจจะเป็นไปได้ ซึ่งผู้ผลิตลำไยอบแห้งควรใส่ใจความสะอาดและสุขลักษณะและหาทางป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์จากอากาศ อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ ไม่พบเชื้อราเจริญบนอาหาร PDA อาจเป็นผลมาจากเชื้อราถูกทำลายด้วยความร้อน ในขั้นตอนของการอบลำไยที่อุณหภูมิ 70-75 องศาเซลเซียส นาน 28 ชั่วโมงก่อนนำมาบด

เนื่องจากเชื้อราส่วนใหญ่จะไม่ค่อยทนต่ออุณหภูมิสูงเหมือนแบคทีเรียบางชนิด ซึ่ง Clear *et al.* (2002) พบว่า การใช้ความร้อนที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส นาน 15, 5 และ 2 วัน ตามลำดับ ช่วยกำจัดเชื้อรา *Fusarium graminearum* ออกจากเมล็ดข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลี และในการทดลองนี้ ไม่พบเชื้อราในตัวอย่างลำไยอบแห้งที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลดีต่อการนำลำไยอบแห้งไปใช้เป็นอาหารสัตว์ เพราะหากมีการปนเปื้อนของ

เชื้อราในขั้นตอนของการผลิต หรือระหว่างการเก็บรักษา ก็จะทำให้เกิดผลเสียต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีเชื้อราบางชนิดที่สร้างสารพิษเป็นอันตรายต่อสัตว์และมนุษย์ และสปอร์ของเชื้อรายังก่อให้เกิดภูมิแพ้ได้ (Adhikari *et al.*, 2004) นอกจากนี้ เชื้อราที่ปนเปื้อนอาจมีผลทำให้อาหารสัตว์มีคุณค่าทางโภชนาการและมีคุณภาพเสื่อมลงอย่างรวดเร็วอีกด้วย

Table 5 Total count of microorganisms on PCA and PDA media cultured by spread plate technique

Date	Month	Micromorganisms on PCA (CFU/g)	SD	Micromorganisms on PDA (CFU/g)	SD
May 7, 2020	0	2.75×10^3	1.15×10^3	7.13×10^3 a	1.36×10^3
Jun 8, 2020	1	1.53×10^3	1.53×10^2	1.38×10^3 b	2.02×10^2
Aug 7, 2020	3	3.57×10^3	8.50×10^2	1.47×10^3 b	2.08×10^2

Remarks: Fungal growth not found on PCA and PDA media

Means in the same column followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

การบดลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ลำไยที่ใช้ในงานวิจัยเป็นลำไยสดตากเกรดที่ปลูกในฤดูกาลเพาะปลูกปี พ.ศ. 2562 อบจนแห้งแล้วนำมาบด ได้ผลการวิจัยดังนี้

1. ความเร็วการบดและอัตราการป้อน ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อขนาดของลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกภายหลังการบด โดยที่ความเร็วการบด 400-500 รอบต่อนาที ทำให้ประสิทธิภาพการบด ประสิทธิภาพการบด อัตราการทำงาน อัตราการตกค้าง และพลังงานที่ใช้ในการบดไม่แตกต่างกันทางสถิติ เมื่อคำนึงถึงต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้า ควรใช้ความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที

2. อัตราการป้อนแปรผันตรงกับอัตราการทำงานและแปรผกผันกับพลังงานที่ใช้ในการบด เมื่อใช้เทคนิคจุดตัดสามารถกำหนดอัตราการป้อนที่เหมาะสมได้ โดยมีค่าประมาณ 6.30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3. ลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกเมื่ออบแล้วมีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสัตว์ปีกจากการคำนวณต่ำกว่าเนื้อในเมล็ดลำไย ปลายข้าว และข้าวโพดบด มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ง่าย (NFE) ค่อนข้างสูงและเยื่อใยสูง หากจะนำไปเป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ ควรจำหน่ายไม่เกิน 10 บาทต่อกิโลกรัม

4. ลำไยตากเกรดอบแห้งทั้งเปลือกเมื่ออบแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องได้อย่างน้อยระยะเวลา 3 เดือน โดยระหว่างการเก็บรักษามีการเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ต่ำ และไม่พบเชื้อราในลำไยอบแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้ทุนอุดหนุนจาก คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2563

เอกสารอ้างอิง

- Adhikari, A., M.M. Sen, S. Gupta-Bhattacharya and S. Chanda. 2004. Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: A 2-year study at five outdoor sampling stations. *Science of the Total Environment* 326(1- 3): 123-141. Available: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.12.007>.
- Animal Nutrition Division, Department of Livestock Development. 2017. Animal feed ingredients. Available: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/index.php/the-joomla-project>. (May 1, 2023). [in Thai]
- AOAC. 1995. Official analytical methods. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- ASABE Standards. 2008. Method of determining and expressing fineness of food materials by sieving. ASAE S319.4 FEB2008. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Carpenter, K.J. and K.M. Clegg. 1956. The metabolizable energy of poultry feeding stuffs in relation to their chemical composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 7(1): 45-51.
- Charoenphan, N. 2018. Development of crispy jelly products from substandard longan. *Journal of Science and Technology* 26(5): 834-845. [in Thai]
- Chongrak, N. 2011. Production of activated carbon from longan seeds by activation with zinc chloride and potassium hydroxide. Master's thesis in Environmental Science (Interdisciplinary), Chulalongkorn University. [in Thai]
- Clavel, T., F. Carlin, D. Lairon, C. Nguyen-The and P. Schmitt. 2004. Survival of *Bacillus cereus* spores and vegetative cells in acid media simulating human stomach. *Journal of Applied Microbiology* 97(1): 214-219.
- Clear, R.M., S.K. Patrick, R. Wallis and T.K. Turkington. 2002. Effect of dry heat treatment on seed-borne *Fusarium graminearum* and other cereal pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology* 24(4): 489-498.
- Dutsadee, N., A. Klaewkla and A. Suankamkong. 2014. Value creation of substandard longan. Research report submitted to the office of agricultural research and extension, Maejo University. [in Thai]
- Dutsadee, N., S. Jindarak, T. Rattanadechanakin, Y. Sutatmalee and U. Samaksaman. 2012. Potential of ethanol and biogas production from substandard longan. Research report submitted to the office of agricultural research and extension, Maejo University. [in Thai]
- Khajaroen, S. and Y. Khajaroen. 2017. Non-ruminant animal feed and feeding. Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. [in Thai]
- Klaewkla, A., N. Homdoun and K. Sasujit. 2012. Study of activated carbon production from substandard longan by fluidized steam system. Research report, The office of agricultural research and extension, Maejo University. [in Thai]
- Lücking, G., M. Stoeckel, Z. Atamer, J. Hinrichs and M. Ehling-Schulz. 2013. Characterization of aerobic spore-

- forming bacteria associated with industrial dairy processing environments and product spoilage. *International Journal of Food Microbiology* 166(2): 270-279.
- Maikhiagklang, M. 2001. Improvement and evaluation of screw press material grinder for chili grinding. Master's thesis in Engineering, Khon Kaen University. [in Thai]
- Maneewan, B., T. Buajoom, P. Puranaphong and Y. Nanta. 2011. Study of chemical composition, nutrient digestibility, and available energy of longan seeds and kernel in indigenous chickens. The 7th Naresuan Research Conference. Naresuan University. Phitsanulok, Thailand pp. 343-348. [in Thai]
- Mugabi, R., K.M. Eskridge and C.L. Weller. 2017. Comparison of experimental designs used to study variables during hammer milling of corn bran. *Transactions of the ASABE* 60(2): 537-544.
- Mugabi, R., Y.B. Byaruhanga, K.M. Eskridge and C.L. Weller. 2019. Performance evaluation of a hammer mill during grinding of maize grains. *Agricultural Engineering International: Commission Internationale du Genie Rural Journal* 21(2): 170-179.
- Office of Agricultural Economics. 2022. Agricultural economic information by product, year 2022. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. [in Thai]
- Sruamsiri, S. and P. Sinman. 2015. Chemical composition and *in vitro* digestibility of longan processing waste. *Journal of Research and Academic Agriculture* 32 (2): 50-58. [in Thai]
- Suankamkong, A., D. Pengon, P. Kohsungnoen and T. Chaichana. 2012. Production of granulated organic fertilizer from waste in the production process of ethanol and biogas from substandard longan. Research report, The office of agricultural research and extension, Maejo University. [in Thai]
- Surbkar, S., R. Suwitchayanon, B. Hirunsathitporn, P. Klinkhajorn, S. Yodkam, B. Maneewan and R. Surbkar. 2020. Study of longan seed shell separation process for using kernel as animal feed ingredient. *Chiang Mai University Journal of Engineering* 27(3): 191-204. [in Thai]
- Thai Feed Mill Association. 2023. Monthly feed ingredient prices. Available: <https://www.thaifeedmill.com/price-2/>. (September 10, 2023). [in Thai]
- Thai Industrial Standards Institute. 2015. Community product standard dried longan flesh TIS 1385/2015. Ministry of Industry, Bangkok. [in Thai]
- Thai Industrial Standards Institute. 2020. Thai industrial standard TIS 3089-2020 shearing type grinders. Ministry of Industry, Bangkok. [in Thai]
- Wattanacheera, L., N. Lapan, W. Chatchawan C. and A. Thanyacharoen. 2016. Development of biomass fuel briquettes from rice straw mixed with longan waste. *Journal of Research and Development KMUTT* 39(2): 239-255. [in Thai]