



<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pajrmu/index>

บทความวิจัย

การประเมินลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟาง เพื่อใช้ประโยชน์เป็นอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

อติชาต ทองนำ* กฤษณะ หมีนัม อชฎาธร สนั่นนาม ณวรรณพร จิรารัตน์ จันทรา สโมสร อุษณีย์ภรณ์ สร้อยเพชร สมบัติ พนเจริญสวัสดิ์ พรศิลป์ แก่นท้าว ศัทธิยา เต๊ะจะ และ ปุณณะวุฒม์ ยะมา

สาขาวิชาสัตวศาสตร์และประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ จัตุรัส อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 ประเทศไทย

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 7 มิถุนายน 2568 แก้ไข: 18 กรกฎาคม 2568 ตอบรับการตีพิมพ์: 4 สิงหาคม 2568 ตีพิมพ์ออนไลน์: 2 กันยายน 2568 คำสำคัญ ฟางข้าว เห็ดฟาง การหมัก สัตว์เคี้ยวเอื้อง อาหารหยาบ	การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟาง (<i>Volvariella volvacea</i>) เพื่อใช้เป็นอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยมี 5 กลุ่มทดลอง กลุ่มละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ฟางข้าวหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน (RSVV OD, 7D, 14D, 21D และ 28D) โดยนำฟางข้าวที่แช่น้ำจนอิ่มตัวผสมกับก้อนเชื้อเห็ดฟางในอัตราส่วน 2:1 นำใส่แม่พิมพ์ที่รองก้นด้วยพลาสติกกันน้ำแล้วใช้ผ้าใบคลุม เมื่อครบกำหนดทำการประเมินลักษณะทางกายภาพโดยพิจารณาจากสี กลิ่น เนื้อสัมผัส การเจริญของเส้นใย และค่า pH รวมถึงวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุดิบแห้ง โปรตีนหยาบ ไนโตรเจน เยื่อใย (NDF และ ADF) เถ้า และอินทรีย์วัตถุ ผลการศึกษาพบว่าฟางข้าวหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 28 วัน (RSVV 28D) ส่งผลให้ฟางข้าวมีลักษณะทางกายภาพดีที่สุด (คะแนนรวม 18 คะแนน) มีค่าความเป็นกรด-ด่างเหมาะสม (pH 7.70) และมีผลต่อเปลี่ยนแปลงค่าองค์ประกอบทางเคมีทางเคมี โดยมีผลทำให้ค่าวัตถุดิบแห้งและไขมันเพิ่มขึ้นสูงสุด ขณะที่ค่าของเยื่อใย NDF และ ADF ลดลง แสดงให้เห็นถึงการย่อยสลายโครงสร้างลิกโนเซลลูโลสโดยเอนไซม์จากเชื้อเห็ด นอกจากนี้ ปริมาณโปรตีนหยาบเพิ่มขึ้นในช่วง 21 วันก่อนลดลงในวันที่ 28 วัน ($p < 0.01$) ดังนั้น การหมักฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 21-28 วัน ถือเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟางสำหรับใช้เป็นอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้องอย่างมีประสิทธิภาพ

บทนำ

การขาดแคลนอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้องในช่วงฤดูแล้งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตในประเทศไทย โดยเฉพาะเมื่อปริมาณอาหารหยาบไม่เพียงพอ และพื้นที่สำหรับปลูกพืชอาหารสัตว์มีจำกัด เกษตรกรจึงหันมาใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีปริมาณมาก เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ฟางถั่วเหลือง และยอดอ้อย เป็นแหล่งอาหารหยาบทดแทน (Wachirapakorn, 1998) โดยเฉพาะฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้เนื่องจากหาได้ทั่วไป เก็บรักษาง่าย และมีต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตาม ฟางข้าวมีคุณค่าทางอาหารต่ำ โดยเฉพาะโปรตีนที่มีเพียง 2-4 เปอร์เซ็นต์ (Wanapat et al., 2009) อีกทั้งยังประกอบด้วยเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber; NDF) และสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fiber; ADF) รวมถึงเถ้าในระดับสูง ซึ่งมีค่าประมาณ 80.10, 55.80 และ 13.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Thongnum et al., 2018) เยื่อใย NDF ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน ส่วนเยื่อใย ADF ประกอบด้วยเซลลูโลสและลิกนิน (Ishler & Varga, 2016) ซึ่งเยื่อใยเหล่านี้รวมตัวกันเป็นโครงสร้างลิกโนเซลลูโลส

(lignocellulose) ที่มีความซับซ้อนและย่อยสลายได้ยาก (Ruangwised, 2015) ส่งผลให้การกินได้และการย่อยได้ของวัตถุดิบลดลงเมื่อปริมาณเยื่อใย ADF ในพืชอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น (Gitiyanuphap et al., 2021) สอดคล้องกับรายงานของ Pornjantuek et al. (2015) รายงานว่าลิกโนเซลลูโลสมีความสัมพันธ์ในทางลบกับการย่อยได้และยังขัดขวางการดูดซึมโภชนาการอื่น ๆ อีกด้วย (Pawongrat, 2015) ดังนั้นการใช้ฟางข้าวเป็นอาหารหยาบเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ อาจทำให้สัตว์ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอ น้ำหนักลดลง และอาจเกิดปัญหาด้านระบบสืบพันธุ์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ฟางข้าว ควรมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีทางกายภาพ เคมี หรือชีวภาพ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารและทำให้สัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น (Khongphetsak et al., 2019)

ในปัจจุบันมีการนำเชื้อราเข้ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอาหารหยาบอย่างแพร่หลาย เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีที่อาจตกค้างในสัตว์และผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดย Klaitanoad et al. (2022) พบว่าการหมักต้น

*Corresponding author

E-mail address: Atichat_T@rmu.ac.th (A. Thongnum)

Online print: 2 September 2025 Copyright © 2025. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2025.21>

ข้าวโพดแห้งด้วยหัวเชื้อแบบเหลวที่ผลิตเอนไซม์ย่อยเยื่อใยพืชและจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของต้นข้าวโพดแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Morgavi et al. (2000) ที่ใช้เอนไซม์จากเชื้อรา *Trichoderma longibrachiatum* ร่วมกับเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนของโคนมในการหมักพืชอาหารสัตว์ พบว่าช่วยเพิ่มค่าโภชนาการและการย่อยได้ นอกจากนี้ ยังมีการใช้เห็ดราซึ่งจัดเป็นเชื้อราชั้นสูงในการปรับปรุงอาหารหยาบ โดย Srichana et al. (2016) รายงานว่าการหมักฟางข้าวด้วยเห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาวเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน รวมทั้งค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนของฟางข้าว ขณะเดียวกัน Nopparatmaitree et al. (2017) พบว่าการหมักเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเพาะเห็ดสามารถเพิ่มปริมาณไขมันพลังงานรวม โปรตีนหยาบ อินทรีย์วัตถุ และเอมิเซลล์ลูโลส ในขณะที่ลดปริมาณเซลล์ลูโลส ลิกนิน และเยื่อใยหยาบลง ซึ่ง Fazaeli & Masoodi (2006) ได้ชี้ว่าวัสดุเหล่านี้เป็นลิกโนเซลลูโลสที่มีเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ภายนอกเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์อะไมเลส เซลลูเลส และไซแลนเนส ตลอดจนพบไฮฟาและเศษเห็ดบางส่วนในก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้ง (Ko et al. 2005) ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้มีความสามารถในการย่อยลิกนิน (Tripathi et al., 2011) ทั้งนี้ เชื้อราและเห็ดรามีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ได้หลายชนิดและในปริมาณมาก โดยเฉพาะเชื้อเห็ดซึ่งสามารถผลิตเอนไซม์ย่อยเยื่อใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tellez-Tellez et al., 2013)

เห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) เป็นเห็ดที่เป็นที่รู้จักและนิยมใช้ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ อีกทั้งยังมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ที่ช่วยย่อยสลายโครงสร้างลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทำให้เส้นใยพืชย่อยได้ยาก เห็ดฟางยังจัดเป็นฟัรโบไดคัลที่มีคุณสมบัติในการต้านจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (Giannenas et al., 2010) ต่อด้านไวรัส (Geo et al., 2003) ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และลดความเครียด รวมถึงช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล (Bobek & Galbavy, 1999) และเพิ่มปริมาณการกินอาหารและกระตุ้นการเจริญเติบโตของสัตว์ (Kacharem, 2004) นอกจากนี้ การเพาะเห็ดฟางมีข้อดีคือ วิธีการง่าย ใช้เวลาสั้น ต้องการพื้นที่และอุปกรณ์น้อย และลงทุนต่ำ ทำให้เห็ดฟางเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการพัฒนาอาหารสัตว์สำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง ทั้งนี้ การนำเห็ดฟางมาใช้ในการหมักฟางข้าวไม่เพียงช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารเท่านั้น อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นได้อย่างคุ้มค่า นำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงสัตว์ และเพิ่มรายได้สุทธิของเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้องโดยตรง ในการสร้างรายได้เสริมจากการเพาะเห็ดควบคู่กันไป ซึ่งถือเป็นแนวทางหนึ่งในการยกระดับความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจในภาคเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหมักฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟาง เพื่อประเมินลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวหมัก สำหรับใช้เป็นอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง อันเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการที่จะช่วยแก้ไขปัญหาอาหารหยาบคุณภาพต่ำอย่างยั่งยืน รวมถึงยกระดับความมั่นคงทางอาหารและเศรษฐกิจในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เป็นการทำการทดลอง โดยใช้บริเวณห้องปฏิบัติการโรงนมที่ 1 สาขาสัตวศาสตร์ ในการหมักฟางข้าว (Rice Straw; RS) ด้วยเชื้อเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*; VV) เพื่อใช้เป็นอาหารหยาบในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และใช้ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ อาคารเกษตรปลอดภัย ในการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบทางเคมี โดยทั้งสองสถานที่นี้ อยู่ในสังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ วิทยาลัยเขตพิษณุโลก โดยการศึกษาในครั้งนี้ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยมีกลุ่มทดลองคือระยะเวลาในการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟางที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ได้แก่ 0 วัน (0 D), 7 วัน (7 D), 14 วัน (14 D), 21 วัน (21 D) และ 28 วัน (28 D) ประกอบด้วย 5 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

กลุ่มการทดลองที่ 1 RSVV 0 D คือ ฟางข้าวผสมเชื้อเห็ดฟางที่ไม่หมัก 0 วัน (กลุ่มควบคุม)

กลุ่มการทดลองที่ 2 RSVV 7 D คือ ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 7 วัน

กลุ่มการทดลองที่ 3 RSVV 14 D คือ ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 14 วัน

กลุ่มการทดลองที่ 4 RSVV 21 D คือ ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 21 วัน

กลุ่มการทดลองที่ 5 RSVV 28 D คือ ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 28 วัน

วิธีการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟาง

กระบวนการปรับปรุงฟางข้าวด้วยวิธีการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟาง การทดลองในครั้งนี้ ดัดแปลงมาจาก Tudsas et al. (2018) โดยนำฟางข้าวมาบดให้มีขนาดเล็ก 2 เซนติเมตร จากนั้นทำการแช่ฟางข้าวในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ฟางข้าวเกิดการอืดตัวและอ่อนนุ่ม เมื่อแช่น้ำครบ 24 ชั่วโมง นำฟางข้าวที่แช่น้ำจนอืดตัวแล้วมาผสมกับเชื้อในอัตราส่วน 2:1 คลุกเคล้าให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำฟางข้าวที่ทำการผสมเชื้อเห็ดเสร็จเรียบร้อยแล้วใส่แม่พิมพ์ที่รองกันด้วยพลาสติกกันน้ำ โดยแม่พิมพ์มีขนาดสูง 15 เซนติเมตร ฐานกว้าง 15 เซนติเมตร ด้านบนกว้าง 15 เซนติเมตร และมีความยาว 35 เซนติเมตร ทำการเว้นระยะห่างระหว่างกองประมาณ 15 เซนติเมตร โดยแต่ละกองมีน้ำหนักประมาณ 200 กรัม จากนั้นใช้ผ้าใบดำคลุมให้เรียบร้อย รักษาความชื้น และอุณหภูมิภายในแปลงเพาะเห็ด เมื่อครบ 3 วันทำการถ่ายเทอากาศโดยเปิดผ้าใบดำเพื่อระบายอากาศ เอาอากาศบริสุทธิ์เข้าไปที่เพาะเห็ด และกองเพาะเห็ดฟางจะมีเส้นใยเกิดขึ้นมาจากเชื้อของเห็ดฟาง โดยมีลักษณะคล้ายใยแมงมุมหรือปูยฝ้ายสีขาว ทำการตัดเส้นใยโดยใช้กระบอกล้างจาน ฉีดพ่นน้ำเป็นละอองน้ำระยะห่างประมาณ 30 เซนติเมตร เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิให้ต่ำลง และเป็นการเพิ่มความชื้นภายในกองเพาะเห็ดฟาง เพื่อถึงระยะเวลากำหนด ทำการประเมินคุณภาพลักษณะทางกายภาพของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟาง และสุ่มเก็บ

ตัวอย่างฟางข้าวที่หมักด้วยเชื้อเห็ดฟาง เพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี

วิธีการตรวจลักษณะทางกายภาพของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟาง

เมื่อครบระยะเวลาการหมักตามที่กำหนด ได้ทำการประเมินลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟาง เนื่องจากเป็นการหมักในสภาวะใช้ออกซิเจน (Aerobic Fermentation) จึงไม่สามารถประเมินลักษณะทางกายภาพของพืชหมักได้โดยตรงเหมือนในกรณีของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงได้จัดทำแบบฟอร์มสำหรับการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

โดยดัดแปลงจากแนวทางของ Department of Livestock Development (2001); Ratneetoo (2009); Gummert et al. (2020) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบ ได้แก่ สี (Color), กลิ่น (Odor), เนื้อสัมผัส (Texture), การเจริญของเส้นใยเห็ดฟาง (Mycelium growth) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) (Table 1) จากนั้นได้เชิญบุคลากรและนักศึกษาศาสตร์สัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตพิษณุโลก จำนวน 10 คน เป็นผู้ประเมินลักษณะทางกายภาพดังกล่าว (Sutheewasinnon & Pasunon, 2016)

Table 1 Physical Characteristics Evaluation of Fermented Rice Straw with *Volvariella volvacea*.

Score	Physical scoring details				
	Color	Odor	Texture	Mycelium Growth	pH
1	Yellow (like fresh straw), no color change	Strong sour/rotten smell	Hard, coarse, difficult to tear like fresh straw	No mycelium observed	≤ 5.0 (inhibits beneficial microbes)
2	Brownish yellow, slight color change	Slight sour or musty smell	Slightly softened, but still hard	Sparse mycelium in spots	5.1–5.5 (early fermentation)
3	Moderate brown, starting to darken	Slight fungal/mushroom-like smell	Moderately softened, easier to tear	Partial mycelium growth	5.6–6.5 (suitable for mushroom growth)
4	Dark brown, similar to compost	Mild fermented smell, like soil	Soft and crumbly	Moderate mycelium throughout pile	6.6–7.5 (ideal for microbial activity and decomposition)
5	Dark brown-black, clearly decomposed	Clean smell, like well-composted fertilizer	Friable, like composted soil	Dense mycelium throughout the straw	> 7.5 (possibly due to protein-degrading microbes or complete composting)

Note: Score 25-21 = Excellent, Score 20-16 = Good, Score 15-11 = Fair, Score ≤ 10 = Poor.

Adapted from Department of Livestock Development (2001); Ratneetoo (2009); Gummert et al. (2020)

วิธีการตรวจองค์ประกอบทางเคมีของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยกระบวนการหมักร่วมกับเชื้อเห็ดฟาง

หลังจากการเก็บตัวอย่างฟางข้าวและฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเชื้อเห็ดฟางในระยะ 7, 14, 21 และ 28 วัน และนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 จะถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อทำให้แห้งโดยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหาคำนวนหา ค่าวัตถุแห้ง (dry matter; DM) ส่วนที่ 2 จะถูกสุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้มีความละเอียด โดยบดผ่านตะแกรงขนาด 0.2 มิลลิเมตร ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาเถ้า (Ash), ไขมัน (Ether extract, EE), โปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) ตามวิธีของ AOAC (1990) และองค์ประกอบของเยื่อใยได้แก่ เยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber; NDF) และเยื่อใยที่ไม่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Neutral detergent fiber; ADF) ตามวิธีของ Van Soest et al. (1991)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากนั้นนำข้อมูลค่าสังเกตมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ Analysis of variance (ANOVA) ด้วยคำสั่ง Proc ANOVA ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) โดยมีแบบพหุทางคณิตศาสตร์ คือ $Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$ เมื่อ Y_{ij} = ค่าสังเกตจากทรีทเมนต์ที่ i เมื่อ $j = 1-5$ ซ้ำที่ j เมื่อ $j = 1-3$, μ = ค่าเฉลี่ยรวม (Overall mean), T_i = อิทธิพลเนื่องจากทรีท

เมนต์ที่ i เมื่อ i = ฟางข้าวที่ผ่านการหมักด้วยเชื้อเห็ดฟางเป็นเวลา 0, 7, 14, 21 และ 28 วัน, ϵ_{ij} = ความแปรปรวน (Error) ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ตามวิธีการของ Steel & Torrie (1980) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ ($p < 0.05$) และทดสอบแนวโน้มโดยวิธีออร์ทोगอนอลโพลีโนเมียล (orthogonal polynomial) ตามระยะเวลาการหมักฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟาง โดยการใช้ Proc GLM โดยใช้โปรแกรมทางสถิติของ SAS (SAS, 1996)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ผลของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟางต่อลักษณะทางกายภาพ

ผลการประเมินลักษณะทางกายภาพของฟางข้าวหมักด้วยเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) ที่ระยะเวลา 7, 14, 21 และ 28 วัน (RSV 7 D, RSV 14 D, RSV 21 D และ RSV 28 D) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างชัดเจนเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น (Table 2) โดยในระยะเวลา 7 วัน (RSV 7 D) ฟางข้าวมีลักษณะสีเหลือง กลิ่นเหม็นเน่าเล็กน้อย เนื้อสัมผัสแข็ง ไม่พบการเจริญของเส้นใยเห็ด ค่า pH เท่ากับ 6.60 ได้คะแนนรวม 8 คะแนน จัดอยู่ในระดับต่ำ (Poor) ที่ระยะเวลา 14 วัน (RSV 14 D) ฟางข้าวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองปนน้ำตาล มีกลิ่นอับชื้น เนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น พบการเจริญของเส้นใยเห็ดในระดับเล็กน้อย ค่า pH อยู่ที่ 6.80 ได้คะแนนรวม 12 คะแนน อยู่ในระดับปานกลาง (Fair) ส่วนที่ระยะเวลา 21 วัน (RSV 21 D) พบว่าฟางข้าวมีสีน้ำตาลปานกลาง กลิ่นร่าเื่อน ๆ

เนื้อสัมผัสนุ่มและร่วน พบการเจริญของเส้นใยเห็ดในระดับปานกลาง ค่า pH เท่ากับ 7.20 ได้คะแนนรวม 16 คะแนน จัดอยู่ในระดับดี เช่นเดียวกับ ระยะเวลาการหมักที่ 28 วัน (RSVV 28 D) ฟางข้าวมีลักษณะทางกายภาพที่พัฒนาชัดเจนที่สุด โดยมีสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นหมักอ่อน ๆ เนื้อสัมผัสฟูและเบา แต่ไม่พบการเจริญของเส้นใยเห็ด ค่า pH เพิ่มขึ้นเป็น 7.70 และได้คะแนนรวม 18 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับดี (Good) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การหมักฟางข้าวด้วยเห็ดฟางในระยะเวลา 28 วัน (RSVV 28 D) ให้ลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นคล้ายปุ๋ยหมักอ่อน ๆ และเนื้อสัมผัสที่ฟูเบา ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากฟางข้าวหมักในระยะเวลา 7 และ 14 วัน ที่ยังคงมีสีเหลือง กลิ่นเหม็นเน่าหรืออับชื้น และเนื้อสัมผัสแข็ง สะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่ยังไม่สมบูรณ์ โดยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Ratneetoo (2009) ที่ระบุว่า การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักจะทำให้วัสดุเปลี่ยนจากสภาพเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ย มีสีน้ำตาลเข้มขึ้นไปถึงดำ เนื่องจากเกิดการสลายโครงสร้างลิกนินและเซลลูโลส เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเชื้อราอย่างชัดเจน ในขณะเดียวกัน ค่า pH ของวัสดุหมักมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา โดยมีแนวโน้มลดลงในช่วงต้นของการหมัก ซึ่งอาจเกิดจากการสร้างกรดอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนบางชนิด และค่า pH เพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงปลายการหมักซึ่งช่วงหลักมีการเปิดผ้าคลุมเพื่อรับออกซิเจนแก่เชื้อเห็ด โดยจากการรายงานของ Sornprasert (1996) ที่ระบุว่า หลังจากการเจริญของเส้นใยเห็ดฟาง ค่า pH จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้สารอาหารในรูปของแอมโมเนียและแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม (Wood et al., 1988) ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้พบเส้นใยเห็ดฟาง

ในช่วง 14–21 วัน และไม่พบในวันที่ 28 สะท้อนถึงวงจรการเจริญเติบโตของเชื้อเห็ดฟาง สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีค่า pH ประมาณ 6-7 (Akinyele & Adetuyi (2005) ซึ่งช่วง pH ดังกล่าวช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ของเห็ดฟาง รวมถึงการดูดซึมวิตามินและกรดอะมิโนบางชนิด ส่งผลให้การใช้อาหารในวัสดุหมักมีประสิทธิภาพ (Sornprasert, 1996) อย่างไรก็ตาม การที่ไม่พบการเจริญของดอกเห็ดฟางในระยะสุดท้ายของการหมัก อาจเนื่องมาจากการไม่ได้เสริมแหล่งอาหารเพิ่มเติมที่เหมาะสม เช่น รำละเอียดหรือวัสดุที่มีธาตุอาหารสูง มีเพียงฟางข้าวบดเท่านั้นที่ใช้เป็นวัสดุตั้งต้น ทำให้ไม่มีสารอาหารเพียงพอสำหรับการเปลี่ยนจากเส้นใยเป็นดอกเห็ด

นอกจากนี้ แม้ฟางข้าวหมักในระยะเวลา 28 วันจะมีการเปลี่ยนสีเป็นน้ำตาลเข้มถึงดำ และไม่พบการเจริญของเส้นใยเห็ดในช่วงปลายของการหมัก แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดจากการปนเปื้อนของเชื้อราที่สร้าง *aflatoxin* เช่น *Aspergillus flavus* หรือ *A. parasiticus* ได้โดยตรง เนื่องจากวัสดุตั้งต้นที่ใช้คือฟางข้าว ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันต่ำมาก จึงไม่เอื้อต่อการเจริญของเชื้อราดังกล่าว (Van Soest, 2006; Reddy et al., 2010) อีกทั้งจากรายงานของ D'Mello (2003) ยังระบุว่าเห็ดฟางเป็นหนึ่งในเห็ดเศรษฐกิจที่มีแนวโน้มการปนเปื้อนสารพิษจากเชื้อราต่ำมาก เนื่องจากวัสดุเพาะที่นิยมใช้ เช่น ฟางข้าว และสภาพแวดล้อมในระหว่างหมักไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อกลุ่มที่ผลิต *aflatoxin* อีกด้วย นอกจากนี้ Reddy et al., (2010) ยังพบว่า เห็ดฟางมีแนวโน้มลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อรา *Aspergillus* ได้ โดยกลไกการแย่งชิงสารอาหารและพื้นที่ในการเจริญเติบโตของเชื้อ จึงอาจกล่าวได้ว่าการหมักฟางข้าวด้วยเห็ดฟางในสภาวะที่เหมาะสมยังมีความปลอดภัยเพียงพอในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์

Table 2 Evaluation of physical characteristics of rice straw fermented with *Volvariella volvacea*.

Items	RSVV 7 D	RSVV 14 D	RSVV 21 D	RSVV 28 D
Color	1; Yellow	2; Brownish yellow	3; Moderate brown	4; Dark brown
Odor	1; Rotten smell	2; Musty smell	3; Slight fungal	4; Mild fermented smell
Texture	1; Hard	2; Moderately softened	3; Soft and crumbly	4; Friable
Mycelium Growth	1; No mycelium	2; Partial mycelium growth	3; Moderate mycelium	1; No mycelium
pH	4; 6.60	4; 6.80	4; 7.20	5; 7.70
Total	8; Poor	12; Fair	16; Good	18; Good
Illustration				

Note: Score 25-21 = Excellent, score 20-16 = Good, score 15-11 = Fair, score ≤ 10 = Poor.

ผลของการปรับปรุงฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟางต่อค่าองค์ประกอบทางเคมี ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าวหมักด้วยเห็ดฟาง (*Volvariella volvacea*) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อกลุ่มที่หมักในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้แก่ RSVV 0 D, RSVV 7 D, RSVV 14 D, RSVV 21 D และ RSVV 28 D โดยฟางข้าวหมักที่ระยะเวลา 28 วัน (RSVV 28 D) มีเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้งสูงที่สุด (28.61 เปอร์เซ็นต์) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นกำลังสอง (quadratic, $p < 0.01$) และมีปริมาณไขมัน (ether extract) สูงสุด (2.26 เปอร์เซ็นต์) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญใน

รูปแบบเชิงเส้น (linear, $p < 0.01$) ตามระยะเวลาหมัก (Table 3, Figure 1) สำหรับเยื่อใย NDF และ ADF พบว่ามีค่าลดลงเป็นแนวโน้มในลักษณะเชิงเส้นโค้งกำลังสองและเชิงเส้นตรง (linear และ quadratic, $p < 0.01$) ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำสุดที่ RSVV 28 D (73.44 และ 56.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ทั้งนี้ สะท้อนถึงการย่อยสลายโครงสร้างเยื่อใยของฟางข้าวโดยจุลินทรีย์จากเชื้อเห็ดฟาง ซึ่งเป็นเชื้อราชั้นสูงที่มีศักยภาพในการสร้างเอนไซม์ เช่น ลิกโนเซลลูเลส (Lignocellulolytic enzymes) ที่สามารถสลายลิกนินและเซลลูโลสในวัสดุหมักได้ (Van Soest, 2006) ดังนั้น การลดลงของ ADF

ประกอบกับลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น เนื้อสัมผัสที่ฟูเบาและสีที่เข้มขึ้น ก็อาจเป็นสิ่งบ่งชี้ทางอ้อมถึงการลดลงของลิกนินในวัสดุหมักได้ (D'Mello, 2003)

นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณเถ้าเพิ่มขึ้นสูงสุดใน RSVW 28 D (20.72 เปอร์เซ็นต์) ส่งผลให้สารอินทรีย์ (OM) ลดลงต่ำที่สุด (79.28 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเทียบกับ RSVW 7 D (85.49 เปอร์เซ็นต์) และ RSVW 0 D (87.50 เปอร์เซ็นต์) ($p<0.01$) โดยมีแนวโน้มแบบเส้นตรง (linear, $p<0.01$) ในทางกลับกัน โปรตีนหยาบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นรูปโค้งกำลังสี่ (quartic, $p<0.01$) โดยมีค่าสูงสุดใน RSVW 21 D (7.67 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการหมักฟางข้าวด้วยเห็ดฟางช่วยปรับปรุงคุณค่าทางอาหาร โดยเฉพาะการลดเยื่อใย และเพิ่มไขมันกับโปรตีน สอดคล้องกับการรายงานของ Srichana et al. (2016) รายงานว่าการหมักฟางข้าวด้วยเห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า และเห็ดขอนขาวเป็นเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน รวมทั้งค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบ อินทรีย์วัตถุ และโปรตีนของฟางข้าว สอดคล้องกับการรายงานของ Nopparatmaitree et al. (2017) รายงานว่า การหมักเศษวัสดุเพาะเห็ดสามารถเพิ่มไขมัน พลังงาน โปรตีนหยาบ อินทรีย์วัตถุ และเอมิเซลลูโลส ในขณะที่ลดเซลลูโลส ลิกนิน และเยื่อใยอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการศึกษาของ Fazaeli & Masoodi (2006) ระบุว่าเห็ดฟางเป็นจุลินทรีย์ลิกโนเซลลูโลสที่ผลิตเอนไซม์ภายนอกเซลล์ เช่น อะไมเลส เซลลูเลส และไซแลนเนส

ซึ่งสามารถย่อยลิกนินได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tripathi et al., 2011) อีกทั้งในระยะการสร้างไมซีเลียม เห็ดจะสร้างเส้นใยไฮฟาในลักษณะไรซอยด์ (Rhizoid) แทงเข้าสู่เนื้อเยื่อของพืชเพื่อดูดซึมสารอาหาร พร้อมปล่อยเอนไซม์ย่อยลิกโนเซลลูโลส ทำให้โครงสร้างเยื่อใยแตกออกและเอื้อต่อการย่อยต่อของแบคทีเรีย อีกทั้งยังสามารถย่อย hemicellulose-lignin complex และเพคตินได้ (Wachirapakorn, 1998) นอกจากนี้เห็ดหลายชนิดรวมถึงเห็ดฟางสามารถผลิตเอนไซม์ย่อยเยื่อใยได้ในปริมาณมาก (Tellez-Tellez et al., 2013) เป็นผลทำให้เยื่อใยใน NDF และ ADF ลดลง ส่วนการเพิ่มขึ้นของโปรตีนหยาบในช่วง 21 วัน อาจเป็นผลมาจากการเจริญของจุลินทรีย์และการสะสมของโปรตีนชีวภาพจากเส้นใยเห็ด (Belewu & Babalola, 2009) โดยจากการรายงานของ Ko et al. (2005) รายงานว่าโปรตีนในวัสดุเพาะเห็ดที่เพิ่มขึ้น เป็นผลจากเศษเส้นใยของเห็ดที่ยังตกค้างอยู่ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าโปรตีนในระยะเวลา 28 วัน มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ 21 วัน อาจเป็นผลจากการย่อยสลายโดยเอนไซม์โปรตีเอส หรือการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแอมโมเนีย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wanapat et al. (2009) ที่พบว่าการหมักอาหารหยาบมีแนวโน้มเพิ่มโปรตีนในช่วงแรกก่อนจะลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป นอกจากนี้การเพิ่มของเถ้าในช่วงท้ายอาจเกิดจากการย่อยสลายเนื้อเยื่อฟางและการสะสมแร่ธาตุ ส่งผลให้สัดส่วนของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ที่ลดลงจากกระบวนการย่อยสลาย

Table 3 Evaluation of chemical composition of rice straw fermented with *Volvariella volvacea*.

Items	Dry matter	chemical composition (% of dry matter)					
		Crude protein	Ether extract	NDF	ADF	Ash	Organic matter
RSVW 0 D	23.70 ^b	2.83 ^d	1.78 ^d	80.75 ^a	66.79 ^a	12.50 ^e	87.50 ^a
RSVW 7 D	20.99 ^c	5.85 ^c	1.91 ^c	77.36 ^b	63.03 ^b	14.52 ^d	85.49 ^b
RSVW 14 D	21.24 ^c	6.22 ^{bc}	2.05 ^b	75.29 ^c	60.81 ^b	16.23 ^c	83.77 ^c
RSVW 21 D	24.25 ^b	7.67 ^a	2.12 ^b	73.56 ^d	56.99 ^c	17.80 ^b	82.20 ^d
RSVW 28 D	28.61 ^a	6.70 ^b	2.26 ^a	73.44 ^d	56.85 ^c	20.72 ^a	79.28 ^e
SEM	0.93	0.55	0.05	0.92	1.29	0.93	0.94
P-value	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Polynomial trend							
Linear	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Quadratic	<0.01	<0.01	0.70	<0.01	0.14	0.09	0.19
Cubic	0.41	0.62	0.62	0.43	0.48	0.06	0.14
Quartic	0.79	<0.01	0.39	0.22	0.30	0.49	0.62

^{a-e} Means with different superscripts in row are significantly different ($p<0.05$), SEM = standard error of the mean,

NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber.

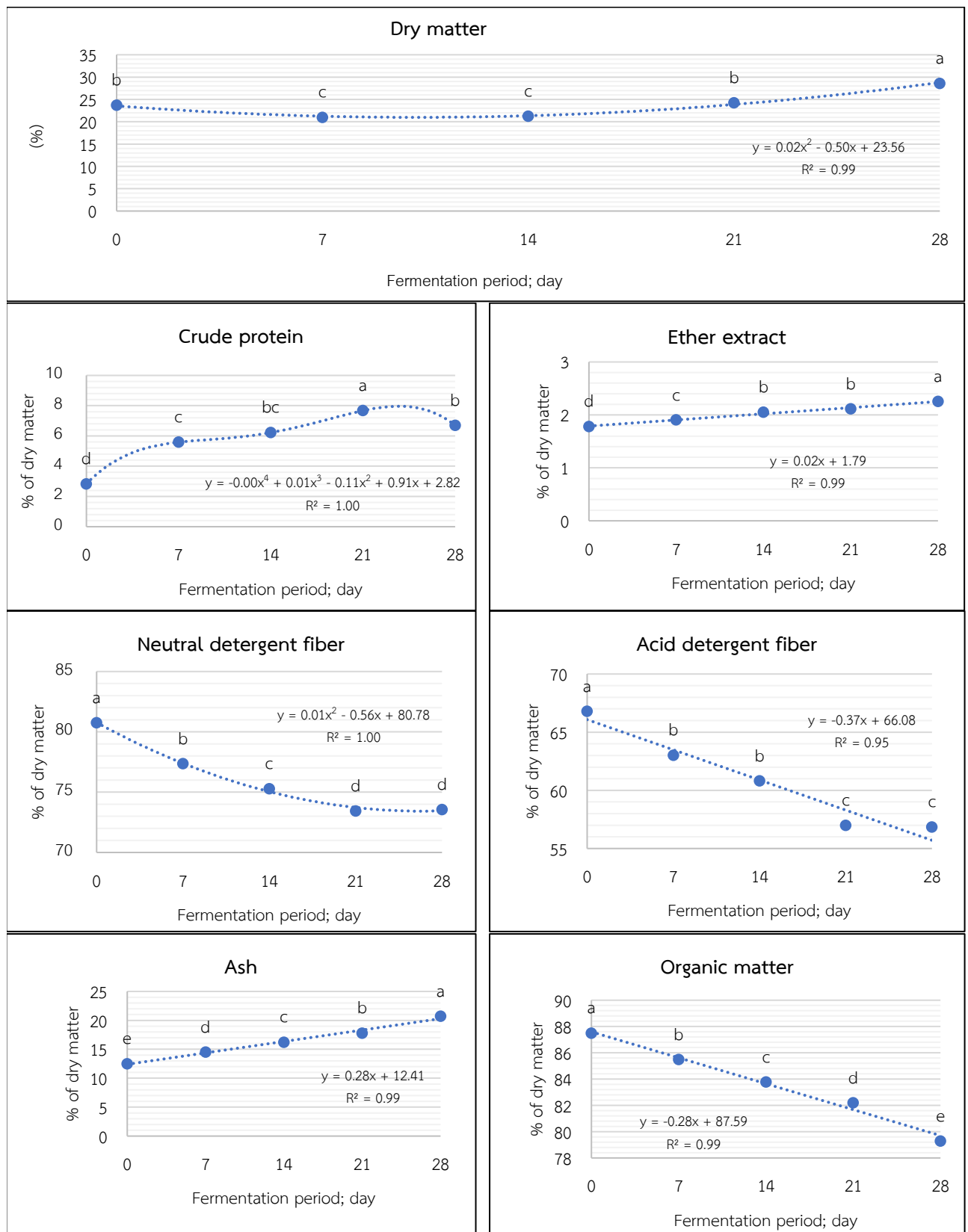


Figure 1 Polynomial trend analysis of the chemical composition of fermented rice straw with *Volvariella volvacea*.

สรุปผลการวิจัย

การหมักฟางข้าวด้วยเห็ดฟางในช่วงเวลา 21–28 วัน เป็นช่วงที่เหมาะสมในการพัฒนาคุณภาพฟางข้าวด้วยเชื้อเห็ดฟาง เนื่องจากให้คะแนนคุณภาพทางกายภาพในระดับ “ดี” อีกทั้งยังมีวัตถุแห้งและไขมันเพิ่มขึ้น เยื่อใยลดลง และมีระดับโปรตีนหยาบสูงขึ้น ส่งผลให้ฟางข้าวหมักมีศักยภาพในการใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับสัตว์เคี้ยวเอื้อง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อยอดทั้งในรูปแบบ *in vitro* และ *in vivo* เพื่อประเมินค่าการย่อยได้ การกินได้ และผลต่อสมรรถนะสัตว์ รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ระหว่างการหมักเพื่ออธิบายกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างเป็นระบบ ตลอดจนวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบุคลากรและนักศึกษา สาขาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตพิษณุโลก ที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามและให้คำปรึกษาในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้ ขอขอบคุณนักศึกษานิรยวิชาปัญหาพิเศษทางสัตวศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนัสพันธ์ นพรัตน์โมตรี เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้แนวคิดและแรงบันดาลใจในการออกแบบและดำเนินการทดลองในครั้งนี้

References

- Akinyele, B. J., & Adetuyi, F. C. (2005). Effect of agrowastes, pH and temperature variation on the growth of *Volvariella volvacea*. *African Journal of Biotechnology*, 4(12), 1390–1395.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1990). *Official methods of analysis* (15th ed.). Virginia, United States: Association of Official Agricultural Chemists.
- Belewu, M. A., & Babalola, F. T. (2009). Nutrient enrichment of waste agricultural residues after solid state fermentation using *Rhizopus oligosporus*. *Journal of Applied Biosciences*, 13, 695–699.
- Bobek, P., & Galbavý, S. (1999). Hypocholesterolemic and antiatherogenic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rabbits. *Nahrung*, 43(5), 339–342. doi: 10.1002/(SICI)1521-3803(19991001)43:5<339::AID-FOOD339>3.0.CO;2-5.
- D'Mello, J. P. F. (2003). *Food safety: Contaminants and toxins*. Oxfordshire, United Kingdom: CABI Publishing.
- Department of Livestock Development. (2001). *Silage*. Bangkok, Thailand: Department of Livestock Development, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Fazaeli, H., & Masoodi, A. R. T. (2006). Spent wheat straw compost of *Agaricus bisporus* mushroom as ruminant feed. *Asian-Australasian Journal of Animal Bioscience*, 19(6), 845–851. doi: 10.5713/ajas.2006.845.
- Geo, F. C., Savelkoulz, H. F. J., Kwakkel, R. P., Williams, B. A., & Verstegen, M. W. A. (2003). Immunoactive, medicinal properties of mushroom polysaccharides and their potential use in chicken diets. *World's Poultry Science Journal*, 59(4), 427–440. doi:10.1079/WPS20030026.
- Giannenas, I., Tontis, D., Tsalie, E., Chronis, E., Doukas, D., & Kyriazakis, I. (2010). Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology and microbiota in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 89(1), 78–84. doi: 10.1016/j.rvsc.2010.02.003.
- Gitiyanuphap, J., Foiklang, S., Paserakung, A., Cherdthong, A., & Chantaprasarn, N. (2021). Effect of cassava top pellet replacement for soybean meal in concentrate on feed intake, digestibility and blood metabolite in lactating dairy cows. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 49(4), 974–983. doi: 10.14456/kaj.2021.87. (in Thai)
- Gummert, M., Hung, N. V., Chivenge, P., & Douthwaite, B. (2020). *Sustainable rice straw management* (1st ed.). Cham, Switzerland: Springer.
- Ishler, V., & Varga, G. (2016). *Carbohydrate nutrition for lactating dairy cattle*. Department of Dairy and Animal Science, The Pennsylvania State University. Accessed June 15, 2025. Retrieved from <https://extension.psu.edu/carbohydrate-nutrition-for-lactating-dairy-cattle>.
- Kacharem, S. (2004). *Feeds and feeding for non-ruminant animals*. Khon Kaen, Thailand: Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. (in Thai)
- Khongphetsak, P., Thongnum, A., Sarkaew, W., & Wachirapakorn, C. (2019). Effect of improving rice straw with the steam method and calcium oxide on gas production kinetics and nutrient degradability. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(Suppl. 2), 223–230. (in Thai)
- Klaitanoat, S., Mangpung, Y., Wongsansree, C., Sorachakura, C., Ruenwai, R., & Danmek, K. (2022). Maize-crop stubble nutrition improvement using fibrolytic fungus *Trichoderma viride* UPLS01 culture and lactic acid bacteria. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 50(4), 1162–1173. doi: 10.14456/kaj.2022.98. (in Thai)
- Ko, H. G., Park, S. H., Kim, S. H., Park, H. G., & Park, W. M. (2005). Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species. *Folia Microbiologica*, 50(2), 103–106. doi: 10.1007/bf02931456.

- Morgavi, D. P., Beauchemin, K. A., Nsereko, V. L., Rode, L. M., Iwaasa, A. D., Yang, W. Z., McAllister, T. A., & Wang, Y. (2000). Synergy between the ruminal fibrolytic enzymes and enzymes from *Trichoderma longibrachiatum*. *Journal of Dairy Science*, 83(6), 1310–1321. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74997-6.
- Nopparatmaitree, M., Seanpoom, P., Panthong, A., & Kitpipit, W. (2017). Nutritive value and modified byproduct from mushroom cultivation as feedstuff. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 45(Suppl. 1), 715–721. (in Thai)
- Pawongrat, R. (2015). Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, 2(1), 143–157. (in Thai)
- Pornjantuek, B., Wachirapakorn, C., Cherdthong, A., Suphrap, N., & Wongnen, C. (2015). Effect of cassava pulp from ethanol production in total mixed ration on feed intake, digestibility and growth performance of meat goat. *Journal of Mahanakorn Veterinary Medicine*, 10(2), 81–97. (in Thai)
- Ratneetoo, B. (2009). Organic fertilizer improves deteriorated soil. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 1(2), 1–16. (in Thai)
- Reddy, K. R. N., Salleh, B., Saad, B., Abbas, H. K., Abel, C. A., & Shier, W. T. (2010). An overview of mycotoxin contamination in foods and its implications for human health. *Toxin Reviews*, 29(1), 3–26. doi: 10.3109/15569541003598553.
- Ruangwised, B. (2015). *The production of bio-ethanol from biomass using biotechnology* [Research report]. Bangkok, Thailand: Department of Agriculture. (in Thai)
- Statistical Analysis System (SAS). (1996). *SAS/STAT user's guide: Statistics (Version 6.12)*. North Carolina, United States: SAS Institute Inc.
- Somprasert, R. (1996). Study on the factors for mycelial growth of straw mushroom (*Volvariella volvacea*) in liquid media. *Food*, 26, 98–107. (in Thai)
- Srichana, D., Thiengpimol, P., & Suttitham, W. (2016). Nutrients and digestibility of rice straw fermented with different mushrooms. In *Proceedings of the 13th KU-KPS Conference: Following in the Footsteps of the King—Kamphaeng Saen Agriculture* (pp. 1985–1989). Nakhon Pathom, Thailand: Office of Educational Administration and Student Affairs, Kamphaeng Saen Campus, Kasetsart University. (in Thai)
- Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Sutheewasinnon, P., & Pasunon, P. (2016). Sampling strategies for qualitative research. *Parichart Journal*, 29(2), 31–48. (in Thai)
- Téllez-Téllez, M., Diaz, R., & Sánchez, C. (2013). Hydrolytic enzymes produced by *Pleurotus* species. *African Journal of Microbiology Research*, 7(4), 276–281. doi: 10.5897/AJMR12x.016.
- Thongnum, A., Khongphetsak, P., Sarkaew, W., Poojit, S., Potirahong, S., & Wachirapakorn, C. (2018). Effects of fiber feed improvement with urea on chemical composition and kinetic ruminal gas production of both rice straw and sugar cane top. *Journal of Agricultural Research and Extension*, 35 (Suppl. 2), 126–134. (in Thai)
- Tripathi, A., Upadhyay, R. C., & Singh, S. (2011). Mineralization of mono-nitrophenols by *Bjerkandera adusta* and *Lentinus squarrosulus* and their extracellular ligninolytic enzymes. *Journal of Basic Microbiology*, 51(6), 635–649. doi: 10.1002/jobm.201000436.
- Tudses, N., Toonputta, A., Chaemchamrat, S., Phungbunhan, K., Chanataepaporn, P., Tohkwankaew, J., Wongsat, T., & Leangthitikanachana, S. (2018). Effects of vermicompost on quality of paddy straw mushroom *Volvariella volvacea* by short stack. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 36(3), 81–90. (in Thai)
- Van Soest, P. J. (2006). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). New York, United States: Cornell University Press.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2.
- Wachirapakorn, C. (1998). *Ruminant nutrition*. Khon Kaen, Thailand: Faculty of Agriculture Khon Kaen University. (in Thai)
- Wanapat, M., Polyach, S., Boonnop, K., Mapato, C., & Cherdthong, A. (2009). Effect of treating rice straw with urea and calcium hydroxide on intake, digestibility, rumen fermentation, and milk yield of dairy cows. *Livestock Science*, 125(2–3), 238–243. doi: 10.1016/j.livsci.2009.05.001.
- Wood, D. A., Matcham, S. E., & Fermor, T. R. (1988). Production and function of enzymes during lignocellulose degradation. In F. Azdrazil & P. Reioniger (Eds.), *Treatment of lignocellulolyses* (pp. 44–45). London, United Kingdom: Elsevier Applied Science.

Research article

Evaluation of the physical characteristics and chemical composition of rice straw fermented with *Volvariella volvacea* for utilization as a roughage source in ruminants

Atichat Thongnum* Kitsana Meene Adsadawut Sanannam Nawannaporn ChiraratJuntra Samosorn Usaneeporn Soipeth Sombat Phanacharoensawat Pornsin Keanthao Kattareeya Taja and Pun nawut Yama

Department of Animal science and Fishery, Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna (Phitsanulok Campus) Muang District, Phitsanulok Province, 65000 Thailand

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 7 June 2025

Revised: 18 July 2025

Accepted: 4 August 2025

Online published: 2 September 2025

Keyword*Rice straw**Volvariella volvacea**Fermentation**Ruminants**Roughage*

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the physical characteristics and chemical composition of rice straw fermented with *Volvariella volvacea* (straw mushroom) for use as roughage in ruminants. A completely randomized design (CRD) was employed with five fermentation periods: 0, 7, 14, 21, and 28 days (RSVV 0D, 7D, 14D, 21D, and 28D), each with three replications. Water-saturated rice straw was mixed with mushroom spawn at a 2:1 ratio, packed into molds lined with waterproof plastic, and covered with a black tarp. Physical characteristics, including color, odor, texture, mycelial growth, and pH, were assessed. Chemical composition parameters such as dry matter (DM), crude protein (CP), ether extract (EE), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), ash, and organic matter (OM) were analyzed. The results revealed that fermentation for 28 days (RSVV 28D) yielded the highest physical quality score (18 points) with an appropriate pH of 7.70. DM and EE contents were significantly increased, while NDF and ADF levels were reduced, indicating degradation of lignocellulosic structures by fungal enzymes. Crude protein content increased until day 21, then decreased on day 28 ($p < 0.01$). In conclusion, fermenting rice straw with *V. volvacea* for 21–28 days is the most effective duration for improving its quality as roughage for ruminants.

*Corresponding author

E-mail address: Atichat_T@rmutl.ac.th (A. Thongnum)

Online print: 2 September 2025 Copyright © 2025. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2025.21>