ผลของการใช้เชื้อเห็ดบางชนิดต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลัง

Effects of White Rot Fungi on Increasing the Nutritional Value of Cassava Starch Wastes

กิตติ วิรุณพันธุ์[1*] กฤษฎา บูรณารมย์[1] สุรีรัตน์ บุตรพรหม[1]
รัชตาภรณ์ ลุนสิน[1] กิตติศักดิ์ ผุยชา[2] และ เสกสรร ชินวัง[2]
Kitti Wirunpan[1]*, Khitsada Buranarom[1], Sureerat Butprom[1], Ratchataporn Lunsin[1], Kittisak Puycha[2] and Sakesan Chinwang[2]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ผลเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนะในกากแป้งมันสำปะหลัง โดยวิธีเพาะเลี้ยงแบบ Solid state fermentations ด้วยเชื้อเห็ด 4 ชนิด คือ เชื้อเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont) เชื้อเห็ดนางฟ้า(*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing) เชื้อเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และ เชื้อเห็ดกระด้าง (*Lentinus polychrous* Lev.) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ประกอบด้วย 5 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ คือ กลุ่มที่ 1 กากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดขอนขาว กลุ่มที่ 2 กากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดนางฟ้า กลุ่มที่ 3 กากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดนางรม กลุ่มที่ 4 กากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดกระด้าง และ กลุ่มที่ 5 กลุ่มควบคุม (กากแป้งมันสำปะหลัง) แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส (เชื้อเห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรม) และ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (เห็ดขอนขาว และเห็ดกระด้าง) เป็นเวลา 28 วัน เก็บข้อมูลทางโภชนะของโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์ทุกสัปดาห์ ผลการทดลองพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เชื้อเห็ดชนิดต่างๆ เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลังมีคุณค่าทางโปรตีนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดขอนขาว มีค่าเท่ากับ 5.18 mg/ml เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.72 กรัมต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกับน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่ากลุ่มที่ใช้กากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดทั้ง 4 ชนิด มีค่าน้ำตาลรีดิวซ์สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการใช้เชื้อเห็ดทั้ง 4 ชนิด เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลังส่งผลต่อการเพิ่มของโภชนะของโปรตีน และน้ำตาลรีดิวซ์

คำสำคัญ: กากแป้งมันสำปะหลัง เห็ด โปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์

Received: 28 October 2024; Accepted: 17 December 2024

[1] สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จ. อุบลราชธานี 34000

[1] Division of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani Rajabhat University. Ubon Ratchathani. 34000

[2] สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จ. อุบลราชธานี 34000

[2] Division of Agriculture, Faculty of Agriculture, Ubon Ratchathani Rajabhat University. Ubon Ratchathani. 34000

* Corresponding author: kitti.w@ubru.ac.th ; ka-ga@hotmail.com

Abstract

The experiment employed Completely Randomized Design which consisted of 5 groups and in each group contained 3 replications. Group 1 was casava waste fermented with *L. squarrosulus.* Group 2 was casava starch waste fermented with *P. sajor-caju* (Fr.) Sing. Group 3 was casava starch waste fermented with *P. ostreatus.* Group 4 was casava waste fermented with *L. polychrous* Lev. Group 5 (control) was casava starch waste incubated at 27 degree Celsius (*P. sajor-caju* (Fr.) Sing. and *P. ostreatus* spawn), and 35 degree Celsius (*L. squarrosulus* and *L. polychrous* spawn) for 28 days. The experiment employed Completely Randomized Design which consisted of 5 groups and in each group contained 3 replications. Group 1 was casava starch waste fermented with *L. squarrosulus.* Group 2 was casava starch waste fermented with *P. sajor-caju* (Fr.) Sing. Group 3 was casava starch waste fermented with *P. ostreatus.* Group 4 was casava starch waste fermented with *L. polychrous* Lev. Group 5 (control) was casava starch waste incubated at 27 degree Celsius (*P. sajor-caju* (Fr.) Sing. and *P. ostreatus* spawn), and 35 degree Celsius (*L. squarrosulus* and *L. polychrous* spawn) for 28 days. It was found that casava starch wasted fermented with *L. squarrosulus* had 5.18 mg/ml protein while the control group had 0.72 g/kg protein. Protein contents and reducing sugar data were collected every week. The research found that all the experimental groups fermented with mushroom spawns contained significantly higher protein content ($P<0.01$). This also occurred with reducing sugar. The 4 groups fermented with mushroom spawns had significantly higher reducing sugar ($P<0.01$) than control group. We can conclude from the experiment results that by using all 4 mushroom species fermented in casava starch waste can increase protein and reducing sugar content.

Keywords: cassava starch waste, mushroom, protein, reducing sugar

บทนำ

มันสำปะหลัง จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 10.56 ล้านไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 34.6 ล้านตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2567) โดยแบ่งผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังได้ 2 ประเภทคือ ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังตากแห้ง (Dried Cassava) มีการผลิตประมาณ 8–9 ล้านตันต่อปี และผลิตภัณฑ์แป้งมันสำปะหลัง โดยแบ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังดิบ (Native

Starch) สามารถใช้บริโภคโดยตรงในครัวเรือน (เพื่อประกอบ/ปรุงอาหาร) และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified Starch) มีการผลิตประมาณ 5–6 ล้านตันต่อปี (เชฐชุดา, 2561) นอกจากนั้นมันสำปะหลังยังใช้ สำหรับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ และอุตสาหกรรมผลิตเอทธานอล (กล้าณรงค์ และคณะ, 2550) กากแป้งมันสำปะหลังเป็นผลพลอยได้จากโรงงานที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังใช้ในการบริโภคหรือในอุตสาหกรรม ผลิตแป้งโดยใช้หัวมันสำปะหลังสดมาล้างน้ำแล้วโม่ให้แหลกจะได้น้ำแป้ง และกากจากน้ำแป้ง ก็ทำการแยกแป้งออกจากน้ำ โดยการทิ้งไว้ให้แป้งตกตะกอน หรือเข้าเครื่องแยกโดยตรง แป้งที่ได้นำมาทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนแล้วบดให้ละเอียด เป็นแป้งมันสำปะหลัง หัวมันสำปะหลังสด 1 กิโลกรัมได้แป้งมันสำปะหลังเฉลี่ย 200 กรัม และได้กากแป้งมันสำปะหลัง 400–600 กรัม (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2523) โดยปัจจุบันได้มีการนำกากแป้งมันสำปะหลังมาเพิ่มคุณค่าเพื่อผลิตเป็นอาหารสัตว์ ด้วยการหมักแบบ solid state fermentation เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเกษตร (Eliopoulos et.al., 2024) โดยเสกสรร และคณะ (2556) ได้นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืชมาเป็นวัสดุเพาะเห็ดนางรมได้ เช่นเดียวกับ Wirunpan et.al. (2019) ได้ศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลัง โดยหมักแบบ solid state fermentation โดยใช้เชื้อเห็ดนางรมและเห็ดขอนขาว จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเห็ดทั้งสองสามารถ เพิ่มโปรตีนและน้ำตาลรีดิวซ์ได้ เช่นเดียวกับ wang et.al. (2023) ได้ทดลองใช้เชื้อเห็ดกลุ่ม white rot fungi เลี้ยงในสภาวะ solid state fermentation โดยใช้ฟางข้าวบาเลย์ เป็นระยะเวลา 21 วัน จากผลการทดลองพบว่าโภชนะโปรตีนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.01$)

เห็ดเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม white rot fungi มีความสามารถในการย่อยสลายลิกนินได้สูง และสามารถเพิ่มคุณค่าโปรตีนในฟางข้าว หรือหญ้าแฝกได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกเชื้อเห็ดขอนขาว เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม และเห็ดกระด้าง หมักด้วยวิธี Solid state fermentation เพื่อเพิ่มโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังจากโรงงานผลิตแป้งมัน

วิธีการวิจัย

การทดลองนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม ๆ ละ 3 ซ้ำ โดยแบ่งเป็น กลุ่มที่ 1 กลุ่มใช้เชื้อเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont.) เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลัง กลุ่มที่ 2 กลุ่มใช้เชื้อเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing) เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลัง กลุ่มที่ 3 กลุ่มใช้เชื้อเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลัง กลุ่มที่ 4 กลุ่มใช้เชื้อเห็ดกระด้าง (*Lentinus polychrous* Lev.) เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลัง และ กลุ่มที่ 5 กลุ่มควบคุมกากแป้งมันสำปะหลัง

การเพาะเลี้ยงเชื้อเห็ดในอาหารวุ้นเป็นระยะเวลา 14 วัน แล้วจึงใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะเพื่อนำเชื้อเห็ดไปเพาะเลี้ยงต่อในกากแป้งมันสำปะหลัง

เตรียมขวดแก้วทดลองแบบมีฝาปิดขนาด 250 มิลลิลิตร นำกากแป้งมันสำปะหลังสดใส่ลงในขวดจำนวน 50 กรัมต่อขวด นำไปนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นถ่ายย้ายเชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดลงในขวดที่บรรจุกากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ โดยทำการเพาะเลี้ยงเชื้อเห็ดในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส (เชื้อเห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรม) และ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (เห็ดขอนขาว และเห็ดกระด้าง) เป็นระยะเวลา 28 วัน แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดทั้ง 4 ชนิด ถูกนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณโปรตีน วิเคราะห์โดยวิธี Lowry method (Lowry et al., 1951) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ วิเคราะห์โดยวิธี DNS method (Miller, 1959)

นำข้อมูลที่ได้ในแต่ละกลุ่มทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant

Difference (LSD) (Steel and Torrie, 1980) และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป R-Statistic (R core Team, 2021)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ปริมาณโปรตีน

จากการทดลองใช้เชื้อเห็ด 4 ชนิด หมักในกากแป้งมันสำปะหลังแบบ solid state เป็นระยะเวลา 28 วัน ผลการจากทดลองดังตารางที่ 1และภาพที่ 1

ในระยะ 7 วันพบว่า การใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดกระด้างมีปริมาณโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือเชื้อเห็ดขอนขาว เชื้อเห็ดนางรม, เชื้อเห็ดนางฟ้า และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 3.32, 3.25, 2.74, 1.14 และ 0.90 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ในระยะ 14 วันพบว่า การใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดขอนขาวมีปริมาณโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือเชื้อเห็ดกระด้าง, เชื้อเห็ดนางรม, เห็ดนางฟ้า และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 4.15, 3.86, 3.82, 3.49 และ 0.73 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

ในระยะ 21 วันพบว่าการใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดขอนขาวมีปริมาณโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือ เชื้อเห็ดนางรม, เชื้อเห็ดกระด้าง, เชื้อเห็ดนางฟ้า และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 5.18, 3.90, 3.86, 3.17 และ 0.72 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

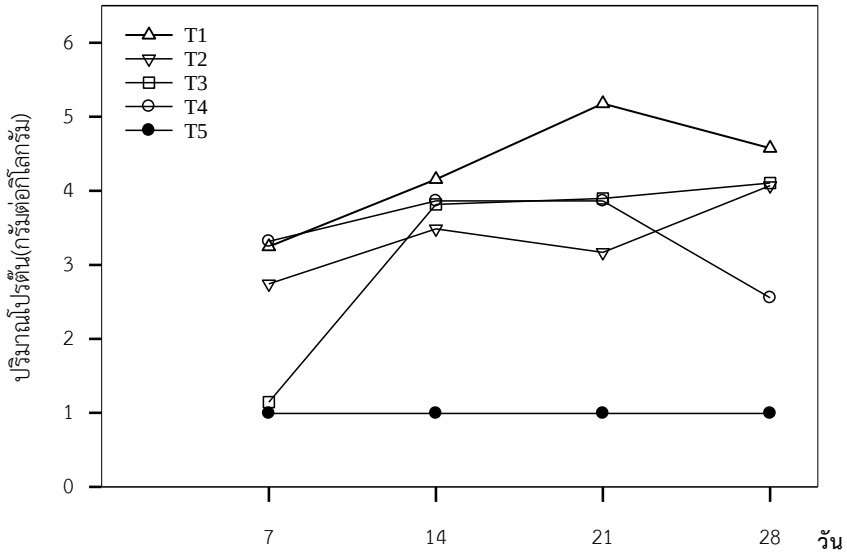
ในระยะ 28 วันพบว่าการใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของโปรตีนในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดขอนขาวมีปริมาณโปรตีนสูงสุด รองลงมาคือ เชื้อเห็ดนางรม, เชื้อเห็ดนางฟ้า, เชื้อเห็ดกระด้าง และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 4.57, 4.11, 4.07, 2.56 และ 0.93 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าการใช้ *P. ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. และ *L. squarrosulus* Mont. สามารถเพิ่มโปรตีนให้กับวัสดุเพาะทุกชนิดได้ โดยกลุ่มที่ใช้เชื้อ *L. squarrosulus* Mont. เพาะเลี้ยงในวัสดุเพาะกากแป้งมันสำปะหลัง 90 % ผสมปลายข้าว 10 % มีค่าโปรตีนที่เพิ่มขึ้นสูงสุด 12.79 % สอดคล้องกับ Akinfemi et al. (2010) ซึ่งได้ใช้ *P. ostreatus* และ *P. pulmonarius* เพาะเลี้ยงกับต้นข้าวฟ่างเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เป็นระยะเวลา 21 วัน พบว่าโปรตีนรวมสูงขึ้นจาก 2.54 % เป็น 4.54 % และ 4.59 % ตามลำดับ ส่วน Bentil et al. (2015) พบว่าสามารถเพิ่มคุณค่าของเปลือกโกโก้ โดยใช้ *P. ostreatus* เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ มีปริมาณโปรตีนรวมเพิ่มขึ้นจาก 21.00 % เป็น 26.17 % เช่นเดียวกับ Bento et al. (2014) ได้ศึกษาผลของ White Rot ต่อส่วนประกอบทางเคมี และการย่อยสลายวัสดุทางการเกษตรคือขี้เลื่อยและชานอ้อย โดยใช้ *P. ostreatus* เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 60 วัน พบว่าโปรตีนเพิ่มจาก 0.91 % เป็น 2.49 % ในวัสดุที่เป็นขี้เลื่อย และชานอ้อยจาก 0.39 % เป็น 2.99 % ขณะที่ Shrivastava et al. (2011) ได้ใช้ white rot เพาะเลี้ยงในฟางข้าวฟ่างเพื่อเป็นอาหารโค โดยการทดลอง ใช้ *P. ostreatus* เพาะเลี้ยงแบบ solid state fermentation เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าโปรตีนเพิ่มจาก 3.37 % เป็น 5.08 % และยังพบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงจาก 77.60 % เป็น 40.45 % เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วนงานของ Darwish et al. (2012) ได้ทดลองเพิ่มคุณค่าของต้นข้าวโพดโดยใช้ *P. ostreatus* โดยทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าโปรตีนเพิ่มขึ้นจาก 3.6 % เป็น 8.15 % โดย Hossain et al. (2009) การเพิ่มขึ้นของโปรตีนดูเหมือนว่าจะมาจากการเจริญของเส้นใย และเอนไซม์ที่ผลิตออกมา นอกจากนั้น Mahal et al. (2013) ความสัมพันธ์ของน้ำตาลรีดิวซ์ และ ไนโตรเจน ในวัสดุเพาะเห็ด *P. ostreatus* และ *L. edodes* จะเพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อทั้งสองชนิดเจริญเติบโต แต่ในทางตรงกันข้ามน้ำหนักวัตถุแห้งของวัสดุเพาะจะลดลง (Petre, 2016)

ตารางที่ 1 ผลของการใช้เชื้อเห็ดบางชนิดต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังต่อค่าของปริมาณโปรตีน (กรัมต่อกิโลกรัม)

กลุ่มการทดลอง	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
T1.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont.)	3.25[a]	4.15[a]	5.18[a]	4.57[a]
T2.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing)	2.74[b]	3.49[c]	3.17[c]	4.07[a]
T3.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*)	1.14[c]	3.82[b]	3.90[b]	4.11[a]
T4.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดกระด้าง (*Lentinus polychrous* Lev.)	3.32[a]	3.86[b]	3.86[b]	2.56[b]
T5.กากแป้งมันสำปะหลัง	0.90[c]	0.73[d]	0.72[d]	0.93[c]
P-value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CV(%)	4.83	3.55	5.03	10.97
SEM	0.06	0.07	0.10	0.20

หมายเหตุ:ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันยกกำลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ (p=0.05)



ภาพที่ 1 ค่าของปริมาณโปรตีนของกลุ่มการทดลองทั้งห้ากลุ่ม

ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

จากการทดลองใช้เชื้อเห็ด 4 ชนิด เพาะเลี้ยงในกากแป้งมันสำปะหลังแบบ solid state เป็นระยะเวลา 28 วัน ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 2 พบว่า

ในระยะ 7 วันพบว่า การใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อน้ำตาลรีดิวซ์ในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดนางฟ้ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด รองลงมาคือเชื้อเห็ดกระด้าง, เชื้อเห็ดขอนขาว, เชื้อเห็ดนางรม และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 0.97, 0.68, 0.56, 0.55 และ 0.34 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ในระยะ 14 วันพบว่าการใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อน้ำตาลรีดิวซ์ในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดนางฟ้ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด รองลงมาคือเชื้อเห็ดกระด้าง, เชื้อเห็ดขอนขาว, เชื้อเห็ดนางรม และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 1.90, 1.84, 1.81, 1.60 และ 0.34 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

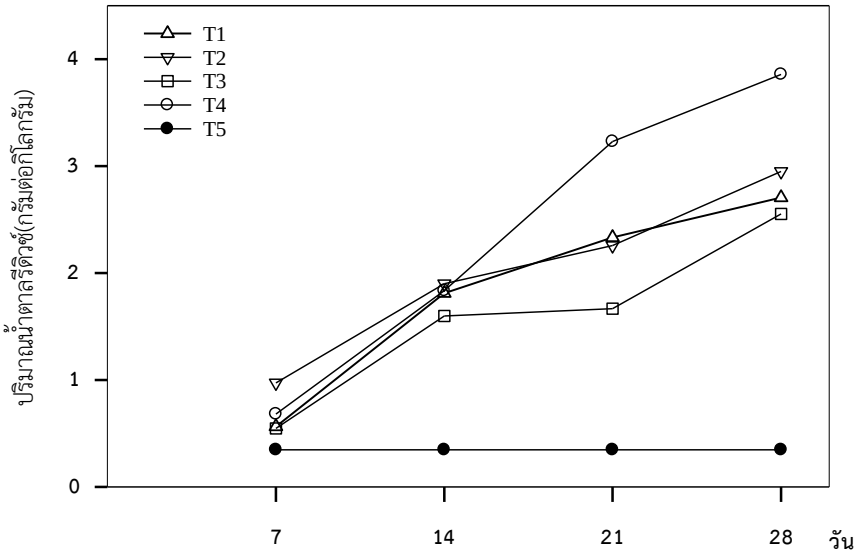
ในระยะ 21 วันพบว่าการใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อน้ำตาลรีดิวซ์ในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดกระด้างมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุดรองลงมาคือ เชื้อเห็ดขอนขาว, เชื้อเห็ดนางฟ้า, เชื้อเห็ดนางรม และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 3.23, 2.33, 2.26 ,1.67 และ 0.34 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ในระยะ 28 วันพบว่าการใช้เชื้อเห็ดทั้งสี่ชนิดส่งผลต่อน้ำตาลรีดิวซ์ในกากแป้งมันสำปะหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.01$) โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อเห็ดกระด้างมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูงสุด รองลงมาคือเชื้อเห็ดนางฟ้า, เชื้อเห็ดขอนขาว, เชื้อเห็ดนางรม และกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเท่ากับ 3.86, 2.95, 2.71, 2.55 และ 0.34 กรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลของการใช้เชื้อเห็ดบางชนิดต่อการเพิ่มคุณค่าทางโภชนะของกากแป้งมันสำปะหลังต่อค่าของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(กรัมต่อกิโลกรัม)

กลุ่มการทดลอง	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน
T1.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดขอนขาว (*Lentinus squarrosulus* Mont.)	0.56^{b}	1.81^{ab}	2.33^{b}	2.71^{c}
T2.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดนางฟ้า (*Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing)	0.97^{a}	1.90^{a}	2.26^{b}	2.95^{b}
T3.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*)	0.55^{b}	1.60^{b}	1.67^{c}	2.55^{c}
T4.กากแป้งมันสำปะหลัง + เชื้อเห็ดกระด้าง (*Lentinus polychrous* Lev.)	0.68^{b}	1.84^{a}	3.23^{a}	3.86^{a}
T5.กากแป้งมันสำปะหลัง	0.35^{c}	0.35^{c}	0.35^{d}	0.35^{d}
P-value	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
CV(%)	18.01	7.01	9.58	4.29
SEM	0.06	0.06	0.11	0.06

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งเดียวกันยกกำลังด้วยอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ(p=0.05)



ภาพที่ 2 ค่าของน้ำตาลรีดิวซ์ของกลุ่มการทดลองทั้งห้ากลุ่ม

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในวัสดุเพาะทุกชนิดมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เพาะเลี้ยง *P. ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. และ *L. squarrosulus* Mont. อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยพบว่ากลุ่มที่ใช้เชื้อ *L. squarrosulus* Mont. เพาะเลี้ยงในวัสดุเพาะกากแป้งมันสำปะหลัง 70 % ผสมปลายข้าว 30 % มีค่าน้ำตาลรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้นสูงสุด 8.61 % สอดคล้องกับรายงานของ Hossain et al. (2009) ที่ใช้ *P. sajor-caju* เพาะเลี้ยงในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรคือ เปลือกถั่ว, ฟางข้าว, ฟางข้าวสาลี และ ชานอ้อย ทำให้น้ำตาลรีดิวซ์สูงขึ้นกว่ากลุ่มที่ไม่ได้ใช้ เช่นเดียวกับ Adamafio et al. (2011) ได้ใช้ *P. ostreatus* เพาะเลี้ยงในซังข้าวโพดพบว่าน้ำตาลเซลลูโลส เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ในทำนองเดียวกัน Parani et al. (2016) ได้เพิ่มคุณค่าของชานอ้อยโดยการเพาะเลี้ยงด้วย *Pleurotus djamor* การหมักแบบ solid state fermentation พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการเพาะเลี้ยงเพิ่มขึ้น เยื่อใยที่สะสมลดลง ซึ่งอาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ บ่งชี้ว่าเห็ดมีเอ็นไซม์ที่จำเป็นต่อการย่อยสลายลิกโนเซลลูโลส เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงาน (Issaka et al., 2013) เช่นเดียวกับงานของ Darwish et al. (2012) ได้ใช้ *P. ostreatus* และ *Saccharomyces cerevisiae* เพาะเลี้ยงในต้นข้าวโพดทำให้ส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยลดลง นอกจากนั้น Bentil et al. (2012) พบว่าสามารถเพิ่มคุณค่าของเปลือกโกโก้ โดยใช้ *P. ostreatus* เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ทำให้ส่วนประกอบที่เป็นเยื่อใยลดลง

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มคุณค่าของกากแป้งมันสำปะหลังโดยเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดทั้ง 4 ชนิด สามารถเพิ่มโภชนะโปรตีน และ น้ำตาลรีดิวซ์ได้ โดยกลุ่มกากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดขอนขาว สามารถเพิ่มโภชนะโปรตีนได้สูงสุดคือ 5.18 กรัมต่อกิโลกรัม กลุ่มกากแป้งมันสำปะหลังเพาะเลี้ยงด้วยเชื้อเห็ดกระด้าง สามารถเพิ่มได้สูงสุดคือ 3.86 กรัมต่อกิโลกรัม

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เชฐชุดา เชื้อสุวรรณ. 2561. อุตสาหกรรมมันสำปะหลัง แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2561-63. Krungsri Research. ค้นเมื่อ 12 ธันวาคม 2561, https://www.krungsri.com/bank/-getmedia/ bfb705a4-8c65-4a3f-8b05-be65113ce07c/IO_Cassava_180807_TH_EX.aspx'.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2523. มันสำปะหลัง. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9. ค้นเมื่อ 1 มกราคม, 2562, http: //kanchanapisek.or.th/ kp6/sub/book/-book.php?book =5&chap=4&page=cha-p4.htm.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2567. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2566. ค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2567, https://www.oae.go.th/assets/-portals/1/ebookcategory/109_statistic2566/.

เสกสรร ชินวัง, โดม หาญพิชิตวิทยา, กิตติวิรุณพันธุ์, สุกัลยา นันตา, อนัญญา วรรณา. 2565. การลดต้นทุนการผลิตเห็ดนางรมโดยการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและวัชพืชเป็นวัสดุเพาะ. วารสารการเกษตรราชภัฏ.12(1), 12-9.

Adamafio, N., M. Obodai, and B. Brimpong. 2009. Solid state fermentation of maize (*Zea mays*) cob by *Pleurotus ostreatus* strain EM-1: Biopolymer profiles and cellulose degradability. International Journal of Biological and Chemical Sciences. 3(6), 1459–1466.

Akinfemi, A., O. A. Adu, and F. Doherty. 2010. Conversion of sorghum stover into animal feed with white-rot fungi: *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius*. African Journal of Biotechnology. 9(11), 1706–1712.

Bentil, J.A., V.P. Dzogbefia, and F. Alemawor. 2015. Enhancement of the nutritive value of cocoa (*Theobroma cacao*) bean shells for use as feed for animals through a two-stage solid state fermentation with *Pleurotus ostreatus* and *Aspergillus niger*. International Journal of Applied Microbiology and Biotechnology Research 3(2), 20–30.

Bento, C.B.P., J.S. da Silva, M.T. Rodrigues, M.C.M. Kasuya, and H.C. Mantovani. 2014. Influence of white-rot fungi on chemical composition and in vitro digestibility of lignocellulosic agro-industrial residues. African Journal of Microbiology Research. 8(28), 2724–2732.

Darwish, G.A., A. A. Bakr, and M. M. F. Abdallah. 2012. Nutritional value upgrading of maize stalk by using Pleurotus ostreatus and Saccharomyces cerevisiae in solid state fermentation. Annals of Agricultural Sciences. 57(1), 47–51.

Eliopoulos, C., I. Langousi, E. Kougia, G. Saxami, G. Markou, S. A. Haroutounian, and D. Arapoglou. 2024. Solid-state fermentation initiated by *Pleurotus ostreatus* of a cottonseed cake and *Lathyrus clymenum* pericarp mixture: impact on nutritional profile and gossypol content. Applied Sciences. 14(12), 5066.

Hossain, S., M.I. Khalil, M.K. Alam, M.A. Khan, and N. Alam. 2009. Upgrading of animal feed by solid state fermentation by *Pleurotus sajor-caju*. European Journal of Applied Sciences. 1(4), 53–58.

Issaka, J.H., F. Alemawor, and V.P. Dzogbefia. 2013. Bioconversion Impact of Pleurotus ostreatus on the Value of Rice and Groundnut by-products as Feed Resources. Research in Biotechnology. 4(5), 24–30.

Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, and R.J. Randall. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. Journal of Biological Chemistry. 193(1), 265–275.

Miller, G.L. 1959. Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. Analytical Chemistry. 31(3), 426–428.

Parani, K., S. Rajalakshmi, I.T. Selvi, and K. Parvathi. 2016. Biodegradation of sugarcane bagasse treated using white rot fungi. Advances in Biological Research. 10(1), 22–26.

Petre M..2016. Mushroom Biotechnology: Developments and Applications. Waltham Massachusetts: Academic Press.

R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Shrivastava, B., S. Thakur, Y.P. Khasa, A. Gupte, A.K. Puniya, and R.C. Kuhad. 2011. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. Biodegradation. 22(4), 823–831.

Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. New York: McGraw-Hill.

Wang, Y., C. Gou, L. Chen, Y. Liao, H. Zhang, L. Luo, J. Ji, and Y. Qi. 2023. Solid-state fermentation with white rot fungi (*Pleurotus* species) improves the chemical composition of highland barley straw as a ruminant feed and enhances in vitro rumen digestibility. Journal of Fungi. 9(12), 1156.

Wirunpan, K., S. Chinwang, N. Chaikong, and C. Pukahuta. 2019. Increasing nutritional contents of cassava starch wastes using *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) *P. Kumm*. and *Lentinus squarrosulus* Mont. Journal of Pure and Applied Microbiology. 13(1), 117–126.