สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตบีต้า-กลูแคนในดอกเห็ดนางฟ้า
Suitable conditions for production of beta-glucan in oyster mushroom fruiting body

ธนภักษ์ อินยอด[1*], ธนภัทร เติมอารมณ์[1], ชาตรี กอนี[1], สุริมา ญาติโสม[1],
สุจิตรา บัวลอย[1], ปิยะดา เอี่ยมประสงค์[1]
Tanapak Inyod[1*], Thanapat Termarom[1], Chatree Konee[1], Surima Yatsom[1],
Suchitra Bualoi[1], Piyada Eamprasong[1]

Received: 22 May 2021 ; **Revised**: 14 June 2021 ; **Accepted**: 8 July 2021

บทคัดย่อ
สภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิต คุณภาพ และสารสำคัญบีต้า-กลูแคนในเห็ดนางฟ้า เพื่อลดความเสี่ยงจากโรคเก๊าต์ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดนางฟ้าในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย ได้แก่ ชนิดอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิในระดับห้องปฏิบัติการ และวัสดุเพาะจำนวน 7 สูตร สำหรับเปิดดอกในโรงเรือน จากนั้นเก็บผลผลิต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุ และปริมาณสารบีต้า-กลูแคน ผลการทดลองพบว่า เห็ดตระกูลนางฟ้าเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ GYE pH 7 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 ผลิตสารบีต้า-กลูแคนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 55.17 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเห็ดแห้งและเมื่อนำไปเพาะด้วยวัสดุเพาะสูตรขี้เลื่อยผสมฟางข้าว มีคุณภาพดอกเห็ดที่ดีและมีคุณค่าทางโภชนาการในปริมาณสูงกว่าการเพาะจากก้อนเห็ดสูตรอื่นๆ

คำสำคัญ: เห็ดนางฟ้า บีต้า-กลูแคน สภาวะที่เหมาะสม

Abstract
This study examined suitable conditions for enhancing yield quality of fruiting bodies and beta-glucan in Oyster for treatment to reduce the risks of gout attacks. Suitable conditions depend on many factors, such as the strain of mushroom, substrate and growth condition. Mushroom strain were selected and mycelium growth conditions optimized for medium type, pH value, temperature under laboratory conditions and substrates for 7 formulations of mushroom house conditions. After that, mushrooms were harvested and the nutritional value, mineral and beta-glucan contents were analyzed. The results indicate that GYE, pH 7 was a suitable medium for growing oyster mushroom at 25 °C. The TISTR-Agr PPU 009 strain cultivated on a formula (sawdust mixed with rice straw) produced the highest dry mushroom weight (55.17 mg/g). Moreover, it had good quality and higher nutritional value compared with cultivation on other substrates.

Keywords: Oyster Mushroom, beta-glucan, Suitable condition

[1] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ปทุมธานี 12120
[1] Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathum Thani 12120
* corresponding author : E-mail: Tanapuk@tistr.or.th

บทนำ

โรคเก๊าต์เกิดจากภาวะกรดยูริก (uric acid) ในเลือดสูงติดต่อกันเป็นเวลานานจนเกิดเป็นผลึกโมโนโซเดียมยูเรต (monosodium urate crystals) สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการอักเสบปวดบวมอย่างรุนแรง อัตราการเกิดโรคเกาต์ของประชากรทั่วไปคิดเป็น 1-4% โดยพบในผู้ชาย 3-6% และในผู้หญิง 1-2% (Kuo *et al.,* 2015) การกินอาหารที่อุดมด้วยพิวรีน (purines) จากเนื้อสัตว์และอาหารทะเลมากๆ อาจเป็นสาเหตุของการสะสมกรดยูริก ในขณะที่อาหารที่อุดมไปด้วยพิวรีนที่ได้จากพืชผัก เช่น ถั่วหรือพืชตระกูลถั่ว ผลิตภัณฑ์จากนม และเห็ดไม่มีความเสี่ยงต่อภาวะ hyperuriceamia และโรคเกาต์ (Ragab *et al.,* 2017) งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการกินอาหารมังสวิรัติช่วยลดการเจ็บป่วยหรือลดอัตราการตายจากโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อต่างๆ ได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่เป็นมังสวิรัติ รายงานการศึกษาทางวิชาการ รวมทั้งวารสารเห็ดทางการแพทย์นานาชาติ ยืนยันว่าเห็ดทางการแพทย์มีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของเม็ดเลือดขาว โดยการปรับสมดุลการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันให้มีประสิทธิภาพเพื่อการต่อต้านเชื้อโรคและเซลล์มะเร็ง เห็ดหลายชนิดถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ หรือผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมีสารสำคัญที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพได้แก่ สารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น 1, 3-ß-glucan หรือ ß-glucan-protein complex (Yoshioka *et al.,* 1985) นอกจากนี้ Lissandra *et al.* (2010) ได้วิเคราะห์สารสกัดจาก *Caripia montagnei* พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 63.3±4.1% ซึ่งประกอบด้วย บีต้า-กลูแคน (ß-glucans) และโปรตีน 2.2±0.3% จากการทดลองพบว่าสารบีต้า-กลูแคน (50 mg/kg of body weight) มีคุณสมบัติในการลดการอักเสบถึง 75.5±5.2% แต่อย่างไรก็ตามชนิดของเห็ดรวมถึงปริมาณสารสำคัญที่มีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงจากโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรคเก๊าต์ยังมีปริมาณน้อย เนื่องจากการขาดสายพันธุ์เห็ดที่จะส่งเสริม และองค์ความรู้ในเทคโนโลยีการเพาะ ซึ่งในการผลิตเห็ดไม่เพียงแต่จะต้องให้ความสำคัญในด้านผลผลิตเท่านั้น แต่ต้องปรับปรุงในด้านของคุณภาพดอกและปริมาณสารที่มีอยู่ให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยเช่นกัน

ในกระบวนการผลิตเห็ดเชิงพาณิชย์ จำเป็นต้องใช้ก้อนเชื้อเห็ดที่มีคุณภาพ สายพันธุ์เห็ดมีประสิทธิภาพดี เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง วัตถุดิบสำหรับใช้เพาะหาได้ง่าย ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย จากเงื่อนไขข้างต้นนำไปสู่การหาวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการเพาะเห็ด ซึ่งวัสดุเพาะนั้นต้องมีปริมาณเพียงพอตลอดทั้งปี และมีราคาที่ค่อนข้างถูก ยิ่งไปกว่านั้นชนิดของวัสดุเพาะยังมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของเห็ดรวมถึงสารสำคัญที่อยู่ในดอกเห็ดด้วย นอกจากนี้ สารพอลิแซ็กคาไรด์จากดอกเห็ดจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ในการเพาะ รวมถึงอาหารเสริมเป็นอีกปัจจัยที่ช่วยให้การเพาะเห็ดประสบความสำเร็จ ทำให้เส้นใยเห็ดมีการเจริญดี ให้ผลผลิตสูง และดอกเห็ดมีคุณภาพ อาหารเสริมที่ใช้เติมในวัสดุเพาะโดยทั่วไป เช่น น้ำตาลซูโครส แป้ง รำข้าว (Chen, 1998) งานวิจัยของ Hsieh *et al. (*2005) ได้ทดลองเติมสาร เช่น กากน้ำตาล กลูเตนลงในวัสดุเพาะเห็ดหลินจือ พบว่ากากน้ำตาลมีคุณสมบัติที่ช่วยให้เส้นใยเห็ดมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น โชลม จิตรมั่น (2554) ศึกษาประสิทธิภาพของชนิดน้ำหมักชีวภาพ 5 ชนิดต่อผลผลิตเห็ดนางฟ้า โดยเติมลงในวัสดุเพาะ พบว่าประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากมูลค้างคาว มูลไก่ และปลา สามารถเพิ่มผลผลิตของเห็ดนางฟ้าได้ เนื่องจากอุดมด้วยธาตุอาหารและฮอร์โมนต่างๆ ที่เห็ดต้องการ นอกจากวัสดุเพาะและอาหารเสริมแล้ว การเพาะเห็ดยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และแสง แม้ว่าโดยทั่วไปเชื้อราไม่จำเป็นต้องใช้แสงเพื่อผลิตคาร์โบไฮเดรตเหมือนพืช แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างดอกเห็ด (Kuforiji & Fasidi, 2005)

จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดที่มีศักยภาพ ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใย ปริมาณผลผลิต คุณภาพของดอกเห็ด และปริมาณสารที่มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงจากโรคเก๊าต์ (ß-glucan) ในดอกเห็ดรวมถึงคุณค่าทางโภชนาการให้เพิ่มสูงขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรและพัฒนาเทคโนโลยีในการเพิ่มคุณภาพของเห็ดนางฟ้าภูฏานดำในอนาคต

วิธีการศึกษา

1. คัดเลือกสายพันธุ์เห็ดนางฟ้าที่มีศักยภาพในการผลิตสารบีต้า-กลูแคน

รวบรวมสายพันธุ์เห็ดจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ TISTR-Agr PPU001, 002, 003, 004, 006, 007, 009, 010, 011 และ 012 เลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) อายุครบ 7 วัน ขยายลงบนหัวเชื้อข้าวฟ่าง จากนั้นเพาะในก้อนเชื้อสูตรมาตรฐานทั่วไป บ่มที่อุณหภูมิห้อง วัดอัตราการเจริญของเส้นใยทุกวันจนเต็มก้อน คำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ด จากนั้นนำไปเปิดดอก เก็บผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ดเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพอย่างน้อย 3 สายพันธุ์ เพื่อทำการทดลองต่อไป

2. การศึกษาชนิดอาหารและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ออัตราการเจริญของเส้นใยเห็ด

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 5 ชนิด ได้แก่ potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MA), coconut water agar (CW), V8 juice (V8) และ glucose yeast extract agar (GYE)

ปรับค่า pH ให้ได้ pH 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ใช้ cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร เจาะเส้นใยเห็ดบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน วางตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 5 ชนิดที่ระดับ pH ต่าง ๆ บ่มที่อุณหภูมิห้อง วัดอัตราการเจริญของเส้นใยบนจานอาหาร และคำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดเฉลี่ยต่อวัน

3. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด

เจาะเส้นใยเห็ดด้วย cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร ให้เป็นชิ้น ๆ นำไปเลี้ยงบนอาหารชนิด และความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยที่ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 2 ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส วัดอัตราการเจริญของเส้นใยบนจานอาหาร แล้วคำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดเฉลี่ยต่อวัน

4. การศึกษาวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการผลิตดอกเห็ดและเพิ่มปริมาณสารสำคัญในดอกเห็ด

เตรียมหัวเชื้อข้าวฟ่าง โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างล้างและคัดสิ่งเจือปนออก แช่น้ำสะอาด 1 คืน จากนั้นต้มจนสุกพอประมาณ ตากให้แห้งพอหมาด บรรจุลงขวดแก้วปริมาณ 120 กรัม นึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทิ้งให้เย็น จากนั้นนำเชื้อพันธุ์เห็ดที่มีศักยภาพ 3 สายพันธุ์ อายุ 7 วัน ย้ายลงขวดข้าวฟ่างที่เตรียมไว้ บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนเส้นใยเจริญคลุมเต็มเมล็ดข้าวฟ่าง จากนั้นเตรียมวัสดุเพาะเห็ด โดยแบ่งออกเป็น 7 สูตร (Table 1)

Table 1 Cultivation substrates and supplements for 3 strains of Oyster mushroom production

Cultivation substrate and supplements (kg)	Formulations						
	1	2	3	4	5	6	7
Fresh sawdust	100	100	-	50	-	50	100
Old sawdust	-	-	100	-	50	50	-
Straw	-	-	-	50	50	-	-
Rice bran	6	6	6	6	6	6	5
Fermented deep sea fish (cc)	-	200	-	-	-	-	-
Sugar	3	-	3	-	-	3	-
Corn powder	-	3	-	-	-	-	-
Calcium carbonate	1	1	1	1	1	1	1
Gypsum	-	-	-	1	1	-	1
Magnesium sulfate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ชั่งวัสดุและอัตราส่วนอาหารเสริมให้ได้ปริมาณตามสูตร ผสมให้เข้ากัน ปรับความชื้นวัสดุให้ได้ประมาณร้อยละ 60 บรรจุในถุงพลาสติกขนาด 6.5 x 12.5 เซนติเมตร ให้ได้น้ำหนัก 850 กรัมต่อถุง จำนวนสูตรละ 20 ถุง นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเตานึ่ง ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นหยอดเชื้อจากเมล็ดข้าวฟ่างลงในถุงก้อนเชื้อเห็ดแต่ละสูตร ใช้แท่งเหล็กตีปั่นหัวเชื้อเห็ดให้กระจาย ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ฉีดพ่นแอลกอฮอล์เพื่อฆ่าเชื้อบริเวณปากถุง แล้วหยอดหัวเชื้อ 20 เมล็ดต่อก้อน ปิดจุกประหยัดให้สนิท บ่มก้อนเห็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดในทุกวันจนเส้นใยเจริญเต็มก้อน (ประดิภา ประดับไพร และคณะ, 2557)

เมื่อเส้นใยเจริญเต็มก้อนนำไปเปิดดอกในโรงเรือน โดยเปิดจุกประหยัด ใช้แท่งเหล็กแคะเมล็ดข้าวฟ่างบริเวณหน้าก้อนออก รดน้ำให้ความชื้นแก่ก้อนเชื้อเห็ดทุกวันวันละ 3 ครั้ง (เช้า กลางวัน และเย็น) ครั้งละ 10 นาที ให้ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 70 เก็บผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ด โดยการชั่งน้ำหนัก และวัดความกว้างของหมวกดอก ก้านดอก และความยาวก้านดอก จากนั้นฉีกดอกเห็ดให้มีขนาดเล็กลง นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุและสารสำคัญบีต้า-กลูแคนในเห็ด

5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดและแร่ธาตุจากเห็ด

วิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ โดยดำเนินการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดังนี้ การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Crude protein) ตามวิธีของ Kjeldahl (1883) วิเคราะห์

หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Total Carbohydrate) โดยวิธี Phenol sulfuric acid method ดัดแปลงจาก Hansen and Møller (1975) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) ปริมาณกากใย (Crude fiber) และปริมาณเถ้าทั้งหมด (total ash) ตามวิธีของ AOAC (1995) การวิเคราะห์ธาตุอาหารในเห็ด ได้แก่ K, Na, Cu, Ca, Zn, Mn, Mg และ Fe โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ตามวิธีของ Willard *et al.* (2001) ปริมาณฟอสฟอรัส โดย Spectrophotometer Molybdovanadophosphate method (Westerman, 1990) และวิเคราะห์หา Total glucan ด้วยวิธี Mushroom and Yeast beta-glucan assay ของ Megazyme (procedure K-YBGL 09/2019)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลผลทางสถิติ

นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในแบบแผนสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) โดยใช้โปรแกรม SAS (1999-2000) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. สายพันธุ์เห็ดนางฟ้าที่มีศักยภาพในการผลิตสาร บีต้า-กลูแคน

จากการนำเห็ดนางฟ้า 10 สายพันธุ์ ได้แก่ TISTR-Agr PPU001, 002, 003, 004, 006, 007, 009, 010, 011 และ 012 มาทดสอบศักยภาพโดยการเพาะในวัสดุเพาะที่เป็นสูตรมาตรฐานทั่วไป พบว่าเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU009 และ PPU012 มีอัตราการเจริญของเส้นใยในก้อนเชื้อเร็วที่สุด คือ 1.68 เซนติเมตรต่อวัน รองลงมา คือ TISTR-Agr PPU011 มีอัตราการเจริญของเส้นใยในก้อนเชื้อ 1.67 เซนติเมตรต่อวัน (Figure 1)

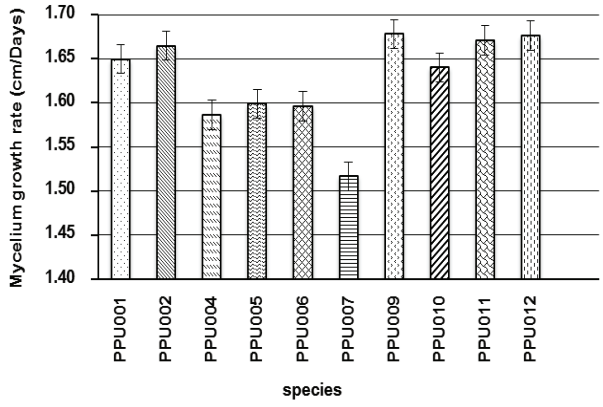

Figure 1 Mycelium growth rates (cm/Days) of 10 strains Oyster mushroom on commercial substrate formulation

เมื่อนำก้อนเชื้อเห็ดทั้ง 10 สายพันธุ์ไปเปิดดอกในโรงเรือน และเก็บผลผลิตทั้งหมด 3 รุ่น พบว่าเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ยังคงให้ผลผลิตดอกเห็ดสูง โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 1.798, 1.790 และ 1.744 กิโลกรัม ตามลำดับ และดอกเห็ดที่ได้มีคุณภาพดี คือ หมวกดอกมีลักษณะกลม คล้ายพัด สีเข้ม มีขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.54-7.96 เซนติเมตร (Table 2, Figure 2) หมวกดอกใหญ่และมีปริมาณดอกมากกว่า 10 ดอกต่อช่อ เมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU009, PPU011 และ PPU012 จึงเป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการผลิตสารบีต้า-กลูแคนที่มีผลต่อการลดความเสี่ยงโรคเก๊าต์ เนื่องจากเป็นเชื้อพันธุ์ที่แข็งแรง เส้นใยเจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตสูงและให้ดอกเห็ดที่มีคุณภาพดี จึงทำการคัดเลือกไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

Table 2 Fresh weigh and quality of fruiting bodies of 10 strains Oyster mushroom cultivate on commercial substrate

Mushroom species list	Fresh weigh (kg)	Cap diameter (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk length (cm)
PPU001	1.692^{b}	6.45^{f}	1.00^{b}	6.10^{c}
PPU002	1.590^{c}	6.12^{g}	1.13^{a}	5.95^{c}
PPU003	1.382^{d}	6.10^{g}	1.14^{a}	6.26^{c}
PPU004	1.671^{b}	6.08^{g}	1.10^{a}	6.46^{b}
PPU006	1.682^{b}	6.87^{e}	1.00^{b}	6.44^{b}
PPU007	0.989^{e}	7.23^{d}	0.98^{b}	5.57^{c}
PPU009	1.798^{a}	7.96^{a}	1.15^{a}	6.65^{a}
PPU010	1.689^{b}	7.12^{d}	1.10^{a}	6.42^{b}
PPU011	1.790^{a}	7.85^{b}	1.16^{a}	6.51^{ab}
PPU012	1.774^{a}	7.54^{c}	1.10^{a}	6.54^{ab}

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

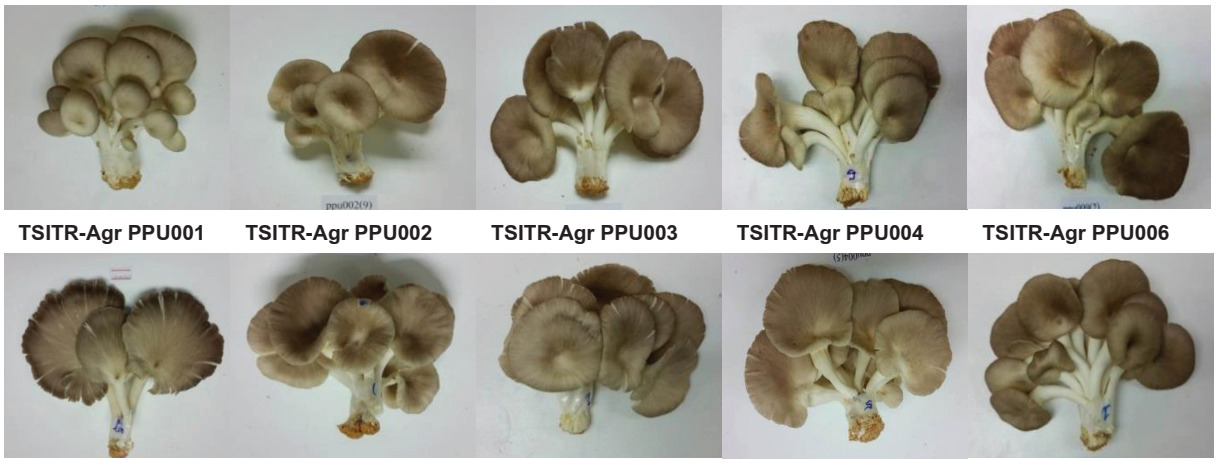

Figure 2 Fruiting bodies characteristics of Oyster mushroom cultivate on commercial substrate formulation

2. ชนิดของอาหารและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด

ผลการทดสอบอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 5 ชนิด คือ potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MA), coconut water agar (CWA), V8 juice (V8) และ glucose yeast extract agar (GYE) ที่ pH 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้า 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009, TISTR-Agr PPU 011 และ TISTR-Agr PPU 012 พบว่าเส้นใยเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 เจริญได้ดีบนอาหาร 3 ชนิด คือ V8 และ GYE ที่ pH ทุกระดับ รองลงมาคืออาหาร MA ในช่วง pH 6-9 ในขณะที่สายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 011 และ 012 เจริญได้ดีที่สุดบนอาหาร V8 และอาหาร GYE ที่ pH 7 เจริญได้เร็วเป็นลำดับรองลงมา เมื่อเทียบกับ PDA สำเร็จรูปที่เป็นสูตรควบคุม (Table 3) จะเห็นได้ว่า ทั้ง 3 สายพันธุ์เจริญได้เร็วที่สุดบนอาหาร V8 ที่ pH 5-10 แต่เส้นใยที่ได้มีลักษณะบางเรียบไปกับผิวหน้าอาหาร มีความหนาแน่นน้อย (Table 4) เนื่องจากอาหาร V8 ประกอบด้วย น้ำผัก 8 ชนิด คือ มะเขือเทศ แครอท ขึ้นฉ่ายฝรั่ง บีท พาร์สเล่ย์ ผักกาดหอม วอเตอร์เครสและผักโขม ซึ่งอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของเส้นใยทำให้เจริญได้เร็ว แต่ยังขาดแหล่งคาร์บอนที่ส่งเสริมความแข็งแรงและความหนาแน่นของเส้นใย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumla *et al*. (2013) ทดสอบการเจริญของเส้นใยเห็ดโต่งฝน (*P. giganteus*) บนอาหาร V8 เส้นใยเจริญเต็มจานอาหารเร็วที่สุดเฉลี่ย 17.75 มิลลิเมตรต่อวัน แต่เมื่อวัดปริมาณชีวมวล (biomass) พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ PDA คือ 38.43 และ 82.65 มิลลิกรัมต่อจาน ตามลำดับ ในขณะที่ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์บนอาหาร GYE เส้นใยมีลักษณะละเอียด สีขาว ฟู มีความหนาแน่นมากที่สุดเทียบเท่ากับสูตรควบคุม (Table 4) เนื่องจากในอาหารเลี้ยงเชื้อ GYE ประกอบน้ำตาลกลูโคส (20 กรัมต่อลิตร) เป็นแหล่งคาร์บอน และ Yeast extract เป็นแหล่งไนโตรเจน ซึ่งมีศักยภาพในการสร้างเส้นใยของเห็ด (Kupradit *et al.,* 2020) สอดคล้องกับรายงานของ Hoa and Wang (2015) ทดสอบสูตรอาหารต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมและเห็ดเป๋าฮื้อ พบว่าอาหารที่ประกอบด้วยกลูโคส และ Yeast extract ส่งผลให้เส้นใยมีความหนาแน่นมากกว่า นอกจากนี้กลูโคสยังถูกระบุว่าเป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตสารเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ของเห็ดที่กินได้ (Kim *et al.,* 2001) ส่วนผลของค่า pH Kumla *et al.* (2013) กล่าวว่า เชื้อรามีความสามารถในการเจริญเติบโตที่ pH 4-9 แต่ที่ pH 7 เป็นค่า pH ที่เหมาะสมซึ่งให้อัตราการเติบโตของเส้นใยสูงสุด 18.00 มิลลิเมตรต่อวัน และผลผลิตชีวมวลเท่ากับ 163.10±4.40 มิลลิกรัมต่อจาน จากอัตราการเจริญและความหนาแน่นของเส้นใย ชนิดอาหารและระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้าทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ อาหาร GYE ที่ pH 7

Table 4 Mycelium density of 3 Oyster mushroom strains on different medium at pH 7

Medium	Mushroom strains		
	TISTR-Agr PPU 009	TISTR-Agr PPU 011	TISTR-Agr PPU 012
V8	+	+	+
GYE	+++	+++	+++
MA	++	++	++
CWA	++	++	++
PDA	+++	+++	+++

Note: + (Scanty), ++ (Moderate), +++ (Abundant)

Table 3 Mycelium growth rate (cm/days) of three Oyster mushroom strains on various media at different pH values

Mushroom strains	Media	pH values					
		5	6	7	8	9	10
TISTR-Agr PPU 009	V8	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}
	GYE	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}
	MA	1.16^{ab}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.16^{ab}
	CWA	0.95^{fg}	0.95^{efg}	0.95^{efg}	0.95^{efg}	0.95^{efg}	0.95^{efg}
	PDA	0.90^{efg}	0.91^{fg}	0.93^{efg}	0.92^{fg}	0.93^{efg}	1.01^{cd}
TISTR-Agr PPU 011	V8	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	1.21^{a}	$1.21\pm^{a}$	1.21^{a}
	GYE	1.07^{bcd}	1.07^{bcd}	1.16^{ab}	1.07^{bcd}	1.11^{bc}	1.11^{bc}
	MA	1.07^{bcd}	0.98^{def}	1.02^{de}	0.88^{g}	0.95^{efg}	1.06^{cd}
	CWA	0.95^{efg}	0.98^{def}	0.98^{def}	0.98^{def}	0.98^{def}	1.21^{a}
	PDA	0.92^{fg}	0.95^{efg}	0.95^{efg}	0.91^{fg}	0.95^{efg}	1.06^{cd}
TISTR-Agr PPU 012	V8	0.73^{h}	0.71^{hi}	0.71^{hi}	0.71^{hi}	0.71^{hi}	0.71^{hi}
	GYE	0.60^{hijk}	0.66^{hijk}	0.71^{hi}	0.66^{hij}	0.66^{hijk}	0.66^{hijk}
	MA	0.53^{m}	0.58^{ijk}	0.53^{m}	0.62^{ijkl}	0.62^{ijkl}	0.53^{m}
	CWA	0.57^{klm}	0.57^{ijk}	0.52^{m}	0.53^{m}	0.54^{lm}	0.52^{m}
	PDA	0.67^{hij}	0.66^{hijk}	0.61^{jklm}	0.58^{jklm}	0.61^{jklm}	0.54^{lm}

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

3. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด

อัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้าทั้ง 3 สายพันธุ์ เส้นใยเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 30 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Table 5) โดยลักษณะของเส้นใยเห็ดมีความหนาแน่นมากที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีลักษณะบาง หนาแน่นน้อยกว่า ในขณะที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เส้นใยเห็ดชะงักการเจริญ และไม่สามารถเจริญต่อได้ เติมพงศ์ แสงปกรณ์กิจ และคณะ (2552) รายงานว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญของเส้นใยและการเจริญเติบโตของดอกเห็ดเป็นอย่างยิ่ง ตั้งแต่ระยะเส้นใยจนกระทั่งเกิดดอก ไม่ต้องการอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Adebayo-Tato *et al.* (2011) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดตระกูลนางฟ้านางรมอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส

Table 5 Mycelium growth rate (cm/days) of three Oyster mushroom strains at different temperatures

Mushroom strains	Mycelium growth (cm/days)			
	20°C	25°C	30°C	35°C
TISTR-Agr PPU 009	0.91[bc]	1.02[ab]	0.99[ab]	0.50[e]
TISTR-Agr PPU 011	0.81[cd]	1.07[a]	0.91[bc]	0.50[e]
TISTR-Agr PPU 012	0.73[d]	0.71[d]	0.57[e]	0.50[e]

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

4. วัสดุเพาะที่เหมาะสมต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ด

จากการเพาะเลี้ยงเส้นใยเห็ดบนวัสดุเพาะที่แตกต่างกัน 7 สูตร เมื่อเก็บผลผลิต พบว่าเห็ดนางฟ้าทั้ง 3 สายพันธุ์ (TISTR-Agr PPU 009, 011, 012) ให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีปริมาณน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเพาะบนวัสดุเพาะสูตรที่ 2 รองลงมาคือ สูตรที่ 1 และ 4 ตามลำดับ (Table 6) โดยให้น้ำหนักสดเฉลี่ยในช่วง 1.885-2.464 กิโลกรัม ในขณะที่คุณภาพของดอกเห็ดในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรที่ 2 ให้คุณภาพดอกโดยรวมได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางหมวกดอก, ก้านดอก และความยาวก้านดอกดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.93, 1.33 และ 6.78 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตและคุณภาพดอกเห็ดที่ได้ในแต่ละสูตร พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญและผลผลิต นั่นคือวัสดุเพาะ และอาหารเสริม วัสดุเพาะสูตรที่ 2 มีวัสดุหลักคือ ขี้เลื่อยยางพาราใหม่พร้อมเพิ่มอาหารเสริม คือ น้ำหมักจากปลาทะเลน้ำลึก และข้าวโพดบดละเอียด โดยน้ำหมักชีวภาพจากปลามีคุณค่าทางอาหารที่เห็ดต้องการ เช่น แคลเซียม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และฮอร์โมน (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2551) ช่วยส่งเสริมการเจริญของเส้นใย และการสร้างดอก ทำให้ได้ผลผลิตสูง อีกทั้งมีรายงานว่า ข้าวโพดป่นประกอบด้วยแป้งน้ำตาล และโปรตีนซึ่งเป็นทั้งแหล่งไนโตรเจนและแหล่งคาร์บอน รวมถึงซังข้าวโพดที่บดรวมกันประกอบด้วยกลุ่มเซลลูโลส (cellulose) ส่งผลให้เห็ดสร้างเส้นใยได้สมบูรณ์ (Rambey *et al.,* 2019) รองลงมาคือสูตรที่ 1 มีวัสดุหลักเป็นขี้เลื่อย และเติมน้ำตาลร้อยละ 3 เป็นอาหารเสริม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Erkel (2009) ทดลองเติมโมลาสร้อยละ 1 ลงในวัสดุเพาะเห็ดหลินจือ พบว่าผลผลิตเห็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ในขณะที่สูตรที่ 4 คือสูตรที่ลดปริมาณขี้เลื่อยและผสมกับฟางข้าวที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในอัตราส่วน 1:1 สามารถเพิ่มผลผลิตดอกเห็ดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากฟางข้าวประกอบด้วยเคมีอินทรีย์หลักๆ ได้แก่ เซลลูโลส ร้อยละ 35 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 18 และลิกนิน ร้อยละ 15 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของราและเห็ด (Jiang *et al.,* 2011) และเมื่อเปรียบเทียบเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ จะเห็นได้ว่าเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 ในวัสดุเพาะสูตรที่ 2 นอกจากมีผลผลิตสูงแล้ว ยังมีคุณภาพดอกโดยรวมดีที่สุด โดยลักษณะดอกเห็ดจะมีหมวกดอกขนาดใหญ่ หนา และมีสีเข้มต่างกันเมื่อเพาะบนวัสดุที่แตกต่างกัน (Figure 3)

Table 6 Fresh weigh and quality of fruiting bodies of three strains Oyster mushroom cultivate on different substrate formulations

Formulations	Mushroom species	Fresh weigh (kg)	Cap diameter (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk length (cm)
1	TISTR-Agr PPU 009	2.122±0.281[d]	6.43±0.454[e]	1.13±0.051[g]	6.52±0.125[bc]
	TISTR-Agr PPU 011	2.012±0.272[e]	6.94±0.117[a]	1.29±0.033[ab]	6.52±0.121[bc]
	TISTR-Agr PPU 012	2.259±0.240[c]	6.90±0.239[a]	1.24±0.040[bcdef]	6.50±0.125[bc]
2	TISTR-Agr PPU 009	2.464±0.133[a]	6.93±0.124[a]	1.33±0.031[a]	6.78±0.102[a]
	TISTR-Agr PPU 011	2.329±0.163[b]	6.88±0.262[a]	1.27±0.041[abcd]	6.63±0.123[ab]
	TISTR-Agr PPU 012	2.339±0.171[b]	6.83±0.357[ab]	1.28±0.032[abc]	6.53±0.253[bc]
3	TISTR-Agr PPU 009	1.372±0.282[j]	6.42±0.539[ef]	1.19±0.082[defg]	6.25±0.323[ef]
	TISTR-Agr PPU 011	1.469±0.281[i]	6.34±0.517[efg]	1.17±0.061[fg]	6.18±0.326[ef]
	TISTR-Agr PPU 012	1.378±0.271[j]	6.37±0.541[ef]	1.21±0.061[cdef]	6.21±0.321[ef]

Table 6 Fresh weigh and quality of fruiting bodies of three strains Oyster mushroom cultivate on different substrate formulations (cont.)

Formulations	Mushroom species	Fresh weigh (kg)	Cap diameter (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk length (cm)
4	TISTR-Agr PPU 009	1.885±0.290^{f}	6.82±0.297^{ab}	1.27±0.043^{abcd}	6.63±0.231^{ab}
	TISTR-Agr PPU 011	1.978±0.27^{3e}	6.59±0.521^{cd}	1.26±0.044^{abcde}	6.58±0.254^{bc}
	TISTR-Agr PPU 012	2.025±0.281^{e}	6.72±0.291^{bc}	1.25±0.041^{abcde}	6.59±0.251^{bc}
5	TISTR-Agr PPU 009	1.046±0.310^{kl}	6.23±0.509^{g}	1.13±0.063^{g}	6.19±0.321^{ef}
	TISTR-Agr PPU 011	1.028±0.281^{l}	6.28±0.471^{fg}	1.21±0.053^{cdef}	6.02±0.461^{g}
	TISTR-Agr PPU 012	1.102±0.311^{k}	6.22±0.425^{g}	1.18±0.091^{efg}	6.13±0.355^{fg}
6	TISTR-Agr PPU 009	1.827±0.242^{f}	6.71±0.309^{bc}	1.24±0.041^{bcdef}	6.45±0.301^{cd}
	TISTR-Agr PPU 011	1.739±0.235^{g}	6.68±0.417^{c}	1.23±0.053^{cdef}	6.51±0.254^{bc}
	TISTR-Agr PPU 012	1.738±0.272^{g}	6.59±0.420^{cd}	1.21±0.053^{cdef}	6.47±0.258^{bcd}
7	TISTR-Agr PPU 009	1.404±0.24^{j}	6.47±0.415^{de}	1.20±0.055^{cdef}	6.32±0.261^{de}
	TISTR-Agr PPU 011	1.529±0.25^{hi}	6.62±0.402^{c}	1.21±0.053^{cdef}	6.28±0.323^{ef}
	TISTR-Agr PPU 012	1.538±0.28^{h}	6.37±0.504^{ef}	1.21±0.054^{cdef}	6.29±0.326^{ef}

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

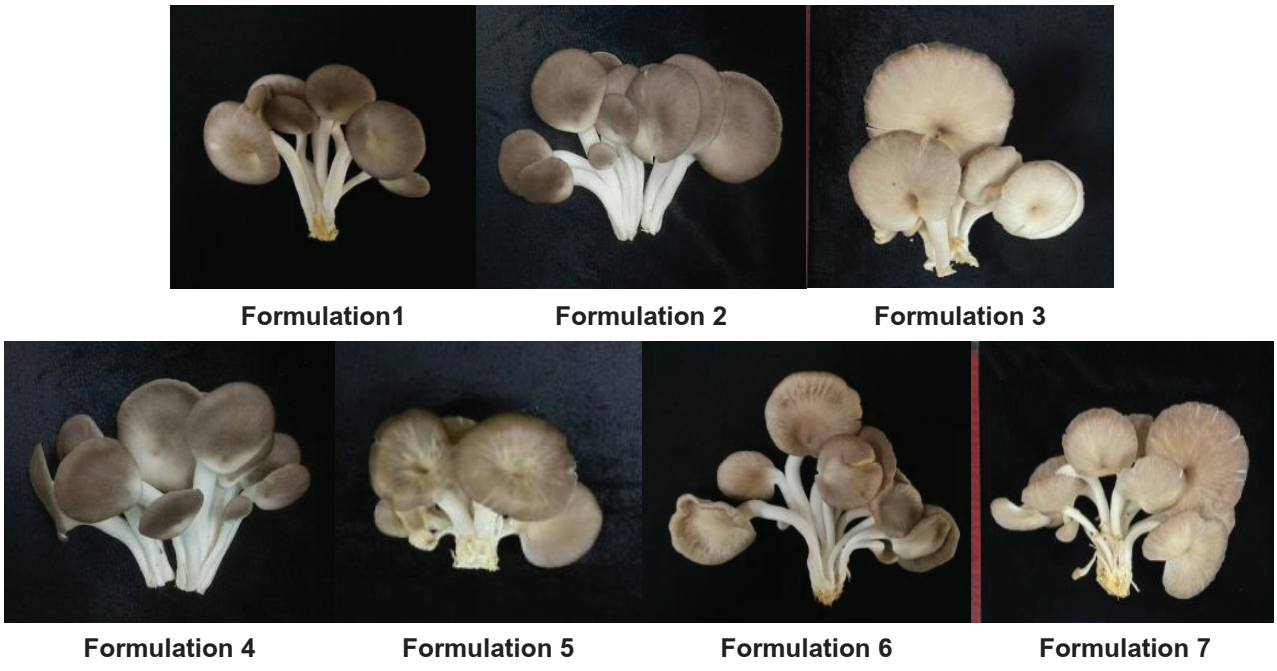

Figure 3 Fruiting bodies characteristics of TISTR-Agr PPU 009 cultivate on different substrate formulations

5. คุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุและสารสำคัญบีต้า-กลูแคน

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุของเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ จากการเพาะด้วยวัสดุเพาะที่แตกต่างกัน 7 สูตร พบว่าคุณค่าทางโภชนาการที่ได้ของเห็ดแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.59-26.62 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 42.05-56.91 จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 ที่เพาะจากก้อนเห็ดสูตรที่ 4 มีคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งสารสำคัญที่มีผลต่อการลดความเสี่ยง

โรคเก๊าต์ หรือ บีต้า-กลูแคนซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันและต้านการอักเสบ (Finimundy *et al.,* 2013) มีปริมาณสูงกว่าการเพาะจากก้อนเห็ดสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) Bach *et al.,* (2017) กล่าวว่า ความเข้มข้นของบีต้า-กลูแคนแตกต่างกันไปตาม สายพันธุ์ วัสดุเพาะ (C:N ratio) และความสมบูรณ์ของดอกเห็ด อีกทั้งสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 จากวัสดุเพาะสูตรที่ 4 ยังคงให้ปริมาณของแร่ธาตุอาหารหลัก และแร่ธาตุอาหารรองในปริมาณที่สูงกว่าเห็ดสายพันธุ์อื่นๆ และการเพาะในวัสดุเพาะสูตรอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของโพแทสเซียม (K) ฟอสโฟรัส (P) และแมกนีเซียม (Mg) (Table 8) ซึ่งเป็นแร่ธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ช่วยการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาทต่างๆ ลดความดันโลหิต ควบคุมระดับคอเลสเตอรอล เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูกและฟัน ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการเผาผลาญสารอาหาร และการสังเคราะห์โปรตีน (นิรมล ศรีชนะ และคณะ, 2562)

Table 7 Nutritional value of 3 strains Oyster mushroom cultured on different substrate formulations.

Formulations	Mushroom species	Nutritional value		Beta glucan (mg/g) dry cell weight
		Protein (%)	Carbohydrate (%)	
1	TISTR-Agr PPU009	15.88±1.02^{jk}	47.07±3.04^{j}	40.32±1.23^{i}
	TISTR-Agr PPU011	16.95±1.22^{e-h}	47.14±2.88^{jk}	43.21±1.20^{f}
	TISTR-Agr PPU012	16.95±1.50^{e-h}	45.33±2.42^{lm}	40.65±2.42^{ghi}
2	TISTR-Agr PPU009	21.11±1.20^{c}	56.91±2.02^{a}	49.22±3.07^{d}
	TISTR-Agr PPU011	20.10±1.44^{d}	49.00±2.46^{ghi}	47.89±1.32^{e}
	TISTR-Agr PPU012	20.13±1.56^{d}	50.95±3.21^{de}	49.58±2.18^{d}
3	TISTR-Agr PPU009	17.53±1.20^{ef}	48.67±4.21^{hij}	27.59±1.62^{mn}
	TISTR-Agr PPU011	17.79±1.35^{e}	49.35±3.56^{f-i}	30.21±1.24^{k}
	TISTR-Agr PPU012	16.58±1.38^{f-i}	49.25±3.98^{f-i}	26.70±2.45^{no}
4	TISTR-Agr PPU009	26.62±1.13^{a}	50.16±2.89^{ef}	55.17±1.36^{a}
	TISTR-Agr PPU011	22.54±1.49^{b}	52.13±2.43^{cd}	53.53±2.03^{c}
	TISTR-Agr PPU012	21.79±1.52^{bc}	51.12±2.51^{de}	49.75±1.28^{d}
5	TISTR-Agr PPU009	17.25±1.70^{ef}	54.05±2.70^{b}	37.40±1.53^{j}
	TISTR-Agr PPU011	21.12±1.50^{c}	52.46±1.99^{c}	30.56±2.12^{k}
	TISTR-Agr PPU012	21.87±1.33^{bc}	51.24±4.62^{de}	27.69±2.40^{lmn}
6	TISTR-Agr PPU009	15.67±2.21^{jkl}	48.55±3.50^{ij}	25.75±2.38^{op}
	TISTR-Agr PPU011	15.62±1.98^{ijk}	42.05±2.60^{o}	28.48±2.50^{l}
	TISTR-Agr PPU012	14.59±1.70^{l}	44.56±2.46^{mn}	25.45±2.70^{p}
7	TISTR-Agr PPU009	15.42±1.50^{ijk}	43.33±3.34^{o}	41.62±1.53^{g}
	TISTR-Agr PPU011	15.63±1.46^{ijk}	45.36±3.26^{lm}	40.25±1.56^{hi}
	TISTR-Agr PPU012	15.74±1.48^{ijk}	46.34±2.76^{kl}	41.29±1.70^{gh}

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

Table 8 Minerals content of three strains of Oyster mushroom cultivate on different substrate formulations.

Formulations	Mushroom species	Minerals content (mg/kg)							
		Macronutrients				Micronutrients			
		K	P	Mg	Ca	Na	Fe	Zn	Mn
1	TISTR-Agr PPU009	1.24±0.11^{o}	0.61±0.023^{j}	222.01±12.67^{m}	0.033±0.001^{bc}	0.030±0.001^{ab}	78.06±3.62^{j}	15.12±2.01^{ef}	12.36±1.64^{p}
	TISTR-Agr PPU011	1.23±0.12^{o}	0.67±0.013^{g-j}	234.05±11.27^{kl}	0.030±0.003^{cd}	0.023±0.002^{ab}	65.78±7.61^{kl}	14.65±3.05^{fgh}	13.65±1.63^{no}
	TISTR-Agr PPU012	1.31±0.14^{no}	0.76±0.022^{e-j}	231.08 ±12.70^{l}	0.030±0.002^{cd}	0.033±0.001^{a}	69.75±5.33^{k}	15.34±1.08^{ef}	12.40±1.76 ^{p}
2	TISTR-Agr PPU009	2.76±0.15^{a}	0.95±0.042^{a-d}	444.34 ±9.21^{b}	0.030±0.001^{cd}	0.020±0.003^{bc}	177.68 ±9.55^{b}	13.44±2.14^{h-k}	27.77±1.95^{a}
	TISTR-Agr PPU011	2.44±0.14^{cde}	0.89±0.032^{a-e}	398.78 ±9.88^{e}	0.030±0.001^{cd}	0.023±0.001^{ab}	169.76±5.90^{c}	12.23±3.28^{jk}	15.65±1.89^{klm}
	TISTR-Agr PPU012	2.38±0.12^{def}	0.73±0.022^{e-j}	401.56 ±11.00^{de}	0.030±0.001^{cd}	0.020±0.001^{bc}	155.37 ±8.87^{e}	13.25 ±1.56^{h-k}	14.56±1.57^{mn}
3	TISTR-Agr PPU009	1.79±0.13^{m}	0.98±0.022^{abc}	403.13±13.21^{de}	0.030±0.001^{cd}	0.010 ±0.002^{c}	157.61 ±4.33^{de}	12.95 ±3.13^{ijk}	20.61±1.98^{cd}
	TISTR-Agr PPU011	1.74±0.21^{m}	0.73±0.014^{e-j}	374.78 ±14.00^{f}	0.030±0.001^{cd}	0.020±0.001^{bc}	145.33 ±8.41^{g}	19.56±3.78^{d}	20.12±1.73^{c-f}
	TISTR-Agr PPU012	2.01±0.23^{kl}	0.62±0.013^{j}	360.62 ±12.50^{g}	0.030±0.001^{cd}	0.020±0.001^{bc}	149.55 ±7.33^{f}	21.28 ±3.62^{b}	19.54±1.62^{c-g}
4	TISTR-Agr PPU009	2.44±0.11^{cde}	1.05±0.020^{a}	458.05±10.11^{a}	0.030±0.001^{cd}	0.020 ±0.002^{bc}	176.90 ±2.95^{a}	25.51±2.05^{a}	18.78 ±2.05^{gh}
	TISTR-Agr PPU011	1.45±0.09^{n}	0.71±0.023^{e-j}	314.75±10.70^{h}	0.030±0.001^{cd}	0.020 ±0.003^{bc}	158.87 ±9.56^{de}	14.38±3.35^{fgh}	15.35 ±1.70^{lm}
	TISTR-Agr PPU012	1.67±0.10^{m}	0.84±0.025^{d-h}	354.28±11.50^{g}	0.030±0.001^{cd}	0.023 ±0.001^{ab}	144.33 ±5.28^{g}	13.42 ±3.28^{g-k}	14.12 ±1.84^{n}
5	TISTR-Agr PPU009	2.13±0.12^{jk}	0.95 ±0.043^{a-d}	318.98±14.40^{h}	0.030±0.001^{cd}	0.020 ±0.002^{bc}	128.41±5.51^{h}	14.00 ±1.98^{f-i}	21.24 ±1.95^{b}
	TISTR-Agr PPU011	2.12±0.11^{ijk}	0.76 ±0.070^{e-j}	398.78±13.60^{e}	0.030±0.002^{cd}	0.020 ±0.001^{bc}	127.33 ±4.38^{h}	13.12 ±1.78^{h-k}	19.47 ±1.76^{d-g}
	TISTR-Agr PPU012	2.31±0.12^{e-i}	0.69 ±0.065^{f-j}	412.34±15.00^{cd}	0.030±0.001^{cd}	0.023 ±0.001^{ab}	113.46 ±3.42^{i}	19.56 ±2.34^{d}	18.98±1.69^{fg}
6	TISTR-Agr PPU009	2.23±0.16^{f-j}	0.68±0.023 ^{ij}	246.81±12.45^{jk}	0.030±0.001^{cd}	0.020±0.001^{bc}	50.91 ±2.95^{o}	19.93 ±2.81^{c}	19.61±2.68^{efg}
	TISTR-Agr PPU011	2.14±0.15^{h-k}	0.74 ±0.012^{f-j}	253.55±12.36 ^{j}	0.030±0.001^{cd}	0.020±0.002^{bc}	68.58 ±9.56^{k}	12.12 ±2.55^{k}	17.68±2.74^{hi}
	TISTR-Agr PPU012	2.17±0.23^{g-k}	0.83 ±0.037^{d-i}	274.87 ±13.01^{i}	0.030±0.001^{cd}	0.020 ±0.001^{bc}	76.98±1.28^{j}	19.34 ±2.87^{d}	16.53±1.83^{i-l}
7	TISTR-Agr PPU009	2.37±0.13^{d-g}	0.64±0.053^{j}	410.07 ±11.55^{cde}	0.05±0.001^{a}	0.020 ±0.001^{bc}	55.68 ±5.51^{no}	14.40 ±1.07^{f-i}	16.91±2.76^{ijk}
	TISTR-Agr PPU011	2.17±0.11^{g-k}	0.86±0.040^{b-f}	399.54 ±11.20^{e}	0.030±0.001^{cd}	0.023 ±0.002^{ab}	63.25 ±4.38^{lm}	16.59±3.54^{e}	16.30±1.16^{jkl}
	TISTR-Agr PPU012	2.35±0.11^{efg}	0.75±0.042^{e-j}	376.89±13.00^{f}	0.030±0.001^{cd}	0.020 ±0.003^{bc}	59.45 ±3.42^{mn}	14.65±3.09^{fgh}	15.76±1.98^{klm}

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากเห็ดตระกูลนางฟ้าเป็นเห็ดที่ผลิตง่าย ให้ผลผลิตดอกเห็ดปริมาณที่สูง จึงนำมาสู่การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใยในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการศึกษาอัตราส่วนวัสดุเพาะและอาหารเสริมที่แตกต่างกัน 7 สูตร เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพและวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการส่งเสริมการสร้างสารสำคัญที่มีผลต่อการลดความเสี่ยงโรคเก๊าต์ในดอกเห็ด จากการศึกษาพบว่าเห็ดนางฟ้าจะมีการเจริญเติบโตดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ GYE ที่ระดับ pH 7.0 โดยสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 สามารถให้ผลสูง และผลิตสารบีต้า-กลูแคนที่มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงจากโรคเก๊าต์ในดอกเห็ดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 55.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ของน้ำหนักเห็ดแห้ง เมื่อเพาะด้วยวัสดุเพาะสูตรที่ 4 (ความชื้นของวัสดุเพาะร้อยละ 60) ในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดที่ระดับอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ดอกเห็ดที่ได้ยังมีคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ในปริมาณสูงกว่าการเพาะจากก้อนเห็ดสูตรอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

โชลม จิตรมั่น. (2554). *ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในการเพาะเห็ด* [วิทยานิพนธ์]. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เติมพงศ์ แสงปกรณ์กิจ. (2552). *เห็ดนางฟ้า.* สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊ค.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. (2551). *เกษตรธรรมชาติ.* โอเดียนสโตร์.

นิรมล ศรีชนะ, จันทร์จิรา วงษา, อนุธิดา ป้องสิงห์, สุวัชชัย มิสุนา, กิตติพงษ์ ชูจิตร, บุษบาวดี พุทธาน. (2562). การวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในเห็ดพื้นบ้านในจังหวัดเลย. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 1 *"วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อชุมชน"* (น. 1-7). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

ประดิภา ประดับไพร, วันณรงค์ เติมอารมณ์, ตันติมา กำลัง, ธนภักษ์ อินยอด. (2557). ผลของปริมาณธาตุอาหารและสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารสำคัญ ของเห็ดตระกูลนางฟ้าในสภาพโรงเรือนเปิดดอก. *วารสารเห็ดไทย, 12*, กรกฎาคม-ธันวาคม.

Adebayo-Tato, B.C., Jonathan S.G., Popoola, O.O., & Egbomuche, R.C. (2011). Optimization of growth conditions for mycelial yield and exopolysaccharride production by *Pleurotus ostreatus* cultivated in Nigeria. *Journal of Microbiology Research, 5* (15), 2130-21385.

AOAC. 1995. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (16th ed.).AOAC.

Bach, F., Helm, C.V., Bellettini, M.B., Maciel, G.M., & Haminiuk, C.W.I. (2017). Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals. *International Journal of Food Science and Technology,* 1-11.

Chen, X. (1998). Studies on mushroom recultivation on used compost waste. *Proceedings of the 98' Nanjing International Symposium on Science and Cultivation of Mushrooms* (pp. 56). Nanjing, China.

Erkel, E.L. (2009). The effect of different substrates medium on yield of *Ganoderma lucidum* (Fr.) Karst. *Journal of Food Agriculture and Environment, 77* (3), 841-844.

Finimundy, T. C., Gambato, G., Fontana R., Camassola, M., Salvador, M., Moura, S., Hess, J., Henriques, J.A.P., Dillon, A.J.P., & Roesch-Ely M. (2013). Aqueous extracts of *Lentinula edodes* and *Pleurotus sajor-caju* exhibit high antioxidant capability and promising in vitro antitumor activity. *Nutrition Research, 33* (1), 76–84.

Hansen, J. & Møller, I. (1975). Percolation of starch and soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative determination with anthrone. *Analytical Biochemistry, 68* (1), 87-94.

Hoa, H.T., & Wang, C.L. (2015). The Effects of Temperature and Nutritional Conditions on Mycelium Growth of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology, 43* (1), 14-23.

Hsieh, C., Hsu, T.H., & Yang, F.C. (2005). Production of polysaccharides of *Ganoderma lucidum* (CCRC36021) by reusing thin stillage. *Process Biochemistry, 40* (2), 909-916.

Jiang, M., Zhao, M.M., Zhou, ZW., Huang, T., Chen, XL., & Wang, Y. (2011). Isolation of cellulose with ionic liquid from steam exploded rice straw. *Industrial Crops and Products, 33* (3), 734-738.

Kim, D.H., Yang, B.K., Jeong, S.C., Park, J.B., Cho, S.P., Das, S., Yun, J.W., & Song, C.H. (2001). Production of a hypoglycemic, extracellular polysaccharide from the submerged culture of the mushroom, *Phellinus linteus*. *Biotechnology Letters, 23*, 513-7.

Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen. Körpern Z. *Analytical Chemistry, 22*, 366-382.

Kuforiji, O.O., & Fasidi, I.O. (2005). Factors affecting the yield of *Volvariella volvacea* in various agro-wastes. *Nigerian Journal of Microbiology, 19*, 550-555.

Kumla, J., Suwannarach, N., Jaiyasen, A., Bussaban B., & Lumyong, S. (2013). Development of an Edible wild Strain of thai Oyster Mushroom for Economic Mushroom Production. *Chiang Mai Journal of Science, 40* (2), 161-172.

Kuo, C.F, Grainge, M.J., Zhang, W., & Doherty, M. (2015). Global epidemiology of gout: prevalence, incidence and risk factors. *Nature Reviews Rheumatology, 11* (11), 649-62.

Kupradit, C., Ranok, A., Mangkalanan, S., Khongla C., & Musika, S. (2020). Effects of Natural Carbon Sources and Temperature on Mycelium Cultivations of *Lentinus squarrosulus* (Mont.), *Lentinus polychrous* Lev., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.ex Fr.) P. Kumm. and *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer. *Thai Journal of Science and Technology, 9* (4).

Lissandra, S.Q., Nascimento, M.S., Cruz,A.K.M., Castro, A.J.G., Moura, M.F.V., Baseia, I.G., Araújo, R.M., Benevides, N.M.B., Lima, L.F.A., & Leite, E.L. (2010). Glucans from the *Caripia montagnei* mushroom present anti-inflammatory activity. *International Immunopharmacology, 10*, 34-42.

Ragab, G., Elshahaly, M., & Bardin, T. (2017). Gout: An old disease in new perspective-A review. *Journal of Advanced Research, 8* (5), 495–511.

Rambey, R., Sitepu, I.D.B., & Siregar, E.B.M. (2019). Productivity of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) on media corncobs mixed with sawdust. *Earth and Environmental Science, 260*, 1-6.

Westerman, R.L. (1990). *Soil testing and plant analysi*, (3rd edition). Madison, WI: Soil Science Society of Americ..

Willard, H.H., Merrill, L.L., & Dean, J.A. (2001). *Laboratory Work Instrumental Methods of Analysi*.. CBS Publishers And Distributors Pvt Ltd

Yoshioka, Y. Tabeta, R., Saitô, H., Uehara, N., & Fukuoka F. (1985). Antitumor polysaccharides from *P. ostreatus* (Fr.) quél.: Isolation and structure of a ß-glucan. *Carbohydrate Research, 140* (1), 93-100.