บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสำรวจเอกสารเกี่ยวกับแหล่งวัตถุดิบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว พบว่ามันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว ทั้งนี้เพราะมีพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตสูงกว่าวัตถุดิบแหล่งอื่นๆ โดยจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในครั้งนี้คือยีสต์ *S. occidentalis* TISTR 5555 ทั้งนี้เพราะมีความสามารถในการย่อยสลายแป้งมันสำปะหลังได้สูง สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจาก *S. occidentalis* TISTR 5555 นั้นพบว่า pH ที่เหมาะสมในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจาก *S. occidentalis* TISTR 5555 คือ pH 5.5 ซึ่งที่ pH ดังกล่าวนี้ยีสต์มีการเจริญให้จำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 111×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 26.87 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง รองลงมาคือที่ pH 5.0 และ 4.5 โดยมีจำนวนเซลล์สูงสุดเท่ากับ 107×10^6 และ 97×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมของแหล่งคาร์บอนนั้นพบว่าการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่มีแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้น 4% W/V ยีสต์มีการเจริญให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ 2.5 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่มีแป้งความเข้มข้น 3, 2 และ 1% W/V โดยให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 2.3, 1.98 และ 1.71 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมของแหล่งไนโตรเจนนั้นพบว่าการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่มี NH_4NO_3 0.5% W/V เป็นแหล่งไนโตรเจน ยีสต์มีการเจริญให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดคือ 4.73 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่มี $(NH_4)_2SO_4$ 0.75%, urea 0.25% และ peptone 0.75% W/V เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 4.18, 4.00 และ 3.99 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนผลของโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตต่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียว พบว่าการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่ไม่เติมและเติมโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก โดยปริมาณโปรตีนสูงสุดที่ผลิตได้เมื่อเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่ไม่เติมโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตคือ 3.61 กรัมต่อลิตร ในขณะที่การเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่เติมโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตความเข้มข้น 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.0% W/V ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 3.74, 3.92, 3.82 และ 3.68 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากยีสต์สายพันธุ์นี้ จึงไม่จำเป็นต้องเติมโปตัสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต สำหรับผลการศึกษา yeast และ malt extract ต่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวนั้นพบว่าการเลี้ยงยีสต์

ในสูตรอาหารที่เติม yeast extract ความเข้มข้น 0.50% W/V ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 2.805 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่เติม yeast extract ความเข้มข้น 1.0%, 0.75%, 0.25% W/V และสูตรอาหารที่ไม่มีการเติม yeast extract โดยให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 2.804, 2.672, 2.282 และ 0.718 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่การเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่ไม่เติมและเติม malt extract ในความเข้มข้นต่างๆกันนั้น พบว่าให้ผลไม่แตกต่างกันมากนัก โดยการเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่ไม่เติม malt extract ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 0.383 กรัมต่อลิตร ในขณะที่การเลี้ยงยีสต์ในสูตรอาหารที่เติม malt extract ความเข้มข้น 0.25%, 0.50%, 0.75% และ 1.0% W/V ให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 0.387, 0.383, 0.381 และ 0.398 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจาก *S. occidentalis* TISTR 5555 จึงไม่จำเป็นต้องเติม malt extract

จากสภาวะดังกล่าวข้างต้นเมื่อนำมาใช้ในการเลี้ยงยีสต์เพื่อการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในถังหมักขนาด 5 ลิตร และ 10 ลิตร โดยมีปริมาตรทำงานเท่ากับ 3 ลิตร และ 6 ลิตร ตามลำดับ (สูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงประกอบด้วยแป้งความเข้มข้น 4 % W/V NH_4NO_3 ความเข้มข้น 0.5% W/V และ yeast extract ความเข้มข้น 0.50% W/V ปรับ pH เริ่มต้นของอาหารเป็น 5.5) อัตราการให้อากาศเท่ากับ 1 VVM ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าการเลี้ยงยีสต์ในถังหมักขนาด 5 ลิตร ได้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 2.432 กรัมต่อลิตร ส่วนการเลี้ยงยีสต์ในถังหมักขนาด 10 ลิตร ได้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 2.840 กรัมต่อลิตร จากโปรตีนที่ผลิตได้นี้เมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าปริมาณโปรตีนรวมมีค่าเท่ากับ 43.87% ปริมาณไขมันรวมมีค่าเท่ากับ 0.17% ปริมาณเยื่อใยมีค่าเท่ากับ 0.67% ปริมาณแคลเซียมมีค่าเท่ากับ 0.18% ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเท่ากับ 0.77% ปริมาณเถ้ามีค่าเท่ากับ 4.31% และมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 9.32% ปริมาณกรดอะมิโนที่พบมากที่สุดคือ glutamic acid (1599 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ aspartic acid และ lysine (1253.34 และ 1023.69 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ปริมาณกรดไขมันที่พบมากที่สุดคือ oleic acid (1.44 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) รองลงมาคือ stearic acid และ linoleic acid (0.45 และ 0.40 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) และในการทดสอบนำโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้ไปใช้เป็นอาหารสัตว์โดยนำไปใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารสำหรับเลี้ยงนกกระทาไข่ที่ระดับต่างๆกันคือ 4, 8 และ 12% จากผลการศึกษาโดยการเลี้ยงนกกระทาเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าปริมาณอาหารที่นกกระทากินต่อตัวต่อวัน ปริมาณอาหารที่นกกระทาใช้ต่อการผลิตไข่ 1 ฟอง เปอร์เซ็นต์การไข่ สีของไข่แดง องค์ประกอบทางเคมีของไข่นกกระทา และองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกไข่นกกระทาไม่แตกต่างกัน แต่พบว่าน้ำหนักของไข่นกกระทาในสูตรอาหารที่มีปริมาณของโปรตีนเซลล์เดียวต่างกันมีความแตกต่างกัน

กล่าวคือสูตรอาหารที่มีโปรตีนเซลล์เดียวในปริมาณที่สูงกว่าจะให้น้ำหนักของไข่นกกระทาที่สูงกว่าสูตรอาหารที่มีโปรตีนเซลล์เดียวในปริมาณที่น้อยกว่าหรือไม่มีโปรตีนเซลล์เดียวเลย ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสูตรอาหารที่ 4 ซึ่งมีโปรตีนเซลล์เดียว 12% ให้น้ำหนักไข่นกกระทามากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเลี้ยงยีสต์เพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในถังหมักขนาด 5 ลิตร และ 10 ลิตร ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักเพิ่มเติม เช่นอัตราการกวน อัตราการให้อากาศ รวมถึงรูปแบบของกระบวนการหมักแบบอื่นๆเช่น การหมักแบบกึ่งต่อเนื่อง (Fed-batch) การหมักแบบต่อเนื่อง (Continuous) เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในกระบวนการหมัก และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในระดับขยายส่วนหรือระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. ในการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวเพื่อนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์นั้น จำเป็นต้องใช้โปรตีนเซลล์เดียวในปริมาณมาก ดังนั้นจึงควรทำการผลิตในถังหมักขนาดใหญ่ทั้งนี้เพื่อช่วยประหยัดเวลาและลดต้นทุนในการผลิต และในแง่ที่จะนำโปรตีนเซลล์เดียวไปส่งเสริมให้เกษตรกรผลิตก็ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับกระบวนการผลิตในระบบเปิดซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมระบบมากเหมือนกับการผลิตในระบบปิดคือในถังหมัก ทั้งนี้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และผลตอบแทนที่จะได้รับว่าคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่

3. การเก็บเกี่ยวเซลล์ยีสต์ ในกรณีที่ต้องการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวในปริมาณมากๆ ควรใช้วิธีการอื่นที่ประหยัดเวลาและพลังงานมากกว่าวิธีการเซนตริฟิวส์ เช่นวิธีการกรอง เป็นต้น ส่วนในการทำเซลล์ยีสต์ให้แห้งนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการทำแห้งแบบอื่นๆที่สามารถทำได้สะดวก ไม่เสียเวลามาก และไม่ทำให้คุณค่าทางโภชนาการในเซลล์ยีสต์สูญเสียมากนัก เช่นการใช้พลังงานจากแสงแดด หรือการทำให้แห้งโดยใช้ความเย็น เป็นต้น

4. ในการนำโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้ไปใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงนกกระทาไข่ โดยใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองที่ระดับต่างๆกัน เพื่อให้ผลการศึกษาที่ได้มีความแตกต่างอย่างชัดเจนมากขึ้น ควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างของนกกระทาไข่ให้มากขึ้น และควรเพิ่มระยะเวลาในการเลี้ยงให้นานขึ้น นอกจากนี้เพื่อให้การสรุปผลเกี่ยวกับการนำโปรตีนเซลล์เดียวไปใช้เป็นอาหารสัตว์มีความครอบ

คลุมมากขึ้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงการนำโปรตีนเซลล์เดียวไปใช้เป็นอาหารสัตว์ชนิดอื่นๆ เช่น ไก่ สุกร และโค เป็นต้น

5. ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนเซลล์เดียวที่ผลิตได้ ควรมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงองค์ประกอบอื่นๆที่นอกเหนือจากการศึกษาครั้งนี้ เช่นปริมาณวิตามิน ปริมาณแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ เป็นต้น รวมถึงการวิเคราะห์ถึงผลข้างเคียงของการรับโปรตีนเซลล์เดียวเข้าไปในร่างกาย ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้โปรตีนเซลล์เดียวไปเป็นอาหารมนุษย์ต่อไป