

การผลิตอาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังโดยใช้ถังหมักแบบหมุน

The Production of Animal Feed from Cassava Waste by Using Rotating Drum Bioreactor

ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ.พหลโยธิน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 942-8555 EXT 1213

E-mail : fengpjs@nontri.ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในการศึกษาได้ทำการหมักกากมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนและใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในโตรเจนในอาหารสัตว์ การทดลองทำโดยนำกากมันสำปะหลังมาหมักด้วยเชื้อรา *Rhizopus oligosporus* ในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร ปรับความชื้นเริ่มต้นของกากมันสำปะหลังเท่ากับ 50% ด้วยสารละลายยูเรีย 2.5% โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.25% และหมักเป็นเวลา 96 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก ๆ 12 ชั่วโมง พร้อมทั้งนำวิเคราะห์หาค่าทางกายภาพและทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อรา ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณกลูโคซามีน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการหมักเริ่มต้น 200, 300, 400 และ 500 กรัม ในถังหมักแบบหมุนที่มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของถังหมักเท่ากับ 1:2 พบว่าการหมักกากมันสำปะหลัง 200 กรัม จะมีปริมาณโปรตีนสูงสุดที่เวลา 84 ชั่วโมง เท่ากับ 23.41% แต่การหมักกากมันสำปะหลัง 300 กรัม ซึ่งมีปริมาณโปรตีน 22.85% จะมีความเหมาะสมในการผลิตมากที่สุด จึงได้นำกากมันสำปะหลังในปริมาณ 300 กรัม มาศึกษาต่อโดยการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของถังหมักให้มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:4 พบว่าถังหมักที่มีอัตราส่วนเท่ากับ 1:4 จะให้ปริมาณโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 23.04% ที่เวลา 84 ชั่วโมงของการหมัก

Abstract

In this study cassava waste was fermented to enrich protein and used as nitrogen source material in animal feed by *Rhizopus oligosporus* in 5-liter rotating drum bioreactor. The moisture content of substrate was adjusted to 50% by adding 2.5% urea and 1.25% KH_2PO_4 . The fermentation time was 96 hours and samples were taken every 12 hours to measure the physical and chemical parameters affecting microbial growth, such as, temperature, glucosamine content, protein and carbohydrate. The effects of different substrate loading (200, 300, 400 and 500 g) on the microbial growth in the rotating drum bioreactor with diameter to length ratio of 1:2 were investigated. The results showed that 200 g was the best loading which gave the highest protein

content of 23.40% at 84 hours. However, 300 g (22.85% protein) was chosen as the optimum loading. Then the effects of bioreactor dimension was investigated by varying the diameter to length ratio (1:1, 1:2 and 1:4). The best dimension giving the highest protein of 23.04% at 84 hours of fermentation was 1:4.

1. คำนำ

การหมักในอาหารเชิงหมักถึง ระบบการหมักที่อาศัยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนอาหารเชิงในสภาพที่ไม่มีน้ำอิสระอยู่ในระบบ น้ำจะอยู่ในรูปของความชื้นซึ่งถูกดูดซับติดกับวัตถุดิบที่ใช้ ในระบบเช่นนี้ปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์นำไปใช้จึงค่อนข้างต่ำ ทำให้ไม่เหมาะที่จะใช้ในการหมักด้วยแบคทีเรียหรือยีสต์ แต่เหมาะกับการใช้เชื้อรามากกว่า อุตสาหกรรมที่หมักด้วยเชื้อราได้แก่ การผลิตโปรตีน อาหารสัตว์ และอาหารหมักพื้นบ้านชนิดต่าง ๆ [3,7] ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักบนอาหารเชิงได้แก่ เมล็ดธัญพืช มันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากหัวมัน 47.8 ตัน/ชั่วโมง จะได้แป้งมัน 12.43 ตัน/ชั่วโมง และกากมันสำปะหลังถึง 12.86 ตัน/ชั่วโมง [4] ดังนั้นจึงมีกากมันสำปะหลังเหลือทิ้งอย่างมากมายทำให้กากมันสำปะหลังมีราคาถูกลง การใช้กากมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์ลงได้ เนื่องจากต้นทุนของผลิตภัณฑ์สูงกว่าร้อยละ 60 คือค่าอาหารสัตว์ [5]

โดยทั่วไปกากมันสำปะหลังจะมีคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 68.41% และมีโปรตีนต่ำเพียง 2.15% [1] ดังนั้นการเพิ่มโปรตีนให้กับกากมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์จึงใช้วิธีการหมักบนอาหารเชิงโดยใช้จุลินทรีย์ชนิดที่เจริญเติบโตบนกากมันสำปะหลังและสามารถใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งคาร์บอนพร้อมกับเปลี่ยนไนโตรเจนที่เสริมเข้าไปให้เป็นโปรตีนของจุลินทรีย์เอง ซึ่งจะทำให้กากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการหมักมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น และเนื่องจากกากมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นชิ้นขนาดเล็กละเอียด จึงไม่สามารถทำการหมักในถังหมักแบบลาดหรือแบบแพคเบคได้ เพราะเมื่อต้องการขยายขนาดการหมักที่ต้องใช้กากมันสำปะหลังในปริมาณมากนั้น จะทำให้ชั้นหมักอัดตัวแน่น

ขึ้น และจะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนการไหลเวียนของอากาศ และการพลิกกลับของกากมันสำปะหลัง นอกจากนี้การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความชื้น และอุณหภูมิก็จะทำได้ยากด้วย ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงต้องทำการหมักในถังหมักแบบหมุน ซึ่งมีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกแนวนอน มีการหมุนของตัวถังรอบแกนเพื่อให้อาหารเคลื่อนที่กลับไประลอกใหม่ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อช่วยในการถ่ายเทมวล โดยเฉพะอย่างยิ่งออกซิเจนให้แก่ชั้นหมัก และเพื่อระบายความร้อนที่เกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ออกจากชั้นหมัก นอกจากนี้ยังช่วยให้ชั้นหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน [8] งานวิจัยนี้จึงสนใจการหมักกากมันสำปะหลังโดยวิธีการหมักแบบอาหารแห้ง เพื่อนำไปใช้เป็นวัตถุดิบอาหารสัตว์ โดยมุ่งเน้นการออกแบบถังหมักแบบหมุน ทำการศึกษาหาปริมาณวัสดุหมัก และรูปทรงของถังหมักที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กากมันสำปะหลังหมักที่มีปริมาณโปรตีนสูง สามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

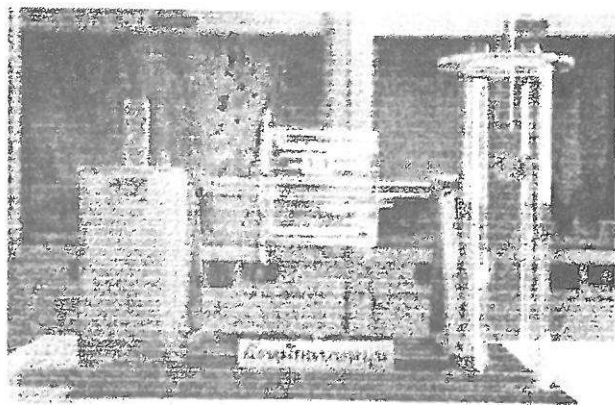
2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1. การหมักกากมันสำปะหลังในถังหมักแบบหมุนโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้หมัก

กากมันสำปะหลัง 200 กรัม มาปรับความชื้นให้ได้ 50% ด้วยสารละลายเกลือแร่ ซึ่งประกอบด้วยยูเรีย 2.5% โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 1.25% จากนั้นนำไปหมักโดยใช้หมักหนึ่งความดันไอยู่ที่อุณหภูมิ 121 °C 15 นาที เมื่อเย็นแล้วจึงถ่ายหัวเชื้อที่เตรียมโดยการเลี้ยงเชื้อรา *R. oligosporus* บนปลายข้าว [2] ลงไป 20% ของน้ำหนักกากมันสำปะหลัง ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปใส่ในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร (รูปที่ 1) ที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของถังหมักเท่ากับ 1:2 หมัไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดอุณหภูมิและเก็บตัวอย่างทุก ๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 4 วัน โดยทำการหมุนถังหมักครั้งรอบทุกครึ่งก่อนเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างที่ได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคสامينโดยวิธี Morgan-Elson ที่ปรับปรุงแล้ว [9] หาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Kjeldahl และคาร์โบไฮเดรตโดยวิธี Proximate analysis [6] ทำการหมักซ้ำโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้หมักเป็น 300, 400 และ 500 กรัม ตามลำดับ

2.2. การหมักกากมันสำปะหลังในถังหมักแบบหมุนที่มีสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวถังแตกต่างกัน

กากมันสำปะหลัง 300 กรัม มาหมักในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร ที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:2 ปรับสภาพให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อรา เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์องค์ประกอบต่าง ๆ ของกากมันสำปะหลังที่หมักได้เช่นเดียวกับวิธีการแรก จากนั้นจึงทำการหมักซ้ำโดยใช้ถังหมักแบบหมุนตัวใหม่ที่มีอัตราส่วนเท่ากับ 1:1 และ 1:4 ตามลำดับ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ถังหมักแบบหมุนที่มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:4

3. ผลและวิจารณ์

3.1. ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้หมัก

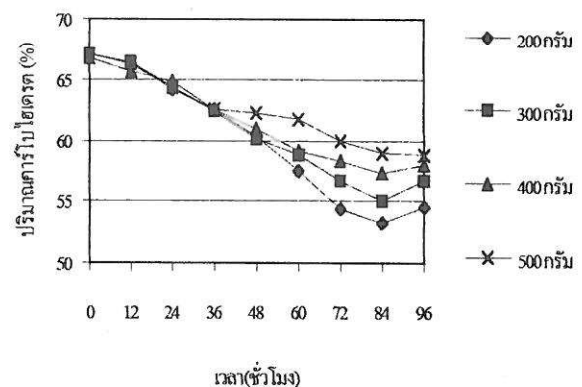
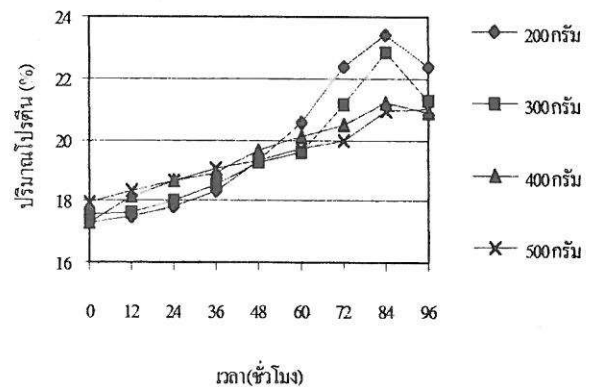
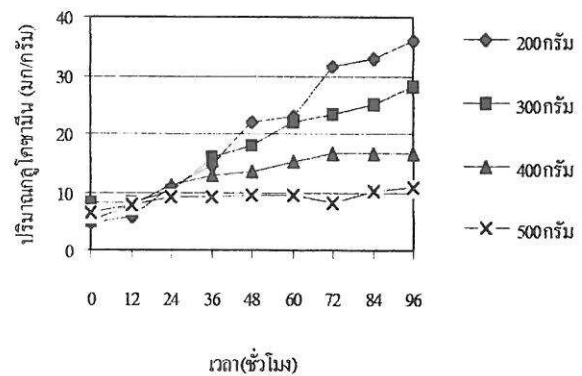
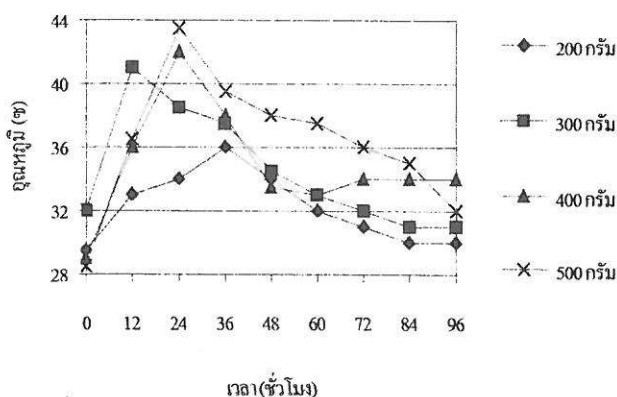
การหมักกากมันสำปะหลังในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร ที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของถังหมักเท่ากับ 1:2 โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้หมักพบว่า เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีพอสมควร ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการที่เชื้อราเริ่มสร้างเส้นใยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และเริ่มสร้างสปอร์ที่เวลา 36 ชั่วโมง โดยพบว่าเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีบนกากมันสำปะหลังด้านที่สัมผัสกับอากาศ และด้านที่ติดกับผนังด้านในของถังหมัก ส่วนบริเวณตรงกลางชั้นหมักจะมีการเจริญเติบโตของเชื้อราค่อนข้างน้อย แต่เนื่องจากถังหมักชนิดนี้มีการหมุนจึงทำให้ชั้นหมักกากมันสำปะหลังแตกออกบริเวณตรงกลางของชั้นหมักจึงมีโอกาสดูดซับอากาศได้หลังจากการหมุน เชื้อราจึงสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ต่อไป

นอกจากนี้ยังพบว่า การหมักกากมันสำปะหลัง 200 กรัม ในถังหมักแบบหมุน จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อราดีกว่าการหมัก 300, 400 และ 500 กรัม ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้จากการที่มีปริมาณเส้นใยที่มากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องมาจากการหมักกากมันสำปะหลัง 200 กรัม จะมีชั้นหมักที่มีความหนาแน่นที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักในปริมาณอื่น ๆ โดยพบว่า การหมักกากมันสำปะหลัง 300, 400 และ 500 กรัม จะมีความหนาของชั้นหมักเท่ากับ 1.3, 2.5 และ 1.2 ของเส้นผ่านศูนย์กลางถังหมัก ตามลำดับ ในขณะที่ชั้นหมักของการหมักกากมันสำปะหลัง 200 กรัมจะมีความหนาเพียง 1.4 ของเส้นผ่านศูนย์กลางถังหมัก ทำให้มีอัตราส่วนของปริมาณอากาศต่อปริมาณกากมันสำปะหลังสูง อากาศจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปในชั้นหมักได้ดี กิจกรรมต่าง ๆ ของเชื้อราในระหว่างการหมักจึงเกิดขึ้นได้ดีเช่นกัน

จากรูปที่ 2 ซึ่งจะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณกลูโคสامين โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต พบว่า อุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ตามระยะเวลาของการหมักเนื่องจากการเจริญเติบโต และการเพิ่มจำนวนของเชื้อราทำให้มีการคายความร้อนออกมาเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นอุณหภูมิของระบบจึงลดลง ส่วนปริมาณกลูโคซามีนจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อรา เนื่องจากกลูโคซามีนเป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ ดังนั้นถ้าปริมาณกลูโคซามีนมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าเชื้อรามีการเจริญเติบโตมากขึ้นเช่นกัน เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของกากมันสำปะหลังหมัก พบว่ากากมันสำปะหลังหมักจะมีโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 23.41% ที่เวลา 84 ชั่วโมง เมื่อทำการหมักกากมันสำปะหลังในปริมาณ 200 กรัม เนื่องจากการเจริญเติบโตของเชื้อราดีที่สุด ซึ่งจะทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าลดลงต่ำสุดเท่ากับ 53.19% ที่เวลา 84 ชั่วโมง หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์คาร์โบไฮเดรตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเปอร์เซ็นต์โปรตีนในกากมันสำปะหลังหมักลดลง คาร์โบไฮเดรตนี้จะหาจากปริมาณกากมันสำปะหลังหมักทั้งหมดซึ่งคิดเป็นน้ำหนักแห้งลบด้วยปริมาณโปรตีน เถ้า เยื่อใย และไขมัน ดังนั้นจึงเป็นการหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตแบบคร่าว ๆ ซึ่งอาจมีค่าผิดพลาดได้

อย่างไรก็ดี แม้ว่าการหมักกากมันสำปะหลัง 200 กรัม ในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร ที่มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:2 จะมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 23.41% ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ก็เพราะว่าปริมาณโปรตีนและโภชนาต่าง ๆ ในปริมาณสูง แต่เนื่องจากการหมักกากมันสำปะหลัง 200 กรัม เป็นการหมักในปริมาณน้อย ผลผลิตที่ได้ในแต่ละครั้งจึงน้อยตามไปด้วย ดังนั้นการหมักกากมันสำปะหลัง 300 กรัม จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากกว่า เพราะนอกจากจะหมักได้ในปริมาณที่มากกว่าแล้ว ยังมีปริมาณโภชนาต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างจากการหมัก 200 กรัมมากนัก คือมีปริมาณโปรตีนที่เวลา 84 ชั่วโมง เท่ากับ 22.85% ในการทดลองต่อมาจึงได้ทำการหมักกากมันสำปะหลังในปริมาณ 300 กรัม ในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร แต่มีสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวถังหมักแตกต่างกัน เพื่อศึกษาว่าสัดส่วนใดของถังหมักที่มีผลให้เชื้อราเจริญเติบโตได้ดีที่สุด และให้ปริมาณโภชนาที่ได้จากการหมักสูงสุด



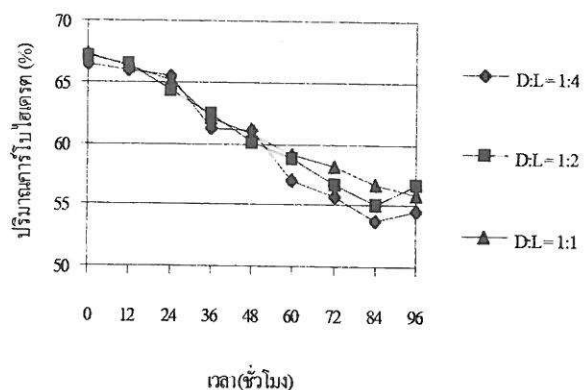
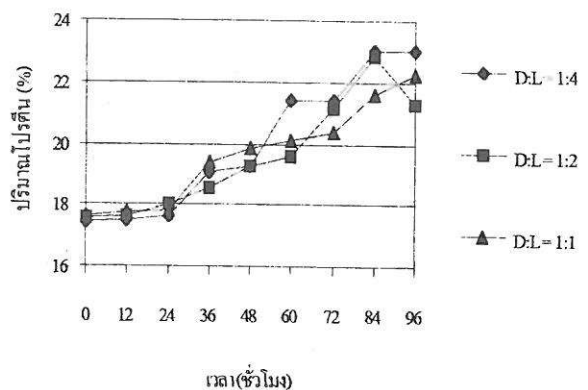
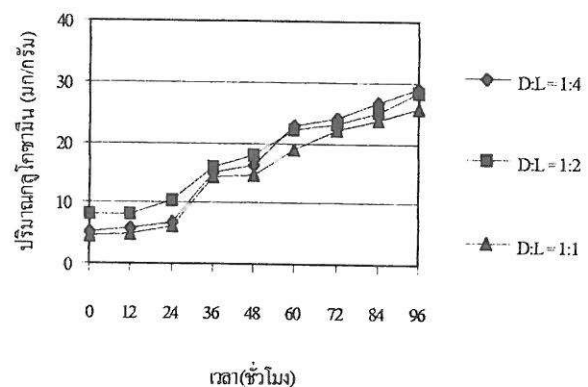
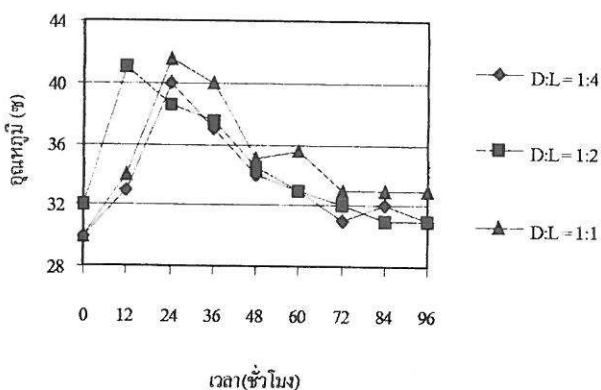
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณกลูโคซามีน โปรตีน และ คาร์โบไฮเดรตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณกากมันสำปะหลังที่ใช้หมัก

3.2. ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของถังหมัก

เมื่อทำการหมักกากมันสำปะหลัง 300 กรัม ในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร ที่มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:4 พบว่าเชื้อราสามารถเจริญเติบโตในถังหมักทั้ง 3 ขนาดแตกต่างกัน เชื้อราสามารถเจริญเติบโตในถังหมักที่มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:4 ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ 1:2 และ 1:1

ตามลำดับ โดยทั่วไปเชื้อราจะเริ่มมีการสร้างเส้นใยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และเริ่มสร้างสปอร์ที่เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง เส้นใยของเชื้อราจะเจริญเติบโตด้านบนสุดของชั้นหมักที่สัมผัสกับอากาศและด้านข้างที่ติดกับผนังของถังหมัก ส่วนบริเวณตรงกลางของชั้นหมักจะมีการเจริญเติบโตของเชื้อราน้อยกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่กากหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่น ทำให้การระบายอากาศ ความร้อน และความชื้นเป็นไปได้ไม่ดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำการหมักกากหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่นของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:1 ซึ่งจะมีความหนาของชั้นหมักมากกว่าการหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่นในถังหมักอื่น แม้ว่าจะมีความหนาของชั้นหมักเท่ากับ 1/3 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของถังหมักเท่ากันทุก ๆ ถังหมักก็ตาม ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ในการหมักกากหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่นแม้ว่าจะมีปริมาณการหมักที่เท่ากันและหมักในถังหมักที่มีปริมาตรเท่ากัน แต่ก็จะมีการเจริญเติบโตของเชื้อราที่แตกต่างกันได้ หากใช้ถังหมักที่มีสัดส่วนแตกต่างกัน

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณกลูโคซามีน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 3 โดยพบว่าการหมักกากหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่นในถังหมักที่มีอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวเท่ากับ 1:4 จะทำให้ชั้นหมักมีความหนาน้อยที่สุด การระบายอากาศ ความร้อนและความชื้นเกิดขึ้นได้ดี ดังนั้นอุณหภูมิของระบบจึงต่ำกว่าการหมักในถังหมักชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีปริมาณกลูโคซามีน และโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 29.10 มิลลิกรัม/กรัม ที่เวลา 96 ชั่วโมง และ 23.04% ที่เวลา 84 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีค่าต่ำสุดที่เวลา 84 ชั่วโมง เท่ากับ 53.77% เนื่องจากเชื้อราจะใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งอาหาร ดังนั้นคาร์โบไฮเดรตจึงมีปริมาณต่ำลง



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณกลูโคซามีน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของถังหมัก

4. สรุป

การหมักกากหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่นโดยใช้เชื้อรา *R. oligosporus* ในถังหมักแบบหมุนขนาด 5 ลิตร พบว่าปริมาณโปรตีนสูงประมาณ 23% ซึ่งถือว่าประสบความสำเร็จในการนำกากหมักสำหรับหลังจากอัดตัวกันแน่นไปใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในอาหารสัตว์ เนื่องจากอาหารสัตว์ที่จะนำมาเป็นแหล่งไนโตรเจนได้นั้นจะต้องมีโปรตีนสูงมากกว่า 18% อย่างไรก็ตามควรนำ

กากมันสำปะหลังที่หมักได้มาทดลองเลี้ยงสัตว์จริง เพื่อศึกษาการตอบสนองของสัตว์ที่มีต่อกากมันสำปะหลังหมักและสมรรถภาพในการผลิตสัตว์เหล่านั้น นอกจากนี้ควรประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และควรพัฒนารูปแบบของถังหมักแบบหมุนให้ดียิ่งขึ้นเพื่อให้กากมันสำปะหลังหมักมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล. 2543. อาหารสัตว์จากกากมันสำปะหลังหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] ทรงศักดิ์ วัฒนชัยเสรีกุล และ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ. 2542. การเตรียมกล้าเชื้อ *Rhizopus oligosporus* สำหรับการผลิตขนาดใหญ่. วิศวกรรมสาร มก. 13 (38) : 6-14.
- [3] วราวุฒิ ครูส่ง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2532. เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 209 น.
- [4] สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ. 2540. รายงานการสำรวจน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โครงการไทยเบลเชียม, น. 71-85. ใน ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ และมูลนิธิพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. การจัดการน้ำในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการแห่งชาติ เรื่องเทคโนโลยีกับการพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง. 30-31 กรกฎาคม 2540, โรงแรมอมารี วอเตอร์เกท, กรุงเทพฯ.
- [5] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2531. นโยบายการผลิตมันสำปะหลัง. การประชุมคณะกรรมการนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ครั้งที่ 4, 28 ธันวาคม 2531. ณ ห้องประชุมกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ชั้น 2, กรุงเทพฯ. 63 น.
- [6] Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1984. Official Method of Analysis. 14 th ed., George Banton Co., Ltd., Washington, D.C. 1018 p.
- [7] Hesseltine, C.W. 1977. Solid-state fermentation. Process Biochem. 12 (6) : 24-27.
- [8] Mitchell, D.A., B.K. Lonsane, A. Durand, R. Renaud, S. Almanza, J. Maratray and G.W. Malaney. 1992. Solid substrate cultivation. Elsevier science publishers, London. 483 p.
- [9] Van de Loo, H.M. 1976. An Improved method for the quantitative determination of hexosamine according to Elson and Morgan. Anal. Biochem. 76 : 556-560.