วารสารวิชาการ อุตสาหกรรมศึกษา

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2553 (29-37)

การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ชโลธร วันแอเลาะห์, ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, ถนอมสิน ดิสถาพร

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

114 สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

Production of Maltodextrin Using Bacterial Enzyme from Wastewater Fermentation of Tapioca Starch Industry

Chalotorn Wan-ae-lor, Pairust Vongyuttakrai, Tanomsin Disataporn.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังและหาคุณภาพของมอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตได้ โดยทำการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่ปริมาณเริ่มต้น 9,155 มิลลิกรัมต่อลิตร น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองมี 2 สภาวะ คือ น้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดีและน้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และ 47-55 องศาเซลเซียส ควบคุมพีเอชที่ 7 ตลอดการทดลอง เป็นเวลา 3 สัปดาห์ พบว่ามีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นในระหว่างทำการหมัก โดยที่ระยะเวลาการหมัก 21 วัน มีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ดังนี้คือ น้ำหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส เติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี, น้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแบคทีเรีย 11,353-11,945 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 11,958-14,034 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำหมักที่อุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส เติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี, น้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณแบคทีเรีย 25,022-31,661 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 17,797-21,735 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ นำน้ำหมักที่ระยะเวลา 21 วัน มาแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสและวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลส พบว่าเชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่ใช้อุณหภูมิในการหมัก 30-37 องศาเซลเซียส ที่มีการปรับค่า ซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี คือ 52.57 และ 42.71 หน่วย ตามลำดับ และเชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่ใช้อุณหภูมิในการหมัก 47-55 องศาเซลเซียส ที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดีทั้ง 2 ไอโซเลท คือ 64.46, 16.34 และ 34.07 หน่วย ตามลำดับ

ทำการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน โดยย่อยแป้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 10-50 นาที ปริมาณเอนไซม์ 1.35% ของน้ำหนักแป้งแห้ง พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและค่า DE มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อย นำมอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตได้มาทดสอบคุณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536 พบว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการ

ชโลธร วันแอเลาะห์, ไพรัช วงศ์ยุทธไกร, ถนอมสิน ดิสถาพร
วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2553 (29-37)

ย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์อะไมเลสจากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ที่ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และ 47-55 องศาเซลเซียส ทั้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดีและมีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาการหมัก 21 วัน ที่ระยะเวลาในการย่อยแป้ง 40 นาที มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536 โดยมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนแล้ว มีสีน้ำตาลแดง สามารถละลายน้ำได้ มีปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 65.54, 65.91, 63.23 และ 65.18 ตามลำดับ มีเถ้าซัลเฟตร้อยละ 0.44, 0.40, 0.42 และ 0.40 ตามลำดับ มีน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 10.07, 9.94, 9.54 และ 9.85 ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.11, 0.12, 0.09 และ 0.07 ตามลำดับ

คำสำคัญ: *มอลโทเดกซ์ทริน, เอนไซม์จากแบคทีเรีย, อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง*

Abstract

This research were to study the production and the quality of maltodextrin using bacterial enzyme from wastewater fermentation of tapioca starch industry. The researcher took some water from wastewater treatment pond that contain microorganisms of 9,155 mg/l at pH 7. The tapioca wastewater were used in non treatment and treatment for COD at 1,200 mg/l. The experiments were fermentation at 30-37^{0}C and 47-55^{0}C. The results showed that, the microorganisms were increase and the fermentation of 21 dates have microorganisms higher than 7 and 14 dates respectively. The 21 dates fermented water at 30-37^{0}C added non treatment wastewater had microorganisms for 11,353-11,945 mg/l. The 21 dates fermented water at 30-37^{0}C added treatment wastewater for COD at 1,200 mg/l have microorganisms of 11,958-14,034 mg/l. The 21 dates fermented water at 47-55^{0}C added non treatment wastewater had microorganisms of 25,022-31,661 mg/l and the 21 dates fermented water at 47-55^{0}C added treatment wastewater for COD at 1,200 mg/l had microorganisms for 17,797-21,735 mg/l. Microorganisms that produced amylase were selected and tested for amylase activity. The results showed that, bacterial enzyme from 21 dates fermented water at 30-37^{0}C added treatment wastewater for COD at 1,200 mg/l had amylase activity higher than 21 dates fermented water at 30-37^{0}C added non treatment wastewater were 52.57 and 42.71 units and bacterial enzyme from 21 dates fermented water at 47-55^{0}C added treatment wastewater for COD at 1,200 mg/l had amylase activity higher than 2 isolates of 21 dates fermented water at 47-55^{0}C added non treatment wastewater were 64.46, 16.34 and 34.07 units respectively.

Production of maltodextrins from tapioca starch, obtained by using amylase 1.35% of dry starch weight at 80^{0}C for 10-50 minutes. The results showed that, the reducing sugar content and DE (Dextrose Equivalent) values increased with increasing time. For 40 minutes, DE values of maltodextrins from bacterial enzyme from 21 dates fermented water added non treatment wastewater and treatment wastewater for COD at 1,200 mg/l at 30-37^{0}C and 47-55^{0}C were 15.36, 15.09, 15.08 and 15.12.

Testing the quality of maltodextrins by method of Thai Industrial Standard 1171-2536. The results showed that, maltodextrins from bacterial enzyme from 21 dates fermented water added non treatment wastewater and treatment wastewater for COD at 1,200 mg/l at 30-37^{0}C and 47-55^{0}C had the values of indicator were red brown, soluble in water, total solid content were 65.54, 65.91, 63.23 and 65.18% respectively, sulfated ash content were 0.44, 0.40, 0.42 and 0.40% respectively, reducing sugar content were 10.07, 9.94, 9.54 and 9.85% respectively

and protein content of maltodextrins were 0.11, 0.12, 0.09 and 0.07% respectively. The results of this experiment showed that, the quality of maltodextrins using bacterial enzyme from wastewater fermentation of tapioca starch industry passed the standard requirement of Thai Industrial Standard 1171-2536.

Keyword: *Maltodextrin, Bacterial enzyme, Tapioca starch industry.*

ภูมิหลัง

อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง เป็นอุตสาหกรรมการเกษตรประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ปัจจุบัน ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกแป้งมันสำปะหลังใหญ่ที่สุดในโลก โดยในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตมันสำปะหลังโรงงาน 30.088 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 35,805 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552: 19) มีการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง ตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2552 เป็นจำนวน 2,496,677 ตัน คิดเป็นมูลค่า 29,495.3 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553: ออนไลน์) และในอนาคตอันใกล้ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มกำลังการผลิตมากขึ้นเรื่อย ๆ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังนั้น เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากโดยทั่วไป ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง 1 ตัน จะก่อให้เกิดน้ำทิ้งประมาณ 10-20 ลูกบาศก์เมตร โดยมีปริมาณบีโอดี ประมาณ 55-200 กิโลกรัม ปริมาณซีโอดี ประมาณ 130-400 กิโลกรัม ปริมาณสารแขวนลอย ประมาณ 40-140 กิโลกรัม ฟอสฟอรัสทั้งหมด ประมาณ 0.2-0.6 กิโลกรัม และไนโตรเจนทั้งหมด ประมาณ 3-10 กิโลกรัม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549: 6) นอกจากนี้ ยังพบวัสดุเหลือทิ้งในรูปของแข็ง ได้แก่ เปลือก ราก และกากมันสำปะหลังอีกด้วย ในกระบวนการผลิตจะมีการสูญเสียแป้งมันสำปะหลังไปกับเปลือกมันสำปะหลัง กากมันสำปะหลัง ลมร้อนและน้ำเสีย ข้อมูลจากแนวทางการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะเกิดแป้งสูญเสียประมาณ 40 กิโลกรัมต่อหนึ่งตันแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2549: 9) จากการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ทำให้มีวัสดุเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก รวมทั้งน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งกระทบต่อชุมชนโดยรอบและเกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อมส่วนรวม

แนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหามลพิษทางน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ คือ การนำน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีสารอินทรีย์และแร่ธาตุต่าง ๆ ไปเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายหรือใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์และแร่ธาตุเหล่านั้นได้ และนำจุลินทรีย์นั้นไปใช้ประโยชน์อีกต่อหนึ่ง โดยอาศัยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพื่อให้ได้กรดอินทรีย์ ผลที่ได้จากกระบวนการหมักดังกล่าวจะให้เอนไซม์ที่มีความสามารถในการย่อยแป้ง ซึ่งแนวทางนี้เป็นการฟื้นฟูสภาพแวดล้อมโดยชีววิธี

ประเทศไทย มีการนำเอนไซม์มาใช้งานในอุตสาหกรรมทางด้านอาหารเป็นจำนวนมาก ซึ่งนำมาจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังนั้น การศึกษาการผลิตเอนไซม์จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเอนไซม์ขึ้นมาใช้เองในประเทศ สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จากแป้งมันสำปะหลังเป็นหลัก มีการนำเอนไซม์มาทำการย่อยแป้ง ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน เพราะเป็นการทำให้มอลโทเดกซ์ทรินมีค่าสมมูลเดกซโทรส (Dextrose Equivalent) เป็นไปตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ในขั้นตอนการย่อยแป้ง มีการนำเอนไซม์มาใช้ในการย่อยแป้งแทนการใช้กรด เพราะใช้สภาวะไม่รุนแรง การเกิดปฏิกิริยามีความจำเพาะ ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาง่าย ไม่เกิดผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ต้องการ และไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงเช่นเดียวกับการใช้กรด

โดยทั่วไป สามารถนำมอลโทเดกซ์ทรินไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารได้หลากหลาย เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ดี ความหนืดต่ำและไม่มีกลิ่นรส เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทเครื่องดื่ม

และผงปรุงรสต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นตัวพากลิ่นรสหรือเป็น Bulking agent ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทซุปหรือซอสผง ใช้ประโยชน์ในด้านการจับกลิ่นในกระบวนการ Spray dry ใช้เป็นสารทดแทนไขมัน ใช้ในอุตสาหกรรมขนมหวาน แช่แข็ง หรือใช้ในด้านอื่น ๆ นอกจากในทางอุตสาหกรรมอาหารอีกมากมาย

ผู้วิจัยจึงเห็นว่าวิธีการที่จะช่วยลดปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ยังเหลืออยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง คือ วิธีการทางชีวภาพ โดยการนำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ไปเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ทำการหมักให้ได้เอนไซม์และนำไปใช้ในการผลิต มอลโทเดกซ์ทรินเพื่อลดต้นทุนการผลิตและยังเป็นการลดปัญหาสภาพแวดล้อมอีกด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

2. เพื่อหาคุณภาพของมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการผลิตด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ความสำคัญของการวิจัย

ผลจากการวิจัยเรื่องนี้ เป็นประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังแปรรูป ในการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน และอุตสาหกรรมอาหารอื่น ๆ คือ

1. น้ำทิ้งและจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มจากของเหลือใช้ได้ และช่วยลดต้นทุนในการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน ในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้คือ เอนไซม์ในขั้นตอนการย่อยแป้งเป็นมอลโทเดกซ์ทริน

2. การนำเข้าเอนไซม์จากต่างประเทศในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องใช้เอนไซม์เป็นวัตถุดิบในการผลิตลดลง เช่น อุตสาหกรรมการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน กลูโคสไซรัป เพคติน และน้ำผลไม้ เป็นต้น

3. ปริมาณแร่ธาตุอาหารที่ยังเหลืออยู่ในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังลดลง ซึ่งเกิดจากการนำน้ำทิ้งไปเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายหรือใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุเหล่านั้นได้ เป็นการช่วยลดภาระทางการเงินและเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงาน และลดการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ น้ำทิ้งจากบริเวณบ่อตกตะกอน ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังจากบริษัทที่ได้รับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยทางด้านอาหาร และมาตรฐานอื่น ๆ ได้แก่ GMP, HACCP, ISO9000 และ ISO14000 เป็นต้น

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น

1.1 ปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งที่ใช้ในการหมัก

1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก

1.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก

1.4 ระยะเวลาที่เอนไซม์ใช้ในการย่อยแป้งเป็นมอลโทเดกซ์ทริน

2. ตัวแปรตาม

คุณภาพของมอลโทเดกซ์ทริน ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171 – 2536 ได้แก่

2.1 ลักษณะชี้บ่ง

2.2 การละลาย

2.3 ของแข็งทั้งหมด

2.4 เถ้าซัลเฟต

2.5 น้ำตาลรีดิวซิง

2.6 โปรตีน

3. ตัวแปรควบคุม

3.1 พีเอชของน้ำหมักระหว่างทำการหมัก

3.2 สมบัติน้ำทิ้งแป้งมันสำปะหลังระหว่างทำการหมัก

3.3 สมบัติน้ำจากระบบบำบัด

สมมติฐานในการวิจัย

1. เอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งที่ใช้ในการหมัก อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก และระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยแป้งที่แตกต่างกัน มีผลต่อคุณภาพของมอลโทเดกซ์ทรินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536

2. มอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการใช้เอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536

สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและระหว่างการหมัก

ในการทดลองครั้งนี้ น้ำหมักมีแบคทีเรียเริ่มต้นที่ปริมาณความเข้มข้น 9,155 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และ 47-55 องศาเซลเซียส เติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดีและน้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการหมัก 3 สัปดาห์ ควบคุมพีเอชที่ 7 ตลอดการทดลอง

ผลจากการหมักเพาะเลี้ยงแบคทีเรียปรากฏว่ามีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นในทุกสภาวะการทดลอง โดยน้ำหมักที่หมักครบ 21 วัน ที่อุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส มีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส คือเพิ่มขึ้น 173.32-245.83% (เติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี) 94.40-137.41% (เติมน้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเพิ่มขึ้น 24.01-30.48% (เติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี) 30.62-53.29% (เติมน้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตามลำดับ

หากทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียสต่อไป มีแนวโน้มว่าการเติมน้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียน้อยลงเรื่อยๆ หรือคงที่ ในขณะที่การเติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี จะยังคงมีการเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียออกไปอีกระยะหนึ่ง

การหมักที่อุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส พบว่าในสัปดาห์แรกของการหมัก มีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ของการหมัก การเติมน้ำทิ้งที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณของแบคทีเรียค่อนข้างคงที่ ในขณะที่การเติมน้ำทิ้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี ยังคงมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณแบคทีเรียในสัปดาห์ที่ 2 และค่อนข้างคงที่เมื่อผ่านสัปดาห์ที่ 3 หากทำการหมักต่อไป มีแนวโน้มว่าแบคทีเรียจะมีปริมาณคงที่หรือใกล้เคียงกับที่ระยะเวลาหมัก 21 วัน

ตอนที่ 2 การทดสอบการแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสและการทดสอบการวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลส

นำน้ำหมักที่ระยะเวลาการหมัก 21 วัน มาทดสอบการแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลส พบว่าน้ำหมักที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดีและน้ำหมักที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส รวมถึงน้ำหมักที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ทำการหมักที่อุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส พบแบคทีเรียจำนวน 1 ไอโซเลทที่ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสมากกว่า 1.0 เซนติเมตร ส่วนน้ำหมักที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี ที่ทำการหมักที่อุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส พบแบคทีเรียจำนวน 2 ไอโซเลทที่ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสมากกว่า 1.0 เซนติเมตรเมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีน

ผลการวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลส พบว่าเชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่ใช้อุณหภูมิในการหมัก 30-37 องศาเซลเซียส ที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าที่

ไม่มีการปรับค่าซีโอดี คือ 52.57 และ 42.71 หน่วย ตามลำดับ

เชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่ใช้อุณหภูมิในการหมัก 47–55 องศาเซลเซียส ที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดีทั้ง 2 ไอโซเลท คือ 64.46, 16.34 และ 34.07 หน่วย ตามลำดับ โดยเชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่ใช้อุณหภูมิในการหมัก 47–55 องศาเซลเซียส ที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์ อะไมเลสสูงมากกว่าเชื้อแบคทีเรียจากสภาวะการทดลองอื่น

ตอนที่ 3 การทดสอบการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน

จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10–50 นาที พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและค่า DE จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อย เมื่อทำการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำหมักที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ กัน ที่ปริมาณเอนไซม์ 1.35% ของน้ำหนักแป้งแห้ง เวลาการย่อย 40 นาที พบว่าเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำหมักที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี, ที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิการหมัก 30-37 องศาเซลเซียส และ 47-55 องศาเซลเซียส ให้ค่า DE 15.36, 15.09, 15.08 และ 15.12 ตามลำดับ

ตอนที่ 4 การทดสอบคุณภาพของมอลโทเดกซ์ทริน

นำสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเข้มข้นที่ผลิตได้ไปทดสอบคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171–2536 พบว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำหมักที่หมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และ 47–55 องศาเซลเซียส ทั้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี และมีการปรับค่า ซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171–2536 มีรายละเอียดดังนี้ คือ เมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีนแล้ว มีสีน้ำตาลแดง สามารถละลายน้ำได้ มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ร้อยละ 65.54, 65.91, 63.23 และ 65.18 ตามลำดับ มีเถ้าซัลเฟตร้อยละ 0.44, 0.40, 0.42 และ 0.40 ตามลำดับ มีน้ำตาลรีดิวซิงร้อยละ 10.07, 9.94, 9.54 และ 9.85 ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.11, 0.12, 0.09 และ 0.07 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากสมมุติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ พบว่า

1. เอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่มีปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งที่ใช้ในการหมักและอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักแตกต่างกัน เมื่อนำมาทดลองผลิตมอลโทเดกซ์ทรินแล้ว มีผลทำให้คุณภาพของมอลโทเดกซ์ทรินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171–2536 ไม่แตกต่างกัน

2. เอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่มีระยะเวลาที่ใช้ในการหมักแตกต่างกัน เมื่อนำมาทดลองผลิตมอลโทเดกซ์ทรินแล้ว มีผลทำให้คุณภาพของมอลโทเดกซ์ทรินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171–2536 ไม่แตกต่างกัน

3. เอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เมื่อนำมาทดลองผลิตมอลโทเดกซ์ทริน โดยระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยแป้งแตกต่างกัน มีผลทำให้คุณภาพของมอลโทเดกซ์ทรินตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171–2536 แตกต่างกัน นั่นคือ เมื่อทำการย่อยแป้งเป็นระยะเวลา 10, 20, 30, 40 และ 50 นาที พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและค่า DE ของมอลโทเดกซ์ทรินจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อย

4. มอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการใช้เอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171–2536

อภิปรายผล

ตอนที่ 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้งก่อนและระหว่างการหมัก

จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง พบว่ามีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นในระหว่างทำการหมัก โดยที่ระยะเวลาการหมัก 21 วัน มีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นสูงที่สุด

การเพิ่มปริมาณของแบคทีเรียเกิดขึ้นได้เนื่องจากในน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองนั้นมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังปะปนอยู่มาก ซึ่งแบคทีเรียในน้ำหมักสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อการเจริญและอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ สอดคล้องกับพรรษมณฑ์ แซ่จั่ง (2546: 116) ที่ทดลองหมักน้ำทิ้งจากเครื่องดีแคนเตอร์แบบไร้อากาศและหมักแบบต่อเนื่อง โดยมีการเติมสารอาหารให้กับแบคทีเรียทุกวัน เป็นเวลา 21 วัน พบว่ามีปริมาณแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสอดคล้องกับธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2525: 258) ที่กล่าวว่าอุณหภูมิในระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระนั้น แบคทีเรียสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม 2 ช่วง คือ ช่วงเมโซฟิลิค (Mesophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และช่วงเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic range) คือช่วงอุณหภูมิ 47-55 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้แบคทีเรียจะทำงานได้ไม่ดี ประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง

ตอนที่ 2 การทดสอบการแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสและการทดสอบการวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลส

นำน้ำหมักที่ระยะเวลาการหมัก 21 วัน มาทดสอบการแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลส พบแบคทีเรียที่ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสมากกว่า 1.0 เซนติเมตรเมื่อทดสอบกับสารละลายไอโอดีน

ในน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังจะมีแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสปะปนอยู่มาก ดังนั้น เมื่อนำน้ำหมักจากการทดลองมาเพาะเชื้อบนอาหารแข็ง Starch agar ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ แบคทีเรียจะผลิตเอนไซม์อะไมเลสออกมาย่อยแป้ง เมื่อทดสอบโดยการหยดสารละลายไอโอดีนลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อรอบโคโลนี แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสจะให้บริเวณใสรอบโคโลนี และแบคทีเรียที่มีแอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงจะให้บริเวณใสรอบโคโลนีกว้างมากกว่าแบคทีเรียที่มีแอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสต่ำ

สอดคล้องกับ ลัตถาพร ศรีมหาสงคราม (2525: 38) ที่ทดลองเก็บตัวอย่างจากแหล่งต่าง ๆ มาทำการคัดเลือกแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้สูง โดยนำเชื้อแบคทีเรียมาเพาะเลี้ยงลงบนอาหารวุ้นแป้งมันสำปะหลัง บ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง ราดทับด้วยสารละลายไอโอดีน แบคทีเรียที่สร้างวงใสรอบโคโลนีแสดงว่าสร้างเอนไซม์ อะไมเลสได้ เลือกเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างวงใสรอบโคโลนีกว้าง 5-10 มิลลิเมตร พบว่ามีเชื้อที่สร้างวงใสอยู่ในช่วงนี้ 112 เชื้อ โดยตัวอย่างที่เป็นน้ำนั้นพบว่า น้ำตามหนองบึงพบจุลินทรีย์ที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสน้อยกว่าน้ำทิ้งจากโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้แป้งหรือผลทางการเกษตรที่จะให้แป้ง เช่น ถั่ว ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น แบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์ อะไมเลสปะปนอยู่มากในน้ำทิ้งจากโรงงานเนื่องจากสามารถใช้แป้งเป็นแหล่งคาร์บอนได้

จากการวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลส พบว่าเชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงกว่าที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี โดยเชื้อแบคทีเรียจากน้ำหมักที่ใช้อุณหภูมิในการหมัก 47-55 องศาเซลเซียส ที่มีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสสูงมากกว่าเชื้อแบคทีเรียจากสภาวะการทดลองอื่น

แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลสที่แตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสต่างชนิดกัน จากการตรวจสอบชนิดของแบคทีเรียโดยการย้อมสีแกรม พบว่าแบคทีเรียจากน้ำหมักที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ทั้งหมดอยู่ในจีนัส Bacillus แต่ยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเป็นสปีชีส์ใด แบคทีเรียแต่ละชนิดจะให้แอคติวิตีของเอนไซม์แตกต่างกัน และแบคทีเรียแต่ละชนิดจะเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

สอดคล้องกับพรรษมณฑ์ แซ่จั่ง (2546: 45 - 46) ที่กล่าวว่าจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปมีเอนไซม์ที่ทำงานได้ดีตลอดจนทนต่อการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิในช่วงที่ต่างกัน จุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญมากที่สุด หรือ Optimum temperature ต่างกัน เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงหรือสูงกว่า Optimum temperature จุลินทรีย์จะเจริญช้าลง โดยแบคทีเรียที่ผลิตเอนไซม์อะไมเลสมีมากมาย ได้แก่ *Bacillus subtilis*, *B. mesentericus*, *B.*

stearothermophilus, *Clostridium acetobutylicum*, *Aerobacillus macerans*, *Bacterium cassavanum*, *Actinomyces microflavus*, *Sarcina sp.* ซึ่งสอดคล้องกับลัดถาพร ศรีมหาสงคราม (2525: 50) ที่กล่าวว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในขณะเลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเอนไซม์อะไมเลสสำหรับเชื้อ *B. subtilis* คือ 30-35 องศาเซลเซียส และเชื้อ *B. amyloliquefaciens* คือ 37 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียที่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูง ได้แก่ *B. stearothermophilus* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และ *B. coagulans* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 3 การทดสอบการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน

จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10-50 นาที พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและค่า DE จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการย่อย และที่ปริมาณเอนไซม์ 1.35% ของน้ำหนักแป้งแห้ง เวลาการย่อย 40 นาที พบว่าเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำหมักทุกสภาวะการทดลอง ให้ค่า DE ใกล้เคียงกัน

เอนไซม์อะไมเลสจะย่อยพันธะ α-1,4 แบบสุ่มภายในโมเลกุลของแป้ง ในช่วงแรกการย่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และช้าลงในเวลาต่อมาเนื่องจากมีความเฉพาะเจาะจงต่อการย่อยมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรุ่งนภา ประดิษฐพงษ์ (2539: 194) ที่ทดลองผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวโดยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ทำการย่อยสตาร์ชที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักแป้งแห้ง ปริมาตรน้ำแป้ง 50 มิลลิลิตร พบว่าเมื่อย่อย สตาร์ชนานขึ้นจะมีปริมาณสตาร์ชเหลว ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงและ DE เพิ่มขึ้น

ตอนที่ 4 การทดสอบคุณภาพของมอลโทเดกซ์ทริน

จากการนำสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินเข้มข้นที่ผลิตได้ ไปทดสอบคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536 พบว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการย่อยแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์อะไมเลสจากเชื้อแบคทีเรียที่ได้จากน้ำหมักที่หมักที่อุณหภูมิ 30-37 องศาเซลเซียส และ 47-55 องศาเซลเซียส ทั้งที่ไม่มีการปรับค่าซีโอดี และมีการปรับค่าซีโอดีเป็น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536 ได้แก่ ลักษณะชี้บ่ง การละลาย ของแข็งทั้งหมด เถ้าซัลเฟต น้ำตาลรีดิวซิง และโปรตีน เนื่องจากในระหว่างการทดลอง มีขั้นตอนการแยกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลส โดยผู้วิจัยได้นำเชื้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสตั้งแต่ 1.0 เซนติเมตรขึ้นไปมาทำการทดลองในขั้นต่อไป ซึ่งจากผลการคัดเลือกแบคทีเรียนี้ ทำให้ได้แบคทีเรียที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสใกล้เคียงกันในทุกสภาวะการทดลอง เมื่อนำแบคทีเรียไปสกัดเอนไซม์ อะไมเลสและวิเคราะห์แอคติวิตีของเอนไซม์อะไมเลส จึงส่งผลให้แอคติวิตีไม่แตกต่างกันมากในแต่ละตัวอย่าง และทำให้มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตได้มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536 โดยค่าที่ได้จากการทดสอบคุณภาพต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าจะมีสภาวะที่ใช้ในการหมักแตกต่างกันก็ตาม

จากการนำน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาทำการหมักเพื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย และสกัดเอนไซม์ อะไมเลสจากแบคทีเรียเพื่อนำไปผลิตมอลโทเดกซ์ทรินที่มีมาตรฐานตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1171-2536 เดกซ์ทรินสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าสามารถทำได้จริง แต่เมื่อเทียบกับเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ที่ใช้ทางการค้าแล้ว เอนไซม์ที่ผลิตได้ มีแอคติวิตีหรือประสิทธิภาพในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลรีดิวซิงต่ำกว่า ซึ่งในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยเห็นว่าสามารถนำน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมาเป็นแหล่งอาหารสำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรียเพื่อผลิตเอนไซม์อะไมเลสได้ แต่ต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการทำเอนไซม์ให้บริสุทธิ์มากขึ้นและขยายการผลิตเพิ่มขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับอุตสาหกรรมและผลิตเพื่อเป็นการค้าต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. สนับสนุนให้โรงงานที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง เห็นถึงความสำคัญในการนำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากการนำน้ำทิ้งมาทำการหมักเพื่อเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย และสกัดเอนไซม์อะไมเลสจากแบคทีเรียเพื่อนำไปผลิตมอลโทเดกซ์ทรินสามารถทำได้จริง และเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มจากของเหลือใช้ได้ ลดการนำเข้าเอนไซม์จากต่างประเทศ ช่วยลดภาระทางการเงินและเวลาในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงาน และยังเป็นการลดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. สนับสนุนให้บุคลากรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีศักยภาพเพียงพอ ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการเพิ่มกำลังการผลิตเอนไซม์ในระดับอุตสาหกรรม เพื่อนำไปสู่การผลิตเพื่อเป็นการค้าและสามารถนำไปใช้งานได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตเอนไซม์ในขั้นตอนของอาหารเลี้ยงเชื้อ ที่ทำให้เอนไซม์ที่ผลิตได้มีแอคติวิตีสูงสุดและเปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ ในการทำเอนไซม์ให้บริสุทธิ์ เพื่อให้สามารถนำเอนไซม์ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก โดยขยายกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปสู่การผลิตที่เป็นการค้าและเป็นการยืนยันผลการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

3. ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเอนไซม์ที่ผลิตได้จากแบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อราที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เพื่อให้ได้เอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

บรรณานุกรม

[1.] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2549). *คู่มือการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐนิเวศน์ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง.* กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

[2.] ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2525). *คู่มือการวิเคราะห์น้ำทิ้ง.* โดยคณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำทิ้งสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3.] พรรษมณฑ์ แซ่จั่ง. (2546). *ศึกษาการลอกแป้งบนผืนผ้าด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง.* ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

[4.] รุ่งนภา ประดิษฐพงษ์. (2539). *การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวโดยเอนไซม์แอลฟา-อะมิเลส เพื่อใช้รักษากลิ่นหอมของข้าวสาร.* วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

[5.] ลัตถาพร ศรีมหาสงคราม. (2525). *การผลิตเอนไซม์ อมิเลสจากบักเตรีเพื่อย่อยแป้งมันสำปะหลัง.* วิทยานิพนธ์ วท.ม. (จุลชีววิทยา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

[6.] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2536). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เดกซ์ทรินสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร มอก. 1171 – 2536 เล่ม 110 ตอนที่ 107.* กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[7.] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2552*). สถิติการ เกษตรของประเทศไทย ปี 2551.* กรุงเทพฯ: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[8.] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). สถิติ*การส่งออก (Export) แป้งมันสำปะหลัง: ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน.* สืบค้นเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2553, จาก http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php