

การบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบไขมันและน้ำมันในปริมาณสูง ด้วยจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์

Treatment of Oily Wastewater by Yeast*

อิสระ นนธิราช Itsara Nonthirach^a วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัมย์ Wiboonluk Pungrasmi^{b,✉}

^a นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Graduate Student, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

^b ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

✉ wiboonluk.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีววิทยาโดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋องซึ่งมีไขมัน น้ำมัน และโปรตีนเป็นองค์ประกอบ มีค่า ซีโอดี 3,680 มก./ล. ไขมันและน้ำมัน 2,822 มก./ล. และโปรตีน 714 มก./ล. เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบการบำบัดด้วย ยีสต์ 3 สายพันธุ์ที่ผ่านการทดสอบการผลิตเอนไซม์ไลเปสขั้นปฐมภูมิแล้ว ได้แก่ *Candida maltosa*, *Candida tropicalis* และ *Yarrowia lipolytica* โดยการทดลองแบบแบทช์ ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชม. พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 85, 82 และ 95 ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดไขมันและน้ำมันเท่ากับร้อยละ 53, 51 และ 82 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า *Yarrowia lipolytica* เป็นยีสต์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดใน การบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย โดยชีวมวลของยีสต์ที่ได้มีทั้งชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างครบถ้วนในปริมาณสูง และผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) นั่นคือมี ลักษณะสมบัติที่สามารถนำไปใช้เป็นอาหารเสริมประเภทโปรตีนสำหรับสัตว์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: น้ำเสีย; ไขมันและน้ำมัน; ยีสต์; ชีวมวล

Abstract

The aim of this research was to study biological treatment of oily wastewater by yeast. Real wastewater from canned fish industry that has fat, oil and protein as its component was used in this experiment. The results of wastewater analysis showed COD value of 3,680 mg/L with 2,822 mg/L of lipid and oil, and 714 mg/L of protein. Three yeast strains used in this research were pure cultures of *Candida maltosa*, *Candida tropicalis* and *Yarrowia lipolytica*, which had been primarily tested for lipase production. After Cultivation in wastewater at room temperature with rotational speed at 200 rpm for 48 hours, the COD removal efficiency was found to be 85, 82 and 95 percent, respectively, while oil and fat removal efficiencies were 53, 51 and 82 percent, respectively. Consequently, it could be concluded that *Yarrowia lipolytica* has the highest capability in fat and oil removal from oily wastewater. Moreover, obtained yeast biomass contains all the essential amino acids in high amount which were well balanced and surpassed with the Food and Agriculture Organization. The high content of the essential amino acids suggests that the yeast protein could be used as protein supplement in animal feed.

Keywords: Wastewater; Fat Oil and Grease; Yeast; Biomass

* งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิตบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

น้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบเป็นน้ำเสียที่บำบัดยากและก่อให้เกิดปัญหาหลายอย่างเช่นเดียวกับน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ ซึ่งการบำบัดสามารถทำได้ด้วยกระบวนการต่างๆ ทั้งวิธีการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ สำหรับวิธีการทางกายภาพจะเป็นการใช้กลไกความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของไขมันและน้ำมันกับน้ำ เช่น ระบบการลอยไขมัน ระบบการจับรวมตัว เป็นต้น ส่วนกลไกทางเคมีนั้นทำได้โดยการเติมสารเคมีบางชนิดเข้าไปเพื่อลดแรงตึงผิวทำให้สามารถแยกไขมันและน้ำมันออกจากน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามไขมันและน้ำมันที่อยู่ในรูปของอิมัลชันมักจะยากต่อการใช้วิธีการธรรมดาในการบำบัด ระบบบำบัดไขมันและน้ำมันขั้นสูง เช่น ดีเอเอฟ ; การลอยตัวด้วยอากาศละลาย หรือ โคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้าอาจจำเป็นต้องนำมาใช้เพื่อการบำบัดไขมันและน้ำมันที่แยกออกได้ยาก ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีข้อจำกัด คือ สิ้นเปลืองพลังงานและใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง (“In a FOG”, 2002) ดังนั้นการบำบัดไขมันและน้ำมันด้วยกระบวนการทางชีวภาพจึงได้รับความสนใจและนำมาใช้งาน เช่น การย่อยไขมันและน้ำมันด้วยวิธีการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนซึ่งเป็นการอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ผลิตและปลดปล่อยเอนไซม์ไลเปสในการย่อยไขมันและน้ำมันในรูปไตรกลีเซอไรด์ แล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นกลีเซอรอลกับกรดไขมันที่จุลินทรีย์สามารถดูดซึมเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ผ่านวิถีเบต้าออกซิเดชัน (β -Oxidation pathway) เพื่อให้ได้พลังงานออกมาใช้ในการเจริญเติบโต (Benchapatarapong, 1997)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้จุลินทรีย์กลุ่มยีสต์ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ คือ ยีสต์มีความสามารถในการรองรับการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ความเข้มข้นสูงและองค์ประกอบที่เป็นไขมันและน้ำมันจากอุตสาหกรรมอาหารและอื่นๆ ได้ (Chigusa, Hasegawa, Yamamoto & Watanabe, 1996) โดยสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปชีวมวลของยีสต์ที่มีน้ำหนักเซลล์สูง สามารถตกตะกอนได้เองตามแรงโน้มถ่วง จึงสามารถแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย (Ijah, 1998) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในการเป็นอาหารเสริมโปรตีนและวิตามินของสัตว์ได้ (Papanikolaou, Chevalot, Komaitis, Marc & Aggeli, 2002) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงแนวทางการบำบัดไขมันและน้ำมันที่แพร่กระจายในน้ำเสีย เพื่อให้ได้หัวเชื้อทางชีวภาพที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนเป็นการมุ่งเน้นการนำชีวมวลที่เกิดขึ้นไปใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

แผนการวิจัย

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดำเนินการตามวิธีมาตรฐานที่ระบุใน Standards methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 1992) และวิเคราะห์โปรตีนตามวิธีของ Rydin, Molin & Nilsson (1990) โดยการทดลองจะทำการคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียที่มีองค์ประกอบไขมันและน้ำมันสูง เพื่อเปรียบเทียบความสามารถระหว่างยีสต์ 3 สายพันธุ์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปส ได้แก่ *Candida maltosa* (IAM12247T), *Candida tropicalis* (IAM14385T) และ *Yarrowia lipolytica* (IAM12188) ซึ่งเป็นยีสต์สายพันธุ์บริสุทธิ์ (Pure Culture) จากแหล่งรวบรวมเชื้อจุลินทรีย์ (IAM Culture collection) มหาวิทยาลัยโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ในการทดลองจะใช้น้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋องซึ่งมีไขมัน น้ำมัน และโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ดำเนินการทดลองแบบแบทช์ในขวดเขย่าซึ่งมีปริมาณออกซิเจนพอเพียง โดยมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

การเตรียมหัวเชื้อยีสต์

ถ่ายหัวเชื้อบริสุทธิ์ของยีสต์จากอาหารแข็งลาตเอียงที่ผ่านการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 48 ชม. ซึ่งเป็นระยะเวลาที่วิเคราะห์จากการทดลองหาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์ทั้ง 3 สายพันธุ์ และเป็นระยะเวลาที่เพียงพอต่อการปรับตัวและย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มาเตรียมเซลล์แขวนลอยโดยการเติมน้ำกลั่นปลอดเชื้อ 2.5 มล. ต่อหลอดอาหารแข็งลาตเอียง เติมเซลล์แขวนลอย 0.3 มล. ลงในอาหารเหลวสูตร YM (Yeast Malt Medium) 100 มล. ซึ่งบรรจุอยู่ในขวดทดลองขนาด 250 มล. เลี้ยงเชื้อบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 24 ชม. เมื่อเจริญเติบโตดีแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ล้างเซลล์ 2 ครั้งด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ ทำการกระจายเชื้อในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ให้ได้ค่าการดูดกลืนแสงประมาณ 1.0 ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่มีความเหมาะสมกับเซลล์ของจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์ (Benchapatarapong, 1997)

น้ำเสียและการเตรียมน้ำเสีย

นำน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารที่มีองค์ประกอบของไขมัน น้ำมัน และโปรตีนในปริมาณที่สูง ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างจากจุดปล่อยน้ำออกจากถังดักไขมันก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานปลากระป๋อง ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นต่างๆ ทั้งทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าซีโอดี ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ค่าทีเคเอ็น อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง แล้วทำการปรับค่าพีเอชให้เป็น 5 เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.25 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย และเติมธาตุอาหารที่จำเป็นให้อยู่ในอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 1:6 ด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์

การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของยีสต์

ถ่ายเซลล์แขวนลอยของหัวเชื้อยีสต์ที่เตรียมไว้ร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ลงในน้ำเสียที่ผ่านการเตรียมแล้ว 2,500 มล. ในขวดรูปชมพู่ขนาด 5 ลิตร เลี้ยงบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 100 มล. ทุกๆ 3 ชม. ติดต่อกันเป็นเวลา 48 ชม. เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณไขมันและน้ำมัน (มก./ล.) ปริมาณโปรตีน (มก./ล.) เซลล์ซีโอดี (Cell-COD) (มก./ล.) และซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร) จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงสารอาหารต่อเวลา เพื่อวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate) และประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ไขมันและน้ำมันของยีสต์แต่ละสายพันธุ์ ทำการคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสีย และปริมาณการผลิตชีวมวลสูงสุด

การวิเคราะห์องค์ประกอบของชีวมวลของยีสต์

ถ่ายหัวเชื้อยีสต์สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจากการทดลองช่วงที่ 1 ร้อยละ 10 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ลงในน้ำเสียที่ผ่านการเตรียมแล้ว 300 มล. ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. เลี้ยงบนเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชม. ทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเซลล์ ล้างเซลล์ 2 ครั้งด้วยน้ำกลั่นปลอดเชื้อ และนำมาทำให้แห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ จากนั้นนำชีวมวลที่ได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เกลือ วิตามินและปริมาณกรด

อะมิโน ตลอดจนองค์ประกอบของแร่ธาตุพื้นฐาน ตามวิธีมาตรฐานด้วยวิธีการทางเคมี (APHA, AWWA & WEF, 1992)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

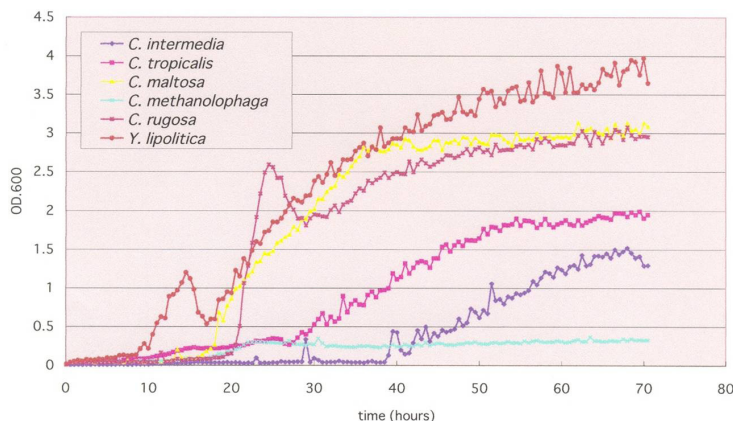
ตารางที่ 1 แสดงลักษณะสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมปลากระป๋องที่ใช้ในการทดลอง โดยน้ำเสียมีค่าพีเอชเป็นกรด เท่ากับ 5.7 มีค่าปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด 927 มก./ล. มีปริมาณโปรตีนและสารอินทรีย์ไนโตรเจน 714 และ 143 มก./ล. ตามลำดับ มีค่าปริมาณน้ำมันและไขมันเท่ากับ 2,822 มก./ล. ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่าซีโอดีของน้ำมีปริมาณสูงถึง 3,680 มก./ล. และสำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่ามีค่าสูงเท่ากับ 5,940 มก./ล. โดยเป็นของแข็งในรูปละลายน้ำเพียง 522 มก./ล.

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

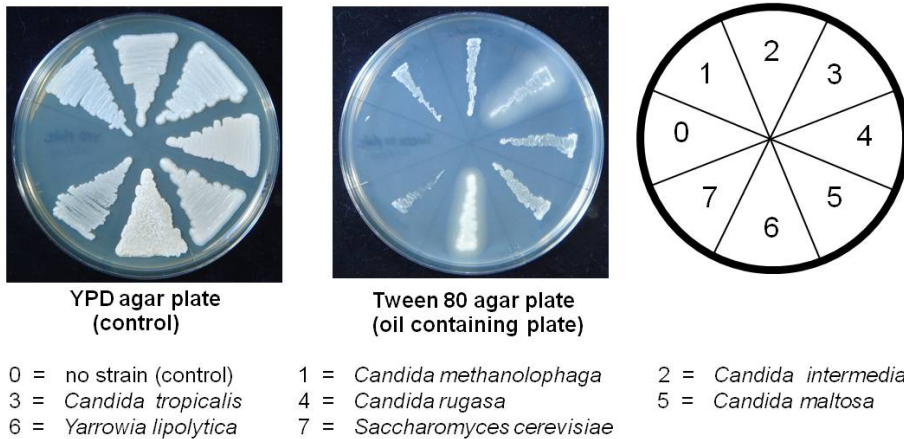
พารามิเตอร์	ปริมาณ	พารามิเตอร์	ปริมาณ
Suspended Solid (mg/l)	522	Total Kjeldahl Nitrogen (mg/l)	143
Total Dissolved Solid (mg/l)	4,576	Protein (mg/l)	714
Total Solid (mg/l)	5,940	Total Organics Carbon (mg/l)	927
Fat Oil and Grease (mg/l)	2,822	Temperature (°C)	29
Chemical Oxygen Demand(mg/l)	3,680	pH	5.7

ยีสต์และการเจริญเติบโตของยีสต์

ยีสต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ที่ผ่านการทดสอบการผลิตเอนไซม์ไลเปสขึ้นปฐภูมิแล้วตาม Habe *et al.*(2000) โดยเป็น 3 ใน 6 สายพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ และมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสและปลดปล่อยออกสู่อาหารเลี้ยงเชื้อ ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2

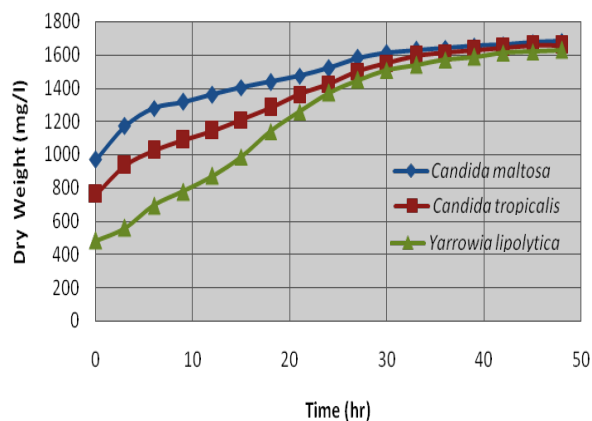


ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของยีสต์ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 2 การเจริญและการปลดปล่อยเอนไซม์ไลเปสของยีสต์บนอาหารแข็งที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ

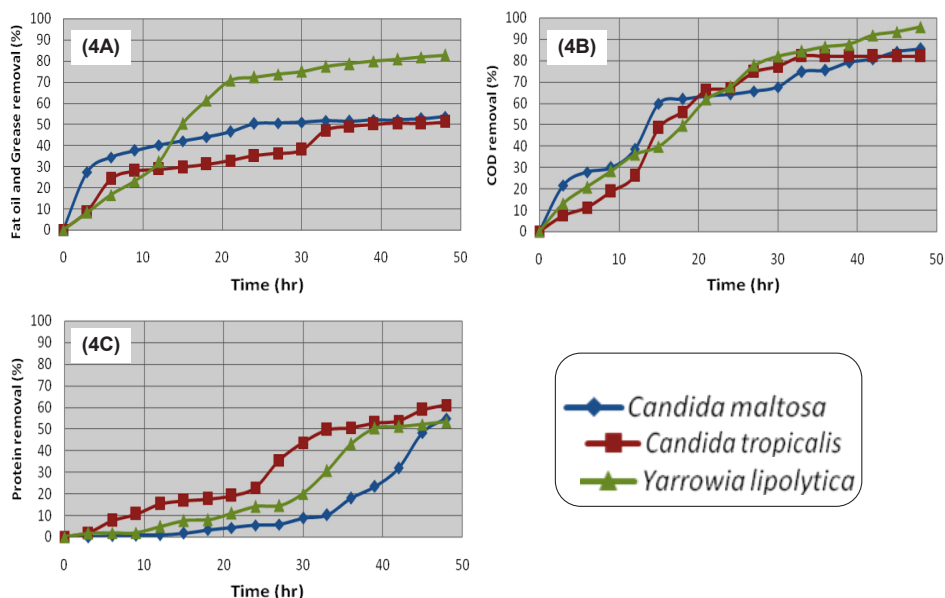
เมื่อนำยีสต์ทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Candida maltosa*, *Candida tropicalis* และ *Yarrowia lipolytica* มาทดลองเลี้ยงในน้ำเสียจริงจากโรงงานปลากระป๋อง และติดตามการเจริญในช่วงเวลา 48 ชม. ซึ่งเป็นระยะเวลา ในช่วง log phase ที่ยีสต์มีการเจริญเติบโตสูงสุดโดยไม่มีการตายเกิดขึ้นและตรวจวัดประสิทธิภาพการย่อยสลายไขมันและน้ำมันในน้ำเสียจริงของจุลินทรีย์กลุ่มยีสต์สายพันธุ์ต่างๆ ทั้ง 3 สายพันธุ์ ผลการทดลองดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่ายีสต์ทั้ง 3 สายพันธุ์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสีย โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามือน้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นร้อยละ 42 54 และ 70 ตามลำดับ และคิดเป็นค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.06 0.08 และ 0.11 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ นั่นคือ *Yarrowia lipolytica* สามารถเจริญเติบโตได้สูงที่สุด รองลงมาคือ *Candida maltosa* และ *Candida tropicalis* ซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาในการปรับตัวเข้ากับน้ำเสียค่อนข้างนาน โดยผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่ายีสต์ทั้ง 3 สายพันธุ์สามารถใช้สารอินทรีย์และองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันสูงเพื่อการเจริญเติบโต เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณชีวมวลและเซลล์มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 การเจริญเติบโตของยีสต์ 3 สายพันธุ์ในน้ำเสียจริงจากโรงงานปลากระป๋องที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบ

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยยีสต์

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของยีสต์ในแง่ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าซีไอทีและปริมาณไขมันและน้ำมันพบว่า ทั้ง 3 สายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ต่างกัน โดย *Candida maltosa*, *Candida tropicalis* และ *Yarrowia lipolytica* บำบัดไขมันและน้ำมันเท่ากับร้อยละ 53 ± 4 51 ± 3 และ 82 ± 2 ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4A) ซึ่งจากความสามารถในการบำบัดไขมันและน้ำมันที่แตกต่างกันนี้เป็นผลโดยตรงที่ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอทีของยีสต์แต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกันด้วย โดยแสดงค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีไอทีเท่ากับร้อยละ 85 82 และ 95 ตามลำดับ (ดังแสดงในภาพที่ 4B) จะเห็นได้ว่า *Yarrowia lipolytica* เป็นยีสต์สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ โดยการลดลงของปริมาณไขมันและน้ำมันในน้ำเสียนั้นเกิดขึ้นจากการถูกเปลี่ยนรูปเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตของยีสต์ ซึ่งกรดไขมันอิสระที่ได้จากการย่อยสลายจะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่ภายในเซลล์และใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ (Benchapatarapong, 1997) สำหรับประสิทธิภาพของยีสต์ในการบำบัดโปรตีนในน้ำเสีย พบว่ามีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการบำบัดซีไอทีและไขมันและน้ำมัน โดย *Candida tropicalis* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดโปรตีนโดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเพียงร้อยละ 61 ± 6 และเท่ากับร้อยละ 54 ± 5 และ 53 ± 8 ตามลำดับ สำหรับ *Candida maltosa* และ *Yarrowia lipolytica* (แสดงดังในภาพที่ 4C)



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการบำบัดไขมันและน้ำมัน (4A) ซีไอที (4B) และโปรตีน (4C) โดยยีสต์ 3 สายพันธุ์ที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้งประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและการเจริญเติบโตของยีสต์ในน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันเป็นองค์ประกอบ พบว่า *Yarrowia lipolytica* เป็นสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และมีอัตราการเพิ่มปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดด้วย จึงคัดเลือกยีสต์สายพันธุ์นี้เพื่อใช้ในการศึกษาความเหมาะสมในการนำชีวมวลที่ได้จากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปใช้เพื่อเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนในอาหารสัตว์ในขั้นตอนต่อไป

การศึกษาองค์ประกอบของชีวมวลของยีสต์

เมื่อนำชีวมวลของ *Yarrowia lipolytica* ไปศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีและวิเคราะห์คุณภาพโปรตีนของยีสต์ เพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางในการใช้เป็นอาหารเสริมประเภทโปรตีนสำหรับสัตว์ พบว่าประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 26 ไขมันร้อยละ 9 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 55 และเถ้าร้อยละ 8 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบชนิดและปริมาณองค์ประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) กับแหล่งโปรตีนอื่นๆ และค่าที่กำหนดตามมาตรฐานอาหารสัตว์ขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO Guideline) พบว่า ชีวมวลจาก *Yarrowia lipolytica* มีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบถ้วน โดยมีทั้งชนิดและปริมาณในสัดส่วนที่สูงกว่าที่ปรากฏในถั่วเหลือง ค่าที่กำหนดตามมาตรฐานขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ นั้นคือ มีปริมาณไลซีน เมไทโอนีน และทรีโตนีน ในปริมาณร้อยละ 16 2 และ 4 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) จึงแสดงให้เห็นว่าชีวมวลจากยีสต์ *Yarrowia lipolytica* มีความเหมาะสมและมีคุณสมบัติครบถ้วนเพียงพอที่จะใช้เป็นแหล่งอาหารเสริมสำหรับสัตว์ได้ตามข้อกำหนดขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติที่กำหนดว่า จุลินทรีย์ที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์ควรมีชนิดและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นภายในเซลล์ที่ครบถ้วนและควรมีในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไลซีน เมไทโอนีน และทรีโตนีน เพื่อทดแทนแหล่งโปรตีนจากพืช (Scrimshaw & Young, 1979)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบชนิดและปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นจากชีวมวลของยีสต์กับถั่วเหลืองและมาตรฐานอาหารเสริมสำหรับสัตว์ขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ

Essential Amino acid	แหล่งโปรตีน (ร้อยละของโปรตีนทั้งหมด)		
	<i>Yarrowia lipolytica</i> ^[a]	ถั่วเหลือง ^[b]	FAO Guideline ^[c]
Lysine	16.36	6.6	4.2
Threonine	11.50	4.3	2.8
Valine	12.64	5.0	4.2
Methionine	2.09	1.3	2.2
Isoleucine	9.64	4.9	4.2
Leucine	14.27	8.0	4.8
Phenylalanine	9.41	-	2.8
Histidine	4.91	-	-
Arginine	15.23	-	-
Tryptophan	4.33	-	-

[a] ข้อมูลจากการทดลองเลี้ยงในน้ำเสียโรงงานปลากระป๋องของงานวิจัยนี้

[b] Lo & Moreau, 1986

[c] Food and Agriculture Organization, 1970

สรุปผลการทดลอง

ยีสต์ทั้งสามสายพันธุ์ได้แก่ *Candida maltosa*, *Candida tropicalis* และ *Yarrowia lipolytica* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียที่มีไขมันและน้ำมันสูงและมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ โดย *Yarrowia lipolytica* เป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งในรูปซีโอดี ไขมันและน้ำมัน และโปรตีน โดยชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการเจริญเติบโตของยีสต์สายพันธุ์นี้ในน้ำเสียยังมีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นอาหารเสริมของสัตว์เพื่อทดแทนแหล่งอาหารประเภทโปรตีน เนื่องจากมีทั้งชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดตามมาตรฐานองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ จึงแสดงให้เห็นว่า ยีสต์สายพันธุ์นี้มีความเหมาะสมที่จะใช้ในการเปลี่ยนรูปไขมันและน้ำมันในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และของเสียที่เกิดขึ้นยังสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างสูงสุดอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- American Public Health Association [APHA], American Water Works Association [AWWA] & Water Pollution Control Federation [WEF]. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association.
- Benchapatarapong, N. (1997). *Production of yeast biomass from fat-containing wastewater*. Unpublished Master's thesis, Faculty of Science, Chulalongkorn University.
- Chigusa, K., Hasegawa, T., Yamamoto, N. & Watanabe, Y. (1996). Treatment of wastewater from oil manufacturing plant by yeasts. *Water Science and Technology*, 34(11), 51 – 58.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (1970). *Amino-acid content of foods and biological data on proteins*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Habe, E., Bresco, O., Ferrer, C., Marques, A., Busquets, M. & Manresa, A. (2000). Isolation of lipase-secreting bacteria by deploying used frying oil as selective substrate. *Enzyme and Microbial Technology*, 26(1), 40 – 44.
- Ijah, U. J. J. (1998). Studies on relative capabilities of bacterial and yeast isolates from tropical soil in degrading crude oil. *Water Management*, 18(5), 293 – 299.
- In a FOG: Wastewater system managers struggle with fat, oil and grease (2002, May/June). *Water Resources Research Institute News of the University of North Carolina*, 335, 1 – 6.
- Lo, S. N. & Moreau, J. R. (1986). Mixed-culture microbial protein from waste sulfite pulping liquor II: Its production on pilot-plant scale and use in animal feed. *Canadian Journal of Chemical Engineer*, 64(4), 639 – 646.
- Papanikolaou, S., Chevalot, I., Komaitis, M., Marc, I. & Aggelis, G. (2002). Single cell oil production by *Yarrowia lipolytica* growing on an industrial derivative of animal fat in batch cultures.

Applied Microbiology and Biotechnology, 58(3), 308 – 312.

Rydin, S., Molin, G. & Nilsson, I. (1990). Conversion of fat into yeast biomass in protein containing wastewater. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 33, 473 – 476.

Scrimshaw, N. S. & Young, V. R. (1979). Soy protein in adult human nutrition: A review with new data. In Wilcke H. L., Hopkins, D. T. & Waggle, D. H. (Eds.), *Soy protein and human nutrition* (pp. 121 – 148). New York: Academic Press.