บทที่ 5
อภิปรายผลและสรุปผล

อภิปรายผลการทดลอง

น้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องที่นำมาศึกษามีสารอาหารเหมาะต่อการเจริญของยีสต์ เนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตผลไม้กระป๋องประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์เป็นสับปะรด องค์ประกอบทางเคมีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสับปะรดกระป๋องมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ซูโครส ราฟฟิโนส กาแลคโตส โปรตีน ไขมัน เป็นส่วนประกอบ (Nigam, 1999) จึงเหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์ เนื่องจากมีทั้งแหล่งคาร์บอนและไนโตรเจน

ยีสต์สามารถใช้แหล่งคาร์บอนต่าง ๆ ได้ เช่น กลูโคส กลีเซอรอล กรดอินทรีย์ ในการหายใจในกระบวนการไกลโคไลซิสและวัฏจักรเครบส์ (Walker, 1999) ดังนั้นจึงสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผลไม้ได้ ดังเช่นการทดลองบำบัดน้ำเสียจากกองหญ้าหมักที่มีกรดแลคติก สารประกอบฟีโนลิค โวลาไทล์แฟตตี้แอซิด โดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ *C. utilis* และ *Galactomyces geotrichum* เมื่อยีสต์ใช้สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ไปทำให้น้ำเสียมีค่าซีโอดีลดลง (Arnold et al., 1999) นอกจากนี้สลัดจ์หรือชีวมวลที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียไม่ต้องไปผ่านกระบวนการกำจัดทิ้ง เนื่องจากเป็นชีวมวลของยีสต์ที่มีโปรตีนสูง (Single Cell Protein) และยังมีกรดอะมิโนจำเป็นอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ทำอาหารสัตว์ได้ (Rajoka, Khan, Jabber, Awan, & Hashmi, 2005)

น้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องมีพีเอชอยู่ระหว่าง 3.38-4.35 ซึ่งเป็นกรดเนื่องจากในสับปะรดมีกรดมาลิกและซิตริก (Bartolome, Ruperez, & Fuster, 1994) จากการทดลองคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์ทั้ง 5 สายพันธุ์ พบว่า *C. utilis* CBS 1517 สามารถลดค่าซีโอดีได้ดีที่สุด คือ 89.7±0.11 เปอร์เซ็นต์ *C. utilis* เป็นยีสต์ที่สามารถใช้กรดอินทรีย์ได้ โดยมีรายงานการใช้ยีสต์ชนิดนี้ มาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารที่มีพีเอชเป็นกรด (Elmaleh et al., 1999) และมีรายงานว่า *C. utilis* สามารถลดสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon) ในน้ำเสียจากกองหญ้าหมักที่เจือจางที่ 25 เปอร์เซ็นต์ได้ดีที่สุด คือ 86 เปอร์เซ็นต์ (Alnold et al., 2000) นอกจากนี้ยังมีรายงานการเลือกใช้ยีสต์ *C. utilis* เพื่อผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากของเสียจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร (Pual et al., 2002 cited in Rajoka et al., n.d.) รวมทั้งลดค่าซีโอดีในน้ำเสียหรือมลพิษของน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัดค่าซีโอดีของน้ำเสียโดย *C. utilis* CBS 1517 คือ พีเอช 3.5 มีรายงานว่าที่พีเอช 3.5 ยีสต์เจริญได้มากที่สุด และยังช่วยจำกัดการเจริญของแบคทีเรีย (Dan et al., 2002; Elmaleh et al., 1996) แหล่งไนโตรเจนจำเป็นสำหรับใช้ในการสร้างโปรตีน เปปไทด์ และกรดนิวคลีอิคของยีสต์ (Walker, 1999) ดังนั้นจึงเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์ที่ต้องเติมเสริมลงไปในน้ำเสีย เพื่อให้ยีสต์สามารถสังเคราะห์สารต่าง ๆ ในการเจริญได้ จากการทดลองพบว่า แหล่งไนโตรเจนทั้ง 3 ชนิด คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ และยูเรีย สามารถช่วยให้ยีสต์สายพันธุ์นี้ลดค่าซีโอดีได้ใกล้เคียงกัน จึงเลือกใช้ยูเรียเนื่องจากยูเรียสามารถกระตุ้นการเจริญ (Bufrancova et al., 1999 cited in Yu & Zhang, 2004) ทั้งนี้ยูเรียยังเป็นแหล่งไนโตรเจนที่ไม่แพงอีกด้วย โดยทั่วไปยังนิยมใช้ยูเรียเป็นตัวเพิ่มไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอโรบิค (คณะกรรมการจัดทำคู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย, 2536) และปุ๋ยยูเรียยังมีราคาต่อหน่วยต่ำสุด (วิเชียร ฝอยสกุล, 2546) อีกทั้งแอมโมเนียมซัลเฟตและแอมโมเนียมคลอไรด์จะทำให้น้ำเป็นกรดเมื่อใช้ไปนาน ๆ เนื่องจากยีสต์ได้ใช้แอมโมเนียม (NH_4^+) ในน้ำจนหมดทำให้เหลือไอออนของซัลเฟตและคลอไรด์ (Suechara et al., 2005)

การเจริญของยีสต์ในน้ำเสียที่เติมยูเรียมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่เติมแหล่งไนโตรเจนทั้ง 3 แหล่ง (ภาพที่ 4-2) ทั้งนี้อาจเนื่องจากยูเรียไปช่วยเพิ่มการผลิตเอทานอลของยีสต์ (Yu & Zhang, 2004) ซึ่งตรงกับการทดลองของ Choi and Park (2003) ที่เลี้ยง *Pichia stipilis* CBS 5776 ในน้ำเสียจากการกระบวนการหมักกิมจิ พบว่า แหล่งไนโตรเจนที่ทำให้น้ำหนักเซลล์แห้งน้อยที่สุด คือ ยูเรีย แต่ไม่มีผลต่อโปรตีนภายในเซลล์ของยีสต์ เนื่องจากปริมาณโปรตีนภายในเซลล์ไม่แตกต่างกับเมื่อเติมแอมโมเนียมซัลเฟตและโซเดียมไนเตรต

พีเอชของน้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องชุดที่เติมแหล่งไนโตรเจนจะเพิ่มขึ้นหลังการเพาะเลี้ยง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่เติมแหล่งไนโตรเจนโดยเมื่อทำการทดลองครบ 72 ชั่วโมงจะมีพีเอช 3.57-6.24 เมื่อเติมแหล่งไนโตรเจนลงไปในน้ำเสียแล้วน้ำเสียจะมีพีเอชเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 6.89-9.06 จากน้ำเสียเดิมก่อนทำการทดลองที่มีพีเอชเป็นกรด คือ 3.38-4.35 จากการที่พีเอชเพิ่มขึ้นหลังจากทำการทดลองน่าจะทำให้น้ำเสียมีปัญหากับระบบบำบัดน้ำเสียน้อยลง เพราะน้ำเสียไม่เป็นกรดจึงไม่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนต่อคอนกรีตและเหล็กซึ่งเป็นส่วนสำคัญในระบบบำบัด การเพิ่มขึ้นของพีเอชเนื่องมาจากการใช้กรดแลคติกและโวลาไทล์แฟตตี้แอซิด (Arnold et al., 2000) และอีกสาเหตุหนึ่งเมื่อพีเอชสูงขึ้นจะมีแอมโมเนียในปริมาณเล็กน้อยที่จะหายไปในรูปของแก๊ส ทำให้น้ำจะเหลือแต่ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียม (Jimenez, Mateos, Gusman, & Marin, 2000)

จากการหาอัตราเจริญจำเพาะสูงสุดของยีสต์สายพันธุ์ *C. utilis* CBS 1517 ในน้ำเสียที่

ฆ่าเชื้อ พบว่าในชั่วโมงที่ 1-2 จะเป็นระยะการปรับตัว (Lag Phase) เนื่องจากมีน้ำหนักเซลล์แห้ง 0.1 กรัมต่อลิตร หลังจากนั้นก็เข้าสู่ระยะจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Log Phase) ในชั่วโมงที่ 3-84 และในชั่วโมงที่ 4-9 ซึ่งเป็นช่วงที่ชันที่สุดและนำไปใช้หาค่าอัตราเจริญจำเพาะสูงสุด และเข้าสู่ระยะคงที่ (Stationary Phase) ในชั่วโมงที่ 84-96 ซึ่งจากการหาอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดนำข้อมูลมาหาค่าคงที่ในการใช้สับสเตรตได้ 413.97 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ในชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จซึ่งใช้น้ำเสียที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อก็มีลักษณะการเจริญเช่นเดียวกับการเจริญของอัตราการเจริญจำเพาะในน้ำเสียที่ฆ่าเชื้อ ส่วนค่าซีโอดีของชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จ ในช่วงแรก 1-12 ชั่วโมงแรกค่าซีโอดีจะไม่เปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีจะอยู่ระหว่าง 3,464-3,532 มิลลิกรัมต่อลิตร จนกว่าจะเข้าสู่ระยะจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว (Zhang et al., 2004) หลังจากชั่วโมงที่ 12 พบว่า ซีโอดีลดลงอย่างเป็นลำดับจากซีโอดีเริ่มต้น 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 404 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือซีโอดีลดลง 89.9 เปอร์เซ็นต์ ในชั่วโมงที่ 96 ชุดควบคุมมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าซีโอดีเท่ากับ 61.3 เปอร์เซ็นต์ การลดลงของค่าซีโอดีในน้ำเสียในชุดควบคุมแบบเบ็ดเสร็จน่าจะเป็นเพราะในน้ำมีแบคทีเรีย *B. sphaericus* และมียีสต์ลักษณะกลม สีส้มแดง อยู่ในน้ำเสีย ซึ่ง *B. sphaericus* สามารถใช้น้ำตาลและซิเตรตเป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานได้ (Buchanan & Gibbons, 1975) และยีสต์ส่วนใหญ่จะใช้กรดมาลิกและกรดซิตริกเป็นสารตั้งต้นได้ (Walker, 1999) การลดลงของซีโอดีเกิดจากการออกซิเดชันสารอินทรีย์ไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นพลังงานที่ต้องการในการเจริญและเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ ระหว่างระยะปรับตัวการลดลงของสารอินทรีย์จะถูกออกซิเดชันไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนระยะจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ระหว่าง 67.16-88.75 เปอร์เซ็นต์ และช่วงระยะที่เซลล์ตายสารอินทรีย์ไนโตรเจนในเซลล์จะถูกย่อยและถูกปล่อยออกมาในน้ำในรูปของแอมโมเนียม (Ghaly & Kamal, 2004)

พีเอชของชุดควบคุมแบบเบ็ดเสร็จ จากการทดลองพีเอชค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากพีเอช 3.5 จนถึงพีเอช 6.95 (ภาพที่ 4-12) และการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การลดลงของซีโอดีสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของพีเอช อาจเนื่องมาจากแบคทีเรีย *B. sphaericus* ที่อยู่ในน้ำเสียในชุดควบคุมสามารถใช้ซิเตรตได้ (Buchanan & Gibbons, 1975) และยีสต์ที่พบในน้ำเสียน่าจะใช้กรดซิตริกและกรดมาลิกได้ ซึ่งอาจทำให้พีเอชของน้ำเสียสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากการใช้ซิเตรตและกรดมาลิกของ *B. sphaericus* และยีสต์ในน้ำเสีย ส่วนชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จที่ใช้ยีสต์ *C. utilis* CBS 1517 มาทำการทดลองบำบัดน้ำเสีย โดยยีสต์สายพันธุ์นี้สามารถใช้กรดอินทรีย์ โวลาไทล์แฟตตี้แอซิด และแลคติกแอซิดได้ ซึ่งมีรายงานว่า พีเอชของน้ำเสียจากกองหญ้าหมักจากเดิมมีพีเอชก่อนทดลองอยู่ระหว่าง 3.5-5.8 หลังจากทำการทดลองพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8.5-9 (Arnold et al., 2000) พีเอชเริ่มต้น

ของน้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋องในชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จ คือ 3.5 และพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึง 8.01 เมื่อชั่วโมงที่ 96 ซึ่งเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นค่าซีโอดีก็ลดลงเช่นกัน ซึ่งทั้ง 2 ค่ามีความสัมพันธ์กัน และอีกสาเหตุหนึ่งที่น่าจะทำให้พีเอชในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากเมื่อยูเรียถูกย่อยสลายโดยยีสต์แล้วจะได้แอมโมเนียม (Walker, 1999) เช่นเดียวกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากอุตสาหกรรมนมที่มีปริมาณแอมโมเนียมอยู่สูงทำให้น้ำเสียมีพีเอช 8-9 (Jimenez et al., 2000)

ค่าพีเอชในน้ำเสียของชุดควบคุมและชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในช่วงหลัง 48 ชั่วโมง เนื่องจากในชุดทดลองมีการเติมยีสต์ทำให้ใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้มากกว่าชุดควบคุมจึงทำให้มีพีเอชแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างเห็นได้ชัด ในชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จในการเจริญช่วง 1-48 ชั่วโมงแรก พีเอชมีการเปลี่ยนแปลงน้อย คือ จากพีเอช 3.5 เป็น 4.26 น่าจะเป็นเพราะยีสต์ได้ใช้น้ำตาลรีดิวซ์ไปในช่วงนี้จนเกือบหมด แต่หลังจากช่วง 48 ชั่วโมง คือ ช่วง 48-72 ชั่วโมงน่าจะมีการใช้กรดอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งเป็นกรดซิตริกที่พบในสับปะรด (Bartolome, Ruperez, & Fuster, 1994) ทำให้พีเอชสูงขึ้น คือ จาก 4.26 เป็น 7.16 Shojaosadati et al. (1996) รายงานการทดลองบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการกลั่นเอทานอลที่ใช้น้ำตาลจากหัวบีทเป็นวัตถุดิบ พบว่า ในช่วงการเจริญในช่วงแรกมีพีเอชเพิ่มขึ้นสูงกว่าช่วงการเจริญช่วงที่สอง เพราะในช่วงแรกของการเจริญเติบโตจะมีการใช้หรือดูดซึมกรดอินทรีย์ เช่น กรดแลคติก และกรดอะซีติก และในช่วงที่สองจะมีการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำเสีย นอกจากนั้น Yang and Tung (1996) รายงานว่า ยีสต์เจริญในน้ำเสียจากการกลั่นเหล้าจีนที่ทำมาจากข้าวมาทำการทดลองแบบเบ็ดเสร็จ ทำให้พีเอชและน้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นอย่างมีความสัมพันธ์กัน และผลการทดลองของ Lu ที่ใช้ยีสต์หลายชนิดรวมกันในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเส้นหมี่อิตาลี จากน้ำเสียเริ่มต้นมีพีเอช 4 และมีพีเอชเพิ่มเป็น 8.5 หลังทำการทดลอง (Lu, 1983 cited in Dan, 2001)

ในชุดควบคุมแบบเบ็ดเสร็จมีจำนวนแบคทีเรียเพิ่มขึ้นมากใน 48 ชั่วโมงแรก (ภาพที่ 4-13) อาจเนื่องมาจากในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ที่ใช้ได้ง่ายอยู่มาก หลัง 48 ชั่วโมงจำนวนแบคทีเรียลดลง น่าจะเป็นเพราะว่าสารอินทรีย์พวกน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหมดไป เหลือแต่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียใช้ได้ยาก ส่วนชุดทดลองมีจำนวนแบคทีเรียค่อนข้างคงที่ เนื่องจากมีการเติมยีสต์ลงไป ทำให้อาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียมีอยู่อย่างจำกัด ยีสต์อื่นที่พบในชุดควบคุมและชุดทดลองมีจำนวนใกล้เคียงกันและมีการเพิ่มจำนวนไม่มาก (ภาพที่ 4-14) จึงไม่น่ามีบทบาทในการลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย

ค่าซีโอดีในชุดทดลองแบบต่อเนื่องในชั่วโมงที่ 1-3 ลดลงระหว่าง 21.5-24.35 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 4 เปอร์เซ็นต์ซีโอดีที่ลดลงเพิ่มเป็น 66.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชุดควบคุมเปอร์เซ็นต์การลดลงของซีโอดีเมื่อชั่วโมงที่ 12 มีค่าเพียง 22.7 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การลดลง

ของซีโอดีเริ่มคงที่เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 24 (ภาพที่ 4-17) Zhang et al. (2004) ทำการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้ Airlift-Loop Biofilm ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ พบว่า ในการทดลองแบบเบ็ดเสร็จกลูโคสในน้ำเสียจะถูกย่อยโดยสมบูรณ์เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 4 และค่าซีโอดีลดลงจาก 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตรเหลือ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือคิดเป็นค่าซีโอดีที่ลดลง 66.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อถึงชั่วโมงที่ 6 ส่วนการทดลองแบบต่อเนื่องเปอร์เซ็นต์การลดลงของซีโอดีก่อนถึงระยะคงที่ลดได้ 33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเมื่อเข้าสู่ระยะคงที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

น้ำหนักเซลล์แห้งทั้งชุดควบคุมและชุดทดลองแบบต่อเนื่องก่อนข้างคงที่เพราะอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ในระบบคงที่ เนื่องจากเรากำหนดอัตราการเจือจางไว้เพียงครึ่งหนึ่งของอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด จึงทำให้อัตราการเจริญคงที่ ไม่เกิดการชะล้างเซลล์ออกจากระบบจนหมด (Fiehter et al., 1987 cited in Walker, 1999) ทั้งนี้ยังมีการให้น้ำเสียที่เป็นอาหารแก่ยีสต์ในระบบจำลองตลอดเวลา ซึ่งเป็นพื้นฐานการควบคุมระบบแบบต่อเนื่อง โดยจะช่วยจำกัดการเจริญได้โดยการจำกัดสารตั้งต้นที่เข้าสู่ระบบหรือที่เรียกว่า Chemostats (Syamsu et al., 1996 cited in Walker, 1999)

สำหรับพีเอชของน้ำเสียชุดควบคุมแบบต่อเนื่องก่อนทำการทดลองเท่ากับ 3.45 เมื่อเวลาผ่านไป พบว่าพีเอชลดลงเล็กน้อย จนสิ้นสุดการทดลอง พีเอชของน้ำเสียเหลือ 3.34 ซึ่งการลดลงของพีเอชคาดว่าเป็นเพราะแบคทีเรีย *Aerococcus viridans* ที่อยู่ในน้ำเสียสามารถผลิตกรดได้จากกลูโคสและแลคโตส (Buchanan & Gibbons, 1975) อาจทำให้พีเอชในน้ำเสียลดลงเล็กน้อย ส่วนพีเอชของชุดทดลองแบบต่อเนื่องมีพีเอชค่อนข้างคงที่ เนื่องจากน้ำเสียที่นำเข้ามาในระบบมีการควบคุมพีเอชไว้ที่ 3.5 ทำให้พีเอชของน้ำเสียไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

นอกจากนั้นในระบบบำบัดจำลองแบบต่อเนื่องมีการใช้น้ำตาลเกือบหมดในทุกวัน คือมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ทั้งในชุดควบคุมและชุดทดลอง เนื่องจากน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์ที่นำไปใช้ได้ง่าย จึงถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์เป็นอันดับแรก โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคสที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการไกลโคไลซิส (Walker, 1999) ของยีสต์และแบคทีเรีย

แบคทีเรียในชุดควบคุมแบบต่อเนื่องเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากใน 24 ชั่วโมงแรก น่าจะเป็นเพราะแบคทีเรียมีการใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียจำพวกน้ำตาลต่าง ๆ ได้อย่างเต็มที่ ทำให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นมาก หลังจากนำน้ำเสียเข้าไปในระบบในชั่วโมงที่ 48 นั้นมีปริมาณแบคทีเรียใกล้เคียงกับ 24 ชั่วโมงก่อนนำน้ำเสียเข้าระบบ จนถึงชั่วโมงที่ 96 แบคทีเรียมีจำนวนลดลงอาจเป็นเพราะน้ำเสียมีพีเอชลดลงจึงส่งผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย ในชุดทดลองมีแบคทีเรียเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในชั่วโมงที่ 24 ก่อนนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบ และจำนวนแบคทีเรียค่อนข้างคงที่หลังจากนำน้ำเสียเข้าระบบ น่าจะ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

เป็นเพราะอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียมีจำนวนจำกัด ซึ่งถูกใช้ไปโดยยีสต์ที่เติมลงไปและจุลินทรีย์อื่นที่อยู่ในระบบ (ภาพที่ 4-21) จำนวนยีสต์อื่นในชุดควบคุมแบบต่อเนื่องมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในชั่วโมงที่ 24 และเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 48 และ 96 ส่วนจำนวนยีสต์อื่นในชุดทดลองมีปริมาณเพิ่มขึ้นในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และเริ่มคงที่ในชั่วโมงที่ 48 และ 96 (ภาพที่ 4-22)

ในชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จต้องใช้เวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ถึงจะบำบัดน้ำเสียให้มีค่าซีโอดีได้ใกล้เคียงกับชุดทดลองแบบต่อเนื่อง เพราะว่าชุดทดลองแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพดีกว่าเพราะใช้เวลาเพียง 4 ชั่วโมง ก็สามารถลดค่าซีโอดีได้ถึง 66.7 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าซีโอดีของน้ำเสียที่ออกจากระบบมีค่าเพียง 1,398 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร น่าจะเป็นเพราะยีสต์ในชุดทดลองแบบต่อเนื่องนั้นอยู่ในระยะพร้อมที่จะใช้สารอาหารหรือที่เรียกว่า ระยะคงที่ ทำให้ยีสต์สามารถใช้สารอาหารในน้ำเสียที่เข้ามาในระบบได้ทันที แต่ในชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จนั้นยีสต์ในระบบต้องผ่านระยะการปรับตัวก่อน แล้วจึงจะเข้าสู่ระยะจุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วซึ่งในช่วงนี้จะมีการใช้สารอาหารในน้ำเสียเป็นจำนวนมากเพื่อนำไปผลิตเซลล์ทำให้ค่าซีโอดีลดลงมากในช่วงนี้ ดังนั้นชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จจึงใช้เวลาในการลดค่าซีโอดีมากกว่าในชุดทดลองแบบต่อเนื่อง

อัตราการใช้สารอาหารของชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จของยีสต์สายพันธุ์ *C. utilis* CBS 1517 เมื่อชั่วโมงที่ 1 มีอัตราการใช้สารอาหาร 0 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง และค่อยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอัตราการใช้สารอาหารสูงที่สุดอยู่ที่ชั่วโมงที่ 2 คือ 341 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง และค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนถึงชั่วโมงที่ 96 เหลืออัตราการใช้สารอาหารเพียง 21.6 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง อาจเนื่องมาจากในระยะที่จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วมีผลทำให้ค่าซีโอดีลดลงในช่วงนี้สูง พอหลังจากระยะนี้ไปค่าซีโอดีที่ลดลงจะน้อยลงเนื่องจากการเจริญของยีสต์ในระบบเริ่มคงที่มีการใช้สารอาหารในน้ำเสียน้อยลง ทำให้ค่าซีโอดีที่ลดลงน้อยลงตามไปด้วย Hoyos, Nieto, Rubio, and Cormenzana (2002) นำรา *Aspergillus terrous* มาบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมน้ำมันมะกอก ซึ่งทดลองโดยใช้ระบบบำบัดจำลองแบบเบ็ดเสร็จขนาด 5 ลิตร มีอัตราการใช้สารอาหารเฉลี่ยใน 24 ชั่วโมงแรกเท่ากับ 126.3 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง และที่ชั่วโมงที่ 72 ลดลงเหลือ 77.3 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง สำหรับอัตราการใช้สารอาหารของ *C. utilis* CBS 1517 ในระบบบำบัดจำลองแบบต่อเนื่องนั้นมีอัตราการใช้สารอาหารเริ่มคงที่เมื่อถึงชั่วโมงที่ 4 ซึ่งการทดลองแบบต่อเนื่องมีอัตราการใช้สารอาหารใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง คือ 392 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับน้ำเสียที่เข้ามาในระบบ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ทราบว่า การทดลองแบบเบ็ดเสร็จมีอัตราการใช้สารอาหารน้อยกว่าการทดลองแบบต่อเนื่อง การทดลองแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีได้ดีกว่าเมื่อดูจากอัตราการใช้สารอาหารของทั้ง 2 ชุดการทดลอง ทั้งยังสามารถบำบัด

น้ำเสียได้ในปริมาณมากกว่าและทำงานได้ตลอดเวลา ไม่ต้องเปลี่ยนน้ำเสียออกเมื่อครบเวลาและสามารถนำน้ำเสียใหม่เข้าระบบได้ ซึ่งเป็นการเปลืองที่และเวลาในการบำบัดน้อยกว่าแบบเบ็ดเสร็จ การทดลองแบบต่อเนื่องสามารถนำน้ำเสียเข้าระบบได้ตลอดซึ่งคล้ายกับการบำบัดน้ำเสียแบบแอคทิเวทเตดสลัดจ์ เพียงแต่ไม่มีถังตกตะกอนเท่านั้น ส่วนในการทดลองแบบเบ็ดเสร็จมีรูปแบบใกล้เคียงกับบ่อเติมอากาศที่เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในลักษณะแขวนลอยในถังปฏิกิริยา

การทดลองครั้งนี้เป็นเพียงการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นเท่านั้น เนื่องจากน้ำเสียหลังการทดลองบำบัดในชุดทดลองทั้งสองแบบยังมีค่าเกินมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ซึ่งควรมีการพัฒนาระบบให้บำบัดน้ำเสียจนได้มาตรฐานน้ำทิ้ง โดยอาจนำเอาชุดทดลองแบบต่อเนื่องมาเพิ่มระยะเวลากักเก็บให้มากขึ้นก่อนจะปล่อยออกจากระบบ หรืออาจนำมาต่ออนุกรมกันหลาย ๆ ถัง หรืออาจนำมาบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น เพื่อให้น้ำเสียมีคุณภาพได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งรองรับน้ำสาธารณะต่อไป

สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์ เพื่อใช้ในการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากโรงงานผลไม้กระป๋อง พบว่า *C. utilis* CBS 1517 ค่าซีโอดีได้ 89.7±0.11 เปอร์เซ็นต์ ได้น้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 0.32±0.00 กรัมต่อลิตร ใช้ปริมาณน้ำตาลไป 99.94±0.00 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชของน้ำเสียหลังการทดลองเท่ากับ 4.41±0.02

2. พีเอชที่ยีสต์ชนิดนี้สามารถลดค่าซีโอดีได้ดีที่สุด คือ พีเอช 3.5 และแหล่งไนโตรเจนที่เหมาะแก่การเจริญของยีสต์นี้ คือ ยูเรียที่ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์

3. ในระบบบำบัดจำลองแบบเบ็ดเสร็จ พบว่า ชุดทดลองสามารถลดค่าซีโอดีได้สูงสุด 89.9±0.11 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 0.9±0.00 กรัมต่อลิตร มีการใช้ปริมาณน้ำตาลสูงสุด 99.9±0.00 เปอร์เซ็นต์และพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนชุดควบคุมสามารถลดค่าซีโอดีได้ 61.3±1.15 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 96 ชั่วโมง น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 0.3±0.00 กรัมต่อลิตร มีการใช้ปริมาณน้ำตาลสูงสุด 99.89±0.00 เปอร์เซ็นต์ และพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4. การทดลองแบบต่อเนื่อง พบว่า ชุดทดลองสามารถลดค่าซีโอดีได้ระหว่าง 66.-66.95 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเซลล์แห้ง 0.5±0.00 กรัมต่อลิตร มีการใช้ปริมาณน้ำตาลระหว่าง 99.82-99.83 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียมีพีเอชอยู่ระหว่าง 3.54-3.62 ชุดควบคุมสามารถลดค่าซีโอดีได้ระหว่าง 22.7-28.6 เปอร์เซ็นต์ มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดเท่ากับ 0.3±0.00 กรัมต่อลิตร มีการใช้ปริมาณน้ำตาลระหว่าง 99.73-99.76 เปอร์เซ็นต์ และน้ำเสียมีพีเอชอยู่ระหว่าง 3.34-3.41

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

5. อัตราการใช้สารอาหารของชุดทดลองแบบเบ็ดเสร็จอยู่ระหว่าง 0-0.34 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง ส่วนชุดทดลองแบบต่อเนื่องมีอัตราการใช้สารอาหารอยู่ระหว่าง 0.08-0.39 กรัมซีโอดีต่อลิตรต่อชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มการวัดปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำเสีย เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของกรดอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากพีเอชของน้ำเสียอยู่ในช่วงที่เป็นกรดน่าจะเป็นเพราะกรดอินทรีย์ในน้ำที่ทำให้พีเอชในน้ำเสียต่ำ เราจึงควรติดตามดูปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำเสียที่ทำให้พีเอชเปลี่ยนแปลง

2. ควรวัดการตกตะกอนของสารแขวนลอยในน้ำเสียเพิ่ม เพราะเป็นตัวแปรสำคัญของคุณภาพน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ และอาจต้องมีถังตกตะกอนเพื่อพักน้ำก่อนที่จะปล่อยออกไป เพื่อจะนำตะกอนมาใช้ใหม่และลดสารแขวนลอยในน้ำ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University