บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณผลผลิตผลไม้และการผลิตผลไม้กระป๋อง

1. ปริมาณผลผลิตผลไม้ที่สามารถนำมาแปรรูปในอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

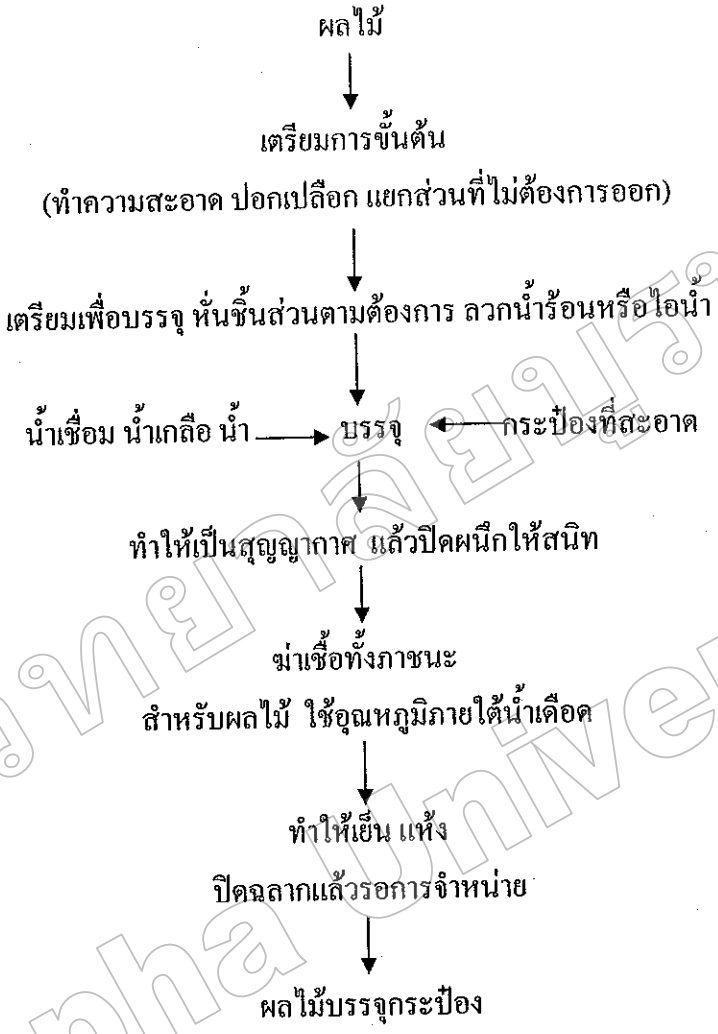
ผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิดในประเทศไทย ซึ่งมีหลายชนิดในแต่ละฤดูกาลที่สามารถนำมาผลิตเป็นผลไม้กระป๋องได้ เช่น ลำไย เงาะ สับปะรด ลิ้นจี่ มะม่วง มะละกอ ขนุน ข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2547) พบว่า ในปีพ.ศ. 2543 ลำไยกระป๋องมีการส่งออก 3,977 ตัน เป็นมูลค่า 119.15 ล้านบาท และปีพ.ศ. 2547 พบว่ามีผลผลิตลำไย 545,000 ตัน นำมาแปรรูปเป็นลำไยกระป๋องเป็นจำนวน 18,300 ตัน สำหรับผลผลิตลิ้นจี่ในปี พ.ศ. 2547 นั้นมีการคาดการณ์จากกรมวิชาการเกษตรว่าจะมีผลผลิตลิ้นจี่ 86,943 ตัน ส่วนผลผลิตเงาะพบว่าในแต่ละปีจะมีผลผลิตปีละ 600,000-700,000 ตันในระหว่างปี พ.ศ. 2537-2541 และในปี พ.ศ. 2542 มีการนำเงาะไปแปรรูปเป็นเงาะกระป๋อง เงาะสอดไส้สับปะรด และมีการส่งออกในปีเดียวกันดังนี้ เงาะสด 5,861 ตัน มูลค่า 119.9 ล้านบาท เงาะกระป๋อง 6,539 ตัน มูลค่า 255.43 ล้านบาท เงาะสอดไส้สับปะรด 3,204 ตัน มูลค่า 142.22 ล้านบาท

ผลไม้ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งในอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋องของไทย คือ สับปะรด ในปี พ.ศ. 2544 ผลผลิตสับปะรดทั่วโลกมีปริมาณ 13,568,000 ตัน ประเทศไทยผลิตได้มากที่สุด คือ ผลิตได้ 1,979,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 14.70 ของผลผลิตสับปะรดรวมทั้งโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) และในปี พ.ศ. 2542 ไทยสามารถส่งออกผลิตภัณฑ์สับปะรดได้ 595,857 ตัน มีมูลค่า 16,662.2 ล้านบาท เป็นสับปะรดบรรจุภาชนะอัดลม 475,404 ตัน มูลค่า 11,432 ล้านบาท น้ำสับปะรดกระป๋อง 101,530 ตัน มูลค่า 3,870 ล้านบาท เงาะลอยแก้วสอดไส้สับปะรด 3,204 ตัน มูลค่า 142 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) และจากการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตสับปะรดปี 2547 จะได้ประมาณ 1.994 ล้านตัน (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

2. กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

ในกระบวนการผลิตผลไม้บรรจุกระป๋องมีขั้นตอน ดังนี้ ทำการปอกเปลือก แยกเมล็ด และตัดแต่งรูปร่างขนาดให้สวยงามสม่ำเสมอให้เหมาะแก่การบริโภค นำไปบรรจุในภาชนะบรรจุที่เหมาะสม ส่วนใหญ่จะใช้กระป๋องที่สะอาด ในการบรรจุมีการเติมน้ำเชื่อม น้ำผลไม้ที่ปรุงแต่งแล้ว และร้อนจนเกือบเต็ม ขั้นตอนการผลิตผลไม้กระป๋อง ดังแสดงในภาพที่ 2-1 (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-1 กระบวนการผลิตผลไม้บรรจุกระป๋อง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540)

3. องค์ประกอบของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

เนื่องจากน้ำตาลกลูโคสและฟรุคโตส เป็นพวกโมโนแซคคาไรด์ ซึ่งพบมากในผลไม้ ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง มีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมากทำให้มีค่าบีโอดี และซีโอดีสูง ตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมสับปะรดกระป๋องต้องมีตัดแต่งชิ้นสับปะรด น้ำเสียจากโรงงานจึงเป็นแหล่งของน้ำตาล โปรตีน วิตามิน สารที่ช่วยในการเจริญอื่น ๆ ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเสียจากโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋อง แสดงดังตารางที่ 2-1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-1 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของของเสียที่เป็นของเหลวของกระบวนการผลิตจากโรงงานผลิตสับปะรดกระป๋อง (Nigam, 1999)

Chemical constituent	Concentration ($g\ l^{-1}$)
Total Sugars	82.53±0.78
Reducing Sugars	39.46±0.60
Glucose	22.70±0.85
Sucrose	38.70±1.12
Fructose	15.81±0.83
Raffinose	2.62±0.27
Galactose	2.85±0.33
Protien	6.40±0.33
Fat	1.20±0.17
Kjeldahl Nitrogen	2.32±0.15
Total Solids	50-60
Microbial Count	10^2-10^4 ml^{-1}
pH	4.0±0.08

ยีสต์

1. คุณสมบัติของยีสต์

จุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการบำบัดของเสียและน้ำเสียจากการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีหลายชนิดทั้งที่เป็นสาหร่าย ยีสต์ เชื้อรา และแบคทีเรีย (นันทนิตย์ คงวัน, 2546) ซึ่งยีสต์นับว่าเป็นจุลินทรีย์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดในการใช้ในการบำบัดของเสียและผลิตโปรตีนเซลล์เดียว โดยมีคุณสมบัติดีกว่าจุลินทรีย์อื่น (Bhattacharjee, 1970 อ้างถึงใน วรรณภา นัยบุตร, 2532) ดังนี้

1.1 มีอัตราการเจริญเร็วในอาหารที่มีส่วนประกอบอย่างง่าย ๆ

1.2 เซลล์สามารถคลุกเคล้ากับอาหารได้ดี และแยกเซลล์ออกจากอาหารที่เลี้ยงได้ง่าย

1.3 สามารถต้านทานต่อการทำลายของไวรัส และเชื้ออื่นที่ปนเปื้อน และมีความคงตัวต่อการหมัก

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.4 สามารถใช้แหล่งพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อผ่านขบวนการแล้วมีวัสดุเหลือทิ้งน้อยมากหรือไม่มีเลย

1.5 มีกลิ่นรสที่ดี ไม่เป็นพิษ และสามารถย่อยได้ง่าย

1.6 มีปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันสูง

1.7 สามารถปรับปรุงพันธุ์ให้มีคุณสมบัติที่ต้องการได้

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริการับรองให้ใช้ยีสต์อยู่ 3 สายพันธุ์เป็นอาหารได้ ซึ่งยีสต์เหล่านี้สามารถเจริญในของเสียที่เป็นของเหลวได้ ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae*, *Kleyveromyces fragilis*, *Candida utilis* ซึ่งยีสต์แต่ละชนิดสามารถใช้กรดอินทรีย์และแหล่งคาร์บอนในของเสียได้ดี ทั้งยังสามารถลดค่าบีโอดีได้ดีอีกด้วย ตัวอย่างเช่น *C. utilis* ซึ่งสามารถใช้กรดแลคติกในของเสียจากกระบวนการผลิตกะหล่ำปลีดองของเยอรมนี ทั้งยังนำไปเป็นแหล่งคาร์บอนที่ใช้ในการเจริญ และช่วยลดค่าบีโอดีได้ 88.7 เปอร์เซ็นต์ (Hang, Splittstoesser, & Landschoot, 1972)

น้ำตาลที่ยีสต์แต่ละชนิดจะนำไปใช้ได้นั้นมีความแตกต่างกันดังตารางที่ 2-2 ซึ่งตารางนี้จะแสดงความสามารถในการใช้น้ำตาลของยีสต์

ตารางที่ 2-2 ความสามารถในการใช้น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ของยีสต์ 3 สายพันธุ์ (Reed & Nagodawithana, 1991)

	Yeast Species		
	Saccharomyces cerevisiae (Bakers)	*Kluyveromyces marxianus* (Whey)	*Candida utilis* (Torula)
Glucose	+	+	+
Sucrose	+	-	-
Lactose	-	+	-
Xylose	-	-	+

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2. ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์

2.1 แหล่งคาร์บอน และพลังงาน

สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานของยีสต์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของยีสต์ โดยทั่วไปแล้ว D-Glucose, D-Mannose, D-Fructose และ Sucrose ใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานของยีสต์ได้เกือบทุกชนิด นอกจากนี้ยีสต์ *C. utilis*, *C. tropicalis* สามารถใช้น้ำตาลเพนโตสได้ ยีสต์ *Endomycopsis fibuligera* สามารถใช้แป้งได้ ส่วนยีสต์ *Fabospora fragilis* สามารถย่อยอินนูลินได้ เนื่องจากมีเอนไซม์อินูเลสที่ผนังเซลล์ (Rose & Harrison, 1971) ยีสต์ *C. rugosa*, *C. lipolytica*, *C. intermedia* N-30 สามารถใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนได้ เป็นต้น (Harada, Ono, & Nagasawa, 1972 อ้างถึงใน วรรณภา นัยบุตร, 2532)

2.2 แหล่งไนโตรเจน

ยีสต์ต้องการไนโตรเจนเพื่อใช้ในการสร้างโปรตีนของเซลล์ ยีสต์ทุกชนิดสามารถใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ บางชนิดใช้แอมโมเนียมฟอสเฟต, แอมโมเนียมคาร์บอเนต แอมโมเนียมทาร์เทรต หรือยูเรียได้ดี (Rose & Harrison, 1971)

2.3 แหล่งฟอสฟอรัส

ยีสต์ต้องการฟอสฟอรัสเพื่อใช้ในการสร้างพลังงาน เซลล์สามารถดูดซึมสารออโทฟอสเฟท และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟท ได้ดีกว่าไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟท สารอินออการ์นิกฟอสเฟทนั้น ยีสต์สามารถสะสมไว้ได้ในรูปเมต้าฟอสเฟทในโวลูตินแกรนูล และเมต้าฟอสเฟทนี้สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ดี (Rose & Harrison, 1971)

2.4 แหล่งซัลเฟอร์

ยีสต์ส่วนใหญ่ใช้สารอินออการ์นิกซัลเฟตได้ดี เช่น แมกนีเซียมซัลเฟต การซึมผ่านผนังเซลล์ของสารนี้ต้องใช้พลังงาน และอัตราการให้อากาศจะมีผลต่อปริมาณสารประกอบซัลเฟอร์ในเซลล์ โดยเมื่อให้อากาศเพิ่มขึ้นแต่ลดปริมาณซัลเฟอร์ลง ปริมาณซัลเฟอร์ในเซลล์จะลดลงด้วย (Rose & Harrison, 1971)

2.5 วิตามิน

ยีสต์ต้องการวิตามินชนิดต่าง ๆ เพื่อเป็นสารช่วยการเจริญ และเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ เช่น ต้องการไบโอติน 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร แพนโททีเนท 50 มิลลิกรัมต่อลิตร อิโนซิทอล 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังต้องการไทอามีน ไพริดอกซิน และไนอาซินด้วย (Rose & Harrison, 1971)

สารอาหารอื่น ๆ นั้น ยีสต์ต้องการในปริมาณต่ำ ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ เพื่อใช้เป็น

โคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ เช่น แมกนีเซียม โคบอลท์ โมลิบดินั่ม ทองแดง และสังกะสี เป็นต้น นอกจากนี้ยีสต์ยังต้องการสารช่วยการเจริญบางชนิด เช่น ไบโอติน แพนโททีนิคแอซิด อิโนซิทอล ไทอามีน นิโคตรินิคแอซิด ไพริดอกซีน และโฟริคแอซิด (Rose & Harrison, 1971)

2.6 พีเอชของอาหาร

พีเอชที่เหมาะสมของยีสต์โดยทั่ว ๆ ไปอยู่ระหว่าง 4.5-5.5 การเลี้ยงยีสต์ในระดับอุตสาหกรรมมักปรับพีเอชของอาหารให้อยู่ระหว่าง 3.5-5.0 เพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ปะปนมา (Presscott & Dunn, 1959) พีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์แต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน เช่น *C. guilliermondii* มีพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญ 4.5 *C. utilis* มีพีเอชที่เหมาะสม 4.5-5.0 เช่นเดียวกับ *Hansenula anomala* (Rose & Harrison, 1975) *S. fragilis* มีพีเอชที่เหมาะสมระหว่าง 5.2-5.5 (Vananuvat & Kinsella, 1975)

2.7 อุณหภูมิ

ยีสต์ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 20-30 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของยีสต์แต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของยีสต์ เช่น *C. utilis* เจริญได้ดีที่ช่วงอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส ส่วน *C. tropicalis* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (Rose & Harrison, 1971) *H. polymorpha* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเมื่อเลี้ยงในเมทานอล *Trichosporon pullulans*, *T. japonicum* และ *T. cutaneum* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อเลี้ยงในสารไฮโดรคาร์บอน (Wiken, 1972 อ้างถึงใน วรรณภา นัยบุตร, 2532)

2.8 ปริมาณอากาศ

ยีสต์ต้องการปริมาณอากาศจำนวนมากเพื่อใช้ในการเจริญ โดยทั่วไปต้องการ 1 หน่วยปริมาตรของอากาศต่อ 1 หน่วยปริมาตรอาหารต่อนาที (Vananuvat & Kinsella, 1975) หรือ 275-530 ลูกบาศก์ฟุตต่อปอนด์ของของแข็ง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งออกซิเจนจะมีผลทำให้เพิ่มขบวนการหายใจ เร่งการเจริญของเซลล์ และขับสารพิษออกจากผลิตภัณฑ์ (Prescott et al., 1959)

ยีสต์กับการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

Chanda and Chakrabati (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตผักและผลไม้กระป๋องที่มีสารอินทรีย์ต่าง ๆ หลายชนิดในน้ำเสีย เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามิน ทำให้เกิดปัญหาสำคัญเนื่องจากน้ำเสียมีค่าซีโอดีและบีโอดีสูง จึงได้มีการใช้ยีสต์ 3 ชนิด คือ *C. lipolytica*, *S. cerevisiae* และ *Torula utilis* มาทดลองบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผักและผลไม้กระป๋อง พบว่าสามารถลดค่าบีโอดีได้ระหว่าง 75-78 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าซีโอดีสามารถลดได้ 46-48 เปอร์เซ็นต์

Yang and Tung (1996) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการกลั่นเหล้าจีน ซึ่งลักษณะน้ำเสียนี้มีพีเอช 3.5 มีค่าซีโอดี 50,920 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ทำการเพาะเลี้ยง *S. cerevisiae* โดยใช้ระบบ 3 ระบบในการทดลองนี้ คือ Batch, Fed-Batch และ Continuous ซึ่งในการเพาะเลี้ยงในระบบ Batch เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีน้ำหนักเซลล์แห้ง 6 กรัมต่อลิตร และมีพีเอชเพิ่มขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตในการเพาะเลี้ยงแบบ Batch ส่วนการเพาะเลี้ยงแบบ Fed-Batch มีการควบคุมพีเอชทำให้มีสภาวะเหมาะสมต่อการเจริญจึงได้น้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นเป็น 20 กรัมต่อลิตร และการเพาะเลี้ยงแบบ Continuous เมื่อกำหนดอัตราการเจือจางไว้ระหว่าง 0.016-0.036 ต่อชั่วโมง น้ำหนักเซลล์แห้งเพิ่มขึ้นถึง 70 กรัมต่อลิตร และมีน้ำตาลเหลือเฉลี่ยต่ำกว่า 0.4 กรัมต่อลิตร

Scioli and Vollaro (1997) ทดลองนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันมะกอกในเขตเมดิเตอร์เรเนียนมาทดลองบำบัดด้วยยีสต์ *Yarrowia lipolytica* ATCC 20255 เนื่องจากในน้ำเสียชนิดนี้มีค่าซีโอดีสูงในช่วง 100-200 กรัมต่อลิตร และยังมีปริมาณของสารประกอบอินทรีย์และสารอนินทรีย์อยู่สูง จากการทดลองยีสต์ชนิดนี้สามารถลดค่าซีโอดีได้ 80 เปอร์เซ็นต์ และได้ชีวมวล 22.45 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และน้ำเสียหลังทำการทดลองยังมีกลิ่นน้อยกว่าตอนยังไม่บำบัดมาก

Eliseo et al. (1999) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตนมและเนยเป็นแหล่งของน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีและซีโอดีสูงคือประมาณ 40,000-60,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 50,000-80,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงได้มีการทดลองเลี้ยงยีสต์เพื่อบำบัดน้ำเสียโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ต่าง ๆ ในการทดลอง ดังนี้ *C. krusei*, *K. fragilis*, *C. utilis* และ *Turulopsis cremoris* โดยใช้ระบบ Airlift Bioreactor มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จากการทดลองพบว่า *T. cremoris* และ *C. utilis* สามารถลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งได้ถึง 95.8 เปอร์เซ็นต์

Elmaleh, Cereda, Pastore, and Oliveira (1999) ทดลองนำยีสต์ *C. utilis* มาใช้ในระบบบำบัดที่เป็นแบบแอโรบิคที่มีการนำน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมาจากอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งระบบบำบัดนี้เป็นแบบที่มีอยู่ 3 ถังที่ต่ออนุกรม โดยถังแรกจะเป็นถังปฏิกิริยาที่มีสภาพเป็นกรดและอยู่ในสภาพแอนแอโรบิค ถังใบที่สองเป็นถังที่มีการเติมยีสต์เข้าไปในถังที่มีการกวนน้ำในถังด้วยใบพัด ส่วนถังสุดท้ายเป็นถังตกตะกอน โดยถังแต่ละถังที่มีการฆ่าเชื้อด้วยอะซีติกแอซิด หรือโพรพิโอนิคแอซิด หรือบิวทีริคแอซิด หรือผสมกรดทั้ง 3 ชนิดนี้ให้เป็นแหล่งคาร์บอนของยีสต์ โดยจะมีการปรับพีเอชของน้ำเสียให้ได้ 3.5 เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของแบคทีเรีย จากการทดลองพบว่า *C. utilis* สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon) ได้ถึง 97 เปอร์เซ็นต์

Min and Yun (1999) ศึกษาน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการหมักกิมจิ ซึ่งน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการหมัก นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศเกาหลีเพราะการผลิตกิมจิในแต่ละปีมี

ปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงได้มีการทดลองนำเชื้อยีสต์ *Pichia guilliermondii*, *C. versatilis* และ *Zygosacchamyces rouxii* มาทดลองบำบัดน้ำเสีย พบว่า *P. guilliermondii* สามารถลดค่าบีโอดีได้ระหว่าง 75-98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าซีโอดีสามารถลดได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 24 ชั่วโมง ได้น้ำหนักเซลล์แห้ง 0.69 กรัมต่อลิตร

Shojaosadati, Khalilzadeh, Jalilzadeh, and Sanaei (1999) ศึกษายีสต์ที่แยกได้จากน้ำเสียในอุตสาหกรรมเอทานอลที่มีน้ำตาลจากหัวบีทเป็นวัตถุดิบในการหมัก เพื่อนำไปใช้ผลิตโปรตีนเซลล์เดียวและลดค่าซีโอดีของน้ำเสีย โดยได้เลือกใช้ยีสต์จีนัส *Hansenula* ในการเพาะเลี้ยงแบบต่อเนื่อง และสามารถลดค่าซีโอดีได้ 31 เปอร์เซ็นต์และได้ชีวมวล 5.7 กรัมต่อลิตร โดยไม่เติมสารต่าง ๆ ลงในน้ำเสีย และเมื่อเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทำให้ชีวมวลเพิ่มเป็น 8.5 กรัมต่อลิตร และลดค่าซีโอดีได้เพิ่มขึ้นเป็น 35.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Crude Protein เมื่อไม่เติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปริมาณ 39.6 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 50.6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติมไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ในยีสต์ชนิดนี้มีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นเท่ากับในถั่วเหลืองและปลา

Arnold, Knapp, and Johnson (2000) ในการเลี้ยงสัตว์ในอังกฤษมีการนำหญ้ามากองเพื่อเก็บไว้เป็นอาหารสัตว์ ทำให้มีน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงไหลออกมาจากกองหญ้าออกมาสู่ดินและน้ำใต้ดิน เป็นผลให้ดินและน้ำใต้ดินในบริเวณนั้นเสีย เนื่องจากน้ำที่ไหลออกมามีค่าบีโอดีและซีโอดีอยู่สูง จึงได้ทำการทดลองโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ T2B ซึ่งแยกได้จากน้ำเสียและเมื่อนำไปจัดจำแนก พบว่าเป็น *Galactomyces geotrichum* ส่วนยีสต์อีกสายพันธุ์หนึ่งที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกองหญ้า คือ *C. utilis* จากการทดลองพบว่า ยีสต์ทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถลดค่าซีโอดีได้ตั้งแต่ 66-95 เปอร์เซ็นต์

Dan, Visvanathan, and Basu (2002) ทำการทดลองเลี้ยงยีสต์และแบคทีเรียในน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และมีความเค็มสูง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล โดยนำยีสต์มาจากตะกอนก้นถังบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำปลา แบคทีเรียที่นำมาบำบัดก็นำมาจากตะกอนของน้ำเสียจากโรงงานน้ำปลาเช่นเดียวกัน นำมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีโซเดียมคลอไรด์อยู่ในปริมาณ 20, 35 และ 45 กรัมต่อลิตร ในระบบบำบัดแบบใช้อากาศในถังหมักขนาด 2 ลิตร พบว่ายีสต์มีความทนทานต่อความเข้มข้นของเกลือได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียโดยดูได้จากค่าซีโอดีที่ลดลง พบว่ายีสต์บางชนิดสามารถทนทานต่อสภาพที่มีเกลือสูงและมีการปรับตัวภายใต้สภาพความเค็มสูงได้ แต่แบคทีเรียจะถูกทำลายได้เนื่องจากการออโมทิคของโพรโทพลาซึมในสภาพที่มีความเค็มสูง นอกจากนี้ยังพบว่า ยีสต์ยังสามารถดูดซับสารบางตัวได้ดีกว่าแบคทีเรีย คือ สามารถดูดซับไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ดีกว่า

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Joontaek, Taeyun, and Seokhwan (2002) จากกระบวนการแปรรูปปลาเป็นผลิตภัณฑ์ของปลาที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้มีของเสียจากการกระบวนผลิตที่เป็นของแข็งและน้ำเสียเพิ่มจำนวนมาก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการจัดการน้ำเสียในอุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์ปลา โดยได้ทำการทดลองโดยใช้ระบบ Alaska Pollack ขนาด 150 ลิตร โดยใช้ยีสต์ *C. rugupelliculosa* และโรติเฟอร์ *Brachionus plicatilis* มาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งช่วยให้น้ำเสียมีค่า Total Solid ลดลง 66 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าซีโอดีลดลง 80 เปอร์เซ็นต์

Hang, Woodams, and Hang (2003) ได้ทำการทดลองบำบัดน้ำเสียที่ไหลออกมาจากฉางเก็บข้าวโพด โดยใช้ยีสต์ *K. marxianus* NRRL Y-610 เลี้ยงในน้ำเสียที่บรรจุอยู่ในฟลาสก์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้น้ำหนักแห้งของเซลล์ 13 กรัมต่อลิตร และสามารถใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียได้หมด ยีสต์สายพันธุ์นี้สามารถใช้กรดแลคติก กรดอะซีติก และเอทานอลได้ ทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์ของยีสต์มาพร้อมกันอีกด้วย

Lida, Gideon, Ancha, and Marindra (2003) น้ำเสียจากการผลิตไวน์มีทั้งที่เกิดจากการล้างตั้นวัตถุดิบและการล้างเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำไวน์ เช่น ถังหมัก ทำให้น้ำเสียมีพีเอชอยู่ระหว่าง 3-4 และมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 800-12,800 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงได้นำระบบ Rotating Biological Contactor (RBC) ที่พัฒนานำเอายีสต์และแบคทีเรียสายพันธุ์ต่าง ๆ มาใช้ในระบบ RBC พบว่ายีสต์รหัส MEA5 สามารถลดค่าซีโอดี 95 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพที่ให้อากาศในเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งยีสต์สายพันธุ์ MEA5 หรือเมื่อจัดจำแนกจะพบว่าเป็น *C. krusei* ซึ่งยีสต์สายพันธุ์นี้มีบทบาทสำคัญในการย่อยสารอินทรีย์ภายใต้สภาพที่มีอากาศ

Yong, Edward, and Lisa (2003) น้ำเสียที่ออกจากกองต้นข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวผลผลิตไปแล้วจะมีสารอินทรีย์พวกกรดแลคติก กรดอะซีติก และเอทานอล ซึ่งเป็นสารที่ก่อมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงได้มีการทดลองเลี้ยง *K. marxianus* NRRLY-610 พบว่า ได้เซลล์ยีสต์ 13 กรัมต่อลิตร แล้วสามารถลดปริมาณกรดแลคติกและกรดอะซีติก ที่มีปริมาณเริ่มต้นอยู่ 12.5 กรัมต่อลิตร และ 2.02 กรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง พบว่า *K. marxianus* NRRLY-610 สามารถใช้กรดแลคติกและกรดอะซีติกได้หมด

Zheng, Yang, Park, and Liu (2003) ทดลองนำยีสต์ 5 สายพันธุ์มาทำการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันสลัด ซึ่งจากการทดลองพบว่า *C. utilis* และ *C. boidinii* สามารถย่อยสารอินทรีย์ในน้ำมันสลัดได้ดีที่สุด และยีสต์สายพันธุ์ *Rhodotorura rubra* และ *C. utilis* มีอัตราการเจริญจำเพาะสูงสุด และน้ำเสียที่เพาะเลี้ยงด้วยยีสต์ *C. tropicalis* สามารถตกตะกอนได้ดีที่สุด และจากการนำยีสต์หลายชนิดมารวมกันเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียชนิดนี้ ทำให้ลดค่าซีโอดีได้ 71 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Ghaly and Kamal (2004) ทดลองเลี้ยง *K. fragillis* ในการลดมลสารจากหางนม ซึ่งมลสารในหางนมส่วนใหญ่เป็นของแข็ง ซึ่งตัวแปรสำคัญที่ใช้วัดในการทดลองนี้ คือ ซีโอดีและความเข้มข้นของสารประกอบไนโตรเจน ในการทดลองมีการให้ปริมาณอากาศ 3 vvm มีการหมุนของใบพัด 400 รอบต่อนาที แลคโตสประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ที่ถูกใช้หมดไปหลัง 28 ชั่วโมง ซีโอดีที่ละลายน้ำสามารถลดได้ 90.63 เปอร์เซ็นต์

Sirianuntapiboon, Zohsalam, and Ohnomo (2004) ศึกษาน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตสุราของบริษัทแสงโสม ซึ่งมีกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการหมัก ซึ่งทำให้น้ำทิ้งมีสีดำของกากน้ำตาล จึงเป็นการยากที่จะทำให้น้ำทิ้งใสหรือมีสีจางลงได้ จึงได้มีการทดลองนำยีสต์ 205 ชนิดที่แยกได้จากผลไม้ไทยมาเพื่อบำบัดน้ำเสีย พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีได้ 75 เปอร์เซ็นต์ ลดค่าบีโอดีได้ 76 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำให้สีของน้ำทิ้งจางลงได้ 75 เปอร์เซ็นต์ โดย *Citeromyces* sp. WR-43-6

Yongming et al. (2004) ทดลองนำ *C. tropicalis* มาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง โดยมีการนำน้ำเสีย 2 ชนิด มาทำการทดลอง คือ น้ำเสียจากโรงงานเบียร์ซึ่งมีปริมาณกลูโคสและฟรุคโตสสูงซึ่งมาจากมอลโตสซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตเบียร์ และน้ำที่สังเคราะห์ขึ้นประกอบไปด้วยกลูโคส แอมโมเนียมคลอไรด์ และโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต โดยใช้ Internal Airlift Loop-Ceramic Honeycomb Support (IAL-CHS) มาใช้ในการบำบัด พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 35-40 องศาเซลเซียส ที่พีเอช 4.5-5.5 สามารถลดค่าซีโอดีจาก 3,500 เหลือ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 6 ชั่วโมง

Olena, Jing-Yuan, Hong, and Joo-Hwa (2005) น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปผักและผลไม้ต่าง ๆ ทั้งกะหล่ำปลี แตงโม ผักสลัด และผลไม้ชนิดต่าง ๆ มีค่าปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนอยู่ในปริมาณสูง คือ ตั้งแต่ 1,420-8,900 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงได้ทำการทดลองเลี้ยง *S. cerevisiae* CEE 12 ที่ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณโปรตีนระหว่าง 40-45 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดสารอินทรีย์คาร์บอนได้ 65-70 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด

Qingxiang, Min, Shujun, and Wenzhou (2005) น้ำเสียที่เกิดจากการผลิตโมโนโซเดียมกลูตาเมทนั้นมีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 10,000-30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าพีเอชที่ต่ำถึงประมาณ 2 ทำให้ไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จึงได้เลือกใช้ระบบ Activated Sludge ซึ่งโดยปกติแล้วระบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีอย่างน้อย 70 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และได้นำยีสต์ 2 ชนิดที่ทนแอมโมเนียมได้ดี คือ *C. halophila* และ *R. glutinis* ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ 2 ระบบมาต่อเชื่อมกัน คือ ระบบแรกใช้ *C. halophila* และ *R. glutinis* ผสมกันในการบำบัด

น้ำเสียในถังที่ให้อากาศ ระบบต่อมาจึงบำบัดด้วยระบบ Activated Sludge ซึ่งใช้เวลาในการบำบัด 2 เดือน ซึ่งจากการทดลองพบว่า ระบบบำบัดด้วยยีสต์สามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มพีเอชจาก 2.5 เป็น 5-6 ใน 40 ชั่วโมง และสามารถลดแอมโมเนียมได้ในปริมาณสูง เมื่อรวมทั้ง 2 ระบบแล้วสามารถที่จะลดค่าซีโอดีได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์

Zheng, Yang, Yang, and Yang (2005) ทดลองผลิตชีวมวลและลดมลสารในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตผงชูรส โดยใช้ยีสต์ 2 ชนิด คือ *C. halophila* และ *R. glutinis* ซึ่งแยกได้จากน้ำเสียของโรงงานผลิตผงชูรส น้ำเสียนี้มีค่าซีโอดี 40 กรัมต่อลิตร มีแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 16 กรัมต่อลิตร ในการทดลองมีการเจือจางน้ำเสียจากการผลิตผงชูรส 2.5 เท่า ซึ่งยีสต์ทั้ง 2 ชนิด สามารถลดค่าซีโอดีได้ 85 เปอร์เซ็นต์ และใช้น้ำตาลรีดิวซ์ไป 96 เปอร์เซ็นต์ ชีวมวลมี Crude Protein 56 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 36 เปอร์เซ็นต์ และ Crude Lipid 0.4 เปอร์เซ็นต์ กรดอะมิโนของยีสต์ทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณใกล้เคียงปริมาณกรดอะมิโนของ *C. utilis* และถั่วเหลือง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University