บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. โครงการย่อยที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นประเด็นหลักในการพัฒนาวัสดุสำหรับการใช้งานในอนาคตอันใกล้ ซึ่งแบ่งตามแหล่งกำเนิดวัตถุดิบได้ 2 ประเภท คือ พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี (Petroleum-based biodegradable plastics) และพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบมวลชีวภาพ (Bio-based biodegradable plastics) ซึ่งในปัจจุบันพลาสติกประเภทหลังกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งโดยนักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนนักธุรกิจและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในระดับแนวหน้าทั่วโลกกำลังตื่นตัวในการคิดค้นหาวัตถุดิบมวลชีวภาพ ในการผลิตพลาสติกชนิดใหม่ เพื่อรองรับมาตรการและนโยบายในการจัดการด้านการรักษาสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งแนวโน้มการค้าขายสินค้าอุปโภคบริโภคที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic หรือ Biodegradable plastic) คือ พลาสติกที่เตรียมได้จากวัตถุดิบที่ทดแทนใหม่ได้ (Renewable resource) จากธรรมชาติและ/หรือจากปิโตรเคมี ซึ่งสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกดูดซึมและถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้อย่างสมบูรณ์ เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย วัสดุธรรมชาติที่สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิด เช่น แป้งโปรตีนจากถั่ว และข้าวโพด เป็นต้น และในบรรดาวัสดุธรรมชาติทั้งหลาย แป้ง นับว่าเหมาะสมที่สุดเพราะมีจำนวนมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถหาได้จากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น พลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้งโดยตรงจะมีขีดจำกัด เพราะจะเกิดการพองตัวและเสียรูปร่างเมื่อได้รับความชื้น จึงได้มีการใช้เชื้อจุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายแป้ง แล้วเปลี่ยนแป้งให้กลายเป็นมอนอเมอร์ที่เรียกว่ากรดแลคติก จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการ Polymerization ทำให้กรดแลคติกเชื่อมกันเป็นสายยาวที่เรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด (PLA)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความพร้อมทั้งในด้านวัตถุดิบมวลชีวภาพและด้านอุตสาหกรรมพลาสติก จึงเป็นโอกาสที่ดีในการนำวัตถุดิบมาใช้ในการผลิตวัสดุเพื่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมที่มีอยู่ให้มีศักยภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถสร้างให้เกิด

นวัตกรรมของประเทศและพัฒนาไปสู่ระดับที่มีกำลังต่อรองได้ในเวทีการค้าสากล ทั้งนี้เพราะการพัฒนาวัสดุพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ทางชีวภาพในปัจจุบันยังอยู่ในระดับของการบุกเบิกและการเริ่มสร้างเทคโนโลยีใหม

1.1 มอนอเมอร์ที่ใช้ผลิตพลาสติกชีวภาพ

มอนอเมอร์ที่ใช้ผลิตพลาสติกชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ กรดแลคติก พอลิแลคติกแอซิด (PLA) พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรท (PHB) พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (PHAs) โพรเพนไดออล (PDO) เป็นต้น

1.1.1 กรดแลคติก (Lactic acid, LA) มีสีเหลืองอ่อน ค่อนข้างหนืดและเหลือง สามารถละลายได้ในน้ำ แอลกอฮอล์และอีเทอร์ แต่จะไม่ละลายในคลอโรฟอร์ม กรดแลคติกที่ได้จากกระบวนการหมักมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ L (+) และแบบ D (-) เชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติกโดยทั่วไปแล้วแบคทีเรียที่สำคัญในการผลิตกรดแลคติกจะอยู่ในสกุล *Lactobacillus, Pediococcus, Leuconostoc, Lactococcus* และ *Streptococcus* ซึ่งเรียกแบคทีเรียในกลุ่มนี้ว่า แบคทีเรียแลคติก คุณสมบัติของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ แกรมบวก มีลักษณะเป็นกลมหรือท่อน ไม่สร้างสปอร์ การเจริญเติบโตต้องการคาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงาน กรดอะมิโนหรือเปปไทด์บางชนิดเป็นแหล่งไนโตรเจน และบางชนิดยังต้องการวิตามินหลายชนิด แบคทีเรียแลคติกสามารถหมักน้ำตาลแล้วให้กรดแลคติกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อเจริญเติบโตร่วมกับจุลินทรีย์ชนิดอื่นจะมีการเจริญที่รวดเร็วและดีกว่า ในการเจริญส่วนใหญ่ต้องการอากาศเพียงเล็กน้อย (Microaerrophile) บางชนิดเป็นพวกที่ไม่ต้องการอากาศเลย (Strictly anaerobe) เนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่ได้พลังงานจากการหมักน้ำตาลโดยไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะน้ำตาลกลูโคสและแล็กโทส ลักษณะที่สำคัญของแบคทีเรียแลคติกคือมีความสามารถย่อยน้ำตาลให้เป็นกรด สามารถพบในอาหารพวกผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์และปลา

1.1.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต PLA คือ "แป้ง" ได้จากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ ได้แก่ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลังหรืออ้อย แต่ส่วนใหญ่นิยมผลิตจากข้าวโพด กระบวนการผลิตคือจะบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลแล้วนำแป้งที่ได้ไปผ่านกระบวนการหมักโดยใช้แบคทีเรียแลคติกได้ผลผลิตเป็นกรดแลคติก ซึ่งนำไปใช้เป็นมอนอเมอร์ที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเป็นพลาสติก โดยนำไปผ่านกระบวนการ Polymerization ได้เป็นพอลิเมอร์ที่เรียกว่า PLAสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจาก

ปิโตรเลียม อีกทั้งมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดินในระยะเวลาอันสั้น และยังนำไปทำปุ๋ยหมักโดยไม่ทำลายธรรมชาติ ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพลาสติก PLA เช่น กล่องใส่อาหาร ถ้วยใส่อาหาร แก้วใส่ของร้อน โทรศัพท์ NEC รุ่น FOMA(R)N70iECO กล่องใส่ CD/DVD

1.1.3 พอลิไฮดรอกซีบิวทิเรท (Polyhydroxybutyrate, PHB) ถูกค้นพบโดยนักจุลชีววิทยาชาวฝรั่งเศส เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก แกรมลบ และไซยาโนแบคทีเรียบางชนิด จากการศึกษาพบว่า PHB ทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานให้เซลล์ โดยสะสมในรูปแกรนูลภายในเซลล์ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2-0.5 ไมครอน ขนาดของ แกรนูลขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ ตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ได้แก่ *Alcaligenes eutrophus,Bacillus megaterium, Zoogloea ramigera,Azotobacter* spp., *Pseudomanas* spp. เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้ใช้แหล่งวัตถุดิบจากน้ำตาลกลูโคสหรือแป้งมาเป็นแหล่งคาร์บอนให้กับจุลินทรีย์เพื่อเปลี่ยนเป็น Acetyl CoA ซึ่งสารนี้จะเป็นมอนอเมอร์สำหรับใช้ในการผลิตเป็น PHB การสังเคราะห์พลาสติก PHB จากจุลินทรีย์ เช่น ในเมแทบอลิซึมของ *Alcaligenes eutrophus* จะมีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาทั้งหมด 3 ชนิด คือเอนไซม์ 3-Ketothiolase จะเร่งให้เกิดการรวมตัวกันของ Acetyl CoA ได้เป็น Acetoacetyl-CoA,เอนไซม์ Acetoacetyl-CoA reductase จะเป็นตัวรีดิวซ์ Acetoacetyl-CoA ไปเป็น R(-)-3-hydroxybutynl-CoA และเอนไซม์ PHA synthase จะมาเร่งปฏิกิริยา Polymerizes สาร R(-)-3-Hydroxybutynl-CoA ได้เป็นพอลิเมอร์ PHB

1.1.4 พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอท (Polyhydroxyalkanoates, PHAs) เป็นสารพอลิเมอร์ตั้งต้นที่นำมาใช้ผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือแป้งหรือน้ำตาลที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ กระบวนการผลิตคล้าย PLA แต่ในการหมักต้องใช้จุลินทรีย์ที่กินน้ำตาลเป็นอาหารและสามารถเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลภายในจุลินทรีย์เองเป็น PHAs โดย PHAs มีคุณสมบัติในการนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลาย เช่น การขึ้นรูปเป็นฟิล์ม การฉีดและการเป่าจุลินทรีย์ที่ผลิต PHAs ได้แก่ *E. coli*, *Comamonas* spp., *Ralstonia eutropha* , *Pseudomonas* spp. เป็นต้น

1.1.5 โพรเพนไดออล (Propanediol, PDO)เป็นสารเคมีตั้งต้นอีกชนิดหนึ่งซึ่งผลิตขึ้นโดยอาศัยแป้งจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง ซึ่งกระบวนการผลิตจะคล้ายกับการผลิต PLA โดยเริ่มจากการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และทำการใช้สารเร่งปฏิกิริยาชนิดชีวภาพ (biocatalyst) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็น PDO ซึ่งสามารถนำไปเป็นสาร

ตั้งต้นในการผลิตเส้นใยชีวภาพที่เรียกว่า (Bio-Fiber : Sorona™) ซึ่งเป็นชื่อทางการค้าของบริษัทดูปองท์ สหรัฐอเมริกา โดยเส้นใย Sorona™ นี้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ดี มีความอ่อนนุ่ม แห้งได้เร็ว และสามารถย้อมติดสีได้ดี หากแต่ในปัจจุบันด้วยคุณสมบัติทางโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่จึงทำให้เส้นใย Sorona™ ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามเส้นใย Sorona™ เป็นวัสดุชนิดใหม่ที่เกิดจากการใช้วัตถุดิบธรรมชาติที่สามารถเกิดทดแทนได้อีกชนิดหนึ่ง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งนับว่ามีวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิตมอนอเมอร์ที่ใช้ในการผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ ปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตหลายแหล่งพยายามใช้วัตถุดิบอื่นมาผลิตกรดแลคติก เช่น หางนม และของเสียจากโรงงานน้ำตาล เป็นต้น การใช้แหล่งคาร์บอนที่ต้นทุนต่ำ การปรับปรุงพันธุ์จุลินทรีย์ด้วยเทคนิคพันธุวิศวกรรม หรือการใช้ของเสียเหลือใช้หรือน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มาทำการผลิตพลาสติกชีวภาพ แนวทางเหล่านี้อาจสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้เช่นกัน

1.2 แหล่งน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากแหล่งต่างๆมีสิ่งสกปรกสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในรูปสารละลายรวมทั้งสารที่ตกค้าง เช่น ผงซักฟอก ดิน ทราย สิ่งปฏิกูลต่างๆ เจือปนอยู่ด้วยปริมาณสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งหรือความสกปรกในน้ำขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำดังนั้นน้ำทิ้งแต่ละแหล่งจึงมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน แหล่งที่มาของน้ำทิ้งได้แก่

1.2.1 น้ำทิ้งจากชุมชน (Domestic wastewaters) หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดมาก่อน ได้แก่ บ้านพักอาศัย ภัตตาคาร โรงแรม สถานที่ทำงาน ย่านการค้า ตลาด เป็นต้น องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน เช่น ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งจมตัวได้ บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์ไนโตรเจน และแอมโมเนีย สารฟอสฟอรัสในรูปของสารอินทรีย์และฟอสเฟต น้ำมันและไขมัน โคลีฟอร์มทั้งหมด และฟีคัลโคลิฟอร์ม

1.2.2 น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater) ได้แก่ น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากการล้างเครื่องจักรล้างสถานประกอบการ เช่น

1.) น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตอาหารจะมีสารอินทรีย์ละลายอยู่ในปริมาณที่มาก เช่นโรงงานนมพบโปรตีนในสภาพคอลลอยด์ (ขุ่น) เกิดการตกตะกอนได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำแบคทีเรียแลคติกมาบำบัดน้ำเสียจากโรงนม เนื่องจากเป็นตัวแปรให้เกิดกรดแลคติก

สามารถสร้างตะกอนโปรตีนในน้ำเสียโรงนม แทนการใช้สารเคมี โดยการคัดเลือกแบคทีเรียแลคติกชนิดที่ผลิตกรดได้สูงจากแหล่งต่างๆ นำมาหมักด้วยน้ำเสียจากโรงนม แล้วปล่อยให้เกิดการตกตะกอน แล้วมีการปรับค่า pH จะเกิดการตกตะกอนของโปรตีนในน้ำอย่างชัดเจน

2.) น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกกระดาษ พบว่า 30-60% ของกากของเสียที่ได้จากโรงงานกระดาษประกอบไปด้วย เซลลูโลส และ 5-10% เป็นลิกนิน ซึ่งการกำจัดกากของเสียเหล่านี้ต้องอาศัยกระบวนการทางเคมีในการย่อยสลายซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลาย หรือเปลี่ยนของเสียเหล่านี้เป็นกรดอินทรีย์ที่สำคัญจึงเป็นการนำเอาของเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์ กรณีที่ใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นสารตั้งต้นในการผลิตกรดแลคติกนั้น จุลินทรีย์ในกลุ่ม Amylolactic bacteria (ALAB) เป็นกลุ่มที่สำคัญซึ่งได้มีรายงานว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถหมักของเสียจากการเกษตร เช่น กากมันสำปะหลัง ธัญพืช ที่มีปริมาณแป้งสูงให้เป็นกรดแลคติกได้ในขั้นตอนเดียว แบคทีเรียที่มีคุณสมบัตินี้ได้แก่ *Lactococcus* sp., *Lactobacillus plantarum, L. manihotivorans, L. fermentum* (Reddy et.al,2008) เป็นต้น

3.) น้ำทิ้งจากโรงงานอิเล็คทรอนิกส์ น้ำทิ้งจากโรงงานเหล่านี้ หากไม่ได้รับการบำบัดที่ถูกต้องอาจมีสารตกค้าง อาทิเช่น โลหะหนัก สารเคมี ที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตปนเปื้อนออกมาได้จุลินทรีย์ที่พบอาจเป็นกลุ่มจุลินทรีย์เฉพาะ ที่สามารถเจริญในแหล่งที่มีสารประกอบ หรือสารตกค้างสูงได้

4.) น้ำทิ้งจากการเกษตรกรรม (Agriculture wastewaters) ได้แก่ น้ำจากการเพาะปลูก น้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ น้ำจากบ่อกุ้งบ่อปลา เป็นน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนด้วยสารเคมีทางการเกษตรปุ๋ยรูปแบบต่าง ๆ เป็นต้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการบำบัดและใช้ประโยชน์จากน้ำเสีย

2.1 โครงการย่อยที่ 3 การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกชีวภาพจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม

กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมมักจะได้วัสดุเหลือทิ้งในรูปของอินทรียสาร เริ่มต้นตั้งแต่ตอนแรกจนถึงขั้นสุดท้าย ในขณะเดียวกันน้ำเหลือทิ้งจะถูกปลดปล่อยออกมาจากโรงงานในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ได้แก่ น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการต่างๆ ในระหว่างกระบวนการทางอุตสาหกรรม เช่น การล้างวัตถุดิบ การล้างเครื่องจักร การระบายความร้อน เป็นต้น ซึ่งสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งเหล่านี้มีทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้น้ำและชนิดของโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นสารประเภทอินทรีย์ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์สามารถจะใช้สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นแหล่งของธาตุอาหาร เช่น แป้ง น้ำตาล และโปรตีนน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้ ได้แก่ โรงงานน้ำตาล โรงงานสุรา โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานประกอบอาหารและผลไม้กระป๋อง และโรงงานกระดาษ เป็นต้น น้ำทิ้งหรือน้ำเสียดังกล่าวนับเป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากมีผลกระทบต่อการสร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ประกอบกับมีสิ่งเจือปนในอัตราค่อนข้างสูง (Sawat และ Dusit, 1985; ปรัชญา, 2530) สิ่งเจือปนหรือสิ่งสกปรกในน้ำทิ้งกำหนดโดยวัดได้จากค่า biological oxygen demand (BOD) ระดับค่าของ BOD ของน้ำเสียมีค่าสูง เป็นดัชนีบ่งบอกถึงปัญหาทางด้านมลพิษต่อสภาพแวดล้อมและมีความยุ่งยากต่อการบำบัดเป็นอย่างมาก น้ำกากส่าจากโรงงานสุรามีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงมาก BOD ประมาณ 35,000 มิลลิกรัม/ลิตร (สุจินต์, 2527)

เสริมพลและไชยยุทธ (2518) รายงานว่าน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงเช่นกัน มีค่า BOD ประมาณ 6,550 มิลลิกรัม/ลิตร และมีปริมาณน้ำเสียที่ปลดปล่อยออกมามาก นอกจากนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตอาหารและผลไม้กระป๋องยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีค่า BOD อยู่ระหว่าง 1,600-3,400 มิลลิกรัม/ลิตร การบำบัดน้ำทิ้งหรือน้ำเสียจากโรงงานในปัจจุบันนั้นได้พยายามคำนึงถึงวิธีที่เหมาะสมตามสภาพแวดล้อมของชุมชนนั้นๆ โดยพิจารณาถึงผลประโยชน์สูงสุดและการลงทุนต่ำที่สุด (ศักดิ์สิทธิ์, 2528) น้ำทิ้งโดยส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของอินทรียสารสูงจึงได้มีการศึกษาและพบว่ามีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ประโยชน์อีก เช่น การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการผลิตแก๊สชีวภาพ (พรพิมล และเพชร, 2526) การนำน้ำทิ้งมาใช้เลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นอาหารปลาไก่ และสีผสมอาหาร (นฤมลและคณะ, 2529) การนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์โดยตรงทางการเกษตรแต่จะต้องผ่านการบำบัดแล้วจนมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่น การทำนาปรัง ปลูกถั่วและอ้อย เป็นต้น (จิราภรณ์และกาญจนา, 2527) และการนำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการทำ ปุ๋ยหมัก เช่น การบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา โดยนำไปใช้หมักกับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเพื่อผลิตเป็นปุ๋ยหมัก (สุจินต์, 2527: Sawat และ Dusit, 1985) ซึ่งนับว่าเป็นแนวทางการนำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเปลี่ยนให้เป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยหมักที่ผลิตได้นับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและชีวภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช (Cosico, 1985) งานวิจัยดังกล่าวที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมหรือการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ปทุม ฉิมอเนก และคณะ (2527) รายงานว่าน้ำทิ้งที่ได้จากเปลือกสับปะรด นำมากรองโดยใช้ filter press แล้วผ่านขบวนการ Reverse osmosis และ Ultrafiltration ก่อนที่จะใช้เป็น substrate ในการเลี้ยงเชื้อยีสต์สายพันธุ์ PT-1 ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้หมักแอลกอฮอล์ เมื่อนำมาวิเคราะห์สายพันธุ์พบว่าเป็น *Saccharomyces cerevisiae* ยีสต์ PT-1 สามารถเจริญได้ดี ที่ความเข้มข้น 22 บริกซ์ (19.6% น้ำตาล) เมื่อเติม KH_2PO_4 0.02% ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณเซลล์สูงสุด 7.4 x 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ภายในเวลา 24 ชั่วโมง และเมื่อใช้เวลาหมัก 37 ชั่วโมง จะได้ความเข้มข้นของเอธานอลสูงสุด คือ 10.22% โดยปริมาตร หรือ 81 กรัมต่อลิตร พบว่า 80.95% ของกลูโคสใน Substrate ถูกเปลี่ยนไปเป็นเอธานอล และมีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณ 1,300 มิลลิกรัมต่อลิตร

พิสิฐ ศรีสุริยจันทร์ (2540) ศึกษาน้ำทิ้งจากโรงนม พบว่ามีโปรตีนละลายอยู่ในรูปสารคอลลอยด์ทำให้มีลักษณะขุ่นมีค่าซีโอดีสูง ในขั้นตอนการบำบัดต้องอาศัยสองขั้นตอน ขั้นตอนที่หนึ่งปล่อยให้น้ำทิ้งตกตะกอนตามธรรมชาติ (Primary settlement) ไม่สามารถแยกโปรตีนนี้ออกได้ดี มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพียง 10-40 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ทำให้เพิ่มภาระต่อระบบบำบัดขั้นที่สองซึ่งเป็นระบบทางชีวภาพ ในงานวิจัยจึงได้ทำการผลิตสารสร้างตะกอน (Coagulant) ซึ่งเป็นกรดผลิตจากการหมักโดยแบคทีเรียแลคติกนำมาใช้ตกตะกอนโปรตีนในน้ำทิ้งโรงนม พบว่าจากความสกปรกเริ่มต้นมีค่าซีโอดี 5000 มิลลิกรัม/ลิตร โปรตีน10-12 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำตาล 700-900 มิลลิกรัม/ลิตร และความใส 0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ภายหลังการบำบัดดีมีค่าซีโอ 1000-1300 มิลลิกรัม/ลิตร โปรตีน 0.1-1 มิลลิกรัม/ลิตรน้ำตาล 600-700 มิลลิกรัม/ลิตร และ ความใส 60-80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี โปรตีน และน้ำตาล 75, 90-95 และ 10-25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สุวรรณณา เนียมสนิท และคณะ (2540) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ในการย่อยสลายไขมัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในจังหวัดขอนแก่น 12 แหล่ง แยกได้เชื้อบริสุทธิ์ 21 สายพันธุ์ โดยวิธี double layer technique พบว่าเชื้อ 33 สายพันธุ์ มีการเปลี่ยนสีของ Bromocresol purple อย่างรวดเร็วภายใน 6 ชั่วโมง เมื่อนำมาหากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสโดยไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสายพันธุ์ 1A42 และ 2C8 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตเอนไซม์ไลเปสโดยเชื้อสายพันธุ์ 1A42 ให้กิจกรรมไลเปสสูงสุดเมื่อเลี้ยงใน 2% Sucrose, 0.15% Yeast extract, 0.09% K_2HPO_4, 0.06% K_2HPO_4, 0.02% $MgSO_4.7H_2O$, 0.5% $CaCO_3$, pH 8.0, อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนสายพันธุ์ 2C8 จะให้เอนไซม์สูงสุดเมื่อเลี้ยงใน 2% Dextrose, 0.15% Beef extract, 0.09% K_2HPO_4,

0.06% K_2HPO_4, 0.02% $MgSO_4.7H_2O$, 0.5% $CaCO_3$, pH7.0, อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จรินทร์ ทองประดิษฐ์ (2542) ได้ทำการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสังเคราะห์แสงจากบ่อบำบัดน้ำเสียโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น เพาะเลี้ยงแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในน้ำทิ้งจาก โรงงานแปรรูปน้ำยางข้นและเทียบเคียงสายพันธุ์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่คัดเลือก จากตัวอย่างน้ำเสีย 54 ตัวอย่าง ที่เก็บจากบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปน้ำยางข้น 3 โรงงานในเขตจังหวัดสงขลา สามารถแยกแบคทีเรียสังเคราะห์แสงกลุ่ม Purple non-sulfur ได้ 10 สายพันธุ์ เมื่อนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่แยกได้มาเลี้ยงในอาหารน้ำเสียจากบ่อบำบัด น้ำเสียรวมของบริษัท สยามเซมเพอร์เมด จำกัด ภายใต้สภาวะไร้อากาศ-มีแสงอุณหภูมิห้อง (35-38 องศาเซลเซียส) นาน 40 ชั่วโมง พบว่า ทุกสายพันธุ์สามารถเจริญได้ในอาหารน้ำเสีย โดยลดค่าซีโอดีในช่วงร้อยละ 20.0-34.1

ลัดดาวรรณ ตันเจริญ (2548) รายงานว่า น้ำทิ้งจากกรรมวิธีในการผลิตขนมจีนจะเกิดเป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเมื่อทำการทิ้งลงไปโดยไม่ได้รับการบำบัดน้ำเสียอย่างถูกวิธีในการวิจัยจึงต้องการลดปริมาณความเข้มข้นของแป้งที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง โดยทำการคัดแยกแบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ อะไมเลสเพื่อทำการย่อยแป้งจากน้ำทิ้งในโรงงานขนมจีนผลการทดลองพบว่าได้เชื้อทั้งหมด 6 ไอโซเลทและนำเชื้อทั้งหมดมาทดสอบหาประสิทธิภาพในการย่อยแป้งโดยใช้สารละลาย 1% KI + 1%I_2 หยดลงไป พบว่าจากโรงงานผลิตขนมจีนและอากาศจากห้องที่ศูนย์วิทยาศาสตร์มาทำการเลี้ยงในอาหาร Na + 1% แป้งข้าวโพด เมื่อเชื้อขึ้นทดสอบด้วย Gram'siodinesolutionเพื่อดูการย่อยสลายของเอนไซม์อะไมเลส

สวรรค์ ธิติสุทธิ (2550) ได้ศึกษาค่าความสามารถจำเพาะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการผลิตมีเทน (Specific methanogenic activity : SMA) ของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่สามารถผลิตแก๊สมีเทน โดยการทดลองจะใช้น้ำเสียจาก 3 แหล่ง ได้แก่ โรงงานไส้กรอกปลา โรงงานน้ำมันปาล์ม และโรงงานผลิตกรดมะนาว โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 35 +/- 2องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดแก๊สที่เกิดขึ้นวิเคราะห์สัดส่วนแก๊สมีเทนด้วยเครื่องมือแก๊สโครมาโตกราฟี และนำมาหาค่าความสามารถจำเพาะในการผลิตแก๊สมีเทน (SMA)

วิจิตรา สานพภา (2551) ได้ศึกษาอิทธิพลของการใช้น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหาร มะม่วงดองเค็ม น้ำทิ้งมะม่วงดองหวาน น้ำทิ้งน้ำนม และน้ำกะทิเจือจางในการเพาะเลี้ยง *Rhodotorula mucilaginosa* ต่อสมบัติเชิงคุณภาพและปริมาณของคาโรทีนอยด์ที่ยีสต์ผลิตขึ้น เมื่อนำน้ำทิ้งมาปรับสูตรเพื่อใช้ในการเลี้ยงยีสต์

ส่งศรี กุลปรีชา (2551) ได้ศึกษาการผลิตโปรตีนจากจุลินทรีย์ โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเลี้ยงสัตว์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์ และเป็นการบำบัดน้ำทิ้งได้ในขณะเดียวกัน จากการคัดแยกและรวบรวมสายพันธุ์ยีสต์ที่เติบโตได้ในน้ำทิ้งสามารถรวบรวมสายพันธุ์ยีสต์ได้ทั้งหมด 7 สายพันธุ์ และเมื่อเลี้ยงเชื้อยีสต์ดังกล่าวในอาหารเลี้ยงเชื้อจากน้ำทิ้งที่ไม่เติมแหล่งคาร์บอนเปรียบเทียบกับอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้น้ำทิ้งเติมแหล่งคาร์บอน เช่น กลีเซอรอลและกลูโคส ยีสต์เหล่านี้เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับสัตว์ นอกจากนั้นยังสามารถลดค่าบีโอดี และค่าซีโอดีในน้ำทิ้งภายหลังนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ได้ 90.7 และ 88.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง)

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการคัดแยกเชื้อแบคทีเรียแลคติกจากน้ำทิ้งหรือของเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่งานวิจัยของ Schmidt et.al.(1997) ที่ได้ทำการศึกษาการผลิตกรดแลคติกจากขยะที่เป็นกระดาษ โดยการนำกระดาษหลากหลายชนิดซึ่งเป็นตัวแทนของเซลลูโลส โดยการทำงานร่วมกันระหว่าเอนไซม์เซลลูเลส และเชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillusdelbreueckii* B445 พบว่า Yield ที่ได้สูงถึง 84%

งานวิจัยที่ศึกษาการผลิตกรดแลคติกโดยแบคทีเรียในกลุ่ม อะไมโลไลติก (ALAB) ได้แก่Pintado et.al. (1999) ศึกษาการย่อยสลายของเสียจากกระบวนการแปรรูปหอย ซึ่งมีปริมาณไกลโคเจนสูงโดยการใช้จุลินทรีย์ในกลุ่มอไมโลไลติก *Lactobacillus plantarum* A6 พบว่านอกจากจะเป็นการผลิตกรดแลคติกจากสิ่งเหลือใช้แล้ว ยังเป็นการช่วยแก้ปัญหาในด้านการกำจัดของเสียอีกด้วย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Nakasaki et al. (1999) ที่ทำการผลิตกรดแลคติกจาก Sludge ในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็น sludge จากโรงงานแปรรูปปลาและโรงงานกระดาษ โดยการคัดแยกเชื้อ LAB จากน้ำทิ้งดังกล่าว และนำมาใช้ในการผลิตกรดแลคติกซึ่งสามารถผลิตได้ได้สูงถึง 6.91 กรัมต่อลิตร

Paris et.al. (1999) ได้ทำการคัดแยกเชื้อ *Arthrobacter* sp. จาก sludge ที่ได้จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งมีคุณสมบัติย่อยเซลลูโลส (Cellulolytic) ย่อยสลายแป้ง (Amylolytic) และ ย่อยโปรตีน (Proteolytic) ซึ่งสามารถนำเชื้อชนิดนี้ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีอินทรีย์สารคล้ายกันนี้ได้ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Lee et.al. (2004)

งานวิจัยที่ศึกษาการผลิตกรดแลคติก เพื่อนำมาพัฒนาเป็นพอลีแลคไทด์ ใช้สำหรับเป็นมอนอเมอร์ในการผลิตพลาสติกชีวภาพมีมากมายและหลากหลายซับเสตรท นักวิจัยยังให้ความสนในเกี่ยวกับการผลิต PHB ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งในการทำพลาสติกชีวภาพ เช่น

Grothe et.al. (1999) ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แหล่งไนโตรเจนของเชื้อ *Alcaligenes latus*ATCC 29714 โดยใช้ซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน และแอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมคลอไรด์ แอมโมเนียมไนเตรต และยูเรียเป็นแหล่งไตโตรเจน ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า การเติมแอมโมเนียมซัลเฟต 1.4 กรัม/ลิตร ทำให้การผลิต PHB สูงสุดเท่ากับ 4.6 กรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของการเติมและไม่มีการเติมธาตุอาหารรองต่อการเจริญและผลิตสาร PHB ของเชื้อ *Alcaligenes latus*ใช้ซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน พบว่าการเติมธาตุอาหารรองมีผลทำให้การเจริญและผลิตสาร PHB สูงขึ้นเป็น 6.8 และ 3.2 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

ส่งศรี กุลปรีชา. (2543) ได้ศึกษาการผลิตพอลีเอสเทอร์ที่ย่อยสลายได้โดยธรรมชาติจาก จุลินทรีย์ เมื่อเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร MSM ที่มีกลูโคส ฟรัคโตส และซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน สามารถคัดแยกแบคทีเรียได้ทั้งหมด 30 สายพันธุ์ พบว่าโดยคัดแยกและเลือกแบคทีเรียสายพันธุ์ BA-019 สามารถสร้างและสะสม PHB ได้สูงกว่าทุกสายพันธุ์ (13.21% โดยน้ำหนัก ที่เวลา 24 ชั่วโมงของการเลี้ยงเชื้อ) ในอาหารที่มีซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีเบื้องต้นสามารถจัดเชื้อสายพันธุ์ BA-019 เป็น Bacillus sp.

ศิริพร หมาดหล้า (2544) ศึกษาการแยกเชื้อจุลินทรีย์ทนอุณหภูมิสูงที่ผลิตพอลิเมอร์โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ 6 สูตร พบว่าสามารถแยกเชื้อได้ 54 สายพันธุ์ โดยแบ่งเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดพอลิกลูตามิก (PGA) 42 สายพันธุ์ ชนิดพอลิแซคคาไรด์ (PS) และชนิดไกลโคลิปิด (GL) ชนิดละ 4 สายพันธุ์ ชนิดโปรตีน (PR) 3 สายพันธุ์ และชนิดไกลโคโปรตีน (GP) 1 สายพันธุ์ และไม่ปรากฏการเจริญของจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดพอลิไลซีน (PL) พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้เป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ SM 13 SM29 และ SM52 ให้ผลผลิตพอลิเมอร์สูงสุด จากการจำแนกชนิดของเชื้อจุลินทรีย์พบว่าจุลินทรีย์สายพันธุ์ SM 13 เป็น*Proteus mirabilis*SM29 เป็น *Bacillus subtilis* และ SM52 เป็น *Bacillus subtilis* ตามลำดับ เมื่อนำพอลิเมอร์ของจุลินทรีย์ที่ได้มาศึกษาคุณสมบัติบางประการพบว่าพอลิเมอร์จากจุลินทรีย์ทั้ง 3 สายพันธุ์ สามารถละลายได้ในน้ำแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล และ หยาดฝน มหาทรัพย์ไพบูลย์ (2546) ศึกษาการผลิตพอลิบีตาไฮดรอกซีบิวทิเรต (PHB) ในถังหมักขนาด 2 ลิตร ด้วยการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *Alcaligenes eutrophus* DSM 545โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของกลูโคสเท่ากับ 10 กรัม/ลิตร แต่แปรผันอัตราส่วนของแอมโมเนียมซัลเฟตต่อกลูโคส (N/G ratio) 0.03-0.24 พบว่าอัตราส่วนของแอมโมเนียมซัลเฟตต่อกลูโคสที่เหมาะที่สุด (S^{opt}) ต่อการเติบโตของแบคทีเรียและการผลิต PHB

คือ 0.12 ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้จากสมการของ Andrews (S^{opt}=0.10) ซึ่งให้อัตราการเติบโตจำเพาะที่เหมาะสมเท่ากับ 0.200 ต่อชั่วโมง เมื่อศึกษาการเพาะเลี้ยงดังกล่าวต่อไปที่อัตราส่วนของแอมโมเนียมต่อกลูโคส 0.10 แต่แปรผันความเข้มข้นเริ่มต้นของกลูโคสเท่ากับ 20 และ 40 กรัม/ลิตร พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของกลูโคสที่เหมาะสมต่อการเติบโตของแบคทีเรียเท่ากับ 20 กรัม/ลิตร