

วิศวกรรมพันธุศาสตร์กับอุตสาหกรรมอาหาร

อรุณ หันพงศ์กิตติกุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

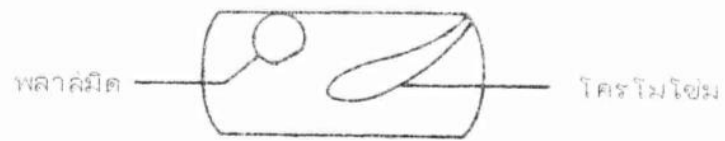
ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้มีการนำจุลินทรีย์มาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารหลายชนิด โดยเฉพาะอาหารประเภทหมักดอง การผลิตอาหารแต่ละชนิดจะใช้จุลินทรีย์แตกต่างกันไป การคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมนั้น ในสมัยก่อนจะใช้วิธีคัดเลือกจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์สาขาวิศวกรรมพันธุศาสตร์ ทำให้ทราบกลไกการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต สามารถแยกหน่วยพันธุกรรมทำให้บริสุทธิ์ได้ และยังสามารถตัดต่อหรือเชื่อมหน่วยพันธุกรรม โดยเฉพาะส่วนที่เรียกว่าดีเอ็นเอได้ด้วย ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้คัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตสารประกอบต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกรดอะมิโน การผลิตไวตามิน และการผลิตเอ็นไซม์ เป็นต้น

จุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตทั้งมวล เจริญเติบโตโดยสร้างสารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตออกมาในปริมาณที่พอเหมาะต่อการเจริญเท่านั้น การที่มีการสร้างสารบางอย่างเกินความจำเป็น จะเกิดขึ้นได้น้อยมาก เพราะสิ่งมีชีวิตมีกลไกควบคุมการทำงานของระบบต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ แต่จุลินทรีย์บางชนิดมีการสร้างสารบางอย่างในปริมาณมากได้ เพราะกลไกควบคุมการทำงานของระดับโมเลกุลบางชนิดผิดปกติ เช่น Brevibacterium glutamicum สร้างกรดกลูตามิกมาก เพราะกลไกควบคุมการทำงานของเอ็นไซม์หลายอย่างผิดปกติ

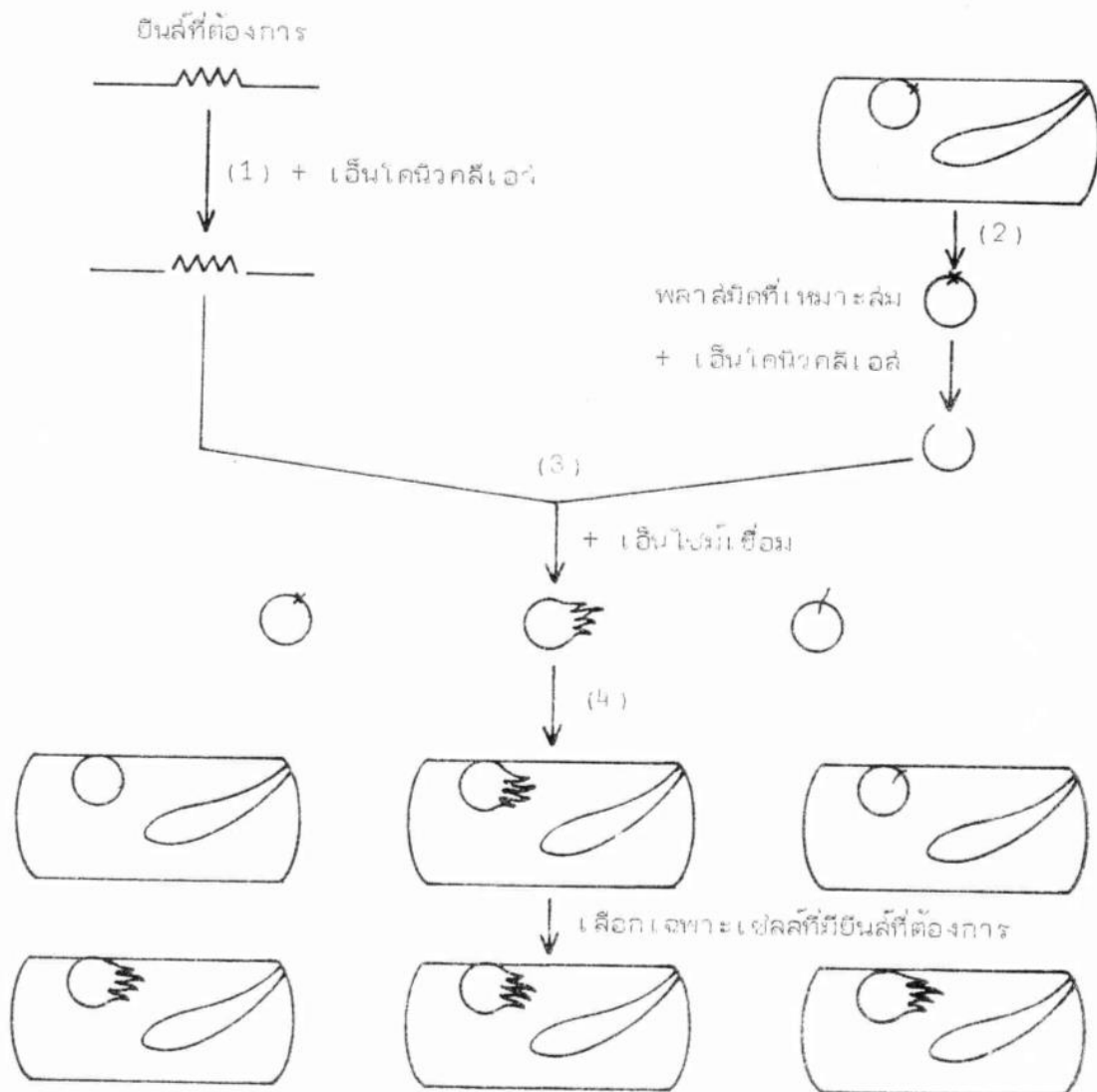
สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์ ผู้ศึกษาจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับระบบการทำงานต่าง ๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับกลไกควบคุมการผลิตสารที่ต้องการนั้นอย่างเพียงพอ และสามารถแยกได้ว่ามียีนส์ หรือดีเอ็นเอชนิดใดที่สัมพันธ์กับการผลิต แล้วจึงถ่ายยีนส์ที่สำคัญนั้นเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ วิธีการถ่ายยีนส์ที่นิยมทำกันวิธีหนึ่งคือ การใช้พลาสมิด (plasmid) เป็นพาหะ (vector) นำยีนส์เข้าไปในเซลล์พลาสมิดเป็นดีเอ็นเอโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก และอยู่แยกจากดีเอ็นเอโมเลกุลของโครโมโซมภายในเซลล์ เมื่อเซลล์มีการแบ่งตัวพลาสมิดจะแบ่งตัวและถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ เป็นอิสระจากโครโมโซม

ลักษณะจุลินทรีย์ที่มีพลาสมิด 1 อัน อาจแทนได้ดังรูปที่ 1 การที่พลาสมิดอยู่เป็นอิสระจากโครโมโซมทำให้แยกพลาสมิดออกจากเซลล์ โดยไม่ปนเปื้อนกับโครโมโซมได้ง่าย เมื่อได้ยีนส์หรือดีเอ็นเอที่ต้องการเข้าไปรวมกับพลาสมิดแล้ว จึงนำเข้าไปในเซลล์ใหม่ จะได้พลาสมิดที่มียีนส์ใหม่อยู่ในเซลล์ การทำงานของยีนส์ใหม่จะอยู่ภายใต้การควบคุมของพลาสมิด หลักการถ่ายยีนส์หรือดีเอ็นเอใหม่เข้าไปในพลาสมิด อาจแสดงได้ดังแผนภาพ ดังรูปที่ 2

- ขั้นที่ 1** แยกยีนส์ หรือดีเอ็นเอที่เหมาะสมที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตสารที่ต้องการ ทำการตัดแยกเอาเฉพาะส่วนสำคัญโดยใช้เอนไซม์ที่มีความจำเพาะสูง คือ เอนไซม์เอนโคนิวคลีเอส
- ขั้นที่ 2** เลี้ยงจุลินทรีย์ ซึ่งมีพลาสมิดที่เหมาะสมเป็นจำนวนมาก แล้วแยกสกัดเอาพลาสมิดนำมาตัดเป็นส่วน ๆ โดยใช้เอนไซม์เอนโคนิวคลีเอสชนิดเดียวกับที่ใช้ในขั้นที่ 1
- ขั้นที่ 3** นำชิ้นส่วนของยีนส์หรือดีเอ็นเอ และพลาสมิดที่ได้จากขั้นที่ 1 มาผสมให้เข้ากัน แล้วเติมเอนไซม์เชื่อม (ligase) ลงไป เพื่อเชื่อมต่อระหว่างยีนส์หรือ



รูปที่ 1 แสดงเซลล์ที่มีพลาสมิดและ โครโมโซม



รูปที่ 2 แสดงการถ่ายทอดยีนส์ที่ต้องการ เข้าไปในเซลล์

ดีเอ็นเอกับส่วนของพลาสมิดให้เป็นวงโมเลกุลของพลาสมิดใหม่ โอกาสที่จะเกิดพลาสมิดใหม่มี 3 แบบ คือ

- ก. พลาสมิดใหม่ที่เหมือนกับพลาสมิดเดิม
- ข. พลาสมิดใหม่ที่มียีนส์หรือดีเอ็นเอที่ต้องการอยู่ด้วย
- ค. พลาสมิดใหม่ที่มียีนส์หรือดีเอ็นเอที่ไม่ต้องการ

ขั้นที่ 4 นำพลาสมิดที่ได้ใส่เข้าไปในเซลล์ ใช้วิธีการานส์ฟอร์มเมชัน (transformation) โดยมีการตรวจสอบ และแยกเอาเซลล์ที่มีคุณสมบัติที่ต้องการออกมา แล้วนำไปเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตสารนั้น ๆ ต่อไป

การนำความรู้ด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

สารอาหารหลายชนิดผลิตได้จากจุลินทรีย์ พืชหรือสัตว์ ผลิตได้ปริมาณต่ำและมีราคาแพง การขยายการผลิตระดับอุตสาหกรรมจึงทำได้ยาก การนำความรู้ด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์มาปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงสายพันธุ์จุลินทรีย์เพื่อผลิตสารที่ต้องการหรือสารชนิดใหม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุตสาหกรรมอาหารที่ใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์มาปรับปรุงการผลิตมีดังนี้

การผลิตกรดอะมิโน

กรดอะมิโนเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต อาหารบางอย่างจะมีกรดอะมิโน จำเป็น (essential amino acids) ไม่ครบหรือไม่เพียงพอแก่ความต้องการของร่างกาย จึงมีการเสริมกรดอะมิโนลงในอาหารหลายชนิด ปีหนึ่ง ๆ การผลิตกรดอะมิโนทำรายได้เป็นมูลค่า 1.8 ล้านเหรียญสหรัฐ และเชื่อว่าความต้องการกรดอะมิโนอนาคตจะต้องเพิ่มขึ้นอีก กรดอะมิโนที่สามารถผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรมคือ ไลซีน กรดกลูตามิก และเมไธโอนีน การผลิตไลซีนและกรดกลูตามิกใช้ขบวนการหมักจากจุลินทรีย์ การปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการหมักให้เหมาะสมจะช่วย

เพิ่มผลผลิตได้มาก และการนำความรู้ด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์ มาปรับปรุงสายพันธุ์ จุลินทรีย์ นอกจากจะช่วยเพิ่มผลผลิตกรดอะมิโนทั้งล่องชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังช่วยให้สามารถใช่วัตถุดิบที่แตกต่างกันได้ด้วย โดยเฉพาะวัตถุดิบที่มีมากและราคาถูก ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ สำหรับเมโรโอเนินปีหนึ่ง ๆ มีการผลิตประมาณ 1 แล่น ตัน แต่ใช้กรรมวิธีสังเคราะห์ทางเคมีทั้งหมด การผลิตกรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ ใช้วิธีสกัด จากเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตหรือการย่อยสลายโปรตีน การผลิตกรดอะมิโนต่าง ๆ โดย อาศัยจุลินทรีย์ที่สร้างใหม่ จากเทคนิคทางวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จะทำให้ได้จุลินทรีย์ที่มี ประสิทธิภาพการผลิตสูง ซึ่งเป็นสิ่งท้าทายต่ออุตสาหกรรมการผลิตกรดอะมิโนในอนาคต

การผลิตไวตามิน

ปีหนึ่ง ๆ มีการใช้ไวตามินเป็นมูลค่าถึง 670 ล้านเหรียญ ไวตามินบางชนิด ผลิตโดยอาศัยจุลินทรีย์ช่วยผลิตเพียงบางส่วน หรือใช้จุลินทรีย์ผลิตทั้งหมด เช่น ไวตามิน บีสอง บีสิบสอง ซี และ ดี ความก้าวหน้าทางวิศวกรรมพันธุศาสตร์จะช่วยพัฒนาการผลิต ไวตามินเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามโครงสร้างของไวตามินค่อนข้าง สลับซับซ้อน และอาคัยการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิด การศึกษาหาขั้นตอนที่เป็นตัว จำกัดการผลิต (ratecontrolling steps) และหาทางกำจัดออก นับเป็นสิ่งจำเป็น ที่ต้องศึกษาในขั้นแรก การผลิตไวตามินอีในปฏิกิริยาใช้วิธีการสกัดจากผลิตภัณฑ์เกษตร แต่มีการศึกษาพบว่า สำหรับหลายชนิดสร้างไวตามินอีได้ หากมีการศึกษากลไกการ - สังเคราะห์ไวตามินอีในจุลินทรีย์อย่างจริงจัง บ่อยเป็นไปได้ที่จะผลิตไวตามินอีในอนาคต โดยอาศัยจุลินทรีย์ในขบวนการหมัก

การผลิตเอ็นไซม์

ในปี ค.ศ. 1960 มีการใช้เอ็นไซม์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพียง 5 ล้าน เหรียญ แต่ในปี ค.ศ. 1983 มีการใช้เอ็นไซม์เพิ่มขึ้นเป็น 160 ล้านเหรียญ เอ็นไซม์

ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด เช่น อมัยเลสไฮย้อยแบ้ง กลูโคสไอโซเมอร์เรส ใช้ผลิตน้ำตาลฟรุคโตสจากข้าวโพด เอ็นไซม์ที่มีความต้องการมากในปัจจุบันคือโปรติเอส เพื่อใช้ผสมในผงซักฟอก เอ็นไซม์เหล่านี้ และเอ็นไซม์อื่น ๆ อีกหลายชนิด สามารถผลิตโดยจุลินทรีย์ได้ ซึ่งน่าจะใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์มาปรับปรุงขบวนการผลิตให้ดีขึ้นได้ นอกจากนี้เอ็นไซม์ที่สกัดได้จากพืชและสัตว์ เช่น ปาเปนจากยางมะละกอ โบ-เมลินจากต้นสับปะรด เปปซิน และเรนนิનจากกระเพาะลูกวัว ถ้าสามารถแยกยีนส์ที่ควบคุมการผลิต และนำเข้าไปใส่ในจุลินทรีย์ได้ จะทำให้เพิ่มปริมาณการผลิตได้เอ็นไซม์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ และมีราคาถูกลงด้วย ปัจจุบันสามารถผลิตเอ็นไซม์ที่มีคุณสมบัติคล้ายเรนนิน คือ ไคโมซิน โดยอาศัยเทคนิคทางวิศวกรรมพันธุศาสตร์เข้าช่วยได้แล้ว

การผลิตเชื้อเริ่มต้น (Starter cultures)

อุตสาหกรรมอาหารหลายชนิดต้องอาศัยการเติมเชื้อเริ่มต้น เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่ต้องการ เช่น การทำขนมปัง การทำเบียร์และไวน์ และอุตสาหกรรมหมักดองอื่น ๆ การศึกษาคุณสมบัติที่เหมาะสม โดยศึกษาถึงระดับยีนส์ของจุลินทรีย์ที่จะช่วยเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี การใช้ความรู้และเทคนิคด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์ปรับปรุงการผลิตเนย โดยสร้างสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อเริ่มต้น โดยมียีนส์ที่สร้างเอ็นไซม์ไลเปส และโปรติเอสช่วยย่อยสลายไขมันและโปรตีนในเนย ทำให้ได้กลิ่นและรสดีขึ้น นอกจากนี้เชื้อเริ่มต้นในการทำเนยมักจะถูกทำลายโดยไวรัส (bacteriophage) การใส่ยีนส์ต้านการทำลายโดยไวรัสลงในเชื้อเริ่มต้น จะช่วยให้การผลิตเนยมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ในอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ ใช้ยีสต์ Saccharomyces cerevisiae จะได้เบียร์ที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง เนื่องจากยีสต์นี้ย่อยเด็กตริน (dextrins) ไม่ได้ ในขณะที่ยีสต์อีกชนิดคือ S. diastaticus ย่อยเด็กตรินได้ แต่ผลิตแอลกอฮอล์ได้ต่ำ การ

ใช้เทคนิคถ่ายทอดยีนส์ที่ย่อยแตกตริณจาก S. diastaticus ไปยัง S. cerevisiae ทำให้ได้ยีสต์สายพันธุ์ใหม่ที่สามารถผลิตเบียร์ และย่อยแตกตริณได้ เป็นผลให้เบียร์ที่ได้มีคาร์โบไฮเดรตน้อยและมีแคลอรีต่ำ

การผลิตโปรตีนจากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

จุลินทรีย์หลายชนิดสามารถนำมาเป็นโปรตีน โดยให้จุลินทรีย์เจริญในอาหารหรือวัสดุการเกษตรที่มีราคาถูก การใช้เทคโนโลยีด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์ สามารถนำไปปรับปรุงการผลิตได้ เช่น การผลิตโปรตีนโดยเชื้อ Methylophilus methylotrophus ซึ่งใช้เมทานอลเป็นแหล่งให้พลังงาน และคาร์บอน แอมโมเนียเป็นแหล่งให้ไนโตรเจน ปรากฏว่าได้ผลผลิตต่ำ เนื่องจากการเปลี่ยนไนโตรเจนจากแอมโมเนียไปยังกรดกลูตามิกของเชื้อ M. methylotrophus ต้องใช้เอ็นไซม์ 2 ชนิด ขณะที่ Escherichia coli จะใช้เอ็นไซม์เพียงชนิดเดียว ถ้ามีการถ่ายยีนส์ของ E. coli เข้าไปใน M. methylotrophus ได้ จะทำให้สามารถผลิตโปรตีนได้เพิ่มขึ้น

การปรับปรุงต่อไปที่เป็นไปได้ คือ การเพิ่มยีนส์ที่สร้างกรดอะมิโนจำเป็นต่าง ๆ เข้าไปอีก ปัญหาที่สำคัญของการผลิตโปรตีนจากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวคือ มีปริมาณกรดนิวคลีอิกมาก ถ้าสัตว์หรือคนได้รับเข้าไปมากอาจทำให้เกิดโรคเกาท์ได้ การศึกษาด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์เพื่อหายีนส์ที่เกี่ยวข้องกับเอ็นไซม์ที่ย่อยกรดนิวคลีอิกได้ในเวลาที่เหมาะสม ก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี

การผลิตกัม (gum)

กัมเป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่ใช้เติมในอาหาร เพื่อทำให้อาหารมีความคงตัว และมีเนื้ออาหารดี กัมส่วนใหญ่จะได้จากพืช เช่น ถั่วโลกัส (locust bean) และกัวร์ (guar) ถ้าสามารถแยกยีนส์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกัมได้และถ่ายทอดยีนส์เหล่านี้เข้าไปในจุลินทรีย์ที่เหมาะสม ก็จะช่วยเพิ่มการผลิตได้อีกทางหนึ่ง มีกัมอีก

ชนิดหนึ่งคือแซนแทนกัม (xanthan gum) สร้างโดยแบคทีเรีย Xanthomonas campestris แบคทีเรียชนิดนี้ไม่มีเอ็นไซม์ที่สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสได้ ได้มีการใช้เทคนิคทางวิศวกรรมพันธุศาสตร์เข้าช่วย โดยใส่ยีนส์ที่สร้างเอ็นไซม์ย่อยน้ำตาลแลคโตสเข้าไปในเซลล์ ทำให้ X. campestris สามารถเจริญในวัตถุดิบที่มีแลคโตสเป็นองค์ประกอบได้ โดยเฉพาะเวย์ (whey) ทำให้ต้นทุนการผลิตแซนแทนกัมลดต่ำลง ซึ่งสามารถใช้แซนแทนกัมได้กับอุตสาหกรรมหลายชนิด

การผลิตสารที่เพิ่มกลิ่น รส และสี

นอกจากกรดกลูตามิก ยังมีสารประกอบอีกหลายอย่างที่ใช้เติมอาหาร เพื่อให้ได้กลิ่นรส และสี ดึงดูดใจผู้บริโภค สารประกอบเหล่านี้ได้จากแหล่งต่าง ๆ กัน เช่น น้ำตาลที่ให้ความหวาน และกลิ่นน้ำตาลไหม้ (caramel) ได้จากพืชพวกอ้อย ปัจจุบันสามารถสังเคราะห์สารที่ให้ความหวานชนิดใหม่ โดยขบวนการทางเคมี คือ แอสพาลเทม (aspartame) ให้ความหวานมากกว่าน้ำตาล 200 เท่า ประกอบด้วยกรดอะมิโน 2 ชนิด คือ กรดแอสพาร์ติก และฟีนิลอลานีน เมื่อปี ค.ศ. 1980 นักวิทยาศาสตร์กลุ่มของ Doel ได้สังเคราะห์ยีนส์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแอสพาลเทมขึ้นมาได้ และทำให้มีการผลิตแอสพาลเทมโดยจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถผลิตสารประกอบนี้ได้ในปริมาณมาก คาดว่าในอนาคตจะมีการนำมาใช้แทนน้ำตาลมากขึ้น เพราะแอสพาลเทมให้ความหวานมากกว่า และมีแคลอรีต่ำกว่ามาก สารที่ให้ความหวานอีกสองชนิดคือ โมเนลลิน (monellin) และ ทันมาติน (tharmatin) ผลิตโดยพืชในอาฟริกาตะวันตก แต่ปริมาณที่ผลิตได้ต่ำมาก ถ้ามีการศึกษากันอย่างจริงจัง และสามารถถ่ายทอดยีนส์ที่เกี่ยวข้องเข้าไปในจุลินทรีย์ ก็จะสามารถผลิตสารประกอบทั้งสองในระดับอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้สารที่เพิ่มรสชาติให้อาหาร เช่น กรดอินโนซินิก และกัวนิลิก (inosinic and guanylic acids) ใช้เติมในอาหารเพื่อให้มีรสชาติดี ปัจจุบันผลิตโดยการสกัดจากยีสต์ แต่การเพิ่มผลผลิตของสารทั้งสองนี้ ทำให้ยีสต์ได้ยาก เพราะกลไกที่ควบคุมการทำงานต่าง ๆ

ในเซลล์มีสัขัซ้อน แต่ถ้าสามารถถ่ายทอดยีนส์ที่เกี่ยวข้องเข้าไปในแบคทีเรียได้ จะช่วยเพิ่มผลผลิตของสารทั้งสองได้ สารที่ให้สีเช่น แคโรทีนอยด์ (carotenoids) เป็นสีธรรมชาติได้จากพืชหรือจุลินทรีย์นิยมใช้เติมอาหารต่าง ๆ แต่ปริมาณที่ผลิตได้ค่อนข้างต่ำ การใช้เทคนิคทางวิศวกรรมพันธุศาสตร์เข้าช่วย น่าจะเพิ่มผลผลิตได้เช่นกัน

สรุป

ตามที่ได้กล่าวมาจะเห็นว่าเทคโนโลยีชีววิศวกรรมพันธุศาสตร์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ดี โดยเฉพาะด้านการปรับปรุงสายพันธุ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต หรือปรับปรุงคุณภาพของสารที่ผลิตได้ การสร้างสายพันธุ์ใหม่ของจุลินทรีย์ เพื่อผลิตสารที่ไม่สามารถผลิตได้ง่าย ๆ ในปริมาณมาก หรือสร้างสายพันธุ์ที่สามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบได้ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีชีววิศวกรรมพันธุศาสตร์ คือ สามารถผลิตสารที่ต้องการได้ในปริมาณมาก มีคุณภาพตามต้องการและมีราคาถูก ในประเทศไทยมีอุตสาหกรรมหลายประเภท จำเป็นต้องใช้จุลินทรีย์ หรือขบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ประกอบการผลิต เช่น การผลิตผงชูรส การผลิตเบียร์และไวน์ การผลิตซีอิ๊วและน้ำปลา ฯลฯ ควรนำเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์มาช่วยปรับปรุงพันธุ์จุลินทรีย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเร่งขบวนการผลิตให้เร็วขึ้นได้ นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมากมาย เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย กากน้ำตาล ฯลฯ ควรใช้ความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ โดยเฉพาะด้านวิศวกรรมพันธุศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อแปรรูปวัสดุการเกษตรต่าง ๆ ให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าและมีราคาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Batt, A.C. and Sinskey, A.J. (1984). Use of Biotechnology in the Production of Single-cell Protein. *Fd. Technol.* 38: 108-111.
- Darrington, H. (1983). New Uses for Biotechnology. *Fd. Manufacture* : 65-71.
- Haas, M.J. (1984). Methods and Applications of Genetic Engineering. *Fd. Technol.* 38:69-77.
- Hulse, J.H. (1984). Biotechnology : New Horns for an Old Dilemma. *Fd. Technol. Austraila* 36:271-277.
- Panchal, J., Russell, I., Sills, A.M. and Stewart, G.G. (1984). Genetic Manipulation of Brewing and Related Yeast Strains. *Fd. Technol.* 38:99-106.
- White, T.J., Meade, J.H., Shoe maker, S.P., Koths, K.E. and Innis. M.A. (1984). Enzyme Cloning for the Food Fermentation Industry. *Fd. Technol.* 38:90-98.