

สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย

Thai Society for Biotechnology



*Rudbeckia occidentalis* | p. 150



*Hacquetia epipactis* | p. 94



*Anigozanthos flavidus* | p. 18



สรุสาระ

# เทคโนโลยีชีวภาพ

ฉบับเดือน มีนาคม-กรกฎาคม, 2554



*Euphorbia lathyris* | p. 80



*Hemerocallis 'Green Flutter'* | p. 100

## จาก..บรรณาธิการ

เทคโนโลยีชีวภาพเป็นทั้งศาสตร์/องค์ความรู้และวิทยาการเชิงประยุกต์ทางด้านชีววิทยา โดยอาศัยประโยชน์ที่ได้รับจากเซลล์ของจุลินทรีย์ พืช แมลง และสัตว์ เพื่อการสังเคราะห์ชีวภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงเชิงพาณิชย์ และการสร้างกระบวนการชีวภาพเชิงอุตสาหกรรม ความสำเร็จของเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่จำเป็นต้องอาศัยสหวิทยาการขั้นสูงแบบบูรณาการแทบจะทุกมิติ เพื่อพัฒนาการสู่เป้าหมายของการเป็นวิทยาศาสตร์ชีวิตเชิงอุตสาหกรรมได้ในท้ายที่สุด

ประเทศไทยได้สำเร็จแล้วถึงวิสัยทัศน์อันก้าวหน้าในปลายศตวรรษที่ผ่านมา ผ่านทางหน่วยงาน/องค์กรของรัฐและมหาวิทยาลัยเป็นส่วนใหญ่ และได้ตระหนักถึงความสำคัญของผลลัพธ์ที่ติดตามอย่างเป็นรูปธรรมของผู้ประกอบการในตอนต้นของศตวรรษนี้อย่างชัดเจน สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพมีความมุ่งมั่น/เจตจำนงที่จะบรรสานเจตนารมณ์ของทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อนำพาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรมของประเทศเข้าสู่ภาวะของความรุ่งโรจน์และแข่งขันได้กับประเทศทั้งมวลในภูมิภาคและเวทีโลก

บทความเชิงสาระที่คัดสรรแล้วในนิตยสารอิเล็กทรอนิกส์นี้ จะบันทึก/สื่อสารถึงวิทยาการใหม่ ๆ ที่สามารถพิสูจน์ได้ถึงเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ของโลกยุคสารสนเทศอันไร้พรมแดน และส่งเสริมมวลปัญญาต่อยอดด้านเทคโนโลยีชีวภาพจากนักวิจัยไทยฉบับภาษาภาษาไทยสู่เวทีสาธารณชน

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล

บรรณาธิการ

นิตยสารเปิด “สรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ”



สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย

## “สรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ”

### คณะที่ปรึกษา

รศ.ดร. เพ็ญจิตร์ ศรีนพคุณ นายกสมาคม ฯ  
และคณะกรรมการสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย

### บรรณาธิการ

รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล

### ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ.ดร. วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน  
รศ.ดร. ธงไชย ศรีนพคุณ  
ผศ.ดร. ประมุข ภาวะกุลสุขสถิตย์  
ดร. อุทัยวรรณ อุสันสา  
ดร. สุธี วังเตื่อย  
อ. สุมลลิกา โมรากุล

### กองบรรณาธิการ

ดวงพร ลากะสงค์  
ธเนษฐ โชติภักดิ์  
ศิวพร วรณวิไล  
มณฑพรพร สงพิมพ์  
ชนิกา ชื่นแสงจันทร์  
ลลิตา พลมณี  
โยธกา ปัทชา  
ดารารัตน์ มงคลการ

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์  
ที่อยู่ 50 ถนนงามวงศ์วาน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900  
โทรศัพท์ 02-562-5074 โทรสาร 02-579-4096  
อีเมล sarote.s@ku.ac.th

### ฝ่ายศิลป์

กชกร ปรางค์วิเศษ

นิตยสารเปิดอิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับภาษาไทย)

ภายใต้การสนับสนุน/ลิขสิทธิ์ของ

สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย

(Thai Society for Biotechnology/www.biotech.or.th/tsb)

เนื้อหา/ข้อความของบทความนี้เป็นความรับผิดชอบเฉพาะ  
ของผู้แต่ง/เขียน/เรียบเรียง สมาคมฯ ไม่จำเป็นต้องเห็น  
ชอบ/รับผิดชอบที่เกี่ยวกับกฎหมาย (ถ้ามี)

# สารบัญ

ฉบับปฐมฤกษ์ มีนาคม, 2554

| การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร                           | หน้า |
|------------------------------------------------------|------|
| ไซลิทอลจากฟางข้าว .....                              | 1    |
| ฟรุกโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ .....                         | 2    |
| อินูลินและอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ .....               | 3    |
| คอนยัคกลูโคแมนแนน .....                              | 4    |
| เปียร์ .....                                         | 5    |
| สิ่งแวดล้อมและพลังงาน                                |      |
| ไบโอดีเซลจากสาหร่าย .....                            | 6    |
| การพัฒนาพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ..... | 7    |
| พลาสติกชีวภาพ: พอลิไฮดรอกซีแอลคานอเอต .....          | 8    |
| กฎหมายและการศึกษา                                    |      |
| วิศวกรรมกระบวนการสร้างและสลาย .....                  | 9    |
| ชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม .....                     | 10   |

# สารบัญ

เมษายน, 2554

| การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร                       | หน้า |
|--------------------------------------------------|------|
| สไปรูลิน่า: ซูเปอร์สาหร่ายขนาดเล็ก .....         | 11   |
| จุลินทรีย์เพื่อสุขภาพ .....                      | 12   |
| เจลาติน .....                                    | 13   |
| กระบวนการผลิตเบียร์ (1): การต้มสกัดน้ำหวาน ..... | 14   |
|                                                  |      |
| สิ่งแวดล้อมและพลังงาน                            |      |
| ไบโอดีเซลสำเร็จรูปจากจุลินทรีย์ .....            | 15   |

# สารบัญ

พฤษภาคม, 2554

| การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร              | หน้า |
|-----------------------------------------|------|
| คลอเรลลาสำหรับหมักจรรยา .....           | 16   |
| สารโภชนเภสัชจากสิ่งมีชีวิตใต้ทะเล ..... | 17   |
| แก๊สวันพีชหัวเพื่อสุขภาพ .....          | 18   |
| สิ่งแวดล้อมและพลังงาน                   |      |
| ไบโอดีเซลจากน้ำมันจุลินทรีย์ .....      | 19   |
| สารประโยชน์จากพลาสติกชีวภาพ .....       | 20   |

# สารบัญ

มิถุนายน, 2554

| การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร                                        | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| การผลิตเจลาติน .....                                              | 21   |
| กระบวนการผลิตเปียร์ (1) : การต้มสกัดน้ำหวาน-การลดขนาดอนุภาค ..... | 22   |
| สิ่งแวดล้อมและพลังงาน                                             |      |
| ไบโอเอทานอลจากชีวมวล .....                                        | 23   |
| วิศวกรรมเคมีชีวภาพและ<br>วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ                  |      |
| ไหมแมงมุมพันธุ์วิศวกรรม .....                                     | 24   |
| ปฏิกณะ                                                            |      |
| นวัตกรรมการแก้งดิน .....                                          | 25   |

# สารบัญ

กรกฎาคม, 2554

| การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร                         | หน้า |
|----------------------------------------------------|------|
| ทรีฮาโลส น้ำตาลเพื่ออุตสาหกรรม.....                | 26   |
| สิ่งแวดล้อมและพลังงาน                              |      |
| วัฏจักรชีวิตของพลาสติกชีวภาพ .....                 | 27   |
| สไปรูลิน่ากับมหัศจรรย์ทางการแพทย์.....             | 28   |
| กฎหมายและการศึกษา                                  |      |
| ชีววิทยาสังเคราะห์ .....                           | 29   |
| ชีววิทยาสังเคราะห์: เครื่องมือชีวภาพ .....         | 30   |
| วิศวกรรมเคมีชีวภาพและ<br>วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ   |      |
| ยีสต์ดัดแปลงพันธุกรรม: โรงงานผลิตสารชีวภัณฑ์ ..... | 31   |

ฉบับปฐมฤกษ์ มีนาคม, 2554

# การเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

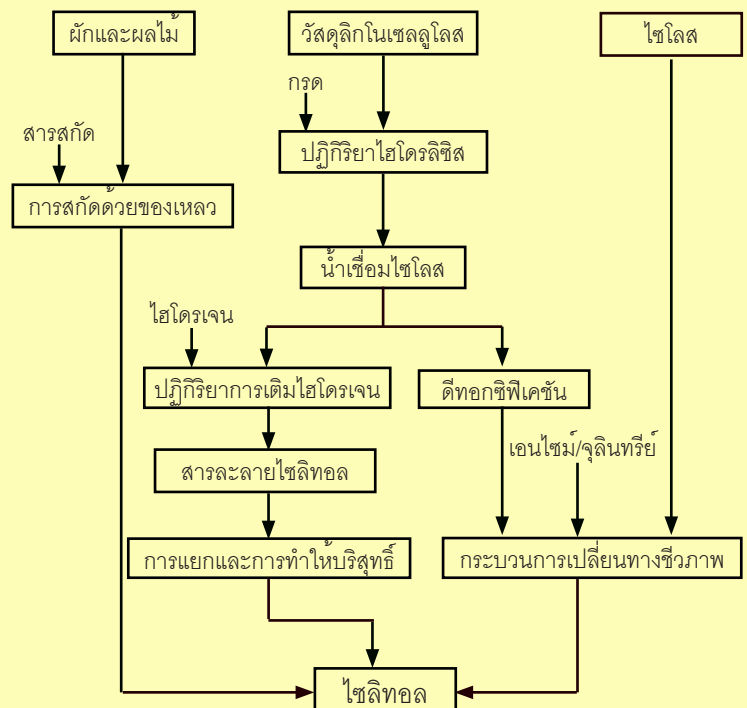
# โซลิทอล จาก ฟางข้าว

ศิวพร วรรณวิไล\*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ\*

ฟางข้าวเป็นกระดูกสันหลังของชาติ คำกล่าวนี้ในปัจจุบันยังคงใช้ได้ จากการวิเคราะห์สถานการณ์การผลิตข้าวของโลกพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ยังครองอันดับหนึ่งของการผลิตข้าวที่มีคุณภาพและการส่งออก จึงทำให้ประเทศไทยมีฟางข้าวเหลือทิ้งเป็นปริมาณมาก ในอดีตการเผาทำลายเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดฟางข้าวเหล่านี้ ซึ่งก่อให้เกิดภาวะมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันฟางข้าววัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ไม่มีค่ากลับมีมูลค่ามหาศาลเมื่อถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารให้ความหวานแทนน้ำตาลชนิดหนึ่ง คือ **“โซลิทอล”** เนื่องจากฟางข้าวมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสซึ่งมีน้ำตาลไซโลสเป็นองค์ประกอบหลัก และน้ำตาลไซโลสนี้เองที่ถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการเปลี่ยนเป็นโซลิทอล

โซลิทอลจัดเป็นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลอยู่ในกลุ่มของน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีประโยชน์มากมาย อาทิ มีคุณสมบัติป้องกันฟันผุ เนื่องจากจุลินทรีย์ในช่องปากไม่สามารถใช้โซลิทอลเป็นแหล่งอาหารได้ ทำให้อุตสาหกรรมหมักฝรั่ง 80-90% จึงนิยมใช้โซลิทอลในผลิตภัณฑ์หมักฝรั่ง ผู้ป่วยโรคเบาหวานสามารถบริโภคโซลิทอลและผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของโซลิทอลได้ เนื่องจากการใช้โซลิทอลในร่างกายไม่ขึ้นกับสารอินซูลิน และโซลิทอลไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลในเลือด จึงปลอดภัยต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน และโซลิทอลไม่ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน จึงทำให้การเตรียมอาหารเหลวสำหรับใช้ทางสายยางกว่าการเตรียมโดยใช้น้ำตาลกลูโคส ดังนั้นในทางการแพทย์จึงมีการใช้โซลิทอลเป็นอาหารทางสายของผู้ป่วย นอกจากนี้ คุณสมบัติที่สำคัญอีกข้อหนึ่งของโซลิทอลก็คือ เป็นน้ำตาลซึ่งมีจุลินทรีย์น้อยชนิดที่จะสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้โซลิทอลเป็นองค์ประกอบไม่เสื่อมเสียง่าย และเก็บไว้ได้นาน

จากคุณสมบัติที่ดีทั้งหลายของโซลิทอล ทำให้ผู้บริโภคที่รักสุขภาพหันมาบริโภคผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของโซลิทอลมากขึ้น ทำให้มีความต้องการผลิตโซลิทอลเพิ่มสูงขึ้น แม้ว่าโซลิทอลยังคงมีราคาค่อนข้างสูงประมาณ 4-5 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม และจากความต้องการบริโภคที่มีมากขึ้น จึงทำให้เกิดภาวะการแข่งขันในการผลิตโซลิทอลติดตามา



กระบวนการทางเลือกของการผลิตโซลิทอล

ที่มา: สาขาวิชา, 2554

การผลิตโซลิทอลในปัจจุบันใช้กระบวนการทางเคมีโดยการเติมไฮโดรเจนที่ต้องใช้ภาวะอุณหภูมิและความดันสูงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงและมีสารปนเปื้อนมากยากต่อการทำบริสุทธิ์ นอกจากวิธีทางเคมีแล้ว ยังมีวิธีการผลิตโซลิทอลจากฟางข้าวโดยวิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ต้องอาศัยกรรมวิธีการหมักด้วยเชื้อยีสต์ ซึ่งมี 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การบดฟางข้าวและสกัดน้ำตาลไซโลสออกจากฟางข้าว การเปลี่ยนไซโลสให้เป็นโซลิทอลโดยเชื้อยีสต์ในตระกูล *Candida* และขั้นตอนสุดท้ายคือการสกัด/ทำบริสุทธิ์/ตกผลึกโซลิทอลที่ผลิตได้

จะเห็นว่าฟางข้าวที่เห็นว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ไม่มีค่านั้น แท้ที่จริงแล้วกลับมีมูลค่ามากมาย เพียงแค่รู้จักการนำไปใช้ให้คุ้มค่าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดโดยการนำมาผลิตเป็นโซลิทอลเชิงพาณิชย์ ดังนั้นประเทศไทยซึ่งมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก จึงเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตโซลิทอลของภูมิภาคได้

เอกสารอ้างอิง: สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ, 2537. ว. วิทย. กษ. 27(3-4): 71-81. • สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ, 2554. วิศวกรรมกระบวนการหมัก: กรรมวิธีการผลิตโซลิทอล. 92 หน้า. • Prakasham, R.S. et al. 2009. Curr. Trends. Biotechnol. Pharm. 3(1): 8-36.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

## น้ำตาลเพื่อสุขภาพ

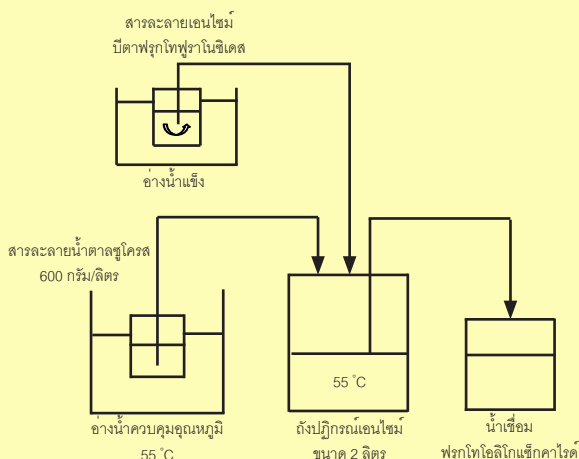
# ฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์

กชกร ปรางค์วิเศษ\* /สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล\*

ฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่พบได้ทั่วไปในพืช ผัก ผลไม้ เช่น กระเทียม น้ำผึ้ง ข้าวบาเลย์ หัวหอม กล้วย หน่อไม้ฝรั่ง ข้าวไรย์ ยาคอน ชิโครี และเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค เป็นต้น โครงสร้างของฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลฟรุทโทสหนึ่งถึงสามโมเลกุล เชื่อมกันด้วยพันธะปีตา-1,2 ของน้ำตาลซูโครส ส่วนใหญ่น้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จะประกอบด้วย 1-เคสโทส (GF<sub>2</sub>) นีสโทส (GF<sub>3</sub>) และ 1<sup>F</sup>-ฟรุทโทฟูราโนซิลนีสโทส (GF<sub>4</sub>) เป็นหลัก

กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์เชิงพาณิชย์ สามารถผลิตจากน้ำตาลซูโครสด้วยปฏิกิริยาทรานสฟรุทโทซิเลชันจากการทำงานของเอนไซม์ฟรุทโทซิทรานสเฟอเรส (EC 2.4.1.9) และปีตาฟรุทโทฟูราโนซิเดส (EC 3.2.1.26) กระบวนการผลิตแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ การเตรียมเอนไซม์ปีตาฟรุทโทฟูราโนซิเดส และการผลิตฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ ที่ดำเนินการภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

กระบวนการผลิตฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ผลิตได้ทั้งแบบเบ็ดเสร็จและแบบต่อเนื่อง ซึ่งขึ้นอยู่กับวัฏกรรมของกรรมวิธีการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์สุดท้ายที่ได้จะแตกต่างกันด้วยองค์ประกอบหลัก (1-เคสโทส นีสโทส และ 1<sup>F</sup>-ฟรุทโทฟูราโนซิลนีสโทส) และองค์ประกอบรอง (ซูโครส และ กลูโคส)



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์

ที่มา: สาโรจน์, 2551

### เอกสารอ้างอิง

สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล. 2551. วิศวกรรมกระบวนการหมัก: กรรมวิธีการผลิตฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์. 80 หน้า. • Sabater-Molina, M. et al. 2009. J. Physi. Biochem. 65(3): 315-328. • Sangeetha, P.T., et al. 2005. J. Food Eng. 68: 57-64.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

อีกทางเลือกหนึ่งของการผลิตน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ คือ การผลิตจากอินูลินด้วยการทำงานของเอนไซม์อินูลินเนส ที่เน้นเพียงกิจกรรมของเอนโดอินูลินเนส ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายพันธะภายในโมเลกุลของอินูลิน แหล่งของอินูลินที่ใช้เป็นวัตถุดิบสามารถสกัดได้จากชิโครีและเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค

โดยทั่วไปน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ผลิตได้เป็นน้ำตาลผสมที่ประกอบด้วยกลูโคส ฟรุทโทส ซูโครส และโอลิโกแซ็กคาไรด์ จึงต้องผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ต้องการ โดยใช้วิธีเจลฟิวเทรชันโครมาโทกราฟีด้วยเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก เช่น Ca<sup>2+</sup> sulfonate styrene-divinylbenzene หรือ การทำให้บริสุทธิ์ด้วยการกรองผ่านเยื่อเช่น การกรองด้วยเมมเบรน NF-CA-50

น้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์มีคุณสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก<sup>1</sup> เนื่องจากไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในร่างกายนคนและสัตว์ แต่ช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียบีฟิโด ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มพรอไบโอติก<sup>2</sup> ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย และจัดเป็นสารให้ความหวานที่ช่วยป้องกันฟันผุและให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาลซูโครส ซึ่งปริมาณที่เหมาะสมต่อการบริโภคน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์คือ 4-15 กรัมต่อวัน มีผลช่วยลดอาการท้องผูก และช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียบีฟิโดในลำไส้ การบริโภคน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ปริมาณ 6-12 กรัมต่อวัน ติดต่อกันเป็นเวลา 2 อาทิตย์ ถึง 3 เดือน สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลได้ รวมทั้งยังช่วยลดระดับความดันโลหิตได้อีกด้วย

จากคุณสมบัติของฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ดังกล่าวทำให้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีการผลิตและจำหน่าย ได้แก่ Meiji Seika Kaisha (ญี่ปุ่น) Sensus (เนเธอร์แลนด์) และ BENE-O-rafit (เบลเยียม) เป็นต้น สำหรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของน้ำตาลฟรุทโทโอลิโกแซ็กคาไรด์ ได้แก่ กาแฟ โยเกิร์ต นมผง อาหารเสริม และเครื่องดื่ม เป็นต้น

### ข้อมูลเพิ่มเติม

<sup>1</sup> พรีไบโอติก (prebiotics) หมายถึง โยอาหารที่รับประทานเข้าไปแล้วไม่ถูกย่อยและดูดซึมโดยกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก สามารถผ่านลงไปยังลำไส้ใหญ่ เพื่อไปส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ แต่ทำในแบคทีเรียชนิดที่มีผลเสียต่อสุขภาพลดจำนวนลง

<sup>2</sup> พรอไบโอติก (probiotics) คือ กลุ่มของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตให้เสริมในอาหาร เพื่อประโยชน์ทางสุขภาพของผู้บริโภคหรือสิ่งมีชีวิตที่เชื้อจุลินทรีย์นั้นอาศัยอยู่ (host) จุลินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นพรอไบโอติกมีหลายชนิด เช่น Bifidobacteria (บีฟิโดแบคทีเรีย) (B. bifidum B. lactis B. subtilis และ B. longum) และ Lactobacilli (แลคโตบาซิลลัส) (L. acidophilus L. casei L. johnsonii L. rhamnosus และ L. paracasei) เป็นต้น

# อินูลินและ อินูโลลิโกแซ็กคาไรด์

มณฑลพรพร สงพิมพ\*/ สโรจณ ศิริคณสนียกุล\*

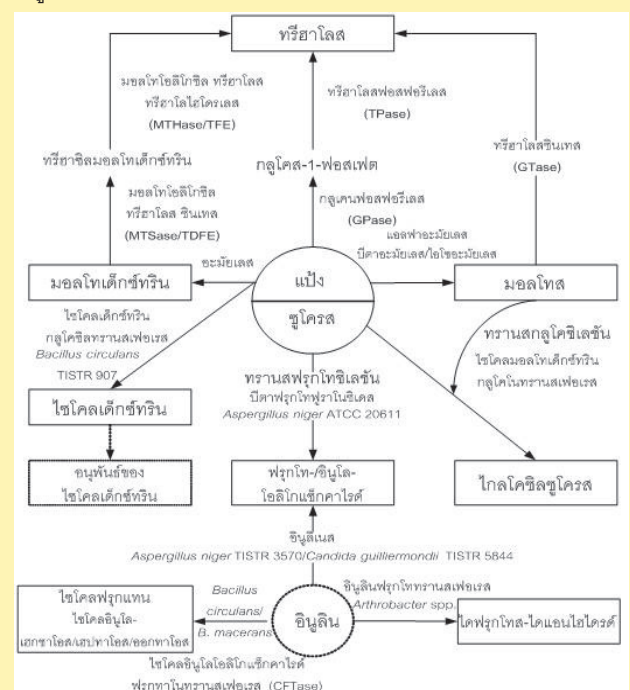
ประเทศไทยมีศักยภาพสูงต่อการผลิตวัตถุดิบตั้งต้นของอุตสาหกรรมเกษตรที่หลากหลาย จึงเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการสร้างผลิตภัณฑ์แปรรูป (อาหาร/กึ่งอาหาร) ทั้งระดับปฐมภูมิมูลค่าต่ำและทุติยภูมิมูลค่าสูง ฉะนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีกระบวนการผลิตทางชีวภาพ ที่ประยุกต์ให้ใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรม จึงเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตรทั้งหลาย เพื่อการส่งออกและทดแทนการนำเข้าเพื่อใช้บริโภคภายในประเทศ

อินูโลลิโกแซ็กคาไรด์เป็นผลิตภัณฑ์ระดับทุติยภูมิที่มีมูลค่าสูง ที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่รักสุขภาพ เนื่องจากเป็นสารเติมแต่งให้ความหวานที่มีคุณสมบัติของใยอาหาร อุ่มน้ำได้ดี เมื่อละลายน้ำแล้วให้สารละลายที่มีความหนืด และไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ภายในร่างกายมนุษย์ จึงใช้เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ (ประมาณครึ่งหนึ่งของพลังงานที่ได้จากคาร์โบไฮเดรต) โดยมีความหวานเพียงหนึ่งในสามเท่าของน้ำตาลซูโครส และเป็นน้ำตาลที่ไม่มีผลต่อระดับของอินซูลินในเลือด นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก เพราะช่วยส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียบีฟิโด (*Bifidobacterium infantis*, *B. bifidum*, *B. adolescentis* และ *B. longum*) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มพรอไบโอติกที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียบีฟิโดจะสนับสนุนการสร้างอนุพันธ์ในโตรเจน เช่น แอมโมเนีย อินโดล และฟีนอล ซึ่งช่วยกำจัดสารก่อมะเร็งในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้แบคทีเรียบีฟิโดยังช่วยสังเคราะห์สารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอีกมากมาย ได้แก่ ไนอาซิน วิตามินบี 1 บี 2 บี 6 และบี 12 เป็นต้น

กรรมวิธีการผลิตอินูโลลิโกแซ็กคาไรด์ สามารถผลิตได้จากการย่อยสลายอินูลินด้วยวิธีทางเอนไซม์ โดยการควบคุมปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสด้วยเอนไซม์อินูลินเนส อินูลินเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลฟรุกโทส ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตอินูโลลิโกแซ็กคาไรด์ พบได้ในพืช ชิโครี ดาร์เลีย ยาคอน และเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค/แกนตะวัน ดังนั้นการผลิตอินูโลลิโกแซ็กคาไรด์ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรและพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตรในประเทศ ปัจจุบันมีการส่งเสริมการเพาะปลูก “แกนตะวัน” ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดใหม่ของประเทศ ทำให้ต้องมีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากแกนตะวัน เพื่อสร้างอุตสาหกรรมเกษตรแปรรูปสำหรับรองรับปริมาณผลผลิตของแกนตะวันที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต

การพัฒนากระบวนการผลิตอินูโลลิโกแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วยการผลิตเอนไซม์อินูลินเนสและการย่อยอินูลินด้วยอินูลินเนส (กิจกรรมของเอนโดอินูลินเนส/เอกโซอินูลินเนส) เอนโดอินูลินเนส

ทำหน้าที่ย่อยพันธะระหว่างหน่วยของฟรุกโทสที่อยู่ภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ได้เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ แหล่งที่พบเอนไซม์อินูลินเนส ได้แก่ พืชและจุลินทรีย์ เช่น ฟังไจ (*Aspergillus niger*, *A. ficum*, *Chrysosporium pannorum* และ *Penicillium purpurogenum*) และยีสต์ (*Kluyveromyces marxianus*, *Candida kefyr* และ *Pichia polymorpha*) การผลิตเอนไซม์อินูลินเนสจากจุลินทรีย์สามารถผลิตได้ง่ายและได้ในปริมาณมาก นอกจากนี้เอนไซม์ดิบที่ได้ยังประกอบด้วยกิจกรรมของอินเวอร์เทสและบีตาฟรุกโทฟูราโนซิเดส ที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตน้ำตาลฟรุกโทโอลิโกแซ็กคาไรด์จากซูโครสได้อีกด้วย



ภาพที่ 1 การผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์และอนุพันธ์ของน้ำตาลมูลค่าสูงจากแป้งมันสำปะหลัง เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค/อินูลิน และน้ำตาลทราย/ซูโครส  
ที่มา: สโรจณ, 2554

อินูลินเนสและอินูโลลิโกแซ็กคาไรด์ จึงเป็นทางเลือกของการแปรรูปอินูลิน เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์อินูโลลิโกแซ็กคาไรด์ ที่เป็นสารให้ความหวาน/สารพรีไบโอติกใยอาหาร ใช้เป็นสารผสมในอาหารสุขภาพทั้งหลายที่มีประโยชน์ต่อผู้บริโภค

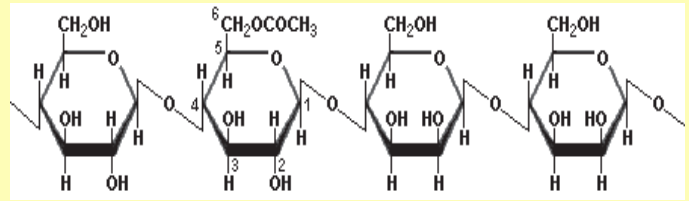
**เอกสารอ้างอิง:** พิลานี ไวกนอมสตัยและคณะ. 2553. อนุสิทธิบัตร/เลขที่คำขอ 1003001075. • สโรจณ ศิริคณสนียกุล. 2554. วิศวกรรมกระบวนการหมัก: กรรมวิธีการผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์. 84 หน้า. • Kim, D. H. et al. 1997. Biotechnol Lett. 19: 369-371. • Roberfroid, B. M. et al. 1993. J. Nutr. 51: 137-146. • Singh, R.S. et al. 2007. Bioresour. Technol. 98: 2518-2525. • Yun, et al. 1997. Biotechnol Lett. 19: 553-556.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# คอนยัคกลูโคแมนแนน

ธเนษฐ โชติภักดิ์\* /สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ\*

บุกเป็นพืชหัวอยู่ในวงศ์ Araceae สกุล *Amorphophallus* เป็นพืชสมุนไพรที่รู้จักและนิยมกันแพร่หลาย ญี่ปุ่นเป็นผู้ผลิตอาหารบุกส่งจำหน่ายสหรัฐอเมริกา ยุโรป และประเทศต่าง ๆ ประเทศไทยเพิ่งเริ่มแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากบุก เพื่อการส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศ โดยบุกที่ใช้เป็นวัตถุดิบคือ บุกเนื้อทราย ซึ่งมีหัวที่ปนใบ ส่วนคนไทยในชนบทรู้จักวิธีนำบุกมาปรุงอาหารโดยใช้ต้นอ่อนและหัวใต้ดิน องค์ประกอบที่สำคัญในผงบุกคือ สารกลูโคแมนแนน ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากการรวมตัวกันของกลูโคสและแมนโนสในอัตราส่วนโมล 1:1.6 หรือ 2:3 ด้วยพันธะบีตา-1,4-ไกลโคซิดิก ในประเทศไทยมีรายงานพบพืชสกุลนี้อยู่มากถึง 68 ชนิด เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีโดยแยกตามลักษณะของผงกลูโคแมนแนนในหัวบุกพันธุ์ต่าง ๆ ที่ซื้อขายกันภายในประเทศ พบว่าบุกเนื้อทรายหรือบุกไข่ (*Amorphophallus oncophyllus* Prain.) และบุกเตี้ยหัวกลม (Buk tiang hua-klom) เป็นสายพันธุ์ที่มีองค์ประกอบของกลูโคแมนแนนอยู่ในปริมาณสูงที่มีศักยภาพทางอุตสาหกรรม



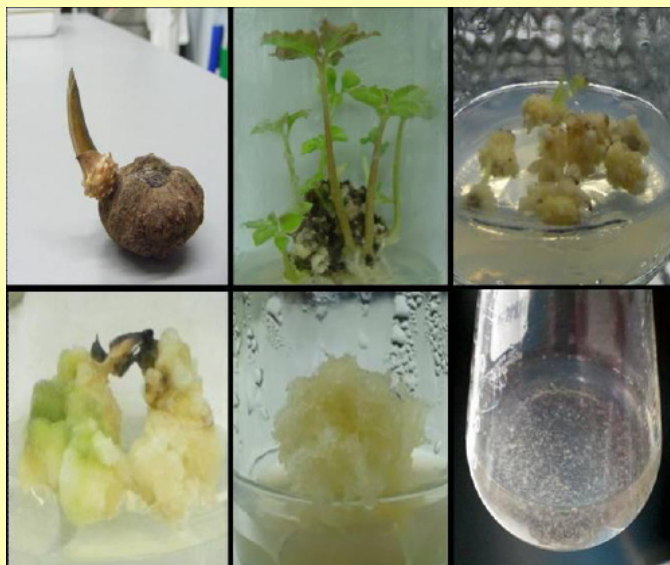
ภาพที่ 3 โครงสร้างของกลูโคแมนแนน  
ที่มา: Tye, 1991

กลูโคแมนแนนหรือคอนยัคกลูโคแมนแนนจัดเป็นใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ ซึ่งเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่ใหพลังงานแก่ผู้บริโภค แต่ก็มีคุณสมบัติอื่นในด้านอื่นมากมาย กลูโคแมนแนนมีคุณสมบัติแตกต่างจากพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น คือ เมื่อละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องจะพองตัวและขยายตัวได้ 20 ถึง 30 เท่า ทำให้สารละลายมีลักษณะเป็นเจลที่มีความหนืดสูง ซึ่งมีประโยชน์ทางด้านโภชนาการ เนื่องจากกลูโคแมนแนนไม่ถูกย่อยโดยน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร จึงเป็นกากเพิ่มปริมาณรวมอยู่กับอาหารที่ร่างกายย่อยได้ ช่วยป้องกันและบำบัดโรคได้หลายชนิด เช่น โรคไขมันในเลือดสูง โรคเบาหวาน สามารถสลายตัวช่วยในการระบายของเสียและสารพิษตกค้างในระบบการย่อยอาหารออกจากร่างกายได้ดีขึ้น

กลูโคแมนแนนที่ได้จากหัวบุกมีประสิทธิภาพในการดูดซึมไขมันและน้ำตาลได้ดีมาก สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมประเภทกลูโคไฟเบอร์ที่สกัดได้จากพืชธรรมชาติเพื่อใช้ควบคุมน้ำหนัก จึงมั่นใจได้ถึงความปลอดภัยที่มีต่อระบบของร่างกาย อีกทั้งช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสในร่างกาย ลดระดับคอเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ในเลือดได้ นอกจากนี้กลูโคแมนแนนยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อเตรียมอนุพันธ์ของกลูโคแมนแนนอื่นได้ เนื่องจากกลูโคแมนแนนนั้นมีคุณสมบัติเป็นสารที่เข้ากันได้ดีทางชีวภาพ (biocompatibility) และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) จึงสามารถประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้มากมาย อาทิ ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพอาหารและยา อุตสาหกรรมเคมี ตลอดจนผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง มีกรณีศึกษาถึงการนำกลูโคแมนแนนมารักษาโรคกระเพาะ ใช้กลูโคแมนแนนในการตรึงเซลล์ของจุลินทรีย์ และการนำอนุพันธ์ของกลูโคแมนแนนมาใช้ในการบล็อกและตัดเนื้อเยื่อให้ได้ลักษณะบางที่ง่ายต่อการตรวจดู เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

มงคล เกษประเสริฐ. 2547. สำนักวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 208 หน้า. • Kato, K. and K. Matsuda. 1969. 33(10): 1446-1453. • Sugiyama, N. et al. 1972. Agric. Biol. Chem. 36(8):1381-1387. • Takezaki, T. 2000. Jpn. Kokai Tokyo Koho JP 2000266744. • Tye, R.J. 1991. Food Technol. 45(3): 86-92. • Wu, C.Y. and D.Y. Shen. 2001. Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu CN 1280829A 24. • Zhang, Y. Q et al. 2005. Carb. Pol. 60: 27-31.



ภาพที่ 1 การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบุก  
ที่มา: ธเนษฐ โชติภักดิ์\* /สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ, 2010



ภาพที่ 2 การแปรรูปบุก  
ที่มา: นิรนาม

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# เบียร์

อุทัยวรรณ อุสันสา\*

**เบียร์** หมายถึง เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ได้จากระบวนการหมักน้ำหวานที่สกัดจากธัญพืชที่ผ่านการควบคุมกระบวนการออกเป็นระบบ รวมถึงชนิดที่มีและไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์หรือธัญพืชอื่นๆ ที่ไม่ผ่านการกรองไว้ด้วย มีดีกรีแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร) โดยทั่วไปจะมีดีกรีอยู่ที่ 4-5 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร) ประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 4 ชนิด ได้แก่ มอลต์ น้ำ ฮอปส์ และยีสต์

**มอลต์** โดยทั่วไปหมายถึง มอลต์บาร์เลย์ แต่อาจหมายถึงรวมถึงธัญพืชอื่นที่ผ่านกระบวนการหมักอย่างเป็นระบบได้แก่ มอลต์ข้าวฟ่าง และมอลต์ข้าวสาลี กระบวนการหมักประกอบด้วย การนำเมล็ดบาร์เลย์แช่น้ำ เพื่อการกระตุ้นฮอร์โมนจิบเบอเรลลิน และส่งสัญญาณไปที่เอ็มบริโอและออลิวโรนเลเยอร์ เพื่อผลิตเอนไซม์ไฮโดรเลสย่อยแป้งและโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม กระบวนการแช่น้ำจะดำเนินไปจนกระทั่งความชื้นของเมล็ดบาร์เลย์เพิ่มเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ โดยจะทำให้สลับระหว่างการแช่น้ำและการผึ่งลม เพื่อให้เมล็ดธัญพืชได้รับความชื้นจากน้ำและออกซิเจนจากอากาศ จากนั้นจะปล่อยให้เมล็ดบาร์เลย์ให้ออกภายใต้การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ จนกระทั่งเกิดต้นอ่อนที่งอกออกมามีความยาวอย่างน้อยสามในสี่ส่วนของความยาวเมล็ด ก็จะทำการหยุดกระบวนการหมัก โดยการหยุดกิจกรรมของเอนไซม์ด้วยการทำแห้งด้วยลมร้อนที่ค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิ จนกระทั่งความชื้นลดลงต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ความร้อนในการทำแห้งก่อให้เกิดสีและกลิ่นหอมของข้าวมอลต์อบ จึงจำแนกชนิดของมอลต์ได้จากสี ได้แก่ เพลมอลต์ (สีครีม/สีน้ำตาลอ่อน อุณหภูมิ ~85 °C) ซ็อคโกแลตมอลต์ (อุณหภูมิ ~150 °C) และโรสต์มอลต์ (อุณหภูมิ ~230 °C)



ภาพที่ 1 เบียร์, ข้าวเจ้าดำ, ข้าว กข 6 และบาร์เลย์, ข้าวบาร์เลย์งอก  
ที่มา : อุทัยวรรณ, 2553

**น้ำ** เป็นแหล่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อยีสต์ และส่งผลต่อรสชาติของเบียร์ มาตรฐานน้ำที่ใช้ในการผลิตเบียร์อย่างน้อยจะต้องได้มาตรฐานน้ำดื่ม การผลิตเบียร์ 1 ลิตร จะใช้น้ำประมาณ 6 ลิตร แบ่งเป็น น้ำที่ใช้กับส่วนประกอบของเบียร์ 2.6 ลิตร (น้ำแช่เมล็ดบาร์เลย์ น้ำต้มสกัด) น้ำสำหรับกระบวนการผลิต 2.1 ลิตร (น้ำล้างเครื่อง) น้ำใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป 1 ลิตร (น้ำดื่ม) และน้ำที่ใช้สนับสนุนการผลิต 0.2 ลิตร (ผลิตไอน้ำ)

**ฮอปส์/ดอกฮอปส์** เป็นส่วนประกอบที่ให้รสขม และกลิ่นหอมของสารระเหยในดอกฮอปส์ที่พบได้ในน้ำเบียร์ ดอกฮอปส์ประกอบด้วยเรซิน ซึ่งมีสี่เหลี่ยมตรงแกนกลางดอก มีสารให้ความขมคือ แอลฟาเอไซด์และบีตาเอไซด์ โดยแอลฟาเอไซด์มีความขมมากกว่าบีตาเอไซด์ 9 เท่า จึงใช้ปริมาณแอลฟาเอไซด์เป็นตัวบ่งชี้ชนิดของฮอปส์ แบ่งเป็น ฮอปส์ให้ความขม (แอลฟาเอไซด์ 12-15 เปอร์เซ็นต์) และฮอปส์ให้กลิ่น (แอลฟาเอไซด์ 4-5 เปอร์เซ็นต์) ในกระบวนการผลิตเบียร์จะเติมฮอปส์ในขั้นตอนการต้มน้ำหวานที่อุณหภูมิ 100 °C (ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหวานเป็นเวลา 60-90 นาที) ทำให้ แอลฟาเอไซด์เปลี่ยนเป็น ไอโซแอลฟาเอไซด์ ซึ่งมีความขมเพิ่มขึ้นจากเดิมหลายเท่า ค่าความขมของเบียร์ถูกแสดงด้วยหน่วย BU (Bitterness Unit) การเติมฮอปส์เติมตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการต้มน้ำหวาน (ฮอปส์ที่ให้ความขม) หรือเติมช่วง 10-30 นาทีสุดท้าย (ฮอปส์ที่ให้กลิ่น) รูปแบบของฮอปส์ที่ใช้มีหลายชนิด เช่น ดอกฮอปส์ ฮอปส์อัดเม็ด และสารละลายฮอปส์สกัด ขึ้นอยู่กับความสะดวกในการใช้งานและการควบคุมคุณภาพของเบียร์เป็นสำคัญ

**ยีสต์** เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ภายใต้สภาวะการเจริญแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในการหมักเบียร์ แบ่งยีสต์ออกเป็น (1) ยีสต์ที่ใช้ผลิตแอลเบียร์ เป็นกลุ่มที่ปล่อยตัวสู่น้ำหนัก/ท็อปปียีสต์ (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saccharomyces cerevisiae*) มีอุณหภูมิการหมักอยู่ที่ 14-25 °C และ (2) ยีสต์ที่ใช้ผลิตลาเกอร์เบียร์ เป็นกลุ่มที่จมสู่ก้นถังหมัก/บอตทอมยีสต์ (ชื่อวิทยาศาสตร์ *Saccharomyces pastorianus*) ซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถใช้เมลิโบไอส์ได้ และหมักที่อุณหภูมิ 4-12 °C

**เอกสารอ้างอิง:** Priest, G.F. and Stewart, G.G. 2006. Handbook of Brewing. CRC Press, Boca Raton. • Kunze, W. 2004. Technology Brewing and Malting. VBL Berlin, Berlin. อุทัยวรรณ อุสันสา, 2553.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ฉบับปฐมฤกษ์ มีนาคม, 2554

# สิ่งแวดล้อม และพลังงาน

# ไบโอดีเซลจากสาหร่าย

สารวัณน์ ศิริคันสนียกุล\*

**ไบโอดีเซล**ในความหมายทั่วไปหมายถึงน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลที่ได้มาจากน้ำมันพืช/ไขมันสัตว์ที่มีองค์ประกอบของแอลคิลเอสเทอร์โซยาว ได้แก่ เมทิล-/พธพิล-/เอทิล-เอสเทอร์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมัน/ไขมันและแอลกอฮอล์ โดยคณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Biodiesel Board, NBB) ได้กำหนดคำจำกัดความของไบโอดีเซล (B100) ไว้ว่า “เชื้อเพลิงเหลวที่ประกอบด้วยมอนอแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันโซยาวที่ได้มาจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ ซึ่งมีคุณภาพตามมาตรฐานสากลของ ASTM (D 6751)”

สาหร่ายขนาดเล็กจัดเป็นแหล่งน้ำมันธรรมชาติชั้นเลิศที่ใช้สกัดน้ำมันสาหร่ายเพื่อใช้ผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันสูง (อาทิ ร้อยละ 50/โดยน้ำหนักแห้ง) นอกจากนี้น้ำจากทั้งของสาหร่ายหลังการสกัดน้ำมันยังสามารถใช้เป็นแหล่งของน้ำตาลเพื่อการหมักเอทานอล และการผลิตไบโอชาร์/เพื่อการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย ปัจจุบันยังไม่มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเชิงอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตไบโอดีเซลโดยตรง แต่ก็มีสถานภาพและศักยภาพสูงมาก จนกระทั่งกลายเป็นทางเลือกหนึ่งของพลังงานทดแทนได้ในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากไม่ต้องการพื้นที่เพาะเลี้ยงมากจึงไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ของเพาะปลูกพืชอาหารที่มีอยู่อย่างจำกัด และถ้าหากใช้สาหร่ายน้ำเค็มทางเลือกก็สามารถลดปัญหา/วิกฤตการณ์ของการขาดแคลนน้ำจืดได้ ฉะนั้นไบโอดีเซลจากสาหร่ายจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถแข่งขันได้ดีกับไบโอเอทานอลไบโอไฮโดรเจน และไบโอแก๊ส

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสามารถแบ่งตามแหล่งอาหารคาร์บอน/พลังงานได้สองวิธี ได้แก่ แบบไม่ใช้แสง/เฮเทอโรทรอฟ (ใช้สารประกอบอินทรีย์) และแบบใช้แสง/โฟโตทรอฟ (ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์/แสงอาทิตย์) ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงแบบผสมผสานของทั้งสองวิธีที่เรียกว่า มิกโซทรอฟ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้สามารถดำเนินการได้ในถังปฏิกรณ์แสง/Photobioreactor และบ่อเปิดแบบรางคู่/Raceway pond

การเก็บเกี่ยวสาหร่ายจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพและค่าใช้จ่าย ตัวอย่างเช่น การผึ่งแดดให้แห้งเป็นวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพ การทำแห้งด้วยวิธีพ่นฝอยมีค่าใช้จ่ายสูง และการทำแห้งแช่เยือกแข็งมีประสิทธิภาพ/ลดการสลายตัวของไขมัน จากนั้นเซลล์สาหร่ายแห้งที่ได้

จะถูกทำให้แตก อาทิ วิธีทางกล/การบีบอัด (เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่ำ) และวิธีอัลตราซาวด์/ไมโครเวฟ (ลดเวลาการสกัดและเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด/ปัญหาการขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรม) ถัดมาเป็นขั้นตอนของการสกัดไขมันด้วยตัวทำละลาย (เฮกเซน เอทานอล เฮกเซน/เอทานอล เฮกเซน/ไอโซพธพพานอล คลอโรฟธม/เมทานอล/น้ำ) และการสกัดไขมันภายใต้สภาวะอุณหภูมิ/ความดันสูง (เมทานอลเหนือวิกฤต แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต น้ำใต้วิกฤต/ประสิทธิภาพสูง) สิ้นเปลืองพลังงาน/ปัญหาการขยายขนาดสู่ระดับอุตสาหกรรม)



ภาพที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเปิดแบบรางคู่  
ที่มา: นิรนาม

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายเป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ดังตัวอย่างของการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย *Chlorella protothecoides* ที่มีปริมาณน้ำมันสูงถึงร้อยละ 55.2 ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพของการเผาไหม้ที่ค่าพลังงานความร้อนสูง 41 เมกะจูล/กิโลกรัม ค่าความหนาแน่น 0.864 กิโลกรัม/ลิตร และค่าความหนืด  $5.2 \times 10^{-4}$  Pas (ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้การผลิตไบโอดีเซลยังสามารถประยุกต์ใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้เช่นกัน

สำหรับต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายมีราคาแปรผัน 2.41-6.09 ดอลลาร์สหรัฐ/แกลลอน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.75 ดอลลาร์สหรัฐ/แกลลอน หรือ 40.45 บาท/ลิตร (3.79 ลิตร/แกลลอน และ 32.31 บาท/ดอลลาร์) จึงแสดงได้ถึงศักยภาพของการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายเพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้ในอนาคต

**เอกสารอ้างอิง:** Chisti, Y. 2007. *Biotechnol. Adv.* 25: 294-306. • Xu, H., et al. 2006. *J. Biotechnol.* 126: 499-507. • Gallagher, B.J. 2011. *Renew. Energy* 36: 158-162.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# การพัฒนาพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ชนิกา ชื่นแสงจันทร์\*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ\*

สภาวะแวดล้อมของโลกในปัจจุบันต้องประสบกับปัญหาภาวะโลกร้อนและภาวะมลพิษที่เกิดขึ้นจากการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยตรง ปัญหาของขยะพลาสติกและการตกค้างของขยะพลาสติกเป็นปัญหาสำคัญที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมาก แม้จะมีความพยายามในการรณรงค์ให้มีการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ก็ตาม พลาสติกที่ใช้ส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบทางปิโตรเคมีที่ย่อยสลายได้ยากในธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมติดตามมา ฉะนั้น การประยุกต์องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อผลิตพลาสติกที่ย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ จึงถือเป็นนวัตกรรมที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

พลาสติกชีวภาพ/biodegradable plastics เป็นพลาสติกที่ผลิตจากพืชหรือวัตถุดิบที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ โดยการผสมองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพและทางเคมีเข้าด้วยกัน ปัจจุบันมีการตื่นตัวกันทั่วโลกในการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกชีวภาพ เพื่อทดแทนการใช้พลาสติกแบบดั้งเดิม สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่อุดมสมบูรณ์ด้านผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ ข้าวเจ้า อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด สามารถนำมาเป็นแหล่งวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตทางการเกษตรอีกทางหนึ่งด้วย

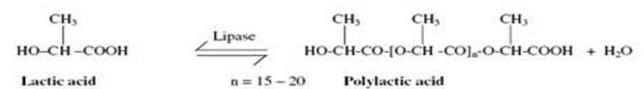
ในปัจจุบันได้มีการผลิตพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแล็กติกแอซิด/poly(lactic acid) (PLA) โดยใช้กรดแล็กติกเป็นสารตั้งต้น ในกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปเริ่มต้นจากการย่อยสลายวัตถุดิบชีวมวลเพื่อให้ได้น้ำตาลเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการหมักกรดแล็กติกด้วยจุลินทรีย์กรดแล็กติกที่ได้จากกระบวนการหมักจะผ่านกระบวนการทำบริสุทธิ์และทำให้เข้มข้นขึ้น เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิด โดยการให้ความร้อนและเติมสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของกรดแล็กติกให้เป็นวงแหวน เรียกว่า แล็กไทด์/lactide และมีการเติมสารเคมีที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเพื่อให้ได้เป็นพอลิเมอร์ของกรดแล็กติก/พอลิแล็กติกแอซิด

## เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2551. แผนพัฒนาทางแห่งชาติ การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ (พ.ศ. 2551-2555) ตามนโยบายการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจในกลุ่มอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต (New Wave Industries). • Lassalle, V.L. and M.L. Ferreira. 2008. J. Chem. Technol. Biotechnol. 83: 1493-1502.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

อย่างไรก็ตาม การผลิตพอลิแล็กติกแอซิดจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันโดยใช้สารเคมีเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น อาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยตรง โดยอาจก่อให้เกิดความเป็นพิษ เนื่องมาจากการตกค้างของสารเคมีที่ใช้ ดังนั้น การนำความรู้ทางเทคโนโลยีชีวภาพด้านเอนไซม์เข้ามาประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนการใช้สารเคมี จะช่วยลดการตกค้างของสารเคมีที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ ซึ่งทำให้สามารถนำพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไปประยุกต์ใช้ในงานด้านอาหาร ด้านการแพทย์ และด้านเภสัชกรรมได้ โดยเอนไซม์ในกลุ่มไลเพสกำลังเป็นที่สนใจในการใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน มีตัวอย่างของการใช้เอนไซม์ไลเพสเร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิแล็กติกแอซิดจากกรดแล็กติกได้ในสภาวะที่ไม่รุนแรง ณ อุณหภูมิที่ไม่สูงเท่า การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย จึงเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างยิ่ง



ภาพที่ 1 กระบวนการพอลิเมอไรเซชัน

ที่มา: Kiran, 2003



ภาพที่ 2 ผลผลิตจากพอลิแล็กติกแอซิด

ที่มา: เอกสารพรีโพลิเมอร์อุตสาหกรรม สผศ.

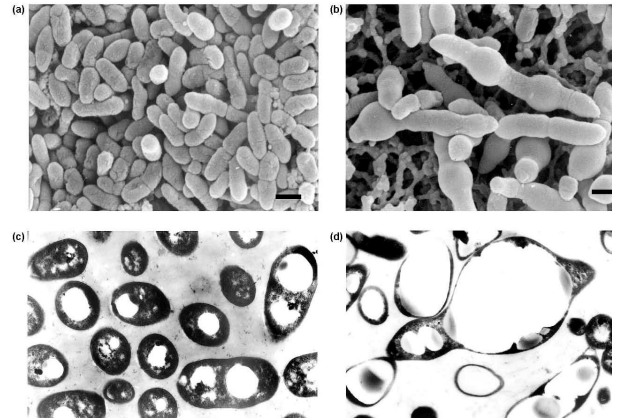
อนาคตของอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพไทย ยังคงขึ้นอยู่กับ การสนับสนุนการพัฒนาการใช้ทรัพยากรที่สร้างขึ้นใหม่ได้ เป็นแหล่งวัตถุดิบของการผลิตพลาสติกชีวภาพ การศึกษาอายุการใช้งาน/ระยะเวลา/ผลกระทบของการย่อยสลายต่อสิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการด้านการลดต้นทุนการผลิต และการที่การเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับพลาสติกชีวภาพ ก็จะทำให้พลาสติกชีวภาพเกิดขึ้นได้จริงในประเทศ และกลายเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ทดแทนพลาสติกปิโตรเคมีที่ย่อยสลายได้ยากตามธรรมชาติ

# พลาสติกชีวภาพ:พอลิไฮดรอกซีแอลคานอเอต

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล\*

**พลาสติกชีวภาพ/bioplastics** จัดเป็นสมาชิกกลุ่มหนึ่งในบรรดาวัสดุชีวภาพ/biomaterials ซึ่งเป็นพอลิเอสเทอร์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นและสะสมภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ มีสมบัติทางเคมีกายภาพคล้ายคลึงกับพลาสติกปิโตรเคมี พอลิเมอร์เหล่านี้สังเคราะห์มาจากอนุพันธ์ของไฮดรอกซีเอคิลโคเอนผ่านทางวิถีกระบวนการสร้างและสลายที่แตกต่างกัน พลาสติกชีวภาพจะแตกต่างกันไปตามแหล่งที่มา/ชนิดจุลินทรีย์ จำแนกได้ตามชนิดของมอนอเมอร์ โครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ และสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกชีวภาพมีวิสัยสามารถที่โดดเด่นด้านการย่อยสลายได้/biodegradable และการเข้ากันได้ทางชีวภาพ/biocompatible

พอลิไฮดรอกซีแอลคานอเอต/polyhydroxyalkanoate (PHA) เป็นแกรนูลที่สะสมภายในเซลล์ของแบคทีเรียหลากหลายชนิด เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและอาหารการบอณ จัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพลักษณะคล้ายเทอร์โมพลาสติกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เป็นมิตร/เกื้อกูลสิ่งแวดล้อม และมีสมบัติของการเข้ากันได้ทางชีวภาพ มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ ซึ่งเป็นไปตามสูตรของกระบวนการผลิต ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางคล้ายคลึงพลาสติกปิโตรเคมีทั่วไป (เช่น พอลิพรอพิลีน) อย่างไรก็ตาม ปัจจัยของราคาเป็นข้อจำกัดของการนำไปใช้ ส่วนใหญ่มักใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ได้ดี เพราะไม่กระทบต่อระบบภูมิคุ้มกันและย่อยสลายได้ในร่างกายของมนุษย์ งานวิจัยในปัจจุบันได้มุ่งเน้นไปที่การคัดกรองแหล่งวัตถุดิบราคาถูก การสร้างนวัตกรรมวิธีการสกัด/จุลินทรีย์พันธุ์วิศวกรรม และกรรมวิธีการผลิตด้วยจุลินทรีย์ผสม เพื่อช่วยลดต้นทุนของการผลิตที่เป็นปัจจัยสำคัญเชิงพาณิชย์



ภาพที่ 2 เซลล์และ PHA ภายในเซลล์

ที่มา: Luengo et al., 2003

กรณีศึกษาการสังเคราะห์พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (PHB) สมาชิกของตระกูลพอลิไฮดรอกซีแอลคานอเอต คลัสเตอร์ยีนส์ PhaCBA ของแบคทีเรีย *Ralstonia eutropha* จะทำหน้าที่กำหนดการสร้างเอนไซม์ 3 ชนิด ที่เกี่ยวข้องกับวิถีของการสังเคราะห์ PHB ได้แก่ (1) ปีตาคีโทไทโอเลส (ยีนส์ PhaA/เร่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ acetoacetyl-CoA จาก acetyl-CoA) (2) NADPH-ออกซิโดจีเนส/แอซีโทแอคซิลโคเอรีดักเทส (ยีนส์ PhaB/เร่งปฏิกิริยาการรีดิวซ์ acetoacetyl-CoA เป็น (R)-3-hydroxybutyryl-CoA) และ (3) PHB-พอลิเมอเรส/PHB-ซินเทส (ยีนส์ PhaC/เร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ poly(3-hydroxybutyrate) จาก (R)-3-hydroxybutyryl-CoA) วิถีของการสังเคราะห์ PHA ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้น โดยมีสารมัธยันตร์ (R)-3-hydroxyacyl-CoA ที่ได้จากปฏิกิริยาสองขั้นตอนแรก ทำหน้าที่เป็นไพรโคอร์เซอร์/มอนอเมอร์ของพอลิไฮดรอกซีแอลคานอเอต ซึ่งแบ่งเป็นพอลิเอสเทอร์ที่มีองค์ประกอบของมอนอเมอร์ที่มีความยาวโซ่ขนาดกลาง (mclPHAs, C5-14) และขนาดใหญ่ (lclPHAs, >C14)

การผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพเชิงอุตสาหกรรมมีข้อจำกัดหลักอยู่ 3 ประการ คือ (1) สภาพที่เหมาะสมของการเจริญ/การสังเคราะห์พอลิเมอร์ของเซลล์/รีคอมบิแนนต์ (2) แหล่งวัตถุดิบปริมาณมาก/ราคาถูก และ (3) ค่าใช้จ่ายของกรรมวิธีการแยกพอลิเมอร์/การทำใหบริสุทธิ์ กรณีศึกษาของการผลิต PHB ที่มีขนาดกำลังผลิต 100,000 ตัน/ปี มีต้นทุนสุทธิตั้งแต่ 2.60-8.30 ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลกรัม หากทำใหต้นทุนเป้าหมายของการผลิตของ PHB เชิงอุตสาหกรรม เท่ากับ 2-3 ดอลลาร์สหรัฐ/กิโลกรัมได้ ก็จะสามารถแข่งขันได้กับราคาของพลาสติกเกรด (แต่ยังคงมีราคาสูงกว่าพลาสติกปิโตรเคมี ~3 เท่า) อย่างไรก็ตาม ปัญหาภาวะโลกร้อน/ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงที่ทวีความรุนแรง และการรณรงค์รักษ์สิ่งแวดล้อม ก็ย่อมเป็นปัจจัยสำคัญที่จะสนับสนุนและส่งเสริมอุตสาหกรรมของการผลิตและการใช้พอลิเมอร์ชีวภาพทั่วโลก

## เอกสารอ้างอิง

Luengo et al. 2003. Curr. Opin. Microbiol. 6, 251-260. • Jacquelin et al. 2008. Biochem. Eng. J. 39, 15-27. • Verlinden et al. 2007. J. Appl. Microbiol. 102, 1437-1449.

ภาพที่ 1 วงจรชีวิตของ PHA

ที่มา: Verlinden et al., 2007

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ฉบับปฐมฤกษ์ มีนาคม, 2554

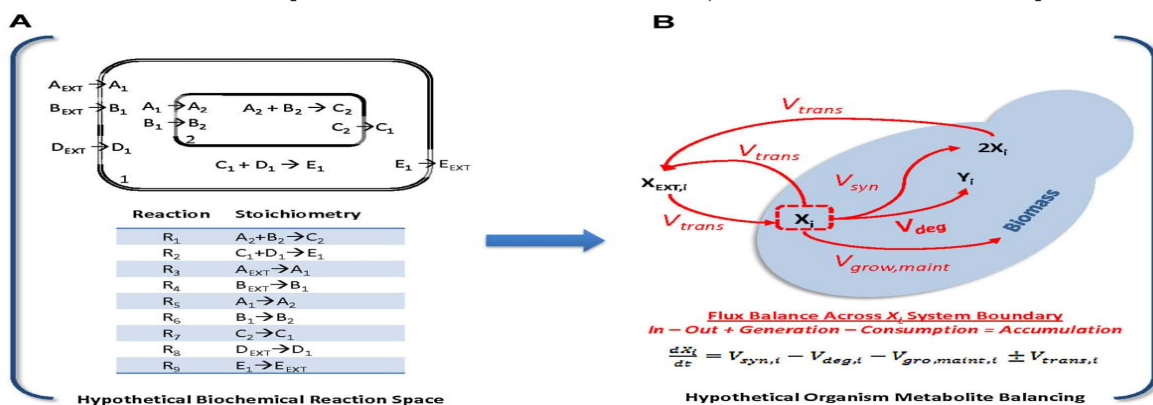
# กฎหมาย และการศึกษา

# วิศวกรรมกระบวนการ การสร้างและสลาย

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล\*

นวัตกรรมองค์ความรู้ใหม่แบบบูรณาการที่เรียกว่า “วิศวกรรมกระบวนการสร้างและสลาย/Metabolic Engineering” ได้อุบัติขึ้นในระหว่างรอยต่อของศตวรรษนี้ มีความสำคัญยิ่งยวดและมีผลกระทบต่อการอุตสาหกรรมการหมักสมัยใหม่อย่างยิ่ง ตามคำจำกัดความดั้งเดิมศาสตร์ดังกล่าวหมายถึง “การดัดแปรกระบวนการสร้างและสลายเมแทบอลิซึมด้วยเทคนิคครีคอมบีเนนต์ดีเอ็นเอ” หรือ “การปรับปรุงกิจกรรมในระดับเซลล์ด้วยการดัดแปลงการขนส่งของเซลล์และฟังก์ชันการควบคุมของเซลล์โดยอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงทางพันธุวิศวกรรม”

การประยุกต์วิศวกรรมกระบวนการสร้างและสลายในกรรมวิธีการหมัก สรุปย่อได้ดังนี้ (1) การปรับปรุงผลได้ของผลิตภัณฑ์และการลดการเกิดของผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการ โดยเฉพาะกลุ่มของผลิตภัณฑ์มูลค่าต่ำ อาทิ กรดอินทรีย์ เอทานอล กรดอะมิโน และสารปฏิชีวนะ การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้สับสเตรตเพื่อเพิ่มผลได้ของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัมชีวภัณฑ์/กิโลกรัมสับสเตรต) และหลีกเลี่ยงการเกิดผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการ จึงเป็นการลดต้นทุนของการผลิตชีวภัณฑ์ (2) การปรับปรุงคุณสมบัติของจุลินทรีย์ เซลล์พืช และเซลล์สัตว์ ด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม จะได้สายพันธุ์อุตสาหกรรมที่มีความเสถียรสูง อาทิ ความไวของเซลล์ต่อภาวะจำกัดของออกซิเจนที่มีผลกระทบต่อการเติบโตและการสร้างผลิตภัณฑ์ (3) การใช้สับสเตรตได้หลากหลายชนิดที่มีปริมาณมาก/ราคาถูก เช่น กากน้ำตาล แบ่งฝ้าย และน้ำแช่ข้าวโพด ดังตัวอย่างของการหมักเอทานอลด้วยยีสต์พันธุวิศวกรรม *Saccharomyces cerevisiae* ที่สามารถใช้น้ำตาลไซโลส จากการย่อยสลายเอมิเซลลูโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ฟางข้าว/ซึ่งข้าวโพด) หรือน้ำตาลราฟฟิโนสจากกากน้ำตาลของบีต (4) สังเคราะห์ชีวภัณฑ์ใหม่ที่มีคุณค่า/มูลค่าสูง โดยการสร้างและดัดแปรวิถีกระบวนการสร้างและสลายใหม่ในเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยการสังเคราะห์เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดผลิตภัณฑ์ อาทิ การผลิตพอลิเมอร์ชีวภาพใหม่ และ (5) การสังเคราะห์เอนไซม์และเปปไทด์ใหม่ ก่อเกิดประโยชน์ในวงการเภสัชกรรม (erythropoietin/TPA/อินซูลิน/ฮอร์โมนการเติบโต) และเอนไซม์ทางอุตสาหกรรม (เอนไซม์ไลเพส/เซลลูเลส/โปรตีเอส)



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์การควบคุมฟลักซ์

ที่มา: Otero and Nielsen. 2010

ขั้นตอนการวิเคราะห์วิถีกระบวนการสร้างและสลาย จะประกอบด้วย (1) การพิสูจน์ลักษณะโครงสร้างเครือข่ายของกระบวนการสร้างและสลาย (2) การแสดงฟลักซ์เชิงปริมาณของเครือข่ายกระบวนการสร้างและสลาย และ (3) การพิสูจน์ลักษณะโครงสร้างของการควบคุมในเครือข่ายกระบวนการสร้างและสลาย

การวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการสร้างและสลาย/Metabolic Control Analysis (MCA) สามารถแสดงด้วยพจน์ที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น/elasticity coefficients (E) อธิบายถึงความไวของอัตราปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (V) ที่มีต่อความเข้มข้นของสารเมแทบอลิต์ (X<sub>i</sub>) (ดังสมการ 1) และพจน์ที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์การควบคุมฟลักซ์ /flux control coefficients (FCCs) (ดังสมการ 2)

$$e_{X_j}^i = \frac{X_j}{v_i} \frac{\partial v_i}{\partial X_j} \dots\dots\dots(1)$$

$$C_i^j = \frac{v_i}{J_j} \frac{\partial J_j}{\partial v_i} \dots\dots\dots(2)$$

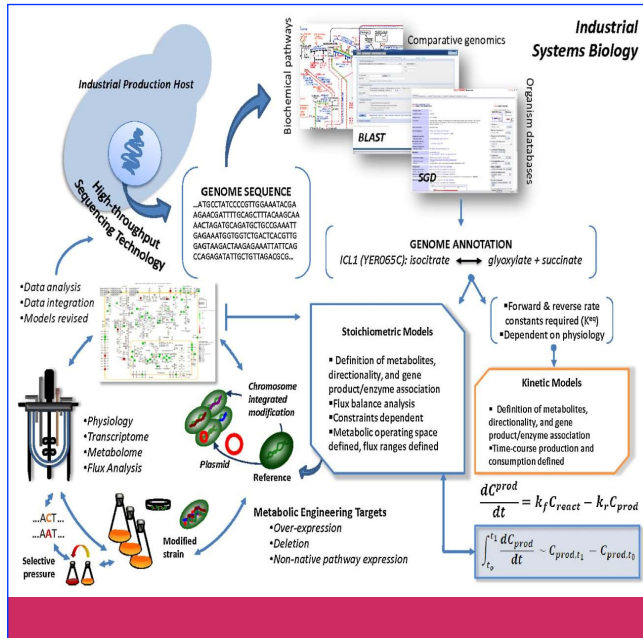
## เอกสารอ้างอิง

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล. 2547. เทคโนโลยีชีวภาพอาหาร การหมัก และสิ่งแวดล้อม. 326 หน้า. • Nielsen, J. 1998. Biotechnol. Bioeng. 58: 126-132. • Nielsen, J. 2000. Thai J. Biotechnol. 2: 14-25. • Nielsen, J. 2001. Appl. Microbiol. Biotechnol. 55: 263-283. • Nielsen, J. 2001. Adv. Biochem. Eng./Biotechnol. vol. 73, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. 183p. • Otero, J.M. and J. Nielsen. 2010. Biotechnol. Bioeng. 105(3): 439-460. • Smolke, C.D. 2010. The Metabolic Pathway Engineering Handbook: Fundamentals/ Tools and Applications. CRC Press, New York.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# ชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม

สาขาวิชา ศิริคณีสัยกุล\*



ภาพที่ 1 วัฏจักร/โครงข่ายของชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม  
ที่มา: Otero and Nielsen, 2010

วิทยาการประยุกต์อันก้าวไกลในวงการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการหมัก “ชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม/Industrial Systems Biology” กำลังเป็นที่กล่าวขานอย่างกว้างขวางกันอยู่ในปัจจุบัน สืบเนื่องจากการผลิตในอุตสาหกรรมเชิงเคมีต่างพัฒนาไปสู่กระบวนการทางชีวภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจน กอปรกับเซลล์พันธุวิศวกรรมที่สร้างขึ้นตามทฤษฎีวิศวกรรมกระบวนการสร้างและสลาย ต่างก็ได้อำนวยผลลัพท์อันน่าประหลาดใจที่ส่งผลต่อผลได้และอัตราการผลิตของชีวภัณฑ์เป้าหมาย ทำให้ต้นทุนของการผลิตชีวภัณฑ์ลดต่ำลงอย่างพึงประสงค์ตามนัยเชิงเศรษฐศาสตร์ เอนไซม์ภายในเซลล์ถูกสร้างขึ้นใหม่ เอนไซม์บางชนิดกลับถูกกำจัดออก และการจัดระบบของการควบคุมเชิงโครงสร้างภายในเซลล์เสียใหม่ รูปธรรมเหล่านี้ต่างก็พัฒนาขึ้นมาจากรากฐานทางชีววิทยาเชิงระบบที่เรียกว่า เทคโนโลยีเอกซ์โอม/X-ome Technology และอาศัยการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงระดับจีโนม (genome-scale metabolic modelling) เป็นเครื่องมือสำคัญ ฉะนั้นการบรรสานองค์ความรู้ระหว่าง ชีววิทยาระบบ/Systems Biology และ เทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม/Industrial Biotechnology จึงกลายเป็นศาสตร์ใหม่อันทันสมัยที่เรียกกันว่าชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม/ Industrial Systems Biology นั่นเอง

กระบวนการทัศน์ของเทคโนโลยีชีวภาพเชิงอุตสาหกรรม ประกอบด้วยหลักการสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาดังนี้ (1) กระบวนการเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม มีองค์ประกอบของปัจจัยหลัก 4 ประการ ได้แก่ เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการ การพัฒนาทางเทคโนโลยีชีวภาพ ความยั่งยืนและพึ่งพาตนเองได้ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (2) พัฒนาการ/วิวัฒนาการของกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพ และสุดท้าย (3) แพกทอรีเซลล์จุลินทรีย์/microbial cell factory ที่ประยุกต์ได้มาจากชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม

ฉะนั้น ชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม จึงเป็นสหวิทยาการเชิงพลวัตอย่างยิ่ง โดยมีเซลล์เจ้าบ้าน/production host ที่มีประวัติทางด้านชีวสารสนเทศแล้ว (อาทิ genome sequence) เป็นศูนย์กลางของ/ผลลัพธ์จากเทคโนโลยีขั้นสูง กล่าวคือ วัฏจักรของกระบวนการสร้างและสลาย/The cycle of metabolic engineering จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การวิเคราะห์/analysis การออกแบบ/design และการสังเคราะห์/synthesis เริ่มต้นข้อมูลจำเพาะของจีโนมเชิงฟังก์ชันจะถูกวิเคราะห์เพื่อสร้างโครงข่ายของกระบวนการสร้างและสลายของชีวภัณฑ์ใด ๆ ซึ่งกำหนดอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (จลนพลศาสตร์/ปริมาณสัมพันธ์) การทำนายเชิงปริมาณจะอาศัยทฤษฎีการวิเคราะห์ดุลของฟลักซ์/Flux Balance Analysis (FBA) ฉะนั้นแปลนเขียวที่ได้จากการออกแบบเซลล์เจ้าบ้าน ภายใต้ผลสรุปของการวิเคราะห์คุณลักษณะของกระบวนการสร้างและสลายนี้ จะถูกนำไปสู่ขั้นตอนของการสังเคราะห์เพื่อสร้างเซลล์พันธุวิศวกรรมที่มีคุณสมบัติตามเป้าหมาย การตรวจสอบ/ตรวจทานเซลล์สายพันธุ์ใหม่ก็จะถูกดำเนินการในขั้นตอนของวิธีการหมักภายใต้สภาวะของการเจริญเติบโตและการสร้างชีวภัณฑ์ที่เหมาะสม ขบวนการนี้จะดำเนินซ้ำในวัฏจักรภายใต้กรอบของฐานข้อมูลชีวสารสนเทศใหม่และเป้าหมายของจีโนมเชิงฟังก์ชันที่ต้องการ จนกระทั่งบรรลุวัตถุประสงค์และสัมฤทธิ์ผลเชิงอุตสาหกรรม นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ที่ประจักษ์แล้วในปัจจุบันต่างก็เป็นเครื่องพิสูจน์ถึงศาสตร์อันทรงพลังจาก ชีววิทยาระบบเชิงอุตสาหกรรม นี้เอง

## เอกสารอ้างอิง

Otero, J.M. and J. Nielsen. 2010. Biotechnol. Bioeng. 105(3): 439-460.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เมษายน, 2554

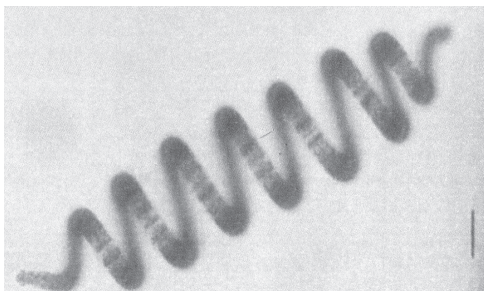
# การเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

# สไปรูลิน่า : ซูเปอร์สาหร่ายขนาดเล็ก

มณฑล เดชสังกรานนท์/สาขาวิชา ศิริคั่นสนียกุล\*

สไปรูลิน่า/Spirulina/Arthrospira เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินขนาดเล็ก จัดอยู่ในวงศ์ Oscillatoriaceae ซึ่งมีประวัติการใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารมาหลายศตวรรษ เนื่องจากรูปร่างของสไปรูลิน่ามีลักษณะเป็นเส้นสายที่ขดวนไปมาเหมือนสปริง และจากการที่มีประโยชน์และมีคุณค่าทางอาหารสูง จึงเรียกกันว่า สาหร่ายเกลียวทอง เพราะมีมูลค่าสูงเหมือนกับทอง

สไปรูลิน่าแต่ละชนิดจะมีรูปร่างแตกต่างกัน/ชนิดเดียวกันก็อาจพบรูปร่างที่แตกต่างกัน โยที่มีลักษณะบิดตัวเป็นเกลียวของสไปรูลิน่า ประกอบด้วยเซลล์หนึ่งเซลล์/หลายเซลล์มาเรียงต่อกันเป็นเส้นตรง ขดเป็นเกลียว เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน โดยจะมีความยาวของโยแตกต่างกันไป (100-200 ไมครอน) มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ~6-12 ไมครอน สไปรูลิน่าต้องการแสงในการเจริญส่วนใหญ่เป็นพวกไฟโตอโรโทรฟที่ไม่สามารถใช้น้ำตาลจากแหล่งภายนอกได้ สามารถเจริญได้อย่างรวดเร็วในบริเวณน้ำตื้น โดยเฉพาะน้ำกร่อย/น้ำที่มีความเป็นด่าง พบในธรรมชาติทั่วไปทั้งในดิน/หนองน้ำ/น้ำพุร้อน/ทะเล/น้ำจืด โดยเฉพาะทะเลสาบที่ทวีปแอฟริกา/ประเทศเม็กซิโกชนิดที่พบมาก/มีความสำคัญมากที่สุดคือ *S. platensis* และ *S. maxima* มีรายงานว่าในทะเลสาบที่มีความเข้มข้นของเกลือ >30 กรัม/ลิตร จะพบสิ่งมีชีวิตเพียงชนิดเดียวที่มีชีวิตอยู่ก็คือ สไปรูลิน่า



ภาพที่ 1 ลักษณะของสไปรูลิน่า (ขนาดเส้นตรง 20 ไมครอน)  
ที่มา: Vonshak (2002)

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าเพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมสำหรับมนุษย์/อาหารสัตว์ในระดับอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้มีการสกัดสารสีไฟโคไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่พบมากในสไปรูลิน่ามาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร การเลี้ยงสไปรูลิน่าทางการค้าจะเพาะเลี้ยงในบ่อเปิดกลางแจ้งที่ไม่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมใด ๆ

## เอกสารอ้างอิง

สมบุญ วัฒน. 2538. การเพาะเลี้ยงและการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเซลล์เดียว. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. • Belay, A. 2002. J. Amer. Neutra. Assoc. 5, 27-48. • Shimamatsu, H. 2004. Hydrobiol. 51, 39-44.

และอาศัยแสงแดดเป็นแหล่งให้พลังงานโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงมีการเติมแร่ธาตุอาหาร และมีการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต ผลผลิตของสไปรูลิน่าทั่วโลกมีประมาณ 3,000 ตัน/ปี ปัจจุบัน อย./สหรัฐอเมริกา จัดให้สไปรูลิน่าเป็นอาหารที่ปลอดภัยต่อการบริโภค



ภาพที่ 2 บ่อเพาะเลี้ยงสาหร่าย (Algae A.C.)  
ที่มา: Institute of Biological Research and Biotechnology (IBRB)  
(<http://www.eie.gr/nhrf/institutes/ibrb/index-en.html>)

ผลิตภัณฑ์สไปรูลิน่าตามท้องตลาดจำแนกตามการใช้ประโยชน์ ได้แก่ อาหารเสริมมนุษย์ แหล่งโปรตีนอาหารสัตว์ ผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพแมว/สุนัข ผลิตภัณฑ์เสริมสีกสวยงาม ผลิตภัณฑ์บำรุงร่างกายม้า/วัว สีสรรชาติของอาหาร/เครื่องสำอาง เครื่องหมายเรืองแสงสำหรับการทดสอบทางการแพทย์และเอนไซม์ งานวิจัยทางพันธุศาสตร์ บริษัทที่ผลิตผลิตภัณฑ์สไปรูลิน่าจำหน่าย อาทิ Spirulina-Mexicana/เม็กซิโก Nippon-Spirulina/ญี่ปุ่น Koor-Foods/อิสราเอล Cyanotech-Corporation/สหรัฐอเมริกา Far-East-Microalgae/ไต้หวัน Parry-Agro-Industries/อินเดีย และ Yunnan-Spirin/จีน เป็นต้น

จากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์การแพทย์พบว่าสไปรูลิน่ามีศักยภาพเป็นสารโภชนเภสัช/nutraceuticals เพราะประกอบด้วย โปรตีน/ไขมัน/วิตามิน/แร่ธาตุ ที่เป็นประโยชน์หลายชนิดทำให้มีการศึกษา/พัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าเพื่อผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยมีรายงานว่า สไปรูลิน่า/สารสกัดสไปรูลิน่าแสดงคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลดีต่อระบบภูมิคุ้มกัน การต้านทานไวรัส และการต้านมะเร็งจากผลของสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สำคัญ 3 ชนิด คือ ซี-ไฟโคไซยานิน ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์สไปรูลิน และกรดไขมันไม่อิ่มตัว/กรดแกมมาลิโนลิติก/GLA

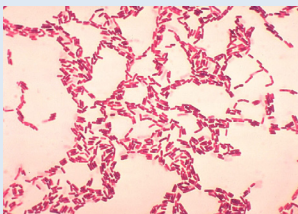
\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# จุลินทรีย์เพื่อสุขภาพ

ลลิตา พลมณี\*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ\*

การดำเนินชีวิตของผู้คนในปัจจุบันเป็นไปอย่างเร่งรีบ ส่งผลให้พฤติกรรมการบริโภคอาหารเปลี่ยนแปลงไป จึงอาจเป็นสาเหตุของการเกิดโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ที่เกิดจากการได้รับสารอาหารไม่ครบตามหลักโภชนาการ ดังนั้นการดูแลร่างกาย/การบริโภคอาหารที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการบำรุงสุขภาพให้แข็งแรง ฉะนั้นผู้คนจำนวนมากจึงหันมาสนใจบริโภคอาหารเสริมเพื่อสุขภาพที่จะช่วยป้องกัน/ลดความเสี่ยงในการเกิดโรคระบบทางเดินอาหาร ซึ่งนับว่าเป็นวิธีการที่ง่าย/สะดวกเหมาะสมสำหรับการดำเนินชีวิตในช่วงโมงเร่งด่วน

การศึกษา/วิจัยเกี่ยวกับจุลินทรีย์สุขภาพ/พรีไบโอติกส์เพิ่มจำนวนมากขึ้น พรีไบโอติกส์ จัดเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งอยู่ในระบบร่างกายของมนุษย์และสัตว์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ โดยปกติร่างกายจะมีจุลินทรีย์ชนิดดีและไม่ดีอยู่ในลำไส้ จุลินทรีย์ชนิดที่ดี อาทิ *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium* spp. จะทำหน้าที่ช่วยสร้างสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ วิตามิน/สารต้านจุลินทรีย์/เอนไซม์ เป็นต้น ส่วนจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ดี เช่น *Escherichia coli* ทำให้เกิดสารพิษ ก่อให้เกิดโทษแก่ร่างกาย ทำให้เจ็บป่วย ฉะนั้นการรับประทานพรีไบโอติกส์จึงทำให้เพิ่มปริมาณสัดส่วนของจุลินทรีย์ที่ดีมากกว่าจุลินทรีย์ที่ไม่ดี



ภาพที่ 1 รูปร่างของแบคทีเรียพรีไบโอติกส์ *Bacillus coagulans*  
ที่มา: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus\\_coagulans](http://en.wikipedia.org/wiki/Bacillus_coagulans)

นอกจากนี้การศึกษาเกี่ยวกับน้ำตาลสุขภาพ/พรีไบโอติกส์ ซึ่งจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนสายสั้น อาทิ อินูลิน/ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ ที่สามารถพบได้ทั่วไปในพืชผักและผลไม้ ได้แก่ หัวหอม/กล้วย/ธัญพืช/ถั่ว/กระเทียม/เยลรูชาเล็มอาร์ทิโชค/ซิคอร์/หน่อไม้ฝรั่ง พรีไบโอติกส์จะทำหน้าที่ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสุขภาพบางชนิดในลำไส้ใหญ่ให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

Daly, C. and R. Davis. 1998. Food Sci. 7, 219-250. • Heinrichs, A.J. et al. 2009. Livest Sci. 125, 149-154. • Ong, L. et al. 2006. Int. Dairy J. 16, 446-456. • <http://en.wikipedia.org/wiki/Probiotic>.

พรีไบโอติกส์และพรีไบโอติกส์จะช่วยสนับสนุนทำให้ร่างกายมีระบบขับถ่ายที่ดีขึ้น/เพิ่มระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย นอกจากนี้ การรับประทานพรีไบโอติกส์ยังช่วยส่งเสริมการดูดซึมแร่ธาตุบางชนิด ได้แก่ แคลเซียม/แมกนีเซียม/สังกะสี/ทองแดง/เหล็ก ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะความเป็นกรดที่เพิ่มสูงขึ้นในลำไส้



ภาพที่ 2 แหล่งวัตถุดิบของอินูลินและฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์  
ที่มา: <http://med.tu.ac.th>

ความก้าวหน้าของวิทยาการทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ผสมระหว่างพรีไบโอติกส์/พรีไบโอติกส์เข้าด้วยกัน ที่เรียกว่า ซินไบโอติกส์ ซึ่งเป็นระบบการทำงานร่วมกันเพื่อส่งเสริมสุขภาพให้ดีขึ้น การเติมพรีไบโอติกส์จะช่วยเพิ่มอัตราการอยู่รอดชีวิตของพรีไบโอติกส์ที่ให้ประโยชน์แก่ร่างกาย ปัจจุบันมีการประยุกต์นำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวมาเติมแต่งในอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่า ได้แก่ ผลิตภัณฑ์นม/ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็ก/ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้/ผลิตภัณฑ์ธัญพืชต่าง ๆ เป็นต้น

อาหารหมักดองตามธรรมชาติมักปรากฏจุลินทรีย์ที่มีชีวิตที่เป็นพรีไบโอติกส์อยู่แล้ว อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์พรีไบโอติกส์ที่มีจำหน่ายทั่วไปก็มีอยู่จำนวนมากทั้งในรูปแบบจุลินทรีย์เดี่ยว อาทิ GanedenBC30/Ganeden Biotech (*Bacillus coagulans* GBI-30, 6086/สรรพคุณ-ช่วยระงับความปวด/เพิ่มการตอบสนองภูมิคุ้มกัน), LAFTI B94-L10-L26/Institut-Rosell-Lallemand, Probio-Tec-Bifidobacterium-BB-12/Chr.-Hansen, Bifiene-Yakult/Yakult (*Bifidobacterium breve* Yakult/*Lactobacillus casei* Shirota), Align/Procter&Gamble (*Bifidobacterium infantis* 35624), Howaru-Bifido/Danisco (*Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* HN019), Actimel-DanActive/Danone (*Lactobacillus casei* DN114-001) เป็นต้น และชนิดจุลินทรีย์ผสม อาทิ Multibionta/EMD-Canada-Inc., For-daily-wellbeing/OptiBac-Probiotics, Symprove-Probiotic/Symprove-Ltd.-UK เป็นต้น

# เจลาติน

สุวิ วังเต็ย\*

เจลาติน/gelatin เป็นอนุพันธ์โปรตีนของคอลลาเจนที่ได้มาจากการสกัดจากวัตถุดิบที่มีคอลลาเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งคอลลาเจนคือองค์ประกอบพื้นฐานของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในสัตว์มีกระดูกสันหลัง ทำให้แหล่ง/ชนิดของคอลลาเจนมีผลต่อองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เจลาตินที่สกัดได้ ซึ่งองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเจลาตินจะเหมือนกับวัตถุดิบคอลลาเจนที่นำมาสกัด สาเหตุอีกประการหนึ่งที่องค์ประกอบของเจลาตินแตกต่างกัน คือ วิธีการเตรียมวัตถุดิบ/การสกัดที่แตกต่างกันสามารถทำให้องค์ประกอบของเจลาตินที่ได้แตกต่างกันไปด้วย ซึ่งส่วนใหญ่เจลาตินในทางการค้าจะผลิตมาจากหนังของหมูและวัว/กระดูกวัว คุณสมบัติที่สำคัญของเจลาตินคือคุณสมบัติการเกิดเจล ทำให้เจลาตินได้รับความนิยมและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหาร/การแพทย์และเภสัช/อุตสาหกรรมถ่ายภาพ จากข้อมูลของสมาคมผู้ผลิตเจลาตินในยุโรป รายงานว่าเจลาตินในทางการค้า ~95 เปอร์เซ็นต์/ผลิตมาจากหนังของวัวและหมู ส่วนอีก 5 เปอร์เซ็นต์/ผลิตมาจากกระดูกของวัว ซึ่งผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสัตว์ปีก/ปลาและสัตว์น้ำ ยังนำมาใช้ในการสกัดเจลาตินระดับอุตสาหกรรมในปริมาณน้อยมาก

ตารางที่ 1 สถิติการนำเข้า และส่งออก เจลาตินของประเทศไทย

| ปีพ.ศ. | นำเข้า                   |                             | ส่งออก                   |                             |
|--------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
|        | ปริมาณ<br>(ล้านกิโลกรัม) | มูลค่า<br>(ล้านเหรียญสหรัฐ) | ปริมาณ<br>(ล้านกิโลกรัม) | มูลค่า<br>(ล้านเหรียญสหรัฐ) |
| 2544   | 1.21                     | 7.49                        | 0.0001                   | 0.002                       |
| 2545   | 1.51                     | 8.85                        | 0.006                    | 0.045                       |
| 2546   | 1.54                     | 9.02                        | 0.003                    | 0.009                       |
| 2547   | 1.68                     | 9.80                        | 0.0004                   | 0.002                       |
| 2548   | 1.86                     | 11.6                        | 0.0005                   | 0.008                       |
| 2549   | 2.09                     | 12.2                        | 0.070                    | 0.285                       |
| 2550   | 2.86                     | 11.4                        | 0.768                    | 1.24                        |
| 2551   | 3.35                     | 14.0                        | 1.32                     | 3.29                        |
| 2552*  | 1.58                     | 8.50                        | 0.844                    | 2.18                        |

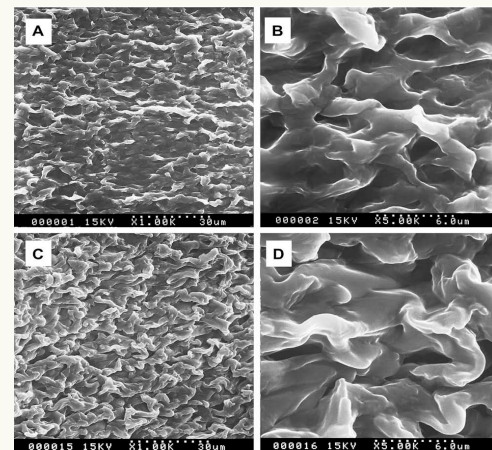
\*(มกราคม-กรกฎาคม) 2552

ที่มา: The Customs Department, Thailand (2009)

เนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลายของเจลาตินทำให้ปริมาณการใช้ประโยชน์จากเจลาตินทั่วโลกเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งความต้องการใช้เจลาตินในทั่วโลกมีปริมาณเพิ่มขึ้นปีละ ~200,000 เมตริกตัน เพราะว่าคุณลักษณะพิเศษของเจลาตินขณะบริโภค/ความรู้สึกขณะอยู่ในปากที่ไม่สามารถทดแทนได้ด้วยสารในกลุ่มของกัม/คาร์โบไฮเดรต จึงทำให้เจลาตินได้รับความนิยม/มีการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของเจลาตินกันมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยที่มีอยู่จำนวนมาก เช่น การศึกษาการเกิดเจลของเจลาติน/คุณลักษณะของฟิล์มจากเจลาติน เป็นต้น

\* คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว

การใช้เจลาตินในประเทศไทยสรุปได้จากข้อมูลการนำเข้า/ส่งออกของเจลาตินจากกรมศุลกากร ไทยนำเข้าเจลาติน ~1.96 ล้านกิโลกรัม/ปี (มูลค่า ~10.3 ล้านเหรียญสหรัฐ) จากหลายประเทศ ได้แก่ ฝรั่งเศส/ญี่ปุ่น/จีน/เยอรมัน/อินเดีย (ตารางที่ 1) โดยที่ไทยส่งออกเจลาตินในปริมาณเพียงเล็กน้อย (~0.34 ล้านกิโลกรัม/ปี) แต่ตั้งแต่ปี 2549-2552 ไทยส่งออกเจลาตินเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องมาจากมีโรงงานผลิตเจลาตินเพิ่มขึ้นส่วนใหญ่ผลิตเจลาตินมาจากกระดูก/หนังของวัว



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของเจลเจลาตินจากเกล็ดปลาปากคม (A-B) และหนังวัว (C-D)

ที่มา: Wangtueai และ Noomhorm, 2009

สถานการณ์การระบาดของโรควัวบ้า/Bovine Spongiform Encephalopathy (ปีค.ศ. 1980) และการไม่ยอมรับเจลาตินที่ผลิตจากวัว/หมู ตามหลักการของแต่ละศาสนา (อิสลาม/ยิว/ฮินดู) ทำให้มีการศึกษาแหล่งวัตถุดิบใหม่/ทดแทนแหล่งวัตถุดิบเดิม ที่สามารถผลิตเจลาตินได้/และได้รับการยอมรับตามหลักการของแต่ละศาสนา ซึ่งก็คือเจลาตินที่ผลิตจากปลา/สัตว์น้ำ วัตถุดิบที่ได้รับความนิยมคือ ของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลา (หนัง/กระดูก/เกล็ด) ในปัจจุบันจึงมีการศึกษาการสกัดเจลาตินจากของเหลือทิ้งดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ดังรายงานวิจัยที่อธิบายถึงการผลิต/คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลาตินที่สกัดได้จากหนัง/กระดูกปลาชนิดต่างๆ จำนวนมาก เช่น หนังปลา Alaska pollock/ทูน่าครีบน้ำเงิน/ตาหวาน/ปลากะพง/หนัง/กระดูกปลา Nile perch เป็นต้น ส่วนรายงานการสกัดเจลาตินจากเกล็ดปลานั้นยังคงมีอยู่จำนวนน้อย อาทิ เกล็ดปลาซาร์ดีน/ปลาปากคม/Asian carp เป็นต้น

**เอกสารอ้างอิง** Jongjareonrak, A. et al. 2006. Food Hydrocol. 20, 1216-1222. • Muyonga, J.H. et al. 2004. Food Hydrocol. 18, 582-591. • Wang, Y. and J.M. Regenstien. 2009. J. Food Sci. 74(6), c426-c431. • Wangtueai, S. and A. Noomhorm. 2009. LWT-Food Sci. Technol. 42, 825-834. • Ward, A.G. and A. Courts. 1977. The Science and Technology of Gelatin. Academic Press, New York.

# กระบวนการผลิตเบียร์ (1): การต้มสกัดน้ำหวาน

อุทัยวรรณ อุสันสา\*

กระบวนการผลิตเบียร์ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การต้มสกัดน้ำหวาน การต้มฆ่าเชื้อน้ำหวาน การหมัก การปรับปรุงคุณภาพเบียร์ก่อนบรรจุ และการบรรจุ แต่ละขั้นตอนล้วนมีรายละเอียดที่ต้องเอาใจใส่เพื่อให้ได้เบียร์ที่มีคุณภาพ ณ ที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะขั้นตอนของการต้มสกัดน้ำหวาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การต้มสกัดน้ำหวาน (mashing) เป็นการสกัดเอาสารอาหารที่สำคัญสำหรับกิจกรรมการหมักของยีสต์ โดยอาศัยหลักการชะละลายน้ำตาล กรดอะมิโน แร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในมอลต์ และเอนไซม์ การชะละลายจะใช้น้ำที่ผ่านการปรับสภาพให้มีความเหมาะสมต่อการผลิตเบียร์ นำมาผสมกับมอลต์บดในหม้อต้มสกัด สัดส่วนระหว่างน้ำกับมอลต์บดอยู่ระหว่าง 400-500 ลิตร/100 กิโลกรัม ภายในหม้อสกัดติดตั้งใบพัดเพื่อควั่นส่วนผสมให้เข้ากัน หม้อสกัดจะมีผนังสองชั้นที่สามารถป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ตัวถังชั้นนอก เพื่อควบคุมอุณหภูมิการสกัดให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์แต่ละกลุ่ม ติดตามด้วยการหยุดการทำงานของเอนไซม์ทุกชนิดด้วยความร้อน แล้วทำการแยกกากมอลต์และกรองน้ำหวานส่งต่อไปยังหม้อต้มฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 1 หม้อต้มสกัดน้ำหวานในระบบ microbrewery  
(ณ สถาบัน Institute of Brewing Technology I/Weihenstephan, Freising, Germany)  
ที่มา: โชคชัย วนภู, 2549

วิธีการต้มสกัดน้ำหวานสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ การต้มสกัดในครั้งเดียว/infusion mashing และการต้มสกัดแบบแยกส่วน/decoction mashing โดยแบบแรกนั้นจะนิยมสำหรับมอลต์บาร์เลย์ที่มีคุณภาพดี โดยนำมาต้มสกัดในหม้อให้ความร้อนที่เหมาะสมแก่การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ รูปแบบของการกระตุ้นเอนไซม์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบอุณหภูมิเดียว และแบบหลายอุณหภูมิ



ภาพที่ 2 ลักษณะของใบพัดที่ติดตั้งที่ก้นหม้อต้มสกัด  
ที่มา: โชคชัย วนภู, 2549

การต้มสกัดในครั้งเดียวแบบอุณหภูมิเดียวนั้นนิยมกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ปีตาอะมายเลสที่อุณหภูมิ 62 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง และหยุดการทำงานของเอนไซม์ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 75-85 °C เป็นเวลา 5-10 นาที วิธีนี้นิยมใช้เมื่อมอลต์มีคุณภาพดีถึงดีมาก มีค่าการสกัด/extract มากกว่า 85% และมีปริมาณเอนไซม์อะมายเลสรวมในรูปของค่า diastatic power สูง ในขณะที่วิธีกระตุ้นแบบหลายอุณหภูมิ จะใช้กับมอลต์ที่มีคุณภาพต่ำกว่ามอลต์กลุ่มแรก วิธีนี้จะกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15-30 นาที ตามด้วยการกระตุ้นเอนไซม์ปีตาอะมายเลสที่อุณหภูมิ 62-64 °C เป็นเวลา 30-45 นาที และแอลฟาอะมายเลสที่อุณหภูมิ 70-75 °C เป็นเวลา 15-30 นาที จากนั้นจึงหยุดการทำงานของเอนไซม์

การต้มสกัดแบบแยกส่วน นิยมใช้สำหรับการผลิตเบียร์ที่มีการใช้ธัญพืชอื่นเป็นส่วนผสม ซึ่งเรียกว่า malt adjunct ได้แก่ ข้าวหัก ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ข้าวไรน์ เป็นต้น โดยธัญพืชจะถูกบดและต้มสกัดด้วยเอนไซม์อะมายเลสทางการค้า ได้แก่ แอลฟาอะมายเลสที่ทนอุณหภูมิสูงได้ แบ่งในธัญพืชจะเกิดเจลและถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลสายสั้น จากนั้นสารละลายจะถูกปั๊มไปยังหม้อสกัดที่สอง ซึ่งได้บรรจุมอลต์ผสมกับน้ำบางส่วนอยู่แล้ว เมื่อผสมกับสารละลายน้ำตาล อุณหภูมิของหม้อที่สองจะเพิ่มขึ้นเป็น 62 °C เอนไซม์ปีตาอะมายเลสจะย่อยน้ำตาลสายสั้นเป็นน้ำตาลมอลโทส จากนั้นจึงหยุดการทำงานของเอนไซม์ จะเห็นได้ว่าการเลือกวิธีต้มสกัดน้ำหวาน จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และคุณภาพของมอลต์เป็นปัจจัยสำคัญ

## เอกสารอ้างอิง

Priest, G.F. and G.G. Stewart. 2006. Handbook of Brewing. CRC Press, Boca Raton. • Kunze, W. 2004. Technology Brewing and Malting. VBL Berlin, Berlin. • โชคชัย วนภู, 2549.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

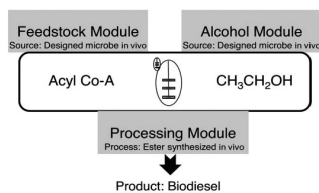
เมษายน, 2554

# สิ่งแวดล้อม และพลังงาน

## ไบโอดีเซลสำเร็จรูปจากจุลินทรีย์

สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล\*

ปัจจุบันเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการหมักกำลังเป็นเครื่องมือสำคัญเพื่อใช้ตอบโจทย์/แก้ปัญหาด้านอาหารพลังงาน และสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยการผลิตไบโอดีเซลจำเพาะภายในเซลล์จากจุลินทรีย์ประเภทพันธุวิศวกรรม/เซลล์แพททอรี โดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลทางเลือก/นอกเหนือจากการผลิตน้ำมันดีเซลโดยตรงจากแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมแล้ว จำเป็นต้องอาศัยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันพืช/ไขมันสัตว์ ด้วยเอทานอล/เมทานอลในสภาวะเร่งของกรด/ด่าง/เอนไซม์ ซึ่งเป็นปัญหาใหม่ของการแข่งขันเพื่อแย่งชิงแหล่งอาหารของมนุษย์ ฉะนั้นคำตอบที่สมานฉันท์และท้าทายโดยอาศัยเทคโนโลยีชีวภาพขั้นสูงที่เรียกว่า วิศวกรรมกระบวนการสร้างและสลาย/ชีววิทยาสังเคราะห์ นี้ น่าจะเป็นทางออก/เป้าหมายที่สร้างสรรค์และยั่งยืนยิ่งขึ้นกว่าเดิม ซึ่งน่าสนใจมากยิ่งขึ้นกว่าจะผลิตเพียงเซลล์จุลินทรีย์/สายพันธุ์ที่อุดมด้วยไขมัน เพื่อใช้สกัดน้ำมันเป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลภายนอกเซลล์ ที่ยังคงมีต้นทุนการผลิต/ราคาต่อลิตร แพงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม

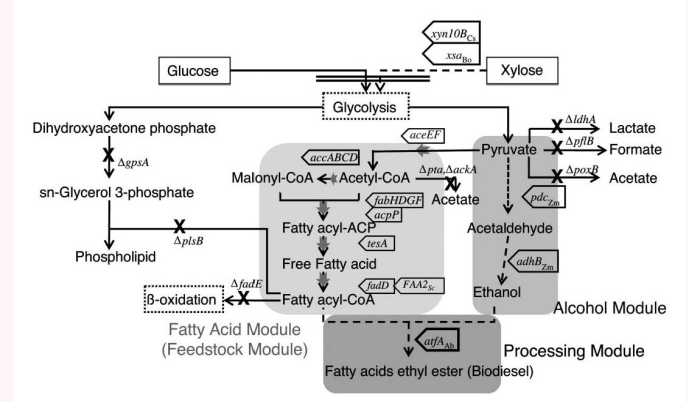


ภาพที่ 1 การสังเคราะห์ไบโอดีเซลภายในเซลล์จุลินทรีย์พันธุวิศวกรรม  
ที่มา: Shi และคณะ, 2011

ส่วนใหญ่ไขมันในเซลล์จุลินทรีย์/สายพันธุ์ประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นหลัก ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบของแหล่งน้ำมันที่สามารถใช้ทดแทนแหล่งน้ำมันพืช/ไขมันสัตว์ได้ เพื่อใช้ผลิตไบโอดีเซล/เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันภายนอกเซลล์ ฉะนั้นการสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน/ไบโอดีเซลภายในเซลล์ จึงจำเป็นต้องอาศัยการดัดแปลงวิถีกระบวนการสร้างและสลายของเซลล์ เพื่อให้เกิดขั้นตอนของปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันระหว่างเอทานอล ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) และไทโอเอสเทอร์โคเอของกรดไขมัน (Acyl-CoA) ด้วยเอนไซม์เอสเทอเรซินเทส (ดังภาพที่ 1) ทำให้เซลล์พันธุวิศวกรรม/เซลล์รีคอมบิแนนท์ที่นิยมใช้ ได้แก่ แบคทีเรีย *Escherichia coli* และยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สามารถใช้แหล่งอาหารคาร์บอนทางเลือกที่ไม่มีมูลค่าที่มีปริมาณมากจากวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรได้อย่างไม่สูญสิ้น เพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลเบ็ดเสร็จได้ในขั้นตอนเดียวโดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการแยกน้ำมัน/การทำให้บริสุทธิ์ได้อย่างน่าทึ่ง ซึ่งเหมาะสมต่อการผลิตเชิงพาณิชย์อย่างยิ่งในแง่ของการประหยัดต้นทุนการผลิตในอนาคต

\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรณีของเซลล์รีคอมบิแนนท์ *E. coli* (ดังภาพที่ 2) ที่สามารถสังเคราะห์เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันภายในเซลล์ จะต้องประกอบด้วย (1) ยีน *atfA* จากแบคทีเรีย *Acinetobacter baylyi* ADP1 ที่ใช้สังเคราะห์เอนไซม์ wax ester synthase/acyl-CoA:diacylglycerol acyltransferase (WS/DGAT) ซึ่งทำหน้าที่สังเคราะห์แว็กซ์เอสเทอร์จากแอลกอฮอล์/ไทโอเอสเทอร์โคเอของกรดไขมัน และ (2) ยีนสังเคราะห์เอทานอล (*pdc/adhB*) จากแบคทีเรีย *Zymomonas mobilis* มีปริมาณเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ผลิตได้ในเซลล์เท่ากับ 1.28 กรัม/ลิตร ในระยะเวลา 72 ชั่วโมง โดยมีการเติมกรดไขมันในอาหารเพาะเลี้ยง ในขณะที่การกำจัดวิถีปัสตาออกซิเดชัน (ยีน *fadE*) พร้อมกันการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ไทโอเอสเทอเรส (ยีน *tesA*) และอะคิลโคเอไลเกส ทำให้เซลล์รีคอมบิแนนท์ *E. coli* สามารถสังเคราะห์ไบโอดีเซล 674 มิลลิกรัม/ลิตร ได้โดยตรงจากน้ำตาลกลูโคส นอกจากนี้การเพิ่มยีนสังเคราะห์ไซเลเนส (*xyn10B* จาก *C. stercorarium*/ *xsa* จาก *B. ovatus*) ก็จะช่วยทำให้เซลล์พันธุวิศวกรรมนี้ สามารถใช้ไซโลสได้โดยตรงจากเฮมิเซลลูโลสและผลิตไบโอดีเซลได้เท่ากับ 11.6 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 2 การดัดแปลงวิถีของการผลิตไบโอดีเซลภายในเซลล์จุลินทรีย์  
พันธุวิศวกรรม

ที่มา: Shi และคณะ, 2011

กรณีของยีสต์รีคอมบิแนนท์ *S. cerevisiae* การเพิ่มยีน WS2 ที่ใช้สังเคราะห์แว็กซ์ซินเทสจากโปรตีนโอแบคทีเรีย *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* ก็ทำให้สามารถผลิตไบโอดีเซล/เอทิลเอสเทอร์ได้เท่ากับ 62 มิลลิกรัม/ลิตร จากการเติมกรดโอลีก 1.1 กรัม/ลิตร ได้เช่นเดียวกัน

### เอกสารอ้างอิง

Shi et al. 2011. Prospects for microbial biodiesel production. *Biotechnol. J.* 6, 277–285. • Hu et al. 2010. Systems and methods for production of mixed fatty esters. US20100071259A1.

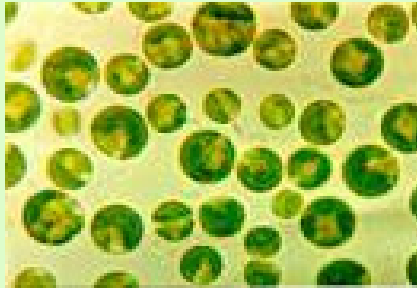
พฤษภาคม, 2554

# การเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

## ดอโรลลาสำหรับสัตว์

โยธกา ปัทมา\*/สารโจน ศิริคณสินญกุล\*

สาหร่ายคลอโรลลา/Chlorella เป็นสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กมาก ขนาดประมาณ 2-12 ไมโครเมตร รูปร่างกลมหรือเป็นรูปไข่ ที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยว คลอโรพลาสต์มักอยู่ด้านข้าง หรือเป็นรูปถ้วย สามารถพบสาหร่ายคลอโรลลาได้ทั่วไป ทั้งในดินและน้ำ



ภาพที่ 1 สันฐานวิทยาของสาหร่ายคลอโรลลา  
ที่มา: <http://www.thaigoodview.com>

คลอโรลลาสามารถเจริญเติบโตได้ทั้งภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบใช้แสง/ไฟโตโอดิโตรอฟ และแบบไม่ใช้แสง/เฮเทโรโตรอฟ คลอโรลลาที่มีคุณภาพของเซลล์ที่ดีจะต้องเพาะเลี้ยงในอาหารที่เหมาะสม ภายใต้การควบคุมความเป็นกรดต่าง/อุณหภูมิ/อัตราการหมุน/แหล่งคาร์บอนที่เหมาะสม ซึ่งล้วนมีผลต่อคุณภาพของคลอโรลลาทั้งสิ้น นอกจากนี้การเลือกสายพันธุ์ของคลอโรลลาก็มีความสำคัญมาก คือ ต้องเลือกสายพันธุ์ที่แข็งแรง/เจริญเติบโตเร็ว จากการศึกษพบว่า คลอโรลลามีโปรตีนสูงถึง 55.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 1) โดยมีปริมาณอาร์เอ็นเอสูงมาก ซึ่งอาร์เอ็นเอจะช่วยให้เซลล์ร่างกายเกิดความกระปรี้กระเปร่า และช่วยชะลอความชราได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอาร์เอ็นเอในคลอโรลลาประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสร้างขึ้นมาใช้เองได้ แต่ต้องได้จากการบริโภคพืชหรือสัตว์เท่านั้น ดังนั้นโปรตีนจากคลอโรลลาจึงมีคุณภาพเทียบเท่ากับโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์ แต่จะมีปริมาณเมทาโออินต่ำกว่า และคลอโรลลายังมีวิตามินหลากหลาย เช่น วิตามินซี บีตาแคโรทีน วิตามิน บี1 วิตามิน บี12 วิตามินอี และวิตามินเค เป็นต้น ส่วนเกลือแร่ที่มี ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แคลเซียม และโคบอลต์ เป็นต้น รวมทั้งมีกรดไขมันไลโปอิก ทั้งนี้งานวิจัยสนับสนุนสรรพคุณในด้านต่าง ๆ ของคลอโรลลา เช่น เป็นแหล่งโปรตีนชั้นยอด กระตุ้นการเจริญเติบโต เสริมภูมิคุ้มกันร่างกาย ชะลอความชรา ป้องกันอนุมูลอิสระ ล้างพิษในระบบทางเดินอาหาร เนื่องจากมีองค์ประกอบของสารอาหารที่มีประโยชน์สูง วงการธรรมชาติบำบัดจึงนิยมนำคลอโรลลาไปใช้ในการเสริม

ภูมิคุ้มกัน สมานแผล ด้านสารพิษต่าง ๆ รอบตัว ช่วยย่อยและปรับการทำงานของกระเพาะอาหารและลำไส้ ใช้กระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโต และช่วยสร้างเนื้อเยื่อในร่างกาย ชะลอความชรา ตลอดจนป้องกันอันตรายจากกัมมันตภาพรังสี

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเซลล์สาหร่าย *Chlorella protothecoides* แบบใช้/ไม่ใช้แสง

| Component (%)                       | AC           | HC           |
|-------------------------------------|--------------|--------------|
| Protein                             | 52.64 ± 0.26 | 10.28 ± 0.10 |
| Lipid                               | 14.57 ± 0.16 | 55.20 ± 0.28 |
| Carbohydrate                        | 10.62 ± 0.14 | 15.43 ± 0.17 |
| Ash                                 | 6.36 ± 0.05  | 5.93 ± 0.04  |
| Moisture                            | 5.39 ± 0.04  | 1.96 ± 0.02  |
| Others                              | 10.42 ± 0.65 | 11.20 ± 0.61 |
| Heating value (MJkg <sup>-1</sup> ) | 23.00 ± 0.08 | 27.00 ± 0.09 |

หมายเหตุ AC/ไฟโตโอดิโตรอฟ และ HC/เฮเทโรโตรอฟ  
ที่มา: Miao and Wu, 2004

คลอโรลล่ายังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทางด้านพลังงานทางเลือก ซึ่งคลอโรลลาสามารถสะสมไขมันภายในเซลล์ถึง 28-32 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง จึงมีศักยภาพสูงในการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่าย เนื่องจากการสะสมไขมันภายในเซลล์ปริมาณสูง เจริญเติบโตเร็วและเพาะเลี้ยงง่าย โดยคลอโรลลาจะสะสมไขมันภายในเซลล์มากหรือน้อยภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน การหาสภาวะที่เหมาะสม เช่น แหล่งคาร์บอน แหล่งไนโตรเจน เป็นต้น จึงเป็นสิ่งจำเป็นในการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ทั้งนี้จากการเพาะเลี้ยงคลอโรลลา พบว่า เมื่อมีไนโตรเจนในอาหารอย่างจำกัด ปริมาณของไขมันในเซลล์จะเพิ่มขึ้นจาก 28 เปอร์เซ็นต์ เป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ขณะเดียวกันปริมาณโปรตีนในเซลล์จะลดลงจาก 30 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 8 เปอร์เซ็นต์

ถึงแม้คลอโรลลาจะเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก แต่ประโยชน์ที่ได้รับจากคลอโรลลาไม่ได้เล็กตามขนาดของสาหร่าย จึงไม่ต้องสงสัยว่าทำไมคลอโรลลาจึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางของคนทั่วไป ทั้งนำไปใช้ทางด้านการบริโภคเป็นอาหาร/อาหารเสริม หรือรับใช้งานวิจัยเชิงประยุกต์ที่หลากหลายมิติ

**เอกสารอ้างอิง** กาญจนภรณ์ ลีวมนมม. 2527. สาหร่าย. คณะประมงมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. • ยุวดี พิรพรพิศาล. 2546. สาหร่ายวิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. • Chisti, Y. 2007. Biotechnol. Adv. 25: 294-306. • [www.tistr.or.th](http://www.tistr.or.th)

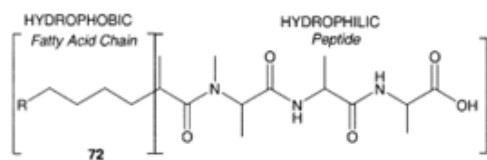
\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# สารโกลนเกลส จาก สิ่งมีชีวิตใต้ทะเล

มณชัย เดชสังกรานนท์/สาขาวิชา ศิริคั่นสนียกุล\*

จากความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปัจจุบัน ทำให้มีการค้นพบสารชนิดใหม่ที่แสดงสมบัติเป็นสารโกลนเกลสและมีศักยภาพเป็นยารักษาโรคได้ นักวิทยาศาสตร์การแพทย์พบว่า สิ่งมีชีวิตในทะเลหลายชนิด เช่น ฟองน้ำ ปะการัง สาหร่ายสีแดง ไชยาโนแบคทีเรีย รวมถึงแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตในทะเลล้วนเป็นแหล่งของสารโกลนเกลสที่สำคัญ ซึ่งสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้หลากหลาย ณ ที่นี้จะขอยกกล่าวถึงสารโกลนเกลสบางชนิดจากสิ่งมีชีวิตใต้ทะเลที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นยารักษาโรค

**ไลโปเพปไทด์** เป็นสารโกลนเกลสที่ได้จากไชยาโนแบคทีเรีย/สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โครงสร้างหลักประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกับกรดไขมัน (ภาพที่ 1) จากรายงานวิจัยด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ พบว่า สารโกลนเกลสที่ได้จากไชยาโนแบคทีเรียกว่า 400 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบไลโปเพปไทด์ (วงปิด/เส้นตรง) ถึงร้อยละ 40.2 และร้อยละ 5.6 พบว่าเป็นกรดอะมิโนบริสุทธิ์ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีชีวภาพ พบว่าไลโปเพปไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเม็ดเลือด/เยื่อหุ้มสมองได้อย่างอิสระ ด้วยเหตุนี้ไลโปเพปไทด์จากไชยาโนแบคทีเรียจึงมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นตัวขนส่งยาเพื่อการรักษาโรคในอนาคต



ภาพที่ 1 โครงสร้างของไลโปเพปไทด์  
ที่มา: Adam et al., 2001

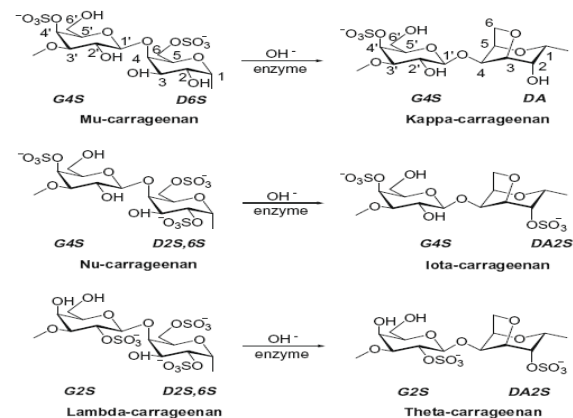
**คาร์ราจีแนน** เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดแยกได้จากผนังเซลล์ของสาหร่ายสีแดง ซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำคาร์ราจีแนนมาใช้เป็นสารให้เจล/ปรับปรุงรสชาติ ในอุตสาหกรรมยา/เครื่องสำอางนิยมใช้คาร์ราจีแนนเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงรูป/เหนียว การใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ พบว่าคาร์ราจีแนนสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ โดยเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อการอักเสบ/ระบบภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้คาร์ราจีแนนยังสามารถยับยั้งการติดเชื้อไวรัสบางชนิดได้อีกด้วย

โครงสร้างหลักของคาร์ราจีแนนประกอบด้วยน้ำตาล D-galactose และ 3,6-anhydro-D-galactose จำแนกได้ 6 รูปแบบ คือ Iota, Kappa, Lambda, Mu, Nu และ Theta โดยคาร์ราจีแนนชนิด Kappa สกัดได้จากสาหร่ายเขตร้อน *Kappaphycus alvarezii* ส่วน *Eucheuma denticulatum* เป็นสาหร่ายที่ใช้ในการผลิตคาร์ราจีแนนชนิด Iota ส่วนชนิด Lambda สกัดได้จากสาหร่าย *Gigartina* sp.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

และ *Chondrus* sp. องค์ประกอบหลักของคาร์ราจีแนนคือ G-units (3-linked beta-D-galactopyranose) และ D-units (4-linked alpha-D-galactopyranose) หรือ DA-units (4-linked 3,6-anhydro-alpha-D-galactopyranose) รวมตัวกันเป็นโครงสร้างซ้ำ (ภาพที่ 2) คาร์ราจีแนนจะมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 100-1000 กิโลดาลตัน

คาดการณ์ว่าคาร์ราจีแนนมีศักยภาพที่จะใช้เป็นยารักษาโรคราคาถูกลงได้ งานวิจัยปัจจุบันมุ่งศึกษาประสิทธิภาพและความจำเพาะของคาร์ราจีแนนต่อการต้านเซลล์มะเร็ง/การควบคุมระบบภูมิคุ้มกัน/การต้านทานไวรัส คาดว่าถ้ามีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนน ก็จะได้สารเคมีชนิดใหม่ที่สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเชื้อไวรัส HIV ได้/เมื่อใช้ร่วมกับสารต้านไวรัสชนิดอื่น



ภาพที่ 2 โครงสร้างของคาร์ราจีแนนทางการค้าและโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง  
ที่มา: Vanessa et al., 2009

**สารต้านไวรัส** จากการวิจัยด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ พบว่าสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเลหลายชนิดเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านไวรัส มีรายงานว่าสาหร่ายสีน้ำตาลสามารถผลิตสารโกลนเกลสที่มีฤทธิ์ในการควบคุมระดับคลอเลสเทอรอล/กระตุ้นภูมิคุ้มกัน/ต้านไวรัส โดยโปรตีน Cyanovirin-N เป็นตัวอย่างหนึ่งของสารต้านไวรัสที่ได้จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ที่มีขนาดโมเลกุล 10 กิโลดาลตัน สามารถยับยั้งเชื้อไวรัส HIV และระงับการฟิวชั่นของเซลล์ รวมถึงการแพร่กระจายของเชื้อไวรัส HIV ได้ ดังตัวอย่างของ Crambescidin 826 เป็นสารโกลนเกลสชนิดหนึ่งที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อไวรัส HIV ที่แยกได้จากฟองน้ำ *Monanch* sp. ซึ่งมีฤทธิ์ในการยับยั้งการฟิวชั่นของเชื้อไวรัส HIV คาดว่าอาจจะมี การนำ Crambescidin 826 ใช้เป็นต้นแบบในการสังเคราะห์ยาในห้องปฏิบัติการ และพัฒนาไปเป็นตัวยับยั้งการฟิวชั่นของเชื้อ HIV-1 ได้ในอนาคต

**เอกสารอ้างอิง** Burja, A.M. et al. 2001. Tetrahedron 57, 9347-9377.

- Campo, V.L. et al. 2009. Carbohydr Polym. 77, 167-180.
- Jassim, S.A.A. and M.A. Naji. 2003. J. Appl. Microbiol. 95, 412-427.
- Mayer, A.M.S. et al. 2007. Comp. Biochem. Physiol. 145, 553-581.

# ' แก่นตะวัน พืชหัวเพื่อสุขภาพ

ดารารัตน์ มงคลการ\*/สาขาวิชา ศิริคันสนียกุล\*

ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสำคัญกับสุขภาพกันมากขึ้น โดยเฉพาะการบริโภคผักและผลไม้ที่มีประโยชน์ ซึ่งแก่นตะวันเป็นพืชที่มีคุณสมบัติอันน่าทึ่ง อาทิ มีรสชาติหวานน้อยลักษณะคล้ายกับสารให้ความหวานที่ใช้ในปัจจุบัน แต่มีความปลอดภัยสูง เพราะสกัดจากธรรมชาติ ผู้ป่วยโรคเบาหวานจึงสามารถรับประทานได้โดยจะไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด และมีกากใยอาหารสูงทำให้ดีต่อระบบขับถ่าย จึงคาดว่าในอนาคตจะสามารถเป็นพืชเศรษฐกิจได้

แก่นตะวัน/Jerusalem artichoke มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus* เป็นพืชตระกูลเดียวกับทานตะวัน ดอกมีสีเหลืองคล้ายดอกบัวตอง แต่มีขนาดเล็กกว่า มีหัว (tuber) รูปร่างอวบคล้ายขิง เปลือกสีน้ำตาลอ่อน และเนื้อมีสีขาว ถิ่นกำเนิดอยู่แถบทวีปอเมริกาเหนือ แต่สามารถปลูกและปรับตัวได้ดีในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย



ภาพที่ 1 หัวแก่นตะวัน (Jerusalem artichoke tuber)

ที่มา: <http://www.allotment.org.uk/vegetable/assets/jerusalem-artichoke-fuseau.jpg>

ในปัจจุบันแก่นตะวันถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น เพื่อการบริโภค โดยนำส่วนหัวมาใช้เป็นอาหารประเภทผัก หัวสดมีรสชาติคล้ายแห้วสามารถนำมาประกอบอาหารคาวและหวานได้หลายชนิด หัวแก่นตะวันเป็นแหล่งสะสมของอินูลิน (inulin) โดยอินูลินเป็นสารผสมของโอลิโกแซ็กคาไรด์และพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งเป็นฟรุกแทนชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโทสต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะบีตา 2,1 ของฟรุกโทส ปลายสุดท้ายของโซ่ยาวด้านหนึ่งเป็นโมเลกุลของกลูโคสหนึ่งหน่วยที่ต่อเชื่อมกับโมเลกุลของ ฟรุกโทสในลักษณะการเชื่อมภายในโมเลกุลของซูโครส จากรายงานการวิจัย พบว่า การบริโภคแก่นตะวันจะไม่ถูกย่อยในกระเพาะ จึงเป็นใยอาหารที่ให้แคลอรีต่ำ ช่วยลดคอเลสเตอรอล ไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในเลือด จึงไม่เป็นปัญหากับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ช่วยลดคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ และดีแอลดีในร่างกายนอกจากนี้ยังช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* เป็นต้น และสามารถลดจำนวนของแบคทีเรียก่อโรค เช่น Coliforms และ *E. Coli* เป็นต้น ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแก่นตะวันจัดเป็นสารพรีไบโอติก/Prebiotics

เนื่องจากหัวแก่นตะวันมีอินูลินเป็นองค์ประกอบหลัก จึงได้มีการนำแก่นตะวันมาใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำตาลอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์และน้ำตาลฟรุกโทส โดยการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายอินูลิน ได้แก่ เอนไซม์อินูลินเนส ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์อินูลินเนสจะประกอบด้วยเอนไซม์หลัก 2 ชนิด คือ เอกโซอินูลินเนสและเอนโดอินูลินเนส โดยน้ำตาลอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ผลิตได้จากการย่อยสลายพันธะภายในโมเลกุลอินูลินด้วยเอนไซม์เอนโดอินูลินเนส ส่วนน้ำตาลฟรุกโทสเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการทำงานของเอนไซม์อินูลินเนสที่ประกอบด้วยกิจกรรมของเอกโซและเอนโดอินูลินเนส หรือจากกิจกรรมของเอนไซม์เอกโซอินูลินเนสเพียงชนิดเดียว ซึ่งน้ำตาลฟรุกโทสจัดเป็นสารให้ความหวานที่มีบทบาทในอุตสาหกรรม ในขณะที่น้ำตาลอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก

นอกจากนี้ หัวของแก่นตะวันยังสามารถใช้เป็นอาหารเสริมในอาหารสัตว์ มีผลต่อการเจริญเติบโต ช่วยลดจุลินทรีย์ที่เป็นโทษในระบบทางเดินอาหาร สร้างภูมิคุ้มกัน ทำให้ลดการใช้สารปฏิชีวนะ และมูลสัตว์มีกลิ่นเหม็นน้อยลงด้วย เหมาะสมกับการใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์ เช่น ไก่และสุกร เป็นต้น

อีกประการหนึ่ง แก่นตะวันมีปริมาณน้ำตาลฟรุกโทสอยู่ค่อนข้างสูง จึงสามารถนำหัวแก่นตะวันมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยหัวแก่นตะวันสด 1 ตัน สามารถผลิตเอทานอลได้ ประมาณ 80-100 ลิตร มากกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย ซึ่งสามารถนำไปผสมกับเบนซินผลิตเป็นแก๊สโซฮอล์ได้ พืชชนิดนี้จึงเป็นพืชที่มีศักยภาพในแง่ของการผลิตพลังงานทดแทนต่อไปในอนาคต นอกจากนั้น ดอกแก่นตะวันจะบานเมื่อมีอายุประมาณ 60 วัน และทั้งแปลงปลูกจะมีต้นทยอยออกดอกได้นานประมาณ 2 เดือน มีความสวยงามไม่แพ้ทุ่งบัวตอง หรือทุ่งทานตะวันเลยทีเดียว จึงนับได้ว่าเป็นพืชที่ช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวได้



ภาพที่ 2 ดอกแก่นตะวัน (*Helianthus tuberosus*)

ที่มา: <http://gotoknow.org>

**เอกสารอ้างอิง** Kaur, N. and A.K. Gupta. 2002. J. Biosci. 27(7), 703-714. • Sirisansaneeyakul, S. et al. 2006. World J. Microb. Biot. 23(4), 543-552. • [http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem\\_artichoke](http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem_artichoke).

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

พฤษภาคม, 2554

# สิ่งแวดล้อม และพลังงาน

สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล\*

```
graph TD; FM[Feedstock Module  
Source: Microbial oils] --> PM[Processing Module  
Process: Transesterification]; AM[Alcohol Module  
Source: Natural gas] --> PM; PM --> BP[Byproduct: Glycerol]; PM --> PD[Product: Biodiesel]
```

The diagram illustrates the transesterification process for biodiesel production. It features three main modules: a Feedstock Module, an Alcohol Module, and a central Processing Module. The Feedstock Module, which uses microbial oils, provides triglycerides (CH<sub>2</sub>-O-CO-R1, CH-O-CO-R2, CH<sub>2</sub>-O-CO-R3) to the Processing Module. The Alcohol Module, which uses natural gas, provides methanol (CH<sub>3</sub>OH) to the same Processing Module. The Processing Module, where transesterification occurs, produces two outputs: a byproduct of glycerol and the final product, biodiesel.

```
graph TD
    BO[Biomass obtention] --> DT[Direct transesterification from dried microbial biomass]
    BO --> CD[Cell disruption]
    CD --> LE[Lipid extraction]
    LE --> T[Transesterification]
    DT --> T
```

**Biomass obtention**

- Drying methods
  - Heating
  - Spraying
  - Drum rotating
  - Freezing
  - Sun drying

**Cell disruption**

- Mechanical action
  - Cell homogenizers
  - Bead mills
- Non-mechanical action
  - Freezing
  - Organic solvents
  - Osmotic shock

**Lipid extraction**

- Solvents
  - Hexane
  - Heptane
  - Ethanol
  - Hexane-ethanol
  - Chloroform-methanol

**Transesterification**

- 2<sup>nd</sup> reactant
  - Methanol
  - Ethanol
- Catalysts
  - Acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)
  - Base (NaOH, KOH)
- 40 – 70 °C 6 – 30 h

**Conventional transesterification with extracted lipids**

**Direct transesterification from dried microbial biomass**

**เอกสารอ้างอิง** Shi, Sh. et al. 2011. Prospects for microbial biodiesel production. *Biotechnol. J.* 6, 277–285. • Hu, Zh. et al. 2010. US20100071259A1. • Vicente, G. et al. 2009. *Biochem. Eng. J.* 48, 22–27. • Liu, B. and Z. Zhao. 2007. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 82, 775–780.

# สาระประโยชน์ จาก พลาสติกชีวภาพ

ชนิกา ชื่นแสงจันทร์\* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล\*

จากกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ภายใต้แรงขับเคลื่อนของการพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพผนวกกับเทคโนโลยีด้านวัสดุศาสตร์ ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพกลายเป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ซึ่งภายหลังการย่อยสลายแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ พลังงาน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน น้ำ กลีโกล แร่ธาตุต่าง ๆ และมวลชีวภาพ เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืช ดังนั้นพลาสติกชีวภาพจึงมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และหากจะกล่าวถึงการใช้อย่างไรจากพลาสติกชีวภาพโดยทั่วไปแล้ว ผู้บริโภคมีความคุ้นชินกับการใช้พลาสติกชีวภาพในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ แต่แท้จริงนั้นพลาสติกชีวภาพได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลคติกแอซิด/Polylactic acid (PLA) ที่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น

การใช้อย่างไรจากพลาสติกชีวภาพด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น ภาชนะใส่อาหารและเครื่องดื่ม ถูกบรรจุผลผลิตทางการเกษตรตลอดจนถุงใส่ขยะเศษอาหารได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา อิตาลี ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย เป็นต้น การใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพสามารถกำจัดบรรจุภัณฑ์ทิ้งไปพร้อมกับขยะอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งจะเกิดการย่อยสลายต่อไปตามธรรมชาติ ช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้พลาสติกชีวภาพในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยการผลิตเป็นเส้นใยสำหรับใช้ในการตัดเย็บเสื้อผ้าซึ่งจะช่วยให้มีการระบายความชื้นได้ดี



ภาพที่ 1 พลาสติกคลุมดินไบโอพลาสติกย่อยสลายได้  
ที่มา: สุวรรณ, 2551 (<http://portal.in.th/scitalk/pages/bioplasic/>)

การใช้อย่างไรจากพลาสติกชีวภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคลือบกระดาษ พลาสติก หรือชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ชิ้นส่วนของหน้ากากหมวกเครื่องซีดี ชิ้นส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนเครื่องพิมพ์ แผ่นดีวีดี เป็นต้น โดยชิ้นส่วนต่าง ๆ สามารถย่อยสลายได้หลังจากหมดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์สุชาแมวจากพลาสติกชีวภาพที่ไม่ต้องล้างทำความสะอาดและสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยมีการใช้จริงในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนวัสดุและการกำจัดขยะได้

\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

การใช้อย่างไรจากพลาสติกชีวภาพด้านการเกษตร เช่น กระถางใส่ต้นไม้และฟิล์มคลุมดินไบโอพลาสติก เป็นต้น แผ่นฟิล์มที่ผลิตจากพลาสติกชีวภาพจะช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน ช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการไถงานโดยสามารถกำจัดด้วยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินที่มักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ฮอร์โมนพืช สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุปลูกเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย เป็นต้น



ภาพที่ 2 วัสดุปลูกยึดกระตุกผลิตจากพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้  
ที่มา: แผนพัฒนาทางแห่งชาติ การพัฒนาอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ/พ.ศ.2551-2555

การใช้อย่างไรจากพลาสติกชีวภาพด้านการแพทย์และเภสัชกรรม เช่น การผลิตยาที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาภายในร่างกายได้ ผิวหนังเทียม หมวกคลุมศีรษะ อุปกรณ์ประสาทรักษาและแผ่นตามกระดูกในบริเวณที่ไม่ต้องการรับแรงสูงมากโดยการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายและสามารถย่อยสลายได้เองโดยไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย นอกจากนี้ ยังช่วยให้เนื้อเยื่อบริเวณโดยรอบกระดูกมีการปรับตัวและฟื้นฟูสภาพในการรับแรงปกติในระหว่างที่สลายตัวของวัสดุที่ใช้ในการรักษาซึ่งให้ผลดีกว่าการใช้อุปกรณ์จำพวกโลหะที่มีความแข็งแรงสูงแต่ไม่สามารถย่อยสลายได้ซึ่งเนื้อเยื่อโดยรอบได้ ทำให้เนื้อเยื่อมีความอ่อนแอและฟื้นฟูสภาพได้ยากภายหลังจากการผ่าตัดนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาออกจากร่างกายแล้ว

อย่างไรก็ตาม การใช้อย่างไรจากพลาสติกชีวภาพในปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น การทนความร้อน ความแข็งแรง การกันความชื้นและอากาศที่มีผลต่อการใช้งานและการย่อยสลายทางชีวภาพ ดังนั้นการวิจัยด้านเทคโนโลยีการเตรียมมอนอเมอร์ การสังเคราะห์พลาสติก และการขึ้นรูปพลาสติกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกจึงยังคงมีความจำเป็นต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพในอนาคตอย่างยิ่ง

## เอกสารอ้างอิง

จินตมัย, 2550. พลาสติกสังเคราะห์ย่อยสลายทางการแพทย์. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. • Avinc et al. 2009. Overview of poly(lactic acid) (PLA) fibre. Fibre Chem. 41(6), 391-401. • <http://plastic.oie.go.th/MovementBioPlastic.aspx>.

มิถุนายน, 2554

# การเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

สุวิ วังเต็อย\*

21

## กระบวนการผลิตเบียร์ (1) : การต้มสกัดน้ำหวาน-การลดขนาดอนุภาค

อุทัยวรรณ อุสันสา\*

ในกระบวนการต้มสกัดน้ำหวานหรือเวิร์ตมีหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลที่สกัดได้ คือขนาดอนุภาคของข้าวมอลต์บด ในอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์จะใช้วิธีการลดขนาดของมอลต์ให้มีขนาดระหว่าง 0.3-0.6 มิลลิเมตร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารอาหารสำคัญของยีสต์ มอลต์ที่มีคุณภาพดีจะมีคุณลักษณะเปราะ ง่ายต่อการแตกหักเนื่องจากโครงสร้างของเอนโดสเปิร์มหลวม จึงง่ายต่อการลดขนาด กระบวนการลดขนาดสามารถทำได้หลายแบบ เช่น การบดแบบแห้ง (dry milling) และการบดแบบเปียก (wet milling)

การบดแบบแห้ง ด้วยการบีบให้เมล็ดแตก (crushing) ด้วยเครื่องบด roller mill จะประกอบด้วยการบดหยาบก่อนแล้วจึงผ่านลูกกลิ้งอีกหนึ่งชุดเพื่อบดละเอียด ทั้งนี้อาจมีการเพิ่มขั้นตอนการปรับสภาพมอลต์ก่อนบด ซึ่งจะมีการพ่นน้ำอุณหภูมิ 30 °C ปริมาณ 2-2.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/น้ำหนัก) 1-2 นาที ก่อนผ่านเข้าเครื่องบดเพื่อให้เปลือกมอลต์มีความชื้น เหนียวและมีน้ำหนักมากขึ้น จึงลดการสูญเสียส่วนเปลือกได้มากขึ้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การบดแบบเปียก จะนำมอลต์แช่น้ำอุณหภูมิ 50-60 °C เป็นเวลา 1 นาที ด้วยอัตราส่วนน้ำ 60 ลิตรต่อมอลต์ 100 กิโลกรัม ก่อนผ่านเข้าสู่เครื่องบด มอลต์จะดูดซับน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่วนของเอนโดสเปิร์มมีความชื้น เอนไซม์และสารอาหารจะละลายและถูกชะออกมาได้ง่ายขึ้นในขั้นตอนการต้มน้ำหวาน ในขณะเดียวกันต้องมีการควบคุมเวลาหรืออัตราการดูดซับน้ำให้ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียสารดังกล่าวขณะแช่น้ำ

นักต้มเบียร์จะรักษาเปลือกของมอลต์บาร์เลย์ เนื่องจากมีคุณสมบัติช่วยเป็นชั้นกรองในขั้นตอนการแยกน้ำหวานออกจากกากมอลต์ (spent grain) ด้วยวิธี lautering ซึ่งจะปล่อยให้กากมอลต์ตกตะกอนในถังแยกกาก (lauter tun) โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่ออนุภาคขนาดต่างๆ ให้จัดเรียงตัวเป็นชั้นกรองอัตโนมัติในถังดังกล่าว จากนั้นบีมน้ำหวานไหลผ่านชั้นของกากมอลต์ ก็จะได้น้ำหวานที่ใสเพื่อส่งไปยังหม้อต้มฆ่าเชื้อ วิธี lautering จัดเป็นวิธีดั้งเดิมและมีโรงงานมากมายที่ยังคงใช้ถังแยกกากลักษณะนี้

ปัจจุบันมีการพัฒนาถังแยกกากแบบใช้แผ่นกรองหรือผ้ากรอง จึงสามารถใช้เครื่องบด hammer mill ลดขนาดมอลต์ให้ละเอียดได้มากขึ้น ซึ่งการลดขนาดอนุภาคให้เล็กส่งผลให้การต้มสกัดเกิดขึ้นได้ดี เนื่องจากอนุภาคของแป้งถูกทำลายสภาพดั้งเดิม จึงส่งผลในการลดอุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจล เอนไซม์สามารถย่อยแป้งได้เร็วขึ้น ปริมาณสารอาหารถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น ซึ่งอนุภาคมอลต์ที่ผ่านการบดด้วย hammer mill จะมีขนาดละเอียดกว่าการใช้เครื่องบด roller mill แต่ทั้งนี้การลดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง หรือ เพิ่มจำนวนลูกกลิ้งในเครื่องบดก็สามารถลดขนาดมอลต์ได้มากขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 1 เครื่องบดข้าวมอลต์ชนิด Roller mill และข้าวมอลต์ที่ผ่านการบด  
ที่มา: <http://brewiki.org/Roller mill>.

**เอกสารอ้างอิง** Mousia, Z., et al. 2004. The effect of milling parameters on starch hydrolysis of milled malt in the brewing process. *Process Biochem.* 39, 2213-2219. • Kunze, W. 2004. *Technology Brewing and Malting*. VBL Berlin, Berlin. • <http://brewiki.org/Roller mill>.

มิถุนายน, 2554

# สิ่งแวดล้อม และพลังงาน

# ไบโอเอทานอลจากชีวมวล

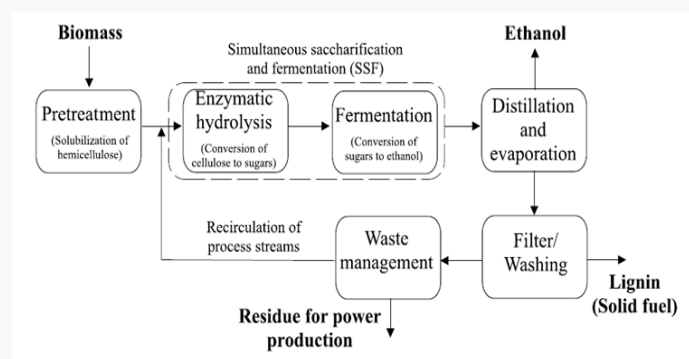
เกียรติพงษ์ สงพรหม\*/ ประมุข ภาณุสุทธิตย\*

ในปัจจุบันเชื้อเพลิงฟอสซิลกำลังร่อยหรอหมดไปจากโลก ทำให้เกิดการแสวงหาพลังงานทดแทนใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ไบโอเอทานอลเป็นพลังงานทางเลือกอีกประเภทหนึ่งที่เข้ามาแทนที่เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วนต่าง ๆ เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ ไบโอเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบ 3 ประเภทคือ (1) น้ำตาล เช่น ข้าวฟ่างหวาน หัวบีต อ้อย (2) แป้ง เช่น ข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าวบาร์เลย์ และ (3) ลิกโนเซลลูโลส เช่น ไม้ ฟางข้าว และหญ้า ซึ่งความแตกต่างของวัตถุดิบมีผลต่อศักยภาพในการผลิตไบโอเอทานอล (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบศักยภาพของการผลิตไบโอเอทานอลจากแหล่งวัตถุดิบที่แตกต่างกัน

| กิโลกรัมของเอทานอล (ลิตร ลิตร) |     |
|--------------------------------|-----|
| อ้อย                           | 70  |
| บีต                            | 110 |
| มันเทศ                         | 125 |
| มันฝรั่ง                       | 110 |
| มันสำปะหลัง                    | 180 |
| ข้าวโพด                        | 360 |
| ข้าว                           | 400 |
| ข้าวบาร์เลย์                   | 260 |
| ข้าวสาลี                       | 340 |
| ข้าวฟ่างหวาน                   | 60  |
| ขานอ้อยและชีวมวลเซลลูโลสอื่นๆ  | 280 |

ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส เช่น วัสดุเศษเหลือทางการเกษตร (ต้นข้าวโพด/ฟางข้าวสาลี) ไม้ และพืชพลังงาน เป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจสำหรับการผลิตไบโอเอทานอล อีกทั้งไม่แย่งชิงกับพืชอาหารอีกด้วย มีโครงสร้างพื้นฐาน คือ เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และ ลิกนิน โดยเซลลูโลสเป็นส่วนที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล มีอยู่ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อไม้ ประกอบด้วยกลูโคสที่ติดกันด้วยพันธะ 1,4-ไกลโคซิดิก โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นแบบโครงสร้างผลึกทำให้ไม่ละลายน้ำและแตกตัวได้ยาก เซลลูโลส สามารถถูกไฮโดรไลซ์ แตกตัวเป็นกลูโคสด้วยเอนไซม์เซลลูเลส หรือสารเคมี (กรดชนิดต่าง ๆ)



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวล

ที่มา : Galbe และ Zacchi, 2007

\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

การเปลี่ยนชีวมวลลิกโนเซลลูโลสเป็นไบโอเอทานอลทำได้ยากกว่าน้ำตาล เนื่องจากมีโครงสร้างที่ ซับซ้อนและต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้มีความเหมาะสมก่อนการนำไปใช้ ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ (ดังภาพที่ 1)

ขั้นแรกคือการพรีทรีตเมนต์ (pretreatment) โครงสร้างของชีวมวลลิกโนเซลลูโลส เป็นการลดขนาด และกำจัดโครงสร้างที่ขัดขวางในขั้นตอนไฮโดรไลซิส ทำให้เอนไซม์สามารถย่อยชีวมวลลิกโนเซลลูโลสได้ดีขึ้น การพรีทรีตเมนต์มีหลายวิธี เช่น การระเบิดด้วยไอน้ำ การใช้แอมโมเนียเหลว การใช้กรด การใช้ด่าง การใช้เชื้อรา เป็นต้น

ขั้นที่ 2 การสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) ชีวมวลลิกโนเซลลูโลส สามารถใช้เอนไซม์เซลลูเลสหรือ กรดซัลฟูริก ย่อยได้เป็นน้ำตาลกลูโคส การใช้เอนไซม์ทางการค้าทำให้ต้นทุนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้กรด แต่การใช้เอนไซม์ในการย่อยมีความจำเพาะมากกว่า ซึ่งการใช้กรดจะทำให้สูญเสียน้ำตาลกลูโคสไปบางส่วน

ขั้นที่ 3 การหมัก (fermentation) น้ำตาลที่เกิดขึ้นจากการย่อยจะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอล โดยยีสต์หรือจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ในปัจจุบันการผลิตเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสมี 2 แบบ คือ การย่อยให้ได้น้ำตาลก่อนแล้วจึงทำการหมัก (Separated Saccharification and Fermentation; SHF) และการรวมขั้นที่ 2 และ 3 เข้าด้วยกันเรียก การย่อยเป็นน้ำตาลและหมักพร้อมกัน (Simultaneous Saccharification and Fermentation; SSF)

ขั้นที่ 4 การกลั่นและการทำแห้ง (distillation and dehydration) เอทานอลจากน้ำหมักจะถูกกลั่นได้ความเข้มข้นเอทานอลประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ แต่เอทานอลที่จะใช้ในการทำแก๊สโซฮอล์นั้นจะต้องมีความเข้มข้นที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการกำจัดน้ำออกไปโดยการทำให้แห้งที่เรียกว่า molecular sieve

ไบโอเอทานอลเป็นพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร ที่ไม่แข่งขันกับพืชอาหาร การใช้ไบโอเอทานอลยังเป็นการช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อน อย่างไรก็ตาม การผลิตไบโอเอทานอลจากชีวมวลลิกโนเซลลูโลสยังมีต้นทุนและใช้พลังงานสูง ในขั้นตอนการพรีทรีตเมนต์และการใช้เอนไซม์ในการย่อย อีกทั้งความเข้มข้นของเอทานอลสุดท้ายที่ยังไม่คุ้มทุน จึงต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

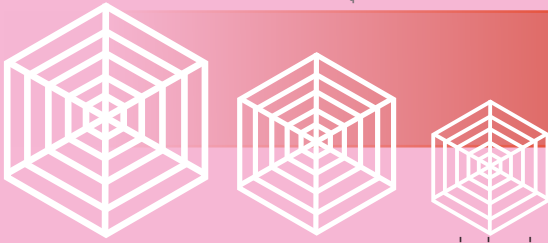
Kumar, L. et al. 2006. Asian Biotechnol. Develop. 8: 31-49. • Galbe, M. and G. Zacchi. 2007. Adv. Biochem. Eng./Biotechnol. 108: 41-65.

มิถุนายน, 2554

วิศวกรรมเคมีชีวภาพ

และ

วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ



# ไหมแมงมุมพันธุวิศวกรรม

สาขาวิชา คีรีตพันธุ์กุล\*

ใยแมงมุมธรรมชาติมีความแข็งแรงยิ่งกว่าเหล็กในขนาดของความหนาที่เท่ากัน ทว่ากลับมีเอกลักษณ์ของความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้มีศักยภาพของการประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางยิ่งกว่า อาทิ ใยแมงมุมแผลผ่าตัด/ประสาท พูลาสเตอร์ปิดแผล เอ็นสังเคราะห์ที่ยืดกลายเนื้อ/กระดูก สิ่งทอ/เสื้อผ้า/เสื้อเกราะ เชือก/เอ็น/แห เป็นต้น

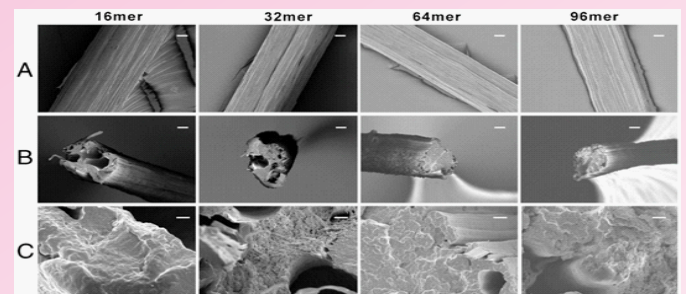
เซลล์พันธุวิศวกรรม *E. coli* BL21(DE3) ประกอบด้วยพลาสมิดรหัส pTetglyVXY หรือ pTetgly2 ซึ่งโคลนมาจากการถอดยีน MaSp1 ซึ่งควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่ได้จากแมงมุม *Nephila clavipes* โดยที่น้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนขนาด 100.7-284.9 kDa ที่สังเคราะห์ได้นั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนซ้ำของแบบมอนอเมอร์ยีนตั้งแต่ 32-96 ซ้ำ ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดน้ำหนักโมเลกุลของโปรตีนไหมจากแมงมุมที่มีขนาดเท่ากับ 250-320 kDa โปรตีนพันธุวิศวกรรมที่สังเคราะห์ได้เหล่านี้จะประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดไกลซีนสูงถึง 43-45 เปอร์เซ็นต์ จะเน้นการปรับปรุงวิธีการสร้างและสลายในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีนไหม จึงต้องพิจารณาผ่านขั้นตอนของการสังเคราะห์ Glycyl-tRNA เป็นหลัก/เอนไซม์ Glycyl-tRNA synthase โดยอาศัยการสนับสนุนของเอนไซม์ serine hydroxymethyltransferase (GlyA)/เพื่อใช้ในการสังเคราะห์ไกลซีนรวมอยู่ด้วย จะเน้นการเพิ่มปริมาณของ tRNAGly/จากชุดของยีน *E. coli* glyVXY และปริมาณไกลซีน/จากการทำงานของยีน *glyA* จะเป็นปัจจัยสำคัญร่วมกันส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนไหมได้ในที่สุด

การเพาะเลี้ยงเซลล์ความหนาแน่นสูง การเพาะเลี้ยงเซลล์ระดับฟลask ใช้ปริมาตร 20 มิลลิลิตร/ฟลaskขนาด 250 มิลลิลิตร บมเขย่า 220 รอบ/นาที ความคุมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และเติมสารเหนียว IPTG ปริมาณ 1 มิลลิโมลาร์ (เมื่อสารแขวนลอยเซลล์มีความขุ่น OD<sub>600</sub> = 0.4) ส่วนการเพาะเลี้ยงเซลล์ในถังหมัก ใช้ปริมาตร 2 ลิตร/ถังหมักแบบกวนขนาด 6.6 ลิตร ในอาหารเพาะเลี้ยงขั้นต่ำที่มีปริมาณกลูโคส 10 กรัม/ลิตร ความคุมพีเอช 6.80 (28% NH<sub>4</sub>OH) ออกซิเจนละลายประมาณ 40% (ออกซิเจนบริสุทธิ์) และเติมอาหารไหม (ประกอบด้วยสารละลายกลูโคส 700 กรัม/ลิตร และ MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 20 กรัม/ลิตร) แบบครั้งคราวด้วยเทคนิคพีเอชคงที่ (pH-stat) และเติมสารเหนียว IPTG ปริมาณ 1 มิลลิโมลาร์ เมื่อน้ำหนักมีความขุ่นของเซลล์ OD<sub>600</sub> = 60 (ปริมาณเซลล์ >42 กรัม/ลิตร/ปริมาณโปรตีนไหม 0.5-2.7 กรัม/ลิตร) บมทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บเกี่ยวเซลล์ที่เพาะเลี้ยงได้จากน้ำหมัก

การทำโปรตีนไหมพันธุวิศวกรรมให้บริสุทธิ์ สกัดโปรตีนด้วยการแขวนลอยเซลล์ที่เก็บเกี่ยวได้ในสารละลายบัฟเฟอร์ A (1 mM Tris-HCl, pH 8.0, 20 mM NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) ที่ผสมกับสารละลายที่มียูเรีย 8 โมลาร์/ไทออยเรีย 2 โมลาร์ บมทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง จากนั้นปรับพีเอชเป็น 4.0 ด้วยกรดแอสติกเซมซัน ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง เมื่อเหวี่ยงแยกเซลล์ออกไปแล้วจะได้อ้วนใสที่จะนำไปตกตะกอนโปรตีนแบบลำดับ ส่วนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 1.32 และ 2.80 โมลาร์ตามลำดับ เก็บรวบรวมโปรตีนที่ตกตะกอนได้ทั้งสองครั้ง นำมาละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ A/ที่มียูเรีย 8 โมลาร์ ทำการไดเอลลิซิสสารละลายโปรตีนในสารละลายบัฟเฟอร์ A/ที่มียูเรีย 1.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และไดเอลลิซิสในน้ำต่อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเหวี่ยงแยกตะกอนที่เกิดขึ้นทิ้ง จะได้ส่วนใสที่จะถูกนำไปทำให้เข้มข้นด้วยการเหวี่ยงแยกน้ำออกด้วยการกรองผ่านเยื่อ

สุดท้ายจึงทำแห้งโปรตีนบริสุทธิ์ที่ได้ด้วยการแช่เยือกแข็ง (จะได้โปรตีนไหม 1.2 กรัม/ลิตร ที่มีความบริสุทธิ์ 90 เปอร์เซ็นต์) เพื่อเก็บรักษา/คงคุณสมบัติของโปรตีนไว้ได้เป็นเวลานาน

การปั่นโปรตีนไหมพันธุวิศวกรรมเป็นเส้นใยไหม ดำเนินการได้โดยการเตรียมสารละลายโปรตีนไหม 20 เปอร์เซ็นต์/ในตัวทำละลายเฮกซะฟลูออโรไอโซพรอพานอล (HFIP) และฉีดสารผสมโปรตีนดังกล่าวลงในสารละลายเมทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร) ผ่านเข็มเบอร์ 26 G ด้วยเครื่องสูบลมความดันสูงในอัตราไหล 1-2 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ยืดเส้นใยที่ได้ออกด้วยมือเพื่อเพิ่มความยาวประมาณ 5 เทา และแช่เส้นใยโปรตีนที่ปั่นได้ในสารละลายเมทานอลต่อเป็นเวลา 20 นาที ก่อนทำการเก็บเกี่ยวสุดท้าย ซึ่งพบว่าเส้นใยโปรตีนชนิด 96-mer ที่มีน้ำหนักโมเลกุล ขนาด 284.9 kDa จะให้คุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด (ได้แก่ elongation = 15±5%, tenacity= 508±108 MPa/ความสูงของกราฟ stress-strain และ Young's modulus = 21±4 GPa/ค่าความชันของกราฟ stress-strain เป็นต้น) ซึ่งใกล้เคียงกับไหมแมงมุมธรรมชาติ (*N. clavipes*, 18-27%, 740-1,200 MPa และ 11-14 GPa ตามลำดับ)



ภาพที่ 1 สารละลายโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ (A) พื้นผิวเส้นใย และ (B-C) แกนภายในเส้นใย (มอนอเมอร์ซ้ำ, 16mer-96mer: แสดงขนาดของโมเลกุลโปรตีน, 54.6-284.9 kDa) (ขนาดของบาร์: A-B, 10 ไมครอน และ C, 1 ไมครอน) ที่มา: Xia et al., 2010

ประเด็นสำคัญของการใช้ประโยชน์จากไหมแมงมุมเชิงประยุกต์ก็คือ วิสัยสามารถของกระบวนการผลิตขนาดใหญ่/การมีสมบัติเชิงกลเทียบเท่าได้กับไหมแมงมุมธรรมชาติ ปัจจุบันเซลล์พันธุวิศวกรรมสามารถผลิตโปรตีนไหม/ไกลซีน 44.9 เปอร์เซ็นต์ที่มีขนาดโมเลกุลสูงถึง 284.9 kDa ได้แล้ว ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับโปรตีนไหมแมงมุมธรรมชาติ/เมื่อปั่นเป็นเส้นใยแล้วก็มีสมบัติเชิงกลทัดเทียมเช่นเดียวกัน จึงคาดว่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาการผลิตทางชีวภาพอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงประยุกต์ได้อย่างกว้างขวาง



ภาพที่ 2 เส้นใยแมงมุมมวลโมเลกุลสูงผลิตจากแบคทีเรียพันธุวิศวกรรม *E. coli* ที่มา: Sievers and Keith, 2011

เอกสารอ้างอิง Xia, X.-X. et al. 2010. Native-sized recombinant spider silk protein produced in metabolically engineered *Escherichia coli* results in a strong fiber. PNAS 107(32), 14059-14063. • Handwerk, B. 2010. Artificial spider silk could be used for armor, more. National Geographic News, October 28. • Sievers, V. and T. Keith. 2011. Biotechnol. J. 6, 259-261.

ມິຖຸນາຍນ, 2554

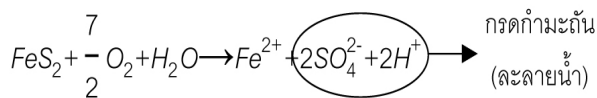
ປຶ້ມຄຳ

# นวัตกรรมการแก้ดิน

ศิวพร วรณวิไล\* / สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล\*

คนไทยมีความรู้และความสามารถไม่แพ้ชาติใด ๆ ดังจะเห็นได้จากการสร้างวิธีการหรืออุปกรณ์แปลกใหม่ขึ้นที่เรียกกันว่า “นวัตกรรม” โดยหนึ่งในสุดยอดนวัตกรรมของไทยก็คือ **โครงการแก้ดิน** ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่พระเกียรติที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงพระราชทานเพื่อแก้ปัญหาดินเปรี้ยวให้สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อีก

จากสภาพดินของพื้นที่ป่าพรุหรือพื้นที่ราบลุ่มตามชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่มีส่วนประกอบของเหล็กและกำมะถันในรูปสารประกอบไพไรต์ ( $FeS_2$ ) เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะปลดปล่อยกรดกำมะถันออกมา (ภาพที่ 1)

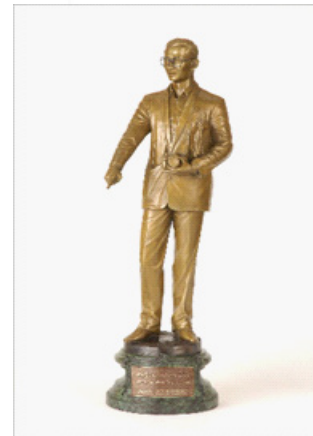


ภาพที่ 1 การปลดปล่อยกรดกำมะถันจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบไพไรต์กับออกซิเจน

โครงการแก้ดินจึงถูกจัดตั้งขึ้นตามพระราชดำริที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และแก้ไขปรับปรุงความเป็นกรดของดินกำมะถัน โดยเริ่มจากการ “แก้ดินให้เปรี้ยว” เพื่อจำลองสภาพดินเปรี้ยวและฤดูฝนให้กับดินด้วยการทำให้ดินแห้ง (พีเอช  $\leq 4$ ) และเปียก (พีเอช 5-7) สลับกันไป เพื่อเร่งปฏิกิริยาทางเคมีของดิน ทำให้ดินเปรี้ยวจัดหรือเป็นกรดจัดแล้วทำการแก้ไขตามวิธีการตามแนวพระราชดำริดังนี้

1. การควบคุมระดับน้ำใต้ดินให้อยู่เหนือชั้นดินที่มีสารประกอบไพไรต์ เพื่อป้องกันการเกิดกรดกำมะถันจากปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบไพไรต์กับออกซิเจนในอากาศ โดยอาศัยระบบการระบายน้ำ และระบบชลประทาน
2. การปรับปรุงดินเพื่อใช้ทำนาหรือปลูกพืชล้มลุกในฤดูแล้ง โดยใช้น้ำชะล้างความเป็นกรด การไถพรวนคลุกเคล้าหน้าดิน และการไถพรวนอัตราต่ำเพื่อสะท้อนกรดควบคู่กับการใช้น้ำชะล้างดินและควบคุมระดับน้ำใต้ดิน
3. การปรับสภาพพื้นที่เพื่อใช้ปลูกไม้ผลหรือพืชล้มลุก โดยการรองปลูกพืชและทำคันดินล้อมรอบ แต่ต้องไม่ขุดดินชั้นล่างมาทับดินชั้นบนและต้องใช้น้ำชะล้างความเปรี้ยวควบคู่กับการไถพรวน

หลังจากปรับปรุงดินเรียบร้อยแล้ว พื้นที่ดังกล่าวก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น ปลูกข้าว ปลูกพืชล้มลุก ปลูกไม้ผล และเลี้ยงปลาได้ โดยตัวอย่างพื้นที่ที่ประสบผลสำเร็จในการนำทฤษฎีแก้ดินไปใช้แก้ปัญหา คือ บ้านโคกอิฐ-โคกโน อำเภอดำรงวิทยาราม จ.สุรินทร์ จากพื้นที่นาไม่ได้ผลจนปลูกข้าวได้ 40-50 ถังต่อไร่



ภาพที่ 2 พระบรมรูปพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ “พระบิดาแห่งนวัตกรรมไทย”

ที่มา: <http://www.nia.or.th>

และจากความสำเร็จของโครงการแก้ดินในการแก้ไขปัญหาดินเปรี้ยวโดยยังไม่มีที่ใดในโลกดำเนินงานในลักษณะดังกล่าว และด้วยพระอัจฉริยภาพ รวมถึงพระปรีชาสามารถด้านนวัตกรรมของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวที่ใช้การผสมผสานนวัตกรรมทางด้านเทคโนโลยีควบคู่กับนวัตกรรมด้านการบริหารจัดการ จนกระทั่งได้วิธีแก้ไขดินเปรี้ยวที่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีมติเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรีที่มติพระเกียรติพระองค์ท่านเป็น “พระบิดาแห่งนวัตกรรมไทย” ซึ่งทรงเป็นแบบอย่างและแรงบันดาลใจของนักนวัตกรรมไทยที่จะสร้างสรรค์ผลงานนวัตกรรมให้เป็นที่ประจักษ์แก่สายตาชาวโลกสืบต่อไป

เอกสารอ้างอิง โครงการศูนย์การศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. 2529. คู่มือการปรับปรุงดินเปรี้ยวจัดเพื่อการเกษตร. 75 น. • สำนักงานเลขาธิการคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร). 2540. แนวคิดและทฤษฎีการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำรินพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. 299 น. • สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน). 2553. สุดยอดนวัตกรรมไทย เล่มที่ 6. พิมพ์ครั้งที่ 1. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

กรกฎาคม, 2554

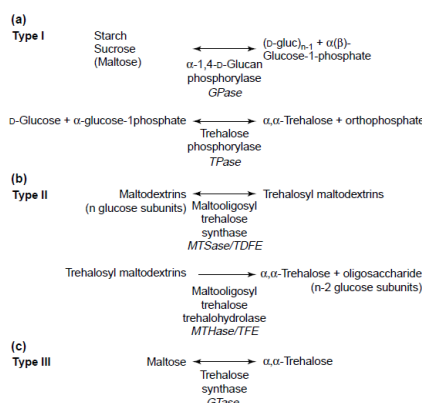
# การเกษตรและ อุตสาหกรรมเกษตร

# ทรีฮาโลส น้ำตาลเพื่ออุตสาหกรรม

สุนทรียะ ละเอียด\* / ประมุข ภาณุสุทธิตย\* \*

ทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคสสองโมเลกุลที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha, \alpha-1,1$  จึงไม่มีคุณสมบัติของน้ำตาลรีดิวซ์/non-reducing sugar ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหวานเพียง 45 เปอร์เซ็นต์ของซูโครส ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะมีความสามารถในการละลาย 68.9 กรัมต่อน้ำ 100 กรัม มีความคงตัวในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง/สภาวะที่เป็นกรด มีค่าพลังงานเท่ากับ 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม เช่นเดียวกับน้ำตาลทั่วไป น้ำตาลชนิดนี้จะถูกย่อยโดยเอนไซม์ทรีฮาเลสและดูดซึมในส่วนของลำไส้เล็ก อย่างไรก็ตาม บางคนอาจไม่พบการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าว

สิ่งมีชีวิตหลายชนิดมีความสามารถในการผลิตทรีฮาโลส แต่สิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญในการผลิตทรีฮาโลสมากที่สุด คือ จุลินทรีย์ โดยเฉพาะจุลินทรีย์จำพวกยีสต์และแบคทีเรีย การผลิตทรีฮาโลสจะเกิดขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิต่ำ ความเข้มข้นของเกลือสูง ความเป็นกรด-ด่างสูง เป็นต้น ซึ่งจะทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตและทนต่อสภาวะต่าง ๆ เหล่านั้นได้ โดยมีวิถีในการสังเคราะห์แบ่งตามของกลูโคสที่ใช้ในการสังเคราะห์ทรีฮาโลสได้ 3 วิธี วิธีแรกประกอบด้วยการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์  $\alpha-1,4$ -D-Glucan phosphorylase (GPase) และเอนไซม์ Trehalose phosphorylase (TPase) จะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแบ่งให้เป็นโมเลกุลทรีฮาโลส (ภาพที่ 1a) วิธีต่อมาประกอบด้วยการทำงานของเอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ Maltooligosyl trehalose synthase (MTSase) และเอนไซม์ Maltooligosyl trehalose trehalohydrolase (MTHase) จะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงมอลโทเดกซ์ทรินให้เป็นโมเลกุลทรีฮาโลส (ภาพที่ 1b) วิธีสุดท้ายเป็นการทำงานของเอนไซม์ Trehalose synthase (GTase) จะเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนมอลโทสเป็นทรีฮาโลสแบบผันกลับได้ในขั้นตอนเดียว (ภาพที่ 1c)



ภาพที่ 1 การสังเคราะห์ทรีฮาโลสด้วยเอนไซม์ที่แตกต่างกัน (a) glucose/maltose phosphorylase และ trehalose phosphorylase (b) maltooligosyl trehalose synthase และ maltooligosyl trehalose trehalohydrolase และ (c) trehalose synthase

ที่มา: Schiraldi และคณะ, 2002

\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ปัจจุบันมีการนำทรีฮาโลสมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ได้แก่ เตรียมเวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง ตลอดจนนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การใช้ประโยชน์ทรีฮาโลสในอุตสาหกรรมอาหาร

| ชนิดอาหาร    | ตัวอย่าง                                            |
|--------------|-----------------------------------------------------|
| อาหารแห้ง    | ไข่ ผัก ปลา เนื้อ ธัญพืช ถั่ว เคิร์ด นมผง ผลไม้ ชุป |
| อาหารแช่แข็ง | อาหารปรุงสุกทั่วไป                                  |
| ลูกกวาด      | ลูกอม หมากฝรั่ง ช็อกโกแลต                           |
| ขนมหวาน      | เค้ก ขนมอบ แยม ครีม เค้กข้าว                        |
| เครื่องดื่ม  | กาแฟ ชา น้ำผลไม้ เครื่องดื่ม                        |
| อาหารหมัก    | ขนมปัง โยเกิร์ต                                     |
| อาหารเข้มข้น | น้ำผลไม้                                            |
| อาหารอัดเม็ด | อาหารเม็ด เวชภัณฑ์                                  |
| อื่น ๆ       | ไอศกรีม ซอส สารให้ความหวาน เครื่องปรุงรส            |

เนื่องจากทรีฮาโลสมีความหวานอย่างอ่อน ๆ ละลายได้ดี ให้พลังงานต่ำ ดูดซับความชื้นได้ดี และยังมีคุณสมบัติในระหว่างกระบวนการผลิตและเก็บรักษา จึงสามารถนำมาใช้ในการเตรียมอาหารได้หลากหลายชนิด

ที่มา: Schiraldi และคณะ, 2002

เนื่องจากทรีฮาโลสมีคุณสมบัติที่มีรสหวานเล็กน้อย ให้พลังงานต่ำ ละลายได้ดีในน้ำ สามารถคงตัวอยู่ได้ในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ ช่วยลดการสูญเสีย น้ำ ดูดความชื้นต่ำ และสามารถป้องกันการทำลายโปรตีน ไม่เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard's reaction) จึงมีความปลอดภัยในการนำมาบริโภค และยังเป็นน้ำตาลที่ได้รับการยอมรับความปลอดภัยจากการควบคุมของสหภาพยุโรป นอกจากนี้ ยังมีการนำทรีฮาโลสมาใช้ในการทำเบียร์ ช็อกโกแลต ลูกกวาด เบเกอรี่ นม และผลิตภัณฑ์จากผลไม้ ซึ่งสามารถช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดในผลไม้อบแห้ง และยังเป็นสารไครโอโพรเทกแทนต์/cryoprotectant ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถป้องกันการสูญเสียสภาพของโปรตีน และลดการเปลี่ยนรูปในซูริมิและอาหารแช่แข็งชนิดอื่น ๆ

จากคุณสมบัติที่ดีเลิศของทรีฮาโลส และการนำทรีฮาโลสมาประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง จึงน่าจะเป็นสิ่งที่พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่า น้ำตาลชนิดนี้ เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสาขาต่าง ๆ ให้มากขึ้นได้ในอนาคต โดยเฉพาะในกลุ่มของอุตสาหกรรมอาหารน่าจะมีเพิ่มมากขึ้นอยู่ตลอดเวลา

**เอกสารอ้างอิง** George, H. 2010. Available Source: <http://www.wise-geek.com/what-is-trehalose.htm>, October 28, 2010. • Higashiyama, T. 2002. Pure Appl. Chem. 74(7), 1263-1269. • Richards, A.B. et al. 2002. Food Chem. Toxicol. 40, 871-898. • Schiraldi, C. et al. 2002. Trends Biotechnol. 20, 420-425. • <http://en.wikipedia.org/wiki/Trehalose>.

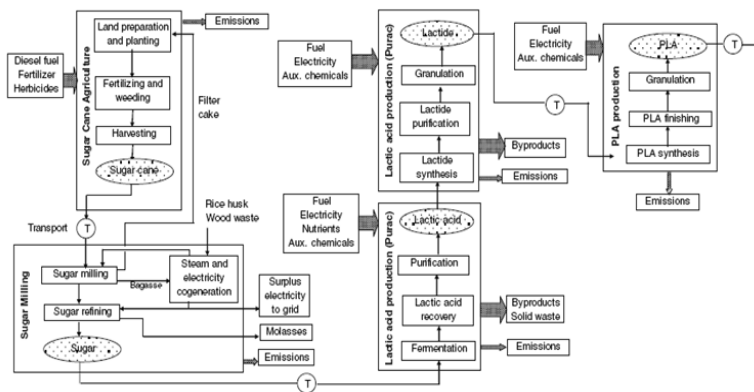
กรกฎาคม, 2554

# สิ่งแวดล้อม และพลังงาน

# วัฏจักรชีวิตของพลาสติกชีวภาพ

ชนิกา ชื่นแสงจันทร์\* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล\*

ในปัจจุบันการผลิตกรดแลกติกเพื่อสังเคราะห์เป็นพลาสติกชีวภาพหรือพอลิแลกติกแอซิดในระดับอุตสาหกรรมทั่วโลกมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม นอกจากการพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมากและมีคุณภาพสูงแล้ว การให้ความสำคัญกับผลกระทบของผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัยเพิ่มมากขึ้น โดยเน้นการศึกษากระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การแปรรูปผลิตภัณฑ์ และการจัดการของเสียจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เรียกว่า การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle assessment: LCA) อันประกอบด้วย การบ่งชี้และระบุปริมาณการแพร่กระจายของมลพิษในสิ่งแวดล้อม การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการประเมินโอกาสการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 1 แผนภาพใช้การผลิตพอลิแลกติกแอซิดจากวัฏจักรทางการเกษตร ที่มา: Groot และคณะ, 2010

ในแต่ละขั้นตอนของการผลิต ดังภาพที่ 1 เริ่มตั้งแต่การเพาะปลูกอ้อย การบดและหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาล การขนส่ง การสังเคราะห์แลกไทด์และพอลิแลกติกแอซิด จนกระทั่งถึงการย่อยสลายผลิตภัณฑ์พอลิแลกติกแอซิด จากนั้นจะเป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แหล่งวัตถุดิบ การใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกวัตถุดิบ การเกิดภาวะกรดในสิ่งแวดล้อม การลดลงของชั้นโอโซนในบรรยากาศ การเกิดสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และการมีปริมาณแร่ธาตุในแหล่งน้ำสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพอลิแลกติกแอซิดมีการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกและศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกน้อยกว่าพอลิเมอร์ที่ผลิตจากกระบวนการทางปิโตรเคมี และเมื่อคำนวณค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก กระบวนการผลิต L-lactide มีค่า GWP 300-600 kg CO<sub>2</sub> eq./tone ในขณะที่กระบวนการผลิต PLLA มีค่า GWP 500-800 kg CO<sub>2</sub> eq./tone โดยการใช้พลังงานหรือวัตถุดิบที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกมาจากขั้นตอนการบดอ้อย ในกรณีของพอลิเมอร์ผสม PLLA/PDLA ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติการทนความร้อนเพิ่มมากขึ้นด้วย

สำหรับประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์พอลิแลกติกแอซิดหรือพอลิเมอร์ของกรดแลกติก ได้แก่ L-lactide, D-lactide, PLLA และพอลิเมอร์ผสม PLLA/PDLA โดยใช้แหล่งคาร์บอนในกระบวนการหมักที่อาศัยน้ำตาลจากอ้อย ซึ่งจัดเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สามารถเกิดทดแทนใหม่ได้ และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ที่ได้จากกรรมวิธีทางปิโตรเคมี กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตของพอลิแลกติกแอซิด เริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจก (Green house gasses: GHG) และศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Global warming potential: GWP)

อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์พอลิแลกติกแอซิดยังคงมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่าง ๆ อยู่บ้าง เช่น การเกิดภาวะกรด การลดลงของชั้นโอโซน การมีปริมาณแร่ธาตุในแหล่งน้ำสูงขึ้น และการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูก เป็นต้น โอกาสสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิแลกติกแอซิดให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดยังคงมีความเป็นไปได้และต้องการการพัฒนาอย่างต่อเนื่องต่อไป โดยเฉพาะการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตและการปรับปรุงขั้นตอนการบดอ้อยให้มีการใช้พลังงานและมีค่าการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกน้อยลง รวมถึงการเพาะปลูกอ้อยที่ควรพัฒนาให้มีผลได้น้ำตาลต่อปริมาณการเพาะปลูกสูงขึ้น และใช้ปุ๋ยให้น้อยลงเพื่อควบคุมค่าการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจก ยิ่งไปกว่านั้นการปรับปรุงให้มีการผลิตและใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น การใช้ขานอ้อย/แกลบ เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จะช่วยส่งเสริมให้การปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตพลาสติกชีวภาพมีโอกาสบรรลุผลสำเร็จมากขึ้น

**เอกสารอ้างอิง** Groot, W.J. and T. Boren. 2010. Life cycle assessment of the manufacture of lactide and PLA biopolymers from sugarcane in Thailand. Int. J. Life Cycle Assess. 15, 970-984. • Vink, E.T.H. et al. 2003. Applications of life cycle assessment to NatureWorksTM polylactide (PLA) production. Polym. Degrad. Stabil. 80, 403-419.

\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# สไปรูลิน่า กับ มหัศจรรย์ทางการแพทย์

มนชัย เดชสังกรานนท์\* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล\*

สำหรับสไปรูลิน่า นอกจากจะมีความสำคัญด้านอาหารแล้ว ยังมีบทบาทสำคัญต่อการแพทย์อีกด้วย ผลการวิจัยทางการแพทย์ยืนยันว่าสไปรูลิน่ามีสรรพคุณในการป้องกันโรคมะเร็งมากกว่าการรักษา การศึกษาในสัตว์ทดลองหลายชนิด พบว่าสัตว์ทดลองจะมีสุขภาพดีขึ้นหลังจากที่ได้กินสไปรูลิน่า ซึ่งเป็นผลมาจากสารโภชนเภสัชที่มีอยู่ในสไปรูลิน่านั่นเอง ฉะนั้นจึงสามารถสรุปบทบาทของสไปรูลิน่าต่อสุขภาพจากผลงานวิจัยทางการแพทย์ได้ดังนี้

1. **กระตุ้นภูมิคุ้มกัน** การให้สัตว์ทดลองกินสไปรูลิน่าในปริมาณที่เหมาะสมสามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันได้ เช่น การให้ไก่กินอาหารที่ผสมสไปรูลิน่าในปริมาณ 1,000 ppm พบว่าสามารถลดปริมาณแบคทีเรียในกระแสเลือดและม้ามได้ นอกจากนี้สไปรูลิน่ายังช่วยกระตุ้นการหลั่งสาร interleukin (IL)-1 $\beta$  IL-4 และ interferon ในเซลล์ human peripheral blood mononuclear ได้อีกด้วย การทดลองในชายอายุ 40 ปี โดยให้ดื่มเครื่องดื่มที่ผสมสารสกัดน้ำร้อนจากสไปรูลิน่าเป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ พบว่าระดับภูมิคุ้มกันของร่างกายเพิ่มขึ้น

2. **ต้านออกซิเดชัน** สารสกัดและสารโภชนเภสัชหลายชนิดจากสไปรูลิน่าสามารถต้านออกซิเดชันได้ เช่น สารสกัดแอลกอฮอล์สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของไขมันได้ถึง 65 % ซึ่งสูงกว่า แอลฟา-โทโคฟีรอล BHA (butyrate hydroxyl anisole) และ บีตา-แคโรทีน นอกจากนี้พบว่า ซี-ไฟโคไซยานินจากสไปรูลิน่าสามารถต้านอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลและแอลคอกซิล โดยมีค่า IC<sub>50</sub> (inhibitory concentration) เท่ากับ 0.91 mg/ml และ 76  $\mu$ g/ml ตามลำดับ และพบว่าซี-ไฟโคไซยานินมีสมบัติในการกำจัดออกซิเจน (oxygen-scavenging activity) น้อยกว่า เอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) เพียง 3 เท่า

3. **ต้านมะเร็ง** พอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากสไปรูลิน่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์ ascetic hepatoma cells ในหนูทดลองได้ และพบว่าแคลเซียมสไปรูลิน่า ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์จากสไปรูลิน่า สามารถยับยั้งการขยายตัวของเนื้องอก (tumor invasion) และการขยายตัวของเซลล์มะเร็ง (metastasis) และพบว่าซี-ไฟโคไซยานินจากสไปรูลิน่าสามารถยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (human leukemia K562 cells) ได้ด้วย

4. **ต้านไวรัส** จากรายงานวิจัยทางการแพทย์แสดงให้เห็นว่า ซัลเฟตพอลิแซ็กคาไรด์หรือแคลเซียมสไปรูลิน่า จากสาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของไวรัสโรค



ภาพที่ 1 ลักษณะของสไปรูลิน่า

ที่มา: <http://www.goldbamboo.com/pictures-t6358.html>

เริม (Herpes simplex type I, HSV-1) ไวรัสโรคหัด (measles virus) ไวรัสโรคคางทูม (mumps virus) ไวรัสไข้หวัดใหญ่ (influenza A virus) ไวรัสโรคเอดส์ (HIV-1 virus) รวมถึง human cytomegalovirus (HCMV) ได้

5. **ลดระดับไขมัน** มีรายงานว่าเมื่อให้หนูกินอาหารที่ผสมสไปรูลิน่าในปริมาณ 5 % ปริมาณไตรกลีเซอไรด์และฟอสโฟลิพิดในตับจะน้อยกว่าหนูกลุ่มควบคุมและมีรายงานว่าหนูที่ได้กินอาหารผสมสไปรูลิน่าเป็นเวลา 14 วัน ปริมาณคอเลสเตอรอลทั้งหมด คอเลสเตอรอลชนิด HDL และ LDL ลดลง 31 20 และ 54 % ตามลำดับ และมีรายงานว่าสไปรูลิน่ายังส่งผลต่อการลดลงของปริมาณคอเลสเตอรอลชนิด LDL ไขมันทั้งหมด กรดไขมันอิสระ และ ไตรกลีเซอไรด์ในผู้ป่วยที่มีภาวะไขมันและความดันสูง รวมทั้งผู้ป่วยเบาหวานด้วย

6. **ผลต่อโรคเบาหวาน/โรคอ้วน/ระบบไหลเวียนโลหิต** มีรายงานว่า เมื่อให้ผู้ป่วยเบาหวานบริโภคอาหารที่ผสมสไปรูลิน่า 2 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 21 วัน ระดับน้ำตาลในเลือดจะลดลง และมีรายงานว่าพอลิแซ็กคาไรด์และซี-ไฟโคไซยานินจากสไปรูลิน่าส่งผลต่อ peripheral blood และ hematopoietic system ของไขกระดูก (bone marrow) ในหนูทดลอง และพบว่าส่วนที่ละลายน้ำของสไปรูลิน่าสามารถลดระดับกลูโคสในเลือดได้

7. **กระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพรอบิโอติก** งานวิจัยเกี่ยวกับแบคทีเรียพรอบิโอติก พบว่าเมื่อให้หนูทดลองกินสไปรูลิน่าในปริมาณ 5 % จำนวน *Lactobacillus* ในอุจจาระของหนูทดลองจะเพิ่มขึ้น 3 เท่าตัว และมีรายงานว่า สารสกัดจากสไปรูลิน่าสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดดีอีกหลายชนิด เช่น *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* เป็นต้น

**เอกสารอ้างอิง** Ayehune, S. et al. 1998. J. Acquired Imm. Def. Synd. Human Retro. 18, 7-12. • Belay, A. 2002. J. Amer. Nutra. Assoc. 5, 27-48. • Bhat, V.B. and K.M. Madyashta. 2000. Biochem. Biophys. Res. Com. 275, 20-25. • Cheng-wu, Z. et al. 1994. The 2nd Asia Pacific Conference on Algal Biotechnology, 58. • Hayashi, O. et al. 1994. J. Nutr. Sci. Vit. 40, 431-441. • Hirata, T. et al. 2000. J. Appl. Phycol. 12, 435-439. • Liu, Y. et al. 2000. J. Appl. Phycol. 12, 125-130. • Saeki, Y. et al. 2000. Summary of Paper Presented at the 30th Annual Meeting of the Japanese Society for Immunology, 14-16.

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรกฎาคม, 2554

# กฎหมาย และการศึกษา

# ชีววิทยาสังเคราะห์

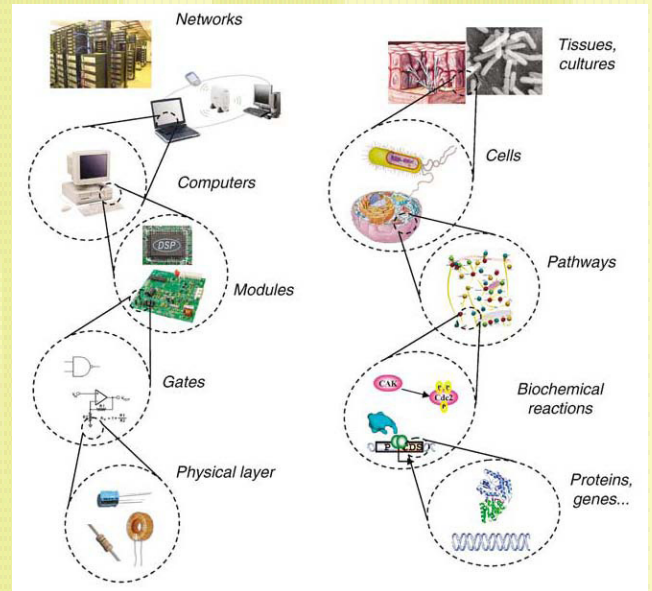
สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล\*

ชีววิทยาสังเคราะห์ จัดเป็นสาขาวิจัยทางชีววิทยาที่ได้บูรณาการวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมเข้าด้วยกัน เพื่อการออกแบบและสร้างฟังก์ชัน/ระบบชีววิทยาใหม่ที่ไม่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า “เซลล์ประดิษฐ์/artificial cell” โดยมีรากเหง้าขององค์ความรู้ทางด้านชีววิทยาโมเลกุลเป็นพื้นฐาน แต่แตกต่างจากพันธุวิศวกรรมแบบดั้งเดิมในแง่ที่เน้นการพัฒนาเทคโนโลยีรากฐานเพื่อสร้างเซลล์ประดิษฐ์ได้ง่าย/น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น การศึกษาสามารถจำแนกออกได้หลากหลาย อาทิ การออกแบบเซลล์แสง/photocell (ระบบการเพิ่มจำนวนของเซลล์ประกอบสังเคราะห์ได้ด้วยตนเอง) วิศวกรรม/การออกแบบชีวโมเลกุล (การสร้างชุดหน่วยฟังก์ชันที่สามารถสอดใส่ไว้ในเซลล์สิ่งมีชีวิตเพื่อแสดงหน้าที่ตามวัตถุประสงค์) และวิศวกรรมจีโนม (การสร้างโครโมโซมสังเคราะห์ของสิ่งมีชีวิต) เป็นต้น

นักชีววิทยาสังเคราะห์สร้างระบบสิ่งมีชีวิตประดิษฐ์อันซับซ้อน เพื่อสืบสวนปรากฏการณ์ชีววิทยาธรรมชาติและต่อยอดองค์ความรู้ด้วยนัยเชิงการประยุกต์ จึงกลายเป็นหลักวิศวกรรมใหม่ที่มีอัตลักษณ์ต่างไปจากสิ่งก่อกำเนิดโดยสังเคราะห์ การสร้างนวัตกรรมเซลล์ประดิษฐ์ใหม่ จึงดำเนินภายใต้กรอบของการคัดลอกเชิงชั้นของชิ้นส่วนชีวภาพ/โมดูล/เซลล์/ระบบพหุเซลล์ ตามลำดับ ซึ่งจะต้องระบุถึงบริบททางฟังก์ชันของชิ้นส่วนชีวภาพ/โมดูลของเซลล์โดยที่มีการออกแบบใหม่เชิงตรรกะและหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดด้วยการผ่าเหล่า/วิวัฒนาการทางตรง ซึ่งจะเน้นผลสัมฤทธิ์ไปยังประชากรเซลล์ยิ่งกว่าปัจเจกเซลล์ หลักเกณฑ์นี้ได้ขยายผลไปจากพันธุวิศวกรรมในอดีตที่คับแคบ ซึ่งได้ดำเนินกลยุทธ์เพียงขั้นตอนของการทำมาตรฐาน-standardization/การซ้ำและวิถี-decoupling/การคัดลอก-abstraction เท่านั้น

หลักการแห่งเป้าหมายและมาตรวิธีของชีววิทยาสังเคราะห์เปรียบเสมือนโครงสร้างของวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ แสดงดังภาพที่ 1 แต่ละชิ้นส่วน ณ เบื้องล่างได้ก่อร่างขึ้นเป็นองค์ประกอบของระบบที่ซับซ้อนยิ่งขึ้นด้วยเจตจำนง/การออกแบบพฤติกรรม ณ เบื้องสูง ดังเปรียบเทียบได้ว่า ดีเอ็นเอ/อาร์เอ็นเอ/โปรตีน/สารเมแทบอลิต์ เปรียบเทียบกับ ทรานสซิสเตอร์/คาแพซิเตอร์/รีซิสเตอร์ ในวิศวกรรมคอมพิวเตอร์นั่นเอง ร่วมกันประกอบขึ้นเป็นระดับชั้นของเครื่องมือ/device layer ที่เรียกว่า ปฏิภานชีวเคมี ที่ควบคุมการไหลของข้อมูล/จัดการกระบวนการทางกายภาพ เชกเชนดิงเกตส์/logic gates ที่ทำหน้าที่การคำนวณของคอมพิวเตอร์ ถัดขึ้นไปจึงจะเป็นระดับชั้นของโมดูล/module layer ซึ่งประกอบด้วยห้องสมุดทั้งหลายของเหล่าเครื่องมือชีวภาพที่ก่อปรขึ้นเป็นวิถี/pathway อันซับซ้อน ที่ทำหน้าที่คล้ายกับวงจรไอซี/integrate circuit ของคอมพิวเตอร์ การเชื่อมโยงของเหล่าโมดูลและการบูรณาการที่เกิดขึ้นภายใต้เซลล์เจ้าบ้านจะทำให้เซลล์สามารถดัดแปรพฤติกรรมเป็นไปตามเป้าประสงค์ได้

อย่างไรก็ดี ทำนองเดียวกับการทำงานของโครงข่ายคอมพิวเตอร์ ประชากรเซลล์ประดิษฐ์ทั้งหลายจำเป็นต้องสื่อสาร/บรรสานการทำงานร่วมกันเพื่อบรรลุเป้าหมายแบบเน็ตเวิร์กเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 1 โครงร่างของชีววิทยาสังเคราะห์เสมือนตรรกะและแรงบันดาลใจจากวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ที่มา: Andrianantoandro และคณะ, 2006

ฉะนั้นจึงเห็นได้ว่ามาตรฐานและมาตรวิธีที่สมบูรณ์แล้วของวิศวกรรมไฟฟ้า/เครื่องกลโยธา (ได้แก่ standardization/abstraction/modularity/predictability/reliability/uniformity) รวมทั้งซอฟต์แวร์ต่างก็เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการของชีววิทยาสังเคราะห์เป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในการเร่งความเร็ว/ตรวจทานกรรมวิธีการออกแบบของเซลล์ประดิษฐ์ แต่ก็สมควรกระทำด้วยความระมัดระวังอันเนื่องด้วยข้อจำกัดของความต่าง/อัตลักษณ์ระหว่างศาสตร์ทั้งหลาย การออกแบบสร้างโจทย์และแสวงหาคำตอบของระบบชีววิทยาย่อมมีเอกลักษณ์เฉพาะ สืบเนื่องด้วยเครื่องมือ/โมดูลต่างก็ไม่เป็นอิสระต่อกัน/ไม่สามารถดำรงฟังก์ชันอยู่นอกเหนือเฟสชีวภาพ แม้ว่าเซลล์เจ้าบ้านจะมีกลไกการทำงานที่ซับซ้อนและการแปรผันตามสภาวะแวดล้อมอย่างพลวัต ทว่าอาศัยองค์ความรู้ทางสถิติเพื่อการคาดการณ์การณ/ความน่าเชื่อถือได้ จากกลุ่มของประชากรเซลล์ที่เป็นอิสระจำนวนมากหรือเหล่าปัจเจกเซลล์ที่ถูกปรับตัวในการสื่อสารระหว่างกัน จึงคาดหวังว่าการสร้างเซลล์ประดิษฐ์ที่ลงเป้าหมายที่ลึกซึ้งได้นั้น จะต้องใช้กลยุทธ์/แผนปฏิบัติการของระบบพหุเซลล์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพื่อลวงพันวิสัยสามารถของวิศวกรรมปัจจุบัน จึงนำพาไปสู่ภาวะสัมฤทธิ์ผลได้ในที่สุด

**เอกสารอ้างอิง** Andrianantoandro, E. et al. 2006. Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. Mol. Syst. Biol. 2(2006.0028), 1-14 (doi:10.1038/msb4100073). • [http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic\\_biology](http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_biology).

\*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

# ชีววิทยาสังเคราะห์: เครื่องมือชีวภาพ

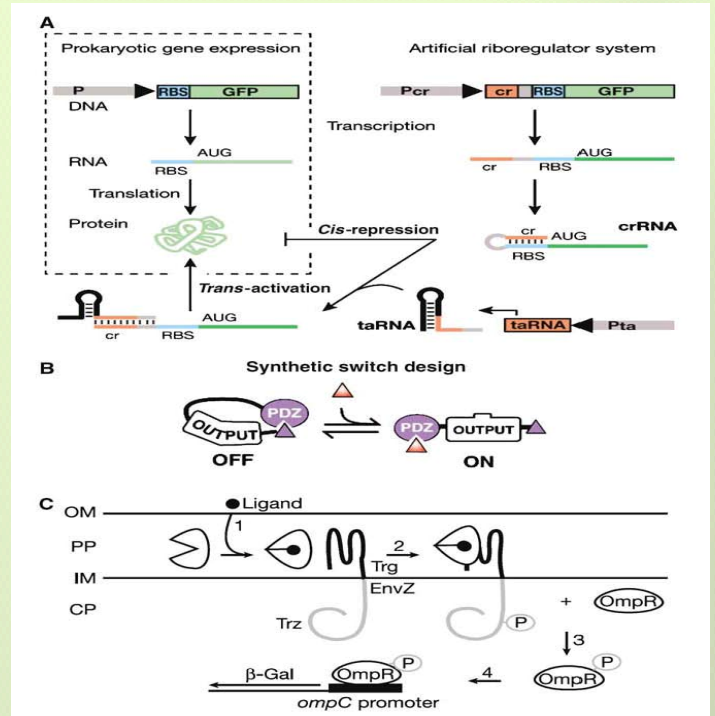
สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล\*

**เครื่องมือชีวภาพ/biological device** จัดเป็นองค์ประกอบ/หน่วยระดับฐานของ “เซลล์ประดิษฐ์/artificial cell” ซึ่งลำแสงส่วนของฟังก์ชันพื้นฐานตามที่กำหนด ทำหน้าที่แปลงคำสั่งอินพุตออกเป็นผลลัพธ์เอาต์พุตเพื่อควบคุมการไหลของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับบทบาทด้านการสร้างและสลาย/การสังเคราะห์ทางชีวภาพ ตลอดจนการสื่อสารระหว่างเครื่องมือชีวภาพทั้งมวลของระบบชีวภาพ ที่จะต้องตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยชุดของเหล่าปฏิกิริยาชีวเคมี ได้แก่ การถอดรหัส/การแปล/ฟอสฟอรีเลชันของโปรตีน/การควบคุมแบบแอลโลสเทอริก/การเชื่อมรีเซปเตอร์-ลิแกนด์/ปฏิกิริยาเอนไซม์ เครื่องมือชีวภาพอาจจะประกอบด้วยสารตั้งต้น/ผลิตภัณฑ์หลายชนิด (การถอดรหัส: ยีนควบคุม/แพกเกจถอดรหัส/ตำแหน่งโพรโมเตอร์/อาร์เอ็นเอ-พอลิเมอเรส) หรือเพียงจำนวนน้อยชนิด (ฟอสฟอรีเลชันของโปรตีน: ไคเนส/สับสเตรต) ซึ่งต่างก็มีข้อได้เปรียบ/ข้อด้อยแตกต่างกันออกไป จำเพาะไปตามกิจกรรมชีวภาพ/สเกลเวลา อย่างไรก็ตาม ความซับซ้อนของเหล่าปฏิกิริยาชีวเคมีไม่ได้เป็นเงื่อนไขที่จำกัดในการสร้างฟังก์ชันเชิงซ้อนของระบบชีวภาพอันซับซ้อนที่ประสงค์

เครื่องมือชีวภาพสังเคราะห์หนึ่งนวัตกรรมแรกที่มีการสร้างขึ้นมาก็คือการควบคุมการถอดรหัสด้วยการดัดแปรลำดับกรดอะมิโนของโพรโมเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกับแอนติบอดี/รีเพรสเซอร์ชนิดใหม่ภายในจุลินทรีย์พรีคาร์ิโอต/ยูคาริโอตได้ หรือในกรณีการควบคุมแบบไม่ถอดรหัส/non-transcriptional control ก็ปรากฏความสำเร็จได้ในจุลินทรีย์พรีคาร์ิโอต ซึ่งสามารถกำหนดการแสดงออก/การสงบของขั้นตอนการแปล/translation (ภาพที่ 1A) หรือผลสัมฤทธิ์ในการสโอดีอาร์เอ็นเอควบคุมชนิดสังเคราะห์นี้ในยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*/จุลินทรีย์ยูคาริโอต ซึ่งประกอบด้วยโดเมน aptamer-ที่เชื่อมต่อกับลิแกนด์จำเพาะ/โดเมน antisense-ที่มุ่งเป้าสู่ mRNA ฉะนั้นอาร์เอ็นเอสังเคราะห์ที่สโอดีจะเปลี่ยนรูปร่างเมื่อจับตัวกับลิแกนด์ ทำให้โดเมน antisense สามารถเข้าจับกับ mRNA เป้าหมายได้ จึงเกิดขึ้นตอนของการควบคุมการแปลต่อไปได้

เครื่องมือชีวภาพชนิดควบคุมการถอดรหัส/การแปลเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ยืดหยุ่นและง่ายต่อการสร้าง ดังการกำหนดลำดับกรดอะมิโนที่แสดงถึงความจำเพาะและประสิทธิภาพของอันตรกิริยา ตลอดจนความสามารถในการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องมือสองชุดเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ระบบควบคุมการถอดรหัสยังประกอบด้วยสมบัติเสริม อาทิ การขยายสัญญาณ/การควบคุมร่วมด้วย พหุแพกเกจของการถอดรหัส/การควบคุมพหุเป้าหมายท้ายกระแส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การแสดงออกของยีนส์เกิดขึ้นโดยให้ระยะเวลาเป็นนาที่ เนื่องจากระบบการสังเคราะห์โปรตีนต้องอาศัยปฏิกิริยาชีวเคมีจำนวนมาก จึงทำให้การวัดผลลัพธ์เอาต์พุตต้องใช้เวลานานขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องมือชีวภาพเหล่านี้ยังจะต้องใช้ทรัพยากรของเซลล์ปริมาณมากระหว่างการทำงานในแต่ละฟังก์ชัน

เครื่องมือชีวภาพชนิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีน-ลิแกนด์/โปรตีน-โปรตีน แตกต่างไปจากเครื่องมือชีวภาพชนิดการควบคุมการถอดรหัสข้างต้น กล่าวคือต้องอาศัยการดัดแปรสารตั้งต้นหลากหลายชนิด ดังตัวอย่างของการสร้างกลไกของเกตแบบแอลโลสเทอริก(ดังภาพที่ 1B)/เอนไซม์ที่มีโปรตีนสวิตช์/เอนไซม์ไฮบริดจากวิธีผ่าเหล่า เป็นต้น



ภาพที่ 1 แบบชนิดของเครื่องมือชีวภาพสังเคราะห์ (A) non-coding RNA device (B) สวิตช์ประดิษฐ์/allosteric protein และ (C) engineered receptor สำหรับลิแกนด์ trinitrotoluene (TNT)/L-lactate/serotonin ที่มา: Andrianantoandro และคณะ, 2006

เครื่องมือชีวภาพชนิดอันตรกิริยาระหว่างโปรตีน-ลิแกนด์/โปรตีน-โปรตีน แตกต่างไปจากเครื่องมือชีวภาพชนิดการควบคุมการถอดรหัสข้างต้น กล่าวคือต้องอาศัยการดัดแปรสารตั้งต้นหลากหลายชนิด ดังตัวอย่างของการสร้างกลไกของเกตแบบแอลโลสเทอริก (ดังภาพที่ 1B)/เอนไซม์ที่มีโปรตีนสวิตช์/เอนไซม์ไฮบริดจากวิธีผ่าเหล่า เป็นต้น

เครื่องมือชีวภาพชนิดออกแบบด้วยวิศวกรรมโปรตีนเชิงโครงสร้างระบบสามมิติ เพื่อจำลองตำแหน่งเชื่อมต่อ-binding site/ตำแหน่งกัมมันต์-active site ในการกำหนดความต่างของกิจกรรมเอนไซม์ที่พึงต้องการ ดังตัวอย่างของการออกแบบรีเซปเตอร์ของแบคทีเรีย *Escherichia coli* ที่สามารถตอบสนองต่อลิแกนด์ธรรมชาติได้หลากหลายชนิด (TNT, L-lactate, serotonin) (ดังภาพที่ 1C) ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบซ้ำแล้วซ้ำเล่า/การผ่าเหล่าใช้ซ้ำกรดอะมิโนที่กำหนดไว้จึงจะประสบผลสัมฤทธิ์ได้ในที่สุด

ข้อได้เปรียบของเครื่องมือชีวภาพชนิดอันตรกิริยาโปรตีน-ลิแกนด์/โปรตีน-โปรตีน จะอาศัยกลไก/กรรมวิธีการสังเคราะห์โปรตีนไม่มากนัก จึงไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรของเซลล์เจ้าบ้าน เพื่อผลลัพธ์เชิงฟังก์ชันที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วระดับเสี้ยววินาทีเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถขยายสัญญาณและนำเอาโคเอนไซม์ไปปฏิกิริยาฟอสฟอรีเลชันและเอนไซม์ใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย ซึ่งย่อมแตกต่างไปจากเครื่องมือชีวภาพชนิดควบคุมการถอดรหัส/การแปลที่ต้องใช้เวลาที่ยาวนานกว่าในการลำแสงออกเชิงฟังก์ชันของเซลล์ประดิษฐ์ อย่างไรก็ตาม ฟังก์ชันเหล่านี้ต่างก็ถูกกำหนดเงื่อนไขโดยสารตั้งต้นปฏิกิริยาชีวเคมีที่เลือกไว้ ณ เบื้องต้น แต่ปัจจัยสำคัญลำดับถัดไปที่จะต้องตระหนักก็คือ วิธีการเชื่อมโยง/ประกอบกลุ่มของเครื่องมือชีวภาพที่แตกต่างเหล่านี้ ออกแบบ/สร้างขึ้นเป็นโมดูลที่ทรงประสิทธิภาพนั่นเอง

**เอกสารอ้างอิง** Andrianantoandro, E. et al. 2006. Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. *Mol. Syst. Biol.* 2(2006.0028), 1-14 (doi:10.1038/msb4100073). • [http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic\\_biology](http://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic_biology).

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรกฎาคม, 2554

วิศวกรรมเคมีชีวภาพ

และ

วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

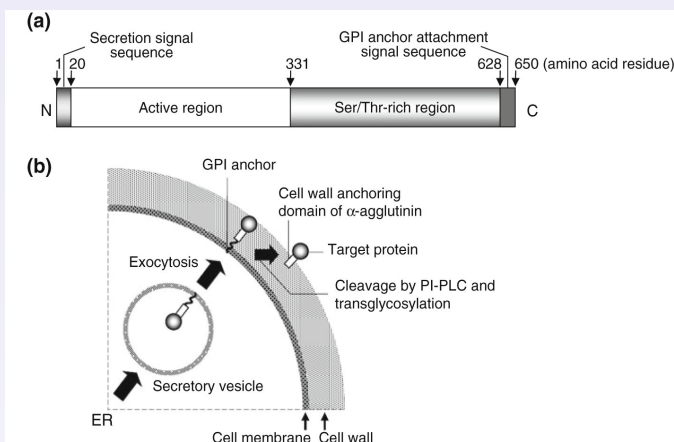
## ยีสต์ดัดแปลงพันธุกรรม: โรงงานผลิตสารชีวภัณฑ์

มณฑลพรพร สงพิมพ์\* / สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล\*

ปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์มาใช้ในการผลิตสารชีวภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสารชีวภัณฑ์หลายชนิดที่ผลิตจากจุลินทรีย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและยา การผลิตพลังงานทดแทน และการบำบัดของเสีย เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่าจุลินทรีย์เปรียบเสมือน “โรงงานผลิตสารชีวภัณฑ์” ดังนั้นการแสวงหาจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่ที่สามารถผลิตสารชีวภัณฑ์ที่ต้องการในปริมาณสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็น ปัจจุบันมีการนำเทคนิคทางพันธุวิศวกรรมมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อพัฒนาจุลินทรีย์ให้สามารถผลิตสารชีวภัณฑ์ได้ตามความต้องการและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เป็นจุลินทรีย์ที่มักถูกนำมาใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถผลิตสารชีวภัณฑ์ได้หลากหลายและมีความปลอดภัยในการใช้งาน จนได้รับรองความปลอดภัยที่เรียกว่า “Generally Recognize as Safe (GRAS) Notification” ต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและยา นอกจากนี้ยีสต์ *S. cerevisiae* ยังสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีราคาถูก จึงมีเหมาะสมต่อการพัฒนาสายพันธุ์ด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม

เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมที่น่าสนใจในปัจจุบัน คือการปรับปรุงพันธุกรรมจุลินทรีย์ให้มีการแสดงออกของโปรตีนที่ต้องการบริเวณผิวเซลล์จุลินทรีย์ (cell surface engineering) ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการตรึงโปรตีนที่ต้องการบนผิวของเซลล์จุลินทรีย์ ในผนังเซลล์ยีสต์จะประกอบด้วยโปรตีนที่เรียกว่า แอลฟา-แอกกลูตินิน (alpha-agglutinin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วย sexual adhesion ของ mating-type a และแอลฟาเซลล์ของยีสต์



ภาพที่ 1 (a) โครงสร้างโมเลกุลของโปรตีนแอลฟาแอกกลูตินิน และ (b) กลไกการขนส่งโปรตีนออกนอกเซลล์ของโปรตีนแอลฟาแอกกลูตินิน

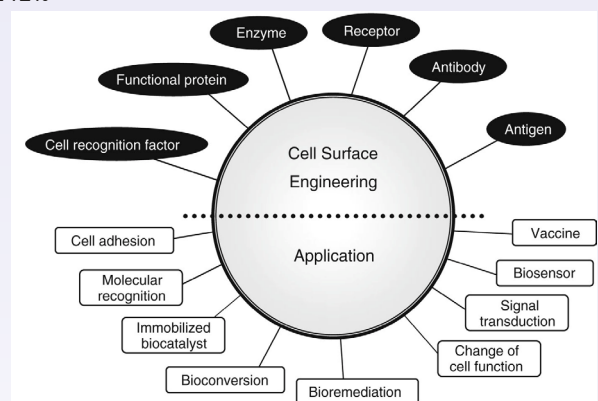
ที่มา: Kuroda และ Ueda, 2011

และโปรตีน glycosylphosphatidylinositol (GPI) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีส่วนของเพปไทด์สายสั้น ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ (signal peptide) ควบคุมการขนส่งโปรตีน จากโครงสร้างโมเลกุลของแอลฟาแอกกลูตินิน จะพบโปรตีน GPI อยู่บริเวณส่วนปลาย C-terminal ทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวกับผนังเซลล์ของยีสต์ โดยในส่วนปลาย N-terminal ของโครงสร้างจะเป็นบริเวณที่ทำหน้าที่ปลดปล่อยโปรตีนออกสู่ผิวเซลล์ (ภาพที่ 1)

\* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

จากระบบการขนส่งโปรตีนสู่ภายนอกเซลล์ยีสต์ดังกล่าว ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการดัดแปลงพันธุกรรมของเซลล์ยีสต์ *S. cerevisiae* NBRC1440 เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากมันสำปะหลัง โดยการดัดแปลงพันธุกรรมของเซลล์ยีสต์ให้เกิดการแสดงออกของเอนไซม์แอลฟาอะมัยเลส กลูโคอะมัยเลส เอนโดกลูคาเนส เซลโลไบโอไฮโดรเลส และบีตากลูโคซิเดส บนผิวเซลล์ยีสต์ ด้วยการตัดต่อยีนเอนไซม์เป้าหมายเหล่านี้สอดแทรกเข้าสู่ยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน GPI ให้ยีนเป้าหมายเกิดการแสดงออกของโปรตีนที่บริเวณปลาย N-terminal โดยที่ปลายอีกด้านหนึ่งของโปรตีนถูกยึดเหนี่ยวเข้ากับผนังเซลล์ยีสต์ เป็นเสมือนการตรึงโปรตีนเป้าหมายบนผิวเซลล์ยีสต์ ทำให้ยีสต์ดัดแปลงพันธุกรรมสามารถย่อยกากมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลกลูโคสและยีสต์จะใช้น้ำตาลกลูโคสในการเจริญเติบโตและผลิตเอทานอล การผลิตเอทานอลด้วยยีสต์ดัดแปลงพันธุกรรมจะช่วยลดขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบด้วยเอนไซม์ เป็นการลดระยะเวลาและต้นทุนในการเตรียมวัตถุดิบ สามารถผลิตสารชีวภัณฑ์ได้สูงตามความต้องการ ทั้งยังคงประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ที่ถูกตรึงบริเวณผิวเซลล์ยีสต์ให้คงความเสถียรได้เป็นอย่างดี จึงสามารถนำจุลินทรีย์สายพันธุ์ใหม่จากการปรับปรุงพันธุกรรมนี้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทน

เทคนิคทางพันธุวิศวกรรมนี้ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจในการปรับปรุงสายพันธุ์จุลินทรีย์ เพราะไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเท่านั้น แต่ยังคงเสถียรภาพของโปรตีนนี้อีกด้วย เทคนิคการแสดงออกของโปรตีนบนผิวเซลล์ จึงถือเป็นนวัตกรรมระดับโมเลกุลของวิศวกรรมโปรตีนที่สามารถส่งเสริมประสิทธิภาพและก่อให้เกิดการพัฒนาในระดับโมเลกุลได้อย่างยั่งยืน



ภาพที่ 2 การประยุกต์ใช้ยีสต์ดัดแปลงพันธุกรรมตามคุณสมบัติของโปรตีน  
ที่มา: Kuroda และ Ueda, 2011

**เอกสารอ้างอิง** นรินทร เรืองพานิช. 2553. รายงานการสืบค้นข้อมูลความก้าวหน้าและสถานะทางเทคโนโลยีชีวภาพของสิ่งมีชีวิตดัดแปลงทางพันธุกรรม (GMOs) ในประเทศสหรัฐอเมริกา. • Kuroda, K and M. Ueda. 2011. *Biotechnol. Lett.* 33, 1-9. • Kim, H.C. et al. 2006. *J. Microbiol. Biotechnol.* 16(3), 360-367. • Apiwatanapiwat, W. et al. 2011. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 90, 377-374. • Kondo, A. and M. Uedo. 2004. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 64, 28-40.