สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย Thai Society for Biotechnology
www.biotech.or.th/tsb

สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม-เมษายน 2555

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก
Fermentation Technology Research Center (www.ftrc.ku.ac.th)

จาก..บรรณาธิการ

นิตยสารเปิด "สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ" รายกึ่งปี บัดนี้มีอายุครบแล้วซึ่งหนึ่งขวบปีอย่างน่าอัศจรรย์ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ได้เมตตาอุปการะเกื้อกูลมาเป็นอย่างดี เชื่อว่าองค์ความรู้อันหลากหลายที่สรรหามาบรรณาธิการแก่คนไทย จะสามารถช่วยสร้างสรรค์สังคมของการเรียนรู้ร่วมกัน และเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมเกษตรของประเทศที่กำลังเตรียมตัวเข้าสู่บริบทใหม่ของประชาคมอาเซียนในอีกสามปีข้างหน้า หากประเทศไทยจะเป็นผู้นำทางด้านธุรกิจอาหารและบริการ ซึ่งหมายความว่าอุตสาหกรรมไทยต่างมีความพร้อมแล้วในการประยุกต์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ภาคปฏิบัติได้อย่างแท้จริงและจริงจัง

คุณภาพนักนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยคนไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพนั้น เชื่อได้ว่าจะร่วมกันฟันฝ่าอุปสรรคนำทรัพย์ศฤงคารและความรุ่งเรืองมาสวามิภักดิ์ต่อพื้นปฐพีแห่งแผ่นดินสุวรรณภูมิของบรรพชนนี้ได้อย่างแน่นอน อย่างไรก็ดี หากมวลสมาชิกสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทยและนักเทคโนโลยีทั้งหลาย จะสละเวลาช่วยกันขมีขมันช่วยเหลือกันส่งบทความวิทยาการประยุกต์เข้มข้นเพียงหนึ่งหน้ากระดาษ เพื่อเป็นวิทยาทานและสื่อสารความรู้เชิงประจักษ์สู่ภาคอุตสาหกรรมไทยได้ ก็น่าอนุโมทนาร่วมแซ่ซ้องสาธุการเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายนี้ท่านทั้งหลายที่ได้อุทิศเสียสละแล้วในห้วงปีที่ผันผ่านมานั้น ทีมบรรณาธิการย่อมซาบซึ้งใจและกำลังรวบรวมจัดทำสารานุกรมสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพฉบับแรก เพื่อบรรณาธิการแทนคุณแก่คนไทยทุกท่านที่เปิดโอกาสให้พวกเราได้ขยายโลกทัศน์ให้กว้างใหญ่ไพศาลยิ่งขึ้น ๆ ไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด หากพบพานความบกพร่องผิดพลาดประการใด ก็ขอให้ทุกท่านได้โปรดชี้แนะด้วยเถิด ก็ย่อมจะทำให้สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพนี้ สามารถก้าวล่วงไปได้ซึ่งอวิชาและความไม่รู้ที่ถูกนำเสนอออกไปโดยไม่ได้ตั้งใจ

สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล
บรรณาธิการ
นิตยสารเปิด "สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ"

สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก

คณะที่ปรึกษา
รศ.ดร. เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ
นายกสมาคม ฯ และคณะกรรมการสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย

บรรณาธิการ
รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล

ผู้ช่วยบรรณาธิการ
รศ.ดร. วิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนา
รศ.ดร. ธงไชย ศรีนพคุณ
ผศ.ดร. ประมุข ภระกูลสุขสถิตย์
ดร. อุลัยวรรณ์ อุสันสา
ดร. สุมัลลิกา โมรากุล
ดร. สุธี วังเตือย

กองบรรณาธิการ
ดวงพร ลากะสงค์
มณชัย เดชสังกรานนท์
ชนิกา ชื่นแสงจันทร์
โยธกา ปัชชา
ลลิตา พลมณี
ดารารัตน์ มงคลการ
ภุชงค์ ชาติสง่า
ณัฐวุฒิ คงกล่อม
ธนศักดิ์ ไพโรจน์

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

นิตยสารเปิดอิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับภาษาไทย)
ภายใต้การสนับสนุน/ลิขสิทธิ์ของ
สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย
(Thai Society for Biotechnology/www.biotech.or.th/tsb)
เนื้อหา/ข้อความของบทความเป็นความผิดชอบเฉพาะของผู้แต่ง/เขียน/เรียบเรียง สมาคมฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นชอบ/รับผิดชอบที่เกี่ยวกับกฎหมาย (ถ้ามี)

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

กองบรรณาธิการ นิตยสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก ภายใต้การสนับสนุนของสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพ แห่งประเทศไทย **ขอเรียนเชิญผู้สนใจเข้าร่วมส่งบทความตีพิมพ์ในนิตยสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ** ที่ประกอบด้วยหมวดหมู่สาระและองค์ความรู้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้

1. การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
2. วิศวกรรมเคมีชีวภาพและวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ
3. การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม
4. สิ่งแวดล้อมและพลังงาน
5. กฎหมายและการศึกษา
6. ปกิณกะ

โดยปิดรับบทความ **ภายในวันที่ 10 ของทุกเดือน** และกำหนดการตีพิมพ์นิตยสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2555 ถึง เดือนสิงหาคม 2555) **ในวันที่ 25 ของทุกเดือน**

ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดเอกสาร “คำแนะนำสำหรับผู้เขียน” ได้จากนิตยสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ หรือติดต่อขอรับเอกสารได้ที่

กองบรรณาธิการ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
โทรศัพท์ 02-562-5074 ต่อ 5347 โทรสาร 02-579-4096
อีเมล์: fermenttechresearchcenter@gmail.com

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม ได้ที่

นายมณชัย เดชสังกรานนท์ (Technical Editor)
โทรศัพท์: 081-7633-119 E-mail: monchaibiot@hotmail.com

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ

วิศวกรรมเคมีชีวภาพและวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ หน้า

กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลผสมฟรุกโทสและโอลิโกฟรุกโทส 1
กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (1) 2
กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (2) 3
กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลความบริสุทธิ์สูง 4
การผลิตไซลิทอลด้วยระบบหมุนเวียนเซลล์ 5
กรรมวิธีการตกผลึกไซลิทอล 6

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

Resistant Starch อาหารยุคที่สี่ (4G) ของมนุษย์ 7
ไรซ์เบอร์รี่ : ข้าวต้านอนุมูลอิสระ 8
สารไอโซฟลาโวนจากถั่วเหลืองหมัก 9

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตไบโอดีเซล (1) 10
ไบโอไฮโดรเจน 11

ดรรชนี

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ. 2555

สารสาระเทคโนโลยีชีวภาพ

หน้า

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

กรดแลกติก: กรดอินทรีย์เพื่อโลกสีเขียว 12

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

สารให้ความหวานสังเคราะห์ซูคราโลส 13
Dragon fruits: อิทธิฤทธิ์ (ลูก) แก้วมังกร 14
นมและภาวะแพ้แลกโทสในนม 15

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตไบโอดีเซล (2) 16
กรดพอลิกลูตามิก : พอลิเมอร์ชีวภาพเพื่ออนาคต 17

ดรรชนี

เดือนมีนาคม 2555

วิศวกรรมเคมีชีวภาพ
และ
วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลผสม*ฟรุกโทส*และ*โอลิโกฟรุกโทส*

*สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

อินูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตสะสมชนิด*ฟรุกแทน*พบได้ในพืชชิโคริ *เยรูซาเล็มอาร์ทิโช้ค* และยาคอน ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลผสมโอลิโกฟรุกโทสและฟรุกโทส โดยอาศัย*เอนไซม์อินูลิเนส* อาทิ เอนไซม์ Novozyme 230 จากเชื้อรา *Aspergillus niger* และเอนไซม์ Röhm Rohalase I. 10. X จากเชื้อยีสต์ ซึ่งประกอบด้วย*เอนไซม์เอกโซอินูลิเนส* และ*เอนไซม์เอนโดอินูลิเนส* ในการผลิตน้ำเชื่อมฟรุกโทสเข้มข้นสูงจากแป้งจะต้องใช้*เอนไซม์อะมัยเลส*และ*เอนไซม์กลูโคอะมัยเลส* เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส และใช้*เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรส*เปลี่ยนกลูโคสให้เป็นฟรุกโทส จึงจะได้เป็นน้ำเชื่อมฟรุกโทสความเข้มข้นสูง ฉะนั้นการใช้*เอนไซม์อินูลิเนส*ในการผลิตน้ำเชื่อมฟรุกโทสจากอินูลิน จึงเป็นทางเลือกที่ดีของการผลิตน้ำตาลผสมระหว่าง*โอลิโกฟรุกโทส*และ*ฟรุกโทส* ที่มีสมบัติของสารให้ความหวานและ*สารพรีไบโอติก* สามารถทดแทนการใช้น้ำเชื่อมฟรุกโทสความเข้มข้นสูงที่ผลิตมาจากแป้งที่มีบทบาทเพียงสารให้ความหวาน

วิธีการผลิตน้ำตาลผสมฟรุกโทสและโอลิโกฟรุกโทสจะใช้เอนไซม์ดิบผสมจากเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3570 และเชื้อยีสต์ *Candida guilliermondii* TISTR 5844 ในอัตราส่วนผสมระหว่าง*เอนไซม์อินูลิเนส*จากเชื้อราและเชื้อยีสต์เท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยเอนไซม์ดิบของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ประกอบด้วยกิจกรรมเอนไซม์อินูลิเนส 0.20 และ 0.02 หน่วย/มิลลิลิตร และกิจกรรม*เอนไซม์อินเวอร์เทส* 0.98 และ 1.00 หน่วย/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในกรรมวิธีการผลิตมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสม โดยสารผสมปฏิกิริยาเอนไซม์มีปริมาตร 70 มิลลิลิตร ประกอบด้วยอินูลิน 100.45 กรัม/ลิตร *เอนไซม์อินูลิเนส* 0.2 หน่วย/กรัมอินูลิน (ใช้ปริมาตรของเอนไซม์ดิบจากเชื้อรา และเชื้อยีสต์เท่ากับ 3.5 และ 35 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ฉะนั้นสารผสมปฏิกิริยาจึงประกอบด้วย*เอนไซม์อินูลิเนส*รวมเท่ากับ 1.4 หน่วย และ*เอนไซม์อินเวอร์เทส*รวมเท่ากับ 38.43 หน่วย จากนั้นจึงเติมกรดเบนโซอิก 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และควบคุมปฏิกิริยาเอนไซม์ที่สภาพความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 4.5 และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 25 ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล Ben Kop วรสิทธิ์ โทจำปา และวิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนา. 2548/53/54. กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (เพื่อขอรับอนุสิทธิบัตรต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์) (เลขที่คำขอ 0503001325/21-10-48/04-06-53/29-07-54).

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ผลิตภัณฑ์สารผสมน้ำตาลที่ได้จะประกอบด้วยฟรุกโทส 57.51 กรัม/ลิตร กลูโคส 1.19 กรัม/ลิตร และโอลิโกฟรุกโทสที่มี*ดีกรีพอลิเมอไรเซชัน*มากกว่า 5 เท่ากับ 46.81 กรัม/ลิตร โดยไม่มีซูโครส คิดเป็นสัดส่วนของน้ำตาลแต่ละชนิดเท่ากับ 58.28 2.64 และ 39.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพของกรรมวิธีการผลิตที่มีค่าผลได้ของน้ำตาลฟรุกโทสเท่ากับ 0.56 กรัม/กรัม และค่าอัตราการผลิตฟรุกโทสเชิงปริมาตรเท่ากับ 2.23 กรัม/ลิตร/ชั่วโมง

ภาพที่ 1 กรรมวิธีการเตรียมเอนไซม์ดิบจากเชื้อราและยีสต์
ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2548/53/54

ภาพที่ 2 กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลผสมฟรุกโทสและโอลิโกฟรุกโทสจากไซโลส
ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2548/53/54

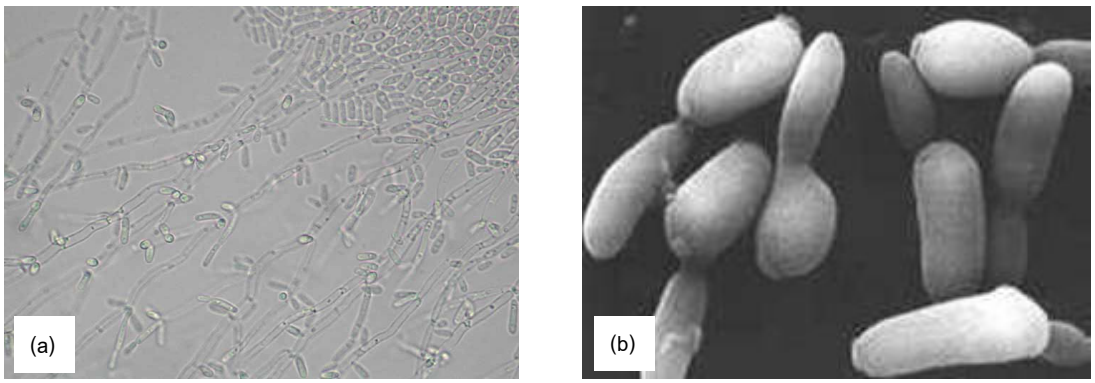
กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (1)

บุษราคัม หาญกิตติ/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

*ไซลิทอล*สามารถผลิตได้จากไซโลสหรือวัสดุที่ประกอบด้วยไซแลน โดยเฉพาะไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยสลายชีวมวลของเฮมิเซลลูโลส กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลเริ่มจากการนำไฮโดรไลเสตของเฮมิเซลลูโลสเข้าสู่กระบวนการหมักโดยอาศัยยีสต์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนไซโลสเป็นไซลิทอล จากกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ไซโลสรีดักเทสที่ยีสต์สร้างขึ้น ตัวอย่างยีสต์ที่ใช้ในกระบวนการหมักไซลิทอล อาทิ *Candida* sp., *Pichia* sp., *Pachysolen* sp. และ *Debaryomyces* sp. โดยเฉพาะ *C. tropicalis* และ *D. hansenii* เป็นยีสต์ที่มีการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตไซลิทอลด้วยกระบวนการหมักอย่างแพร่หลาย (ภาพที่ 1) ดังกรณีศึกษาของการนำยีสต์ไปใช้ในกระบวนการหมักเพื่อเปลี่ยน D-xylose ให้เป็นไซลิทอล การใช้เอนไซม์ย่อยไซโลสจาก *C. pelliculosa* ควบคู่กับออกซิโดรีดักเทส การหมักเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส คาร์โบไฮเดรต โดยยีสต์ทนร้อนที่มีความสามารถในการหมัก D-xylose เป็นไซลิทอลที่ให้ผลผลิตสูง และการทำให้ไซลิทอล บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยวิธีทางโครโมโทกราฟีเพื่อให้ได้ผลึกของไซลิทอล เป็นต้น

วัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตไซลิทอล ส่วนใหญ่คือไซโลสหรือส่วนประกอบของไซแลน ได้แก่ วัตถุดิบในกลุ่มของต้นไม้ผลัดใบ เช่น *birch beech poplar alder* และส่วนประกอบของพืช เช่น ข้าวโพด เปลือกข้าวโอ๊ต ซังข้าวโพดและเหง้า เปลือกถั่ว ชานอ้อย และเปลือกเมล็ดฝ้าย รวมถึงเศษไม้ ขี้เลื่อย หรือขี้ไสไม้ นอกจากนี้น้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (sulphite-spent liquors) ซึ่งประกอบด้วยเศษเยื่อไม้ ลิกนิน เฮกโซสและเพนโทส รวมทั้งไซโลสก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตไซลิทอลได้

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลเริ่มต้นด้วยการเตรียมสารละลายไซโลสจากกระบวนการย่อย (hydrolysis) วัตถุดิบด้วยกรดหรือเอนไซม์ เพื่อย่อยไซแลนให้ได้เป็นไซโลส จากนั้นกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ติดมากับไซโลสเพื่อป้องกันสารพิษหรือสารอันตรายอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อการผลิตไซลิทอลของยีสต์ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการหมักเพื่อผลิตไซลิทอล ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซโลสที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 50-300 กรัม/ลิตร ภายหลังกระบวนการหมักเสร็จสิ้น นำสารละลายไซลิทอลเข้าสู่กระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางโครมาโทกราฟี จากนั้นทำการตกผลึกไซลิทอล โดยพบว่ากรรมวิธีการผลิตนี้ได้ผลได้ของไซลิทอลสูงถึง 82.5 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 1 สายพันธุ์ ยีสต์ (a) *Candida tropicalis* และ (b) *Debaryomyces hansenii*

ที่มา: (a) http://labmed.ucsf.edu/education/residency/fung_morph/fungal_site/subpages/candidatropicalis1sp.html

(b) http://evodisku.multiply.com/journal/item/82?&show_interstitial=1&u=%2Fjournal%2Fitem

เอกสารอ้างอิง Heikkila, H. et al. 1992. Method for the production of xylitol. United States Patent. Patent No. 5,081,026.

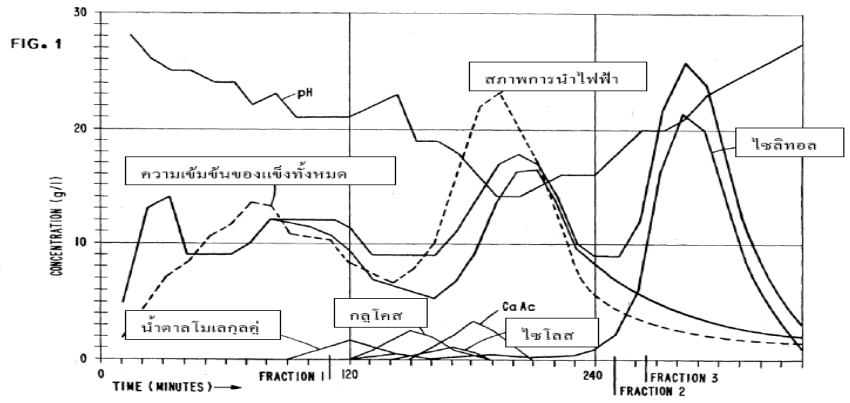
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (2)

บุษราคัม หาญกิตติ/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

*ไซลิทอล*พบมากในผักและผลไม้หลายชนิด นอกจากนี้ในร่างกายมนุษย์ยังสามารถสังเคราะห์ไซลิทอลได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึม ไซลิทอลมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน เนื่องจากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินซูลินในร่างกาย นอกจากนี้ไซลิทอลยังช่วยป้องกันฟันผุได้ด้วย เนื่องจากแบคทีเรียในช่องปากไม่สามารถใช้ไซลิทอลได้ จึงทำให้ไม่เกิดการสร้างกรดที่จะไปทำลายฟันซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของฟันผุ อย่างไรก็ตาม ไซลิทอลทางการค้ายังคงมีราคาสูงอยู่ เนื่องจากมีขั้นตอนของการผลิตที่ซับซ้อน โดยทั่วไปแล้วไซลิทอลสามารถเตรียมได้จากไซแลน หรือการย่อยชีวมวลของเฮมิเซลลูโลสที่สามารถพบได้ในผนังเซลล์ของพืชน้ำและพืชบกทั่ว ๆ ไป ส่วนประกอบหลักที่พบมากในเฮมิเซลลูโลสคือ ดี-ไซแลน/D-xylan และ ดี-กลูโค-ดีแมนแนน/D-gluco-D-mannan และมีกิ่งแขนงเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่น เช่น แอล-อะราบิโนส/L-arabinose เป็นต้น

*กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล*จากน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อกระดาษ ซึ่งมีการใช้ไม้เนื้อแข็งเป็นวัตถุดิบหลัก จะใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Debaryomyces hansenii* ซึ่งเป็นยีสต์ที่สามารถเปลี่ยนไซโลสเป็นไซลิทอลได้ โดยน้ำตาลเฮกโซสส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล การวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตอาศัยวิธีการ gas liquid chromatography องค์ประกอบหลักในอาหารเลี้ยงเชื้อจะประกอบด้วย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) แคลเซียม 2.0 โซเดียม 10 ไซโลส 39.3 และองค์ประกอบอื่น ได้แก่ อะราบิโนส 1.0 แรมโนส 1.2 กลูโคส 2.5 แมนโนส 0.1 กาแลกโทส 2.0 ปรับอาหารเลี้ยงเชื้อให้ได้ค่าพีเอช ประมาณ 6.2 ด้วยการเติมแคลเซียมออกไซด์ 10 กรัม/ลิตร และเจือจางให้ได้ความเข้มข้นของไซโลส 51 กรัม/ลิตร ทำการหมักด้วยยีสต์ในขวดรูปชมพู่ขนาด 200 มิลลิลิตร โดยควบคุมสภาวะการหมัก 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้กล้าเชื้อยีสต์ประมาณ 1.7×10^8 เซลล์/มิลลิเมตร จากนั้นจึงถ่ายกล้าเชื้อลงในถังหมักเพื่อการหมักไซโลสให้ได้ไซลิทอล หลังเสร็จสิ้นการหมักจะแยกเซลล์ยีสต์ออกจากน้ำหมักโดยวิธีการเหวี่ยง และทำสารละลายไซลิทอลให้บริสุทธิ์โดยวิธีการโครมาโทกราฟี พบว่าสามารถผลิตไซลิทอลได้ 24.7 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงเหลือส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ไซโลส 0.3 กลูโคส 2.1 อะราบิโนส 0.6 และแคลเซียมแอซีเทต 2.5 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ 2 แสดงผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหมักด้วยวิธีโครมาโทกราฟี จะเห็นได้ว่าไซลิทอลปรากฏอยู่ในส่วนที่สามของการแยกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีถึง 79 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหมักด้วยวิธีโครมาโทกราฟี

ที่มา: ดัดแปลงจาก Heikkila และคณะ, 1992

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์น้ำหมักที่ได้จากการผลิตไซลิทอลด้วยยีสต์

ส่วนประกอบ	ส่วนที่ 1	ส่วนที่ 2	ส่วนที่ 3
ของแข็งทั้งหมด (กรัม)	134	10	58
ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	12	10	16
ไซลิทอล (% ของน้ำหนักแห้ง)	0.7	40.0	79.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Heikkila และคณะ, 1992.

เอกสารอ้างอิง Heikkila, H. et al. 1992. Method for the production of xylitol. United States Patent. Patent No. 5,081,026.

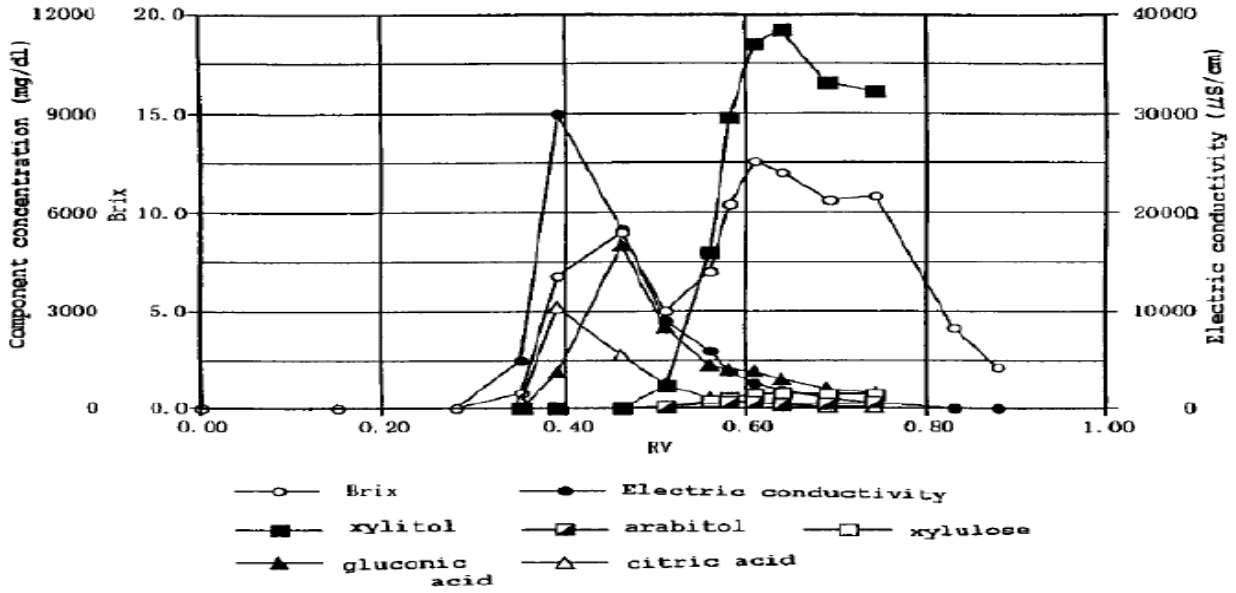
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลความบริสุทธิ์สูง

เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ / สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล***

*ไซลิทอล*เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งเป็นสารให้ความหวานธรรมชาติที่พบได้ในผักและผลไม้ ได้แก่ สตรอเบอร์รี่ ดอกกะหล่ำปลี ผักกาดหอม ผักขม ไซลิทอลมีคุณสมบัติที่ดีคือให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาล และสามารถลดปัญหาการเกิดฟันผุได้เนื่องจากไซลิทอลเป็นน้ำตาลที่จุลินทรีย์ทั่วไปในช่องปากไม่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตได้ ไซลิทอลเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาลไซโลส ซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของไซแลนที่พบได้ในพืช ปกติกระบวนการผลิตไซลิทอลทางเคมี มักจะเกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ไม่ต้องการเจือปนมาด้วย ได้แก่ น้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส จึงจำเป็นต้องกำจัดปัญหาดังกล่าวด้วยการปรับปรุงขั้นตอนของการเตรียมไซโลสซึ่งเป็นซับสเตรตที่ใช้ในกระบวนการผลิตไซลิทอลให้มีความบริสุทธิ์มากที่สุด จึงจะสามารถลดผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ไม่ต้องการให้น้อยลงได้ ดังมีกรณีศึกษาของการผลิตไซลิทอลได้จากน้ำตาลกลูโคสโดยจุลินทรีย์ เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะที่รุนแรงของวิธีการผลิตทางเคมี และช่วยลดต้นทุนในการผลิตไซลิทอล อย่างไรก็ตาม ยังคงมีกรดอินทรีย์ที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ปะปนมา ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอซีติก กรดฟูมาริก และกรดมาลิก ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตไซลิทอลโดยวิธีการหมักอย่างจริงจัง เพื่อตอบสนองกับความต้องการของไซลิทอลเชิงพาณิชย์ที่เพิ่มปริมาณมากขึ้น

การพัฒนากรรมวิธีการผลิตไซลิทอลให้ได้ไซลิทอลที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์และการทำบริสุทธิ์ไซลิทอลด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุมีขั้นตอนดังนี้ (1) การเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกจากอาหารเหลวที่มีไซลิทอล (2) การกำจัดไอออนของเกลือออกด้วยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวกและลบ จะทำให้ได้สารละลายไซลิทอลบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งช่วยทำให้การตกผลึกไซลิทอลดียิ่งขึ้น (3) การแยกไซลิทอลออกจากน้ำตาลแอลกอฮอล์และน้ำตาลชนิดอื่น โดยใช้เรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวกแบบกรดแก่ ซึ่งจะแยกส่วนออกได้เป็นสารละลายไซลิทอล น้ำตาล และน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดอื่น และ (4) การแยกไซลิทอลออกจากสารละลายไซลิทอลด้วยวิธีการตกตะกอน โดยการเติมผลึกเหนี่ยวนำหรือการเติมสารละลายอื่น เช่น แอลกอฮอล์ เป็นต้น แล้วจึงทำการกรองหรือเหวี่ยงเพื่อให้ได้ผลึกไซลิทอล นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพวิธีการกำจัดเกลือออก ซึ่งประกอบด้วย (ก) การกำจัดไอออนส่วนใหญ่ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีชนิดแลกเปลี่ยนประจุ โดยใช้เรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวกแบบกรดแก่ และ (ข) การกำจัดไอออนที่เหลือด้วยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวกและลบ ซึ่งการผลิตไซลิทอลด้วยกรรมวิธีการหมักโดยจุลินทรีย์นี้ จะให้ผลได้ไซลิทอลที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.1% โดยมีความชื้นและสารปนเปื้อนอื่นอีกเพียงเล็กน้อย 0.9% เท่านั้น (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การแยกและทำบริสุทธิ์ไซลิทอลด้วยวิธีโครมาโทกราฟีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุบวก (ที่มา: Aoki และคณะ, 2003)

เอกสารอ้างอิง Aoki, Y. et al. 2003. Process for producing xylitol of high purity. United States Patent. Patent No. US 6,538,133 B1..

* ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวผลิตภัณฑ์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

** ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

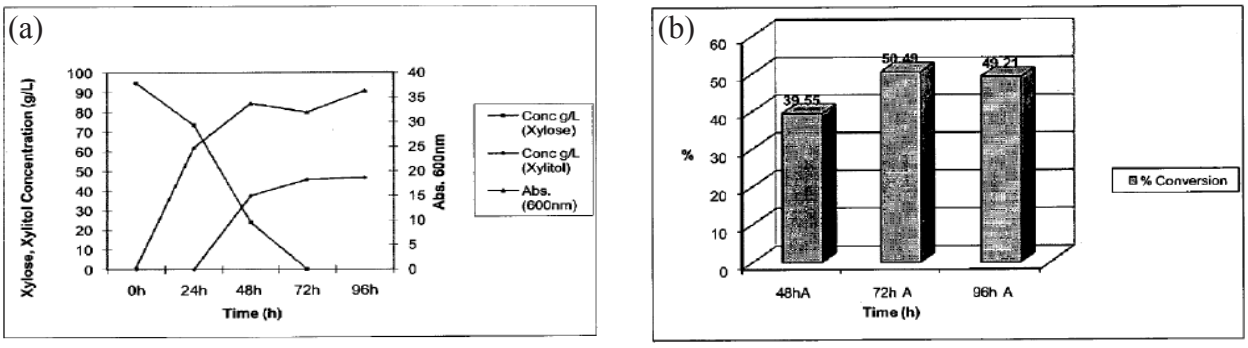
การผลิตไซลิทอลด้วยระบบหมุนเวียนเซลล์

ธนศักดิ์ ไพโรจน์ / สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

ไซลิทอล เป็นสารให้ความหวานแคลอรีต่ำ กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลทางชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งของการผลิตไซลิทอลให้ได้ปริมาณสูง วิธีการง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Pichia* sp., *Candida* sp., *Hansenula* sp. และ *Kluyveromeces* sp. ซึ่งมีความสามารถเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสไปเป็นไซลิทอลได้ การพัฒนานวัตกรรมของการผลิตไซลิทอลแบ่งออกเป็น 3 วิธีการ ดังนี้ (1) การผลิตกล้าเชื้อเริ่มต้นโดยใช้ยีสต์ *C. tropicalis* ATCC 13803 ในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีไซโลส 25 กรัม/ลิตร มีพีเอช 6.0 จากนั้นถ่ายกล้าเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ลงในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีไซโลสความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร ยีสต์สกัด 10 กรัม/ลิตร แบคโทเพปโทน 20 กรัม/ลิตร กลูโคส 30 กรัม/ลิตร และมีพีเอช 6.0 ภายใต้สภาวะการควบคุมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าที่มีอัตราเร็ว 250 รอบ/นาที พบว่ายีสต์สามารถผลิตไซลิทอลได้สูงสุด 47.3 กรัม/ลิตร ที่ 72 ชั่วโมง หรือมีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสไปเป็นไซลิทอล 50.49 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1)

(2) ปฏิบัติทำนองเดียวกับขั้นตอนแรก โดยการถ่ายกล้าเชื้อเริ่มต้น 5 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหารเพาะเลี้ยงสำหรับผลิตไซลิทอล ซึ่งประกอบด้วยยีสต์สกัด 10 กรัม/ลิตร และแบคโทเพปโทน 20 กรัม/ลิตร และมีพีเอช 6.0 แต่มีการแยกการเติมสารละลายไซโลสและกลูโคสออกจากกันโดยเติมสารละลายไซโลสความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร ที่เวลา 0, 72 และ 144 ชั่วโมง และเติมสาระละลายกลูโคสความเข้มข้น 30 กรัม/ลิตร ที่เวลา 0 ชั่วโมง 10 กรัม/ลิตร ที่ 24 ชั่วโมง และ 5 กรัม/ลิตร ที่ 72 และ 144 ชั่วโมง ควบคุมการผลิตไซลิทอลภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าอัตราเร็ว 250 รอบ/นาที พบว่ายีสต์มีความสามารถในการเปลี่ยนไซโลสไปเป็นไซลิทอลสูงสุดเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 196 ชั่วโมง

(3) ทำการแยกเซลล์ยีสต์ออกจากการเพาะเลี้ยงแบบเบ็ดเสร็จ/batch culture และแบบครั้งคราว/fed batch culture ด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยง และถ่ายเซลล์ยีสต์ที่ได้ลงในฟลาสก์ที่มีสารละลายไซโลสเข้มข้น 100 - 200 กรัม/ลิตร ควบคุมการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าอัตราเร็ว 215 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รอบที่ 1) ทำซ้ำเช่นเดียวกันทั้งหมด 4 รอบ ในแต่ละรอบจะแยกเซลล์ยีสต์และถ่ายกลับลงในสารละลายใหม่ พบว่าที่ความเข้มข้นของไซโลส 150 กรัม/ลิตร มีการเปลี่ยนไซโลสไปเป็นไซลิทอลสูงสุดที่ 50-60 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 (a) การเพาะเลี้ยงยีสต์ *C. tropicalis* ATCC 13803 เพื่อผลิตไซลิทอล (30 °C อัตราการเขย่า 250 รอบ/นาที พีเอช 6.0) และ (b) แสดงผลได้ของไซลิทอลจากไซโลส (ที่มา: Jain และคณะ, 2011)

ตารางที่ 1 การผลิตไซลิทอลด้วยระบบหมุนเวียนเซลล์ (อุณหภูมิ 30 °C อัตราการเขย่า 215 รอบ/นาที เวลา 24 ชั่วโมง)
ที่มา: ดัดแปลงจาก Jain และคณะ, 2011

หมุนเวียนเซลล์	ชุด A (ไซโลส 100 กรัม/ลิตร)			ชุด B (ไซโลส 150 กรัม/ลิตร)			ชุด C (ไซโลส 200 กรัม/ลิตร)		
	ไซโลส	ไซลิทอล	ผลได้ (%)	ไซโลส	ไซลิทอล	ผลได้ (%)	ไซโลส	ไซลิทอล	ผลได้ (%)
รอบที่ 1	0.0	57.7	57.7	-	-	-	-	-	-
รอบที่ 2	3.6	51.4	51.4	0.0	88.9	59.3	16.3	123.0	61.5
รอบที่ 3	4.7	47.9	47.9	4.1	87.8	58.5	38.0	103.0	51.5
รอบที่ 4	29.4	27.7	27.7	17.3	76.3	50.9	88.2	-	-

เอกสารอ้างอิง
Jain, M. et al. 2011. Process for production of xylitol. United States Patent. Patent No. US 2011/0003356 A1.

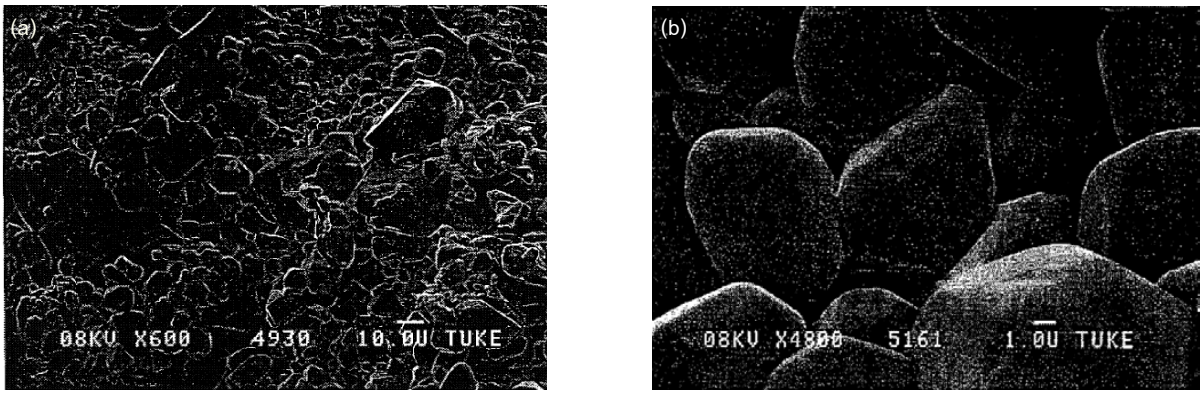
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการตกผลึก*ไซลิทอล*

ณัฐวุฒิ คงกล่อม/สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

*ไซลิทอล*เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่พบได้ในผักและผลไม้ตามธรรมชาติ ประกอบด้วยคาร์บอนห้าอะตอม มีความหวานเหมือนน้ำตาลปัจจุบันมีการใช้ไซลิทอลเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น ยาสีฟัน หมากฝรั่ง ขนม และอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดหรืออาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานเพื่อทดแทนการรับประทานน้ำตาลทั่วไป ปัจจุบันไซลิทอลที่วางจำหน่ายทางการค้าทั่วไปจะอยู่ในรูปผลึกไซลิทอลที่ได้จาก*กระบวนการตกผลึกสารละลายไซลิทอล*เข้มข้นซึ่งมีกรรมวิธีที่ต้องการสภาวะจำเพาะที่เหมาะสมต่อการตกผลึก และใช้ระยะเวลานานเนื่องจากเป็นการตกผลึกโดยธรรมชาติ นอกจากนี้ในการตกผลึกไซลิทอลยังไม่สามารถตกผลึกให้ได้ไซลิทอลจากสารละลายทั้งหมด โดยจะยังคงมีไซลิทอลบางส่วนที่เหลืออยู่ในส่วนของเหลว ซึ่งจะสูญเสียไปเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำให้มีผลได้ของผลึกไซลิทอลที่ต่ำ อย่างไรก็ตามได้มีการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตไซลิทอลโดยการบรรจุไซลิทอลในถุงพอลิเมอร์ เช่น พอลิเด็กซ์โทรส เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติรูปร่างของผลึกไซลิทอล นอกจากนี้ยังมี*กรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying)* ซึ่งยังไม่ปรากฏผลสำเร็จในการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้ได้เฉพาะไซลิทอลโดยปราศจากส่วนผสมของน้ำตาลชนิดอื่น ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตไซลิทอลจากการเปลี่ยน*สารละลาย*ไซลิทอลไปเป็นผลึกไซลิทอลภายในขั้นตอนเดียว เพื่อรองรับกับความต้องการและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ไซลิทอลเป็นส่วนประกอบในระดับอุตสาหกรรมที่เพิ่มมากขึ้นต่อไปได้

การทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ผลึกไซลิทอลขนาดเล็กหรือ*ไมโครคริสตัล* เป็นกรรมวิธีการทำให้ไซลิทอลที่ละลายในสารละลายจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกับไมโครคริสตัลที่แขวนลอยในก๊าซร้อน ซึ่งการพ่น*สารละลายไซลิทอล*ผ่านก๊าซร้อนที่มีไมโครคริสตัลของไซลิทอลแขวนลอยอยู่ จะช่วยให้เกิดผลึกและเป็นการทำแห้งให้ได้เป็นผลึกไซลิทอลในขั้นตอนเดียว โดยมีลักษณะโครงสร้างผลึกที่ได้แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งจะมีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 50 ไมครอน และจะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10 ไมครอน ดังภาพที่ 2 โดยทั่วไปแล้วขนาดมาตรฐานของอนุภาคของ*ผลึกไซลิทอล*จะต้องมีขนาด 0.1-1.0 มิลลิเมตร และจะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.15-0.4 มิลลิเมตร ซึ่งการผลิตผลึกไซลิทอลด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ไมโครคริสตัลของไซลิทอลสามารถควบคุมขนาดอนุภาคของผลึกไซลิทอลตามที่ต้องการได้ และจะส่งผลให้สามารถนำผลึกไซลิทอลไปใช้เป็นสารให้ความหวานแทนการใช้ซูโครส และอาจมีการผสมไซลิทอลในผลิตภัณฑ์ร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่น เช่น *ไดเพปไทด์ (dipeptide) แซกคารีน (saccharin) อะซีซัลเฟมเค (acesulfame K) สตีวิโอไซด์ (stevioside) ไซคลาเมต (cyclamate) ซูคราโลส (sucralose)* และ*นีโอเฮสเปอริดินไดไฮโดรคาลโคน (neohesperidin dihydrochalcone)* ซึ่งเป็นสารให้ความหวานที่มีการยอมรับว่าไม่ทำให้ฟันผุ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ทางยา และผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอื่น ๆ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ ลูกอม หมากฝรั่ง ไอศกรีม เป็นต้น



ภาพที่ 1 โครงสร้างไมโครคริสตัลของไซลิทอล ภายใต้ Scanning Electron Microscope (SEM) (a) 600 เท่า และ (b) 4,800 เท่า

ที่มา: Heikkila และคณะ, 2004

เอกสารอ้างอิง Heikkila, H. et al. 2004. Process for the crystallization of xylitol. United States Patent. Patent No. US 6,764,706 B1.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนมีนาคม 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

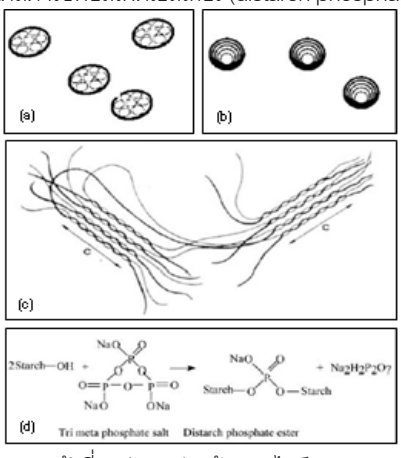
Resistant Starch อาหารยุคที่สี่ (4G) ของมนุษย์

มณชัย เดชสังกรานนท์/สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

จากกระแส*โลกาภิวัฒน์*มนุษยชาติได้ก้าวล้ำมาสู่*ยุคโลกไร้พรมแดน* เทคโนโลยีต่าง ๆ อาทิ *เทคโนโลยีคมนาคม เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีพลังงาน เทคโนโลยีทางการแพทย์* หรือแม้แต่*เทคโนโลยีชีวภาพ* ล้วนได้รับการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง ในโลกแห่ง*เทคโนโลยีไร้สาย เทคโนโลยีการอาหาร* เป็นอีกแขนงหนึ่งที่มีความก้าวหน้าอย่างยิ่งยวด *นักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*ได้คิดค้นและประดิษฐ์นวัตกรรมอาหารมากมายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งนอกจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสแล้ว ผู้บริโภคยังต้องการ*อาหารเพื่อสุขภาพ/functional food* อีกด้วย

แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant Starch/RS) เป็นอีกความสำเร็จหนึ่งที่มาจากจักรกลสมองอันชาญฉลาดและกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน คาดการณ์ว่าจะมาทดแทนวัตถุดิบประเภทแป้งดั้งเดิมที่ประชากรเกือบทั้งโลกบริโภคเป็นอาหารหลัก จากกระแส*อาหารเพื่อสุขภาพ* เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมีการนำแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้าย*เส้นใยอาหาร (dietary fiber)* และยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของอาหารให้ดีขึ้นด้วย ประการสำคัญคือ แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จะส่งผลดีต่อสุขภาพหลายประการ อาทิ ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง และลดปริมาณน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน เป็นต้น

European FLAIR-Concerted Action on Resistant Starch ได้ให้คำจำกัดความ*แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์*หมายถึง *แป้งและผลิตภัณฑ์ของแป้งที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก และไม่สามารถดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ได้แต่ถูกหมักโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่* ซึ่งนักเคมีอาหารได้แบ่งไว้ 4 ประเภท ดังนี้ 1. *RS1/physically inaccessible* ได้แก่ แป้งที่ลักษณะทางกายภาพขัดขวางต่อการย่อยของเอนไซม์ในลำไส้เล็ก (ภาพที่ 1a) และมีความทนทานต่อความร้อน พบในเมล็ดธัญพืชที่ผ่านการบดเพียงบางส่วน พืชตระกูลถั่ว และผัก เป็นต้น 2. *RS2/resistant granules* ได้แก่ เม็ดแป้งดิบ (ภาพที่ 1b) พบมากในแป้งที่ยังไม่ผ่านความร้อน เช่น แป้งอะมัยโลสสูง แป้งกล้วยดิบ แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น 3. *RS3/retrograded* ได้แก่ แป้งคืนตัว/retrograded starch พบในอาหารที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลาทิไนซ์ เมื่อเย็นลงจะเกิดการจัดเรียงตัวของอะมัยโลสใหม่ (ภาพที่ 1c) ละลายได้ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไดเมทิลซัลฟอกไซด์ เช่น เปลือกขนมปัง คอร์นเฟลคส์ และการคืนตัวของแป้งข้าวโพดอะมัยโลสสูง เป็นต้น 4. *RS4/chemically modified* ไม่พบในธรรมชาติ ได้จากการนำแป้งไปดัดแปรโครงสร้างโดยใช้สารเคมีในการคลอสลิง (cross link) เพื่อให้มีการจัดเรียงพันธะใหม่ เช่น ไดสตาร์ชฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester) เป็นต้น (ภาพที่ 1d)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (a) RS1 (b) RS2 (c) RS3 และ (d) RS4
ที่มา: Sajilata และคณะ, 2006

ตารางที่ 1 ปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในอาหารและอาหารแปรรูปบางชนิดจากไซโลส

Food	Serving Size	Resistant Starch
Navy beans	1/2 cup cooked	9.8
Banana, raw	1 medium, peeled	4.7
High amylose RS2 corn resistant starch	1 tablespoon (9.5 g)	4.5
Cold potato	1/2" diameter	3.2
Lentils	1/2 cup cooked	2.5
Cold pasta	1 cup	1.9
Pearl barley	1/2 cup cooked	1.6
Oatmeal	1 cup cooked	0.7
Wholegrain bread	2 slices	0.5

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Resistant_starch

ประโยชน์ของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อสุขภาพ สรุปได้ดังนี้ 1. ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กแต่ถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ และเกิดเป็นกรดไขมันสายสั้น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย *Bifidobacterium* เช่น แอซีเทต บิวทิเรต และพรอพิโอเนต 2. ส่งผลดีต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจากมี*ค่าดัชนีไกลเซมิก (Gylcemic Index/GI)* ต่ำ (GI คือ ดัชนีที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพของอาหารคาร์โบไฮเดรตภายหลังการรับประทานและเข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกาย ว่าสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อย โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน/น้ำตาลกลูโคส/ขนมปังขาวซึ่งมีค่า GI เท่ากับ 100/อาหาร GI ต่ำ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 55 หรือ น้อยกว่า/อาหาร GI ปานกลาง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 56-69/อาหาร GI สูง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 70 หรือมากกว่า) จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินหลังการบริโภคอาหารลดลง 3. ส่งเสริมให้ลำไส้ดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ดีขึ้น เช่น แคลเซียมและเหล็ก เป็นต้น 4. ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ กรดไขมันที่เกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่จะปรับค่าพีเอชภายในลำไส้ให้ต่ำลง เป็นผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนน้ำดีไปเป็นสารก่อมะเร็งไม่สามารถทำงานได้ 5.ยับยั้งการสะสมไขมัน ภายหลังการบริโภคจะเกิดการออกซิเดชันของลิพิด (lipidoxidation) เพิ่มขึ้น 6. ป้องกันโรคอ้วน ลดระดับคลอเรสเทอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นต้น

แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ยังแสดงคุณสมบัติที่ดีในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประการ อาทิ มีอนุภาคเล็ก ไม่มีรสชาติ และอุ้มน้ำได้น้อย โดยจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส ความกรอบ และการพองตัวในขนม เป็นต้น ตัวอย่างแป้งที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ทางการค้า เช่น โนวีโลส (Novelose) (ผลิตโดยบริษัท National Starch and Chemical/มีเส้นใยอาหารทั้งหมด 30% ไม่มีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์และมีไขมันต่ำ) และคริสทาลีน (CrystaLean) (ผลิตโดยบริษัท Opta Food Ingredients/มอลโทเด็กซ์ทรินคืนตัว (retrograded maltodextrin) มีเส้นใยอาหารทั้งหมด 30% นิยมใช้เพิ่มปริมาณเส้นใยในขนมอบและอาหารที่แปรรูปโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์) ตารางที่ 1 แสดงถึงปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ในอาหารและอาหารแปรรูปบางชนิด

เอกสารอ้างอิง กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. • วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2549. ค่าดัชนีไกลเซมิก. วารสารอาหาร 36(3), 183-187. • Sajilata, M.G. et al. 2006. Resistant starch: A Review. Compre. Rev. Food. Sci. F. 5: 1-17.• http://en.wikipedia.org/wiki/Resistant_starch.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ไรซ์เบอร์รี่: ข้าวต้านอนุมูลอิสระ

โยธกา ปัชชา/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

*ข้าว*จัดเป็นอาหารหลักของคนไทยและถือว่าเป็นอัตลักษณ์ของชาติ โดยเฉพาะ*ข้าวหอมมะลิ*ที่ได้รับการยอมรับจากเวทีโลกว่าเป็นข้าวที่ดีที่สุดในโลก จากสภาวะแวดล้อมปัจจุบันส่งผลให้คนส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญกับอาหารการกินมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรโลกจึงได้รับการพัฒนาในแง่มุมที่แตกต่างกัน

การส่งเสริมให้บริโภค*ข้าวมีสี*เป็นหนทางหนึ่งที่ปฏิบัติได้โดยง่าย โดยเฉพาะข้าวที่มีสีชมพู แดงส้ม แดงม่วง และม่วงดำ โภชนากรแนะนำว่าการบริโภคข้าวมีสีจะช่วยต้านโรคมากมาย อาทิ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันโรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น ตัวอย่าง ข้าวมีสีที่หาข้อมูลได้และมีจำหน่ายทางการค้า เช่น *ข้าวแดงภูฐาน (bhutanese red rice) ข้าวสีดำจากอิตาลี (italian black rice) ข้าวสีแดงจากบราซิล (venice rice) ข้าวสีแดงเข้มของเนปาล (himalayan red rice) ข้าวแดงที่ปลูกในฟิลิปปินส์ (bohol red rice) ข้าวดำของจีน/ข้าวดำต้องห้าม (forbidden black rice)* เป็นต้น สำหรับข้าวมีสีของไทย เช่น *ข้าวก่ำดอยสะเก็ด* และ*ข้าวก่ำอมก่อย* ข้าวสีแดงที่บริโภคในรูปของข้าวเจ้าและมีจำหน่าย ได้แก่ *ข้าวมันปู*ของภาคกลาง *ข้าวจิ๊บหรือข้าวกริ๊บ*ของภาคอีสาน และ*ข้าวสังข์หยด*ของภาคใต้ เป็นต้น

ภาพที่ 1 ข้าวสีดำไรซ์เบอรี่
ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ตารางที่ 1 ลักษณะประจำพันธุ์ของ*ข้าวไรซ์เบอรี่*

คุณลักษณะ	
ความสูง	105-110 ซม.
อายุเก็บเกี่ยว	130 วัน
ผลผลิต	750-1000 กก./ไร่
% ข้าวกล้อง (brown rice)	76%
% ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด (head rice)	50%
ความยาวของเมล็ด	ข้าวเปลือก 11 ม.ม.
	ข้าวกล้อง 7.5 ม.ม.
	ข้าวขัด 7.0 ม.ม.

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางโภชนาการใน*ข้าวกล้องไรซ์เบอรี่*

คุณสมบัติ	
ปริมาณอะมัยโลส	15.6 %
อุณหภูมิแป้งสุก	< 70 °C
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg
โอเมก้า-3	25.51 mg/100 g
วิตามิน อี	678 µg/100 g
โฟเลต	48.1 µg/100 g
บีตาแคโรทีน	63 µg/100 g
พอลิฟีนอล	113.5 mg/100 g
แทนนิน	89.33 mg/100 g
แกมมา-โอไรซานอล	462 µg/100 g
สารต้านอนุมูลอิสระ	
- ชนิดละลายในน้ำ	47.5 mg ascorbic acid equivalent/100 g
- ชนิดละลายในน้ำมัน	33.4 mg trolox equivalent/100 g

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

*ข้าว*มีสีประกอบด้วย*สารพฤกษเคมี (phytochemical)* ที่สำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะ*สารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant)* ซึ่งพบมากในรำข้าว มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงในการก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง เป็นต้น การทดสอบทางเภสัชศาสตร์พบว่าข้าวสีดำและรำข้าวสีดำมีประสิทธิภาพสูงในการต่อต้านอนุมูลอิสระ โดยส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวจะอุดมด้วยสารสำคัญหลายชนิด เช่น *แอนโทไซยานิน (anthocyanin) พรอแอนโทไซยานิดิน (proan-thocyanidin) ไบโอฟลาโวนอยด์ (bioflavonoids) พอลิฟีนอล (polyphenol)* และ*วิตามินอี (vitamin E)* เป็นต้น โดยที่พรอแอนโทไซยานิดินจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุด

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry) เป็นตัวอย่างหนึ่งของข้าวมีสีที่อุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ภาพที่ 1) จัดเป็นข้าวเจ้าสีดำซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่าง *ข้าวเจ้าหอมนิล* (สีม่วงเข้ม เมล็ดเรียวยาว) กับ*ข้าวขาวดอกมะลิ 105* (ข้าวขาว เมล็ดเรียวยาว) มีลักษณะประจำพันธุ์และคุณสมบัติทางโภชนาการดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจะมากขึ้นเมื่อข้าวมีสีเข้มขึ้น อย่างไรก็ตาม หากนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ไปหุงต้มประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลงครึ่งหนึ่งของข้าวขาว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าอุดมด้วย*โทโคลฟีนอล (tocolphenol)* และ*โทโคไตรอีนอล (tocotrienols)* เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบต่าง ๆ ในรำข้าว แกลบ ข้าวกล้องและข้าวขาว พบว่ารำข้าวมีปริมาณ*แกมมา-โอรีซานอล (gamma-oryzanol)* และ*โทโคฟีรอล (tocopherols)* สูงที่สุด ในขณะที่แกลบมี*กรดฟีโนลิก (phenolic acids) พีคูมาริก (p-coumaric)* และ*วานิลลิก (vanillic)* สูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2551. ข้าว ในมิติของอาหารต้านโรค. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ธนาเพรส,กรุงเทพฯ. • http://dna.kps.ku.ac.th.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

สารไอโซฟลาโวนจากถั่วเหลืองหมัก

มลนพรรษ สงพิมพ์*/สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล*

กระบวนการหมักถั่วเหลือง เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มปริมาณ*สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound)* เนื่องจากในระหว่างกระบวนการหมักจุลินทรีย์ต่าง ๆ อาทิ *Bacillus subtilis Rhizopus oligosporus* และ *Aspergillus sp.* เป็นต้น จะสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลืองให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เกิดเป็น เพปไทด์ กรดอะมิโน กรดไขมัน น้ำตาล และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญอีกหลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้จะส่งผลดีต่อรสชาติและคุณสมบัติทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักและสุขภาพของผู้บริโภคด้วย

*ถั่วเหลืองหมัก*เป็นผลิตภัณฑ์อาหารดั้งเดิมของประเทศแถบเอเชีย ซึ่งให้กลิ่นรสและรสชาติที่เฉพาะตัว อีกทั้งยังอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิ กรดอะมิโนอิสระ วิตามินบี 12 สารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่สำคัญคือสาร*ไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoid)* ที่มีคุณสมบัติในการควบคุมปริมาณน้ำตาลกลูโคสและลดภาวะการดื้ออินซูลินในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิด 2 จากสถิติพบว่ามีผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิด 2 เพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักจึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่รักสุขภาพและผู้ป่วยเบาหวานระยะเริ่มแรก

สารไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoid) เป็นสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับ *ฮอร์โมนเอสโทรเจน (estrogen)* จึงสามารถจับกับ *ตัวรับเอนโทรเจน (estrogen receptor)* ได้อย่างเฉพาะเจาะจง ณ บริเวณเดียวกับ *อะโกนิสต์ (agonists)* หรือ *แอนตาโกนิสต์คู่แข่งขัน (competitive antagonist)* ซึ่งเป็นบริเวณที่มีผลต่อการกระตุ้นกลไกการตอบสนองของเซลล์ ด้วยเหตุนี้สารไอโซฟลาโวนอยด์ จึงออกฤทธิ์คล้ายกับฮอร์โมนเอสโทรเจน ที่สามารถป้องกันและรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ด้วยการลดภาวะการดื้ออินซูลิน ปรับการปลดปล่อยอินซูลินและเพิ่มจำนวน β-cell เป็นต้น ฉะนั้น สารไอโซฟลาโวนอยด์จึงมีส่วนช่วยในการปรับระดับสมดุลของน้ำตาลกลูโคสภายในเซลล์ได้เช่นเดียวกับฮอร์โมนเอสโทรเจน

สารไอโซฟลาโวน เป็นสารในกลุ่มไอโซฟลาโวนอยด์ ซึ่งพบในถั่วเหลืองและถั่วเหลืองหมัก (ตารางที่ 1) มักพบในรูป 6-O-malonylglucoside หรือ β-glucoside conjugates อาทิ จีนิสติน (genistin) เดียดซิน (diadzin) และไกลซิติน (glycitin) และ β-glucoside ที่เชื่อมต่อกับโปรตีนในถั่วเหลือง/สารไอโซฟลาโวนเหล่านี้ จะถูกย่อยสลายได้โดยความร้อนและกระบวนการหมัก โดยในระหว่างการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการหมักด้วยความร้อน 6-O-malonylglucoside จะเปลี่ยนเป็น 6-O-acetylglucoside หรือ β-glucoside จากนั้นเมื่อผ่านกระบวนการหมัก β-glucoside จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์*บีตา-กลูโคซิเดส (β-glucosidase)* ได้ β-glucoside unconjugates ซึ่งได้แก่ สาร*จีนิสเทอิน (genistein)* และ*เดียดเซอิน (diadzein)* เป็นต้น และหากพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก เช่น ผลิตภัณฑ์*ชองกุกจัง (cheonggukjang)* จากประเทศเกาหลี พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารไอโซฟลาโวน กับถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านกระบวนการหมัก พบสารเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์ชองกุกจังมากกว่าถั่วเหลืองถึง 21 เท่า ดังนั้น กระบวนการหมักถั่วเหลืองจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองได้มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก

		Soybean	Doenjang	Miso	Chungkookjang	Tempeh
Protein (%)		20-42	12	10-17	41	23-55
Lipid (%)		18-22	4-11	3-11	26	14-23
Carbohydrate (%)		35	11	15-38	24	10-30
Isoflavone (mg/100 g)	Genistin	36-86	1-2	3-27	87-91	6-19
	Daidzin	15-57	0.3-0.6	3-18	79-93	2-3
	Glycitin	2-6	0.1	1-2	10-12	0.1-0.4
	Malonyl genistin	123-186	0.5-0.8	0.1-3	20-22	39-42
	Genstein	0.2-5	0.1	11-47	3-4	7-10
	Daidzein	0.3-5	0.1-3.7	9-36	4-7	7-8
	Glycitein	0.1-0.6	0.4-0.7	1	11-13	0.5-0.7
Amino acid (g/100 g)	Aspartate	1.4-1.7	1.2	1.8-4.6	3.4-3.8	1.5
	Glutamate	3.8-4.8	3	4.9-9.9	4.4-5.5	2.3
	Serine	1.1-1.4	0.8	2.0-5.7	1.5-1.8	0.8
	Glycine	0.7-0.9	0.6	1.4-4.7	1.3-1.5	0.6
	Arginine	1.5-1.9	1.2	0.5-3.7	1.9-2.1	0.9
	Alanine	0.8-1.0	0.8	–	1.5-1.6	0.6
	Proline	1.1-1.3	1.2	2.4-6.4	1.8-2.0	0.6
	Histidine	0.7-0.9	0.4	3.0-9.0	0.9	0.4
	Valine	0.8-1.0	0.7	2.0-5.0	2.0-3.0	0.6
	Methionine	0.2-0.3	0.2	1.8-9.0	0.3-0.4	0.2
	Cystein	0.5-0.6	1	0.01-0.03	0.3-0.4	0.2
	Isoleucine	1.0-1.3	0.9	3.6-7.3	1.5-1.6	0.7
	Leucine	1.6-2.0	0.4	3.2-5.9	2.5-2.7	1.1
	Phenylalanine	1.1-1.4	0.7	1.7-3.3	1.7-1.8	0.5
	Tyrosine	0.8-1.0	0.9	1.5-2.7	0.9-1.0	0.5
	Lysine	1.4-1.7	0.8	2.4-4.5	2.1-2.7	0.8
	Threonine	0.8-1.0	0.7	1.4-2.6	1.2-1.4	0.5
Mineral (g/100 g)	Na	0.02	9.1-9.7	3.7	0.03	0.006
	K	2.3	0.8-1	0.2	2.4	0.4

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kwon และคณะ, 2010

เอกสารอ้างอิง Kwon, D.Y. et al. 2010. Nutri. Res. 30: 1-13.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนมีนาคม 2555

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตไบโอดีเซล (1)

ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งแร่ธาตุโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กระดับอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตไบโอดีเซล ปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ผลิตมาจากเศษอาหาร ชีวมวล หรือ ปุ๋ยคอก พบว่ามีสารอาหารสูงสามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กได้ (ตารางที่ 1)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสง (photobioreactor) ที่มีสูตรอาหารเพาะเลี้ยงพื้นฐาน (Bold's basal medium) ปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งเตรียมจากการผสมสูตรอาหารกับน้ำประปาแทนน้ำกลั่น/น้ำปลอดเชื้อ และมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของแร่ธาตุ (ตารางที่ 1) โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 6.8 มีการให้อากาศแบบต่อเนื่องและให้แสง (cool-white fluorescent light) ที่ความเข้มแสง 60-70 ไมโครโมล/เมตร^2 วินาที ซึ่งวิธีการเพาะเลี้ยงนี้จะสามารถขยายกำลังการผลิตได้โดยง่ายและช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมในระดับอุตสาหกรรม

ปัจจัยของการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ได้แก่ ปริมาณไนเทรต/ระยะเวลาของการให้แสง/ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น/การเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง/การหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง 12 วัน ผลของการเจือจางปุ๋ยอินทรีย์เพื่อแปรผันความเข้มข้นของไนเทรต 1.33-40.71 กรัม/ลิตร พบว่าให้ความเข้มข้นของเซลล์สาหร่ายเท่ากับ 0.1-0.31 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.132-0.229 ต่อวัน ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนเทรตที่เหมาะสม 40.71 กรัม/ลิตร จะให้ให้ความเข้มข้นของเซลล์สูงสุด (ภาพที่ 1ก)

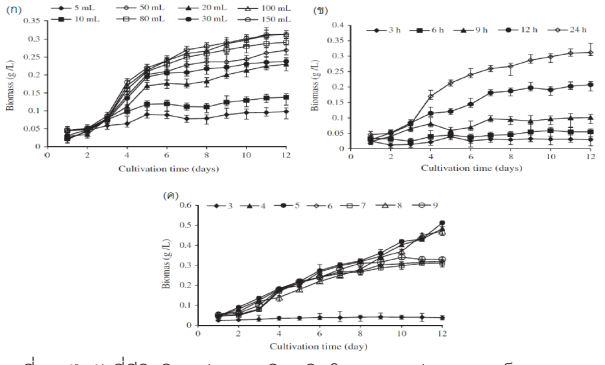
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของสารละลายปุ๋ยอินทรีย์ (10 กรัม/น้ำประปา 600 มล.)

Parameter	Unit	Concentration
COD[a]	ppm	1729.9
BOD – 5 days test at 20 °C[b]	ppm	576.0
Nitrogen[c]	ppm	1323.2
Phosphorus[d]	ppm	213.6
Potassium[e]	ppm	634.4
Calcium[f]	ppm	269.9
Magnesium[g]	ppm	54.5
Manganese[h]	ppm	1.0
Boron[i]	ppm	4.1
Iron[j]	ppm	1.3

Testing method:
[a] APHA 5220 B (2005).
[b] APHA 5210 B (2005).
[c] APHA 4500-NH_3-F.
[d] APHA 4500-P E (2005).
[e] APHA 3111 B (2005).
[f] APHA 3111 B (2005).
[g] APHA 3111 B (2005).
[h] APHA 3111 B (2005).
[i] APHA 4500-B C (2005).
[j] APHA 3111 B (2005).

ที่มา: Lam และ Lee, 2012

ปัจจัยของระยะเวลาการให้แสง 3, 6, 9, 12 และ 24 ชั่วโมง ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน (ภาพที่ 1ข) พบว่าระยะเวลาการให้แสงที่เหมาะสม 24 ชั่วโมง ให้ความเข้มข้นเซลล์สูงสุด 0.31 กรัม/ลิตร และมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.228 ต่อวัน ซึ่งแตกต่างจากระยะเวลาการให้แสงที่ 3-9 ชั่วโมง ซึ่งให้ความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ 0.03-0.1 กรัม/ลิตร เท่านั้น แสดงว่าการเพิ่มระยะเวลาการให้แสงจะช่วยให้สาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* สามารถใช้สารอาหารได้อย่างต่อเนื่องผ่านวิถีการสังเคราะห์แสง ทำให้การผลิตมวลของเซลล์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* (ก) ความเข้มข้นไนเทรตเริ่มต้น (5mL=1.33, 10mL=2.69, 20mL=5.38, 30mL=7.98, 50mL=13.09, 80mL=20.94, 100mL=26.67 และ 150mL=40.71กรัม/ลิตร) (ความเป็นกรด-ด่าง 7, การให้แสง 24 ชั่วโมง) (ข) ระยะเวลาการให้แสง (ไนเทรต 26.67 กรัม/ลิตร, ความเป็นกรด-ด่าง 7) และ (ค) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (ไนเทรต 26.67 กรัม/ลิตร, การให้แสง 24 ชั่วโมง)

ที่มา: Lam และ Lee, 2012

ฉะนั้นสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* จึงไม่สามารถเก็บพลังงานแสงเพื่อใช้ในช่วงของการเจริญเติบโตแบบไม่มีแสงได้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบคายพลังงาน (exergonic reaction) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาการออกแบบพื้นที่ผิวของการรับแสงสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของการเพาะเลี้ยงกลางแจ้งเพื่อให้สาหร่ายได้รับพลังงานแสงที่เหมาะสมที่จะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ สำหรับระยะเวลาการให้แสง 12 ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับระยะเวลาของแสงแดดกลางแจ้งนั้น พบว่าให้ความเข้มข้นเซลล์ประมาณ 2 เท่าของระยะเวลาการให้แสง 3-9 ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* กลางแจ้งได้ แต่ก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและอุณหภูมิของแต่ละพื้นที่

การศึกษาปัจจัยค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 3-9 (ภาพที่ 1ค) พบว่าสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นลักษณะเส้นตรง ณ ความเป็นกรด-ด่าง 4, 5 และ 8 โดยมีความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ 0.47-0.51 กรัม/ลิตร และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.265, 0.270 และ 0.263 ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 7 (0.229 ต่อวัน) จึงแสดงให้เห็นว่าสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* สามารถปรับตัวในสภาวะที่มีความเป็นกรดหรือด่างได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นผลดีต่อการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนในระหว่างการเพาะเลี้ยงได้ แม้ว่าจะพบการเจริญเติบโตในช่วงระยะปรับตัว ณ ความเป็นกรด-ด่างที่ 6, 7 และ 9 ของการเพาะเลี้ยงวันที่ 1-4 และความเข้มข้นของเซลล์สาหร่ายไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเพาะเลี้ยงวันที่ 9-12 โดยมีความเข้มข้นของเซลล์สูงสุดเท่ากับ 0.33 กรัม/ลิตร

กรณีศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสง แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของแร่ธาตุ โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ ความเข้มข้นของไนเทรต ระยะเวลาการให้แสง และค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น เป็นต้น

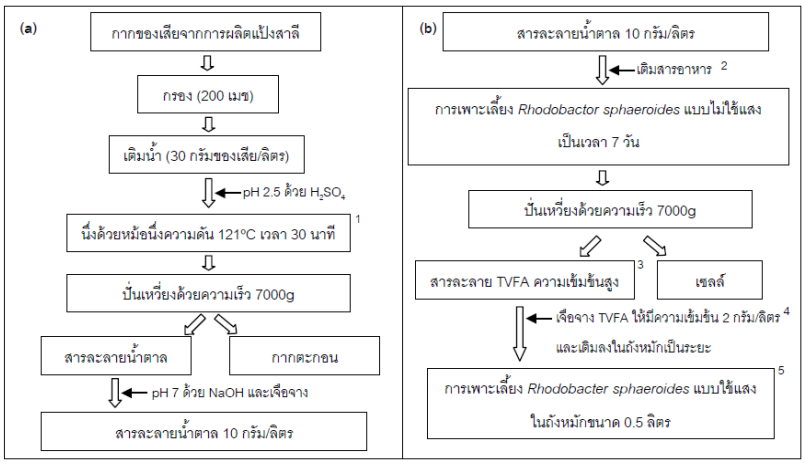
เอกสารอ้างอิง Lam, M.K. and K.T. Lee. 2012. Appl. Energy 94: 303-308.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ไบโอไฮโดรเจน

ธนศักดิ์ ไพโรจน์/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยการหมักแบบใช้แสงและไม่ใช้แสงจากชีวมวล/กากทิ้งที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต จำเป็นต้องใช้กรด/เอนไซม์ช่วยในการย่อยสลายเพื่อให้ได้น้ำตาลที่หมักได้เสียก่อน จากนั้นจึงผ่านขั้นตอนแรกของการหมักแบบไม่ใช้แสงด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodobacter sp.* จะได้เป็น*กรดไขมันระเหย (volatile fatty acids/ VFAs)* เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนที่สองของการหมักแบบใช้แสง ทำให้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ สรุปกระบวนการผลิตไบโอไฮโดรเจนภายใต้สภาวะการควบคุมของสารอาหารและ ความเข้มแสง แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน (a) การย่อยสลายของเสียจากแป้ง และ (b) การหมักแบบไม่ใช้แสงและใช้แสงตามลำดับ

หมายเหตุ 1 การย่อยสลายได้น้ำตาลกลูโคสและมอลโทส, 2 ประกอบด้วย urea 90 มก./ลิตร K2HPO4 2.8 กรัม/ลิตร KH2PO4 3.9 กรัม/ลิตร MgSO4•7H2O 50 มก./ลิตร และ FeSO4•7H2O 25 มก./ลิตร, 3 TVFA คือ สารละลายกรดไขมันระเหยทั้งหมด, 4 ประกอบด้วย EDTA 20 มก./ลิตร NaMoO4•2H2O 50 มก./ลิตร MgSO4•7H2O 50 มก./ลิตร และ FeSO4•7H2O-EDTA 20 มก./ลิตร, 5 ควบคุมความเข้มแสง 5 กิโลลักซ์

ที่มา: Lam และ Lee, 2012

ตัวอย่างของการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *R. sphaeroides* NRRL B-1727 จากกากของเสียของการผลิตแป้งสาลี โดยการเพาะเลี้ยงสองขั้นตอน (แบบไม่ใช้แสงและใช้แสง ตามลำดับ) ดังที่สรุปไว้ในภาพที่ 1 จะให้อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงสุด 85 มิลลิลิตร/วัน โดยมีผลได้ของก๊าซไฮโดรเจนสูงสุดในวันที่ 8 เท่ากับ 1,200 มิลลิลิตรของก๊าซไฮโดรเจน/กรัมของกรดไขมันระเหยทั้งหมด อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของเซลล์มีผลทำให้อัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนลดลง สำหรับอัตราการเติมสารละลายกรดไขมันระเหย (TVFA) ที่เหมาะสมที่สุด เท่ากับ 0.32 กรัม/ลิตร วัน ซึ่งจะให้ผลได้ของก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 0.51 กรัม/ลิตร วัน สรุปผลของการผลิตไบโอไฮโดรเจนได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากการเพาะเลี้ยงแบบใช้แสงจากกรดไขมันที่ระเหยได้

จุลินทรีย์	แหล่งคาร์บอน	แหล่งไนโตรเจน	แหล่งให้แสง	ความเข้มแสง	ผลได้ไฮโดรเจน
Rhodobacter sphaeroides WP3-5	กรดบิวทีริก (1.83 กรัม/ลิตร)	กรดกลูตามิก (0.607 กรัม/ลิตร)	หลอดทังสเตน	10 กิโลลักซ์	1,460 มล./กรัม กรดบิวทีริก
R. sphaeroides OU 001	กรดมาลิก (2.01 กรัม/ลิตร)	กลูตาเมต (0.3 กรัม/ลิตร)	หลอดทังสเตน	15 ±1.1 วัตต์ต่อตารางเมตร	750 มล./กรัม กรดมาลิก
R. sphaeroides RV NIBH-8703	กรดแลกติก (9 กรัม/ลิตร)	ยีสต์สกัด (0.5 กรัม/ลิตร)	หลอดทังสเตน	10 กิโลลักซ์	1,194 มล./กรัม กรดแลกติก
R. sphaeroides NRRL B-1727	ไฮโดรไลเสตจากแป้งสาลี (การเพาะเลี้ยงแบบไม่ใช้แสง)	-	หลอดฮาโลเจน	5 กิโลลักซ์	1,200 มล./กรัม TVFA
R. sphaeroides NRRL B-1727	สารละลายจากแป้งสาลี (การเพาะเลี้ยงแบบไม่ใช้แสง)	-	หลอดฮาโลเจน	5 กิโลลักซ์	185 มล./กรัม TVFA

ที่มา: ดัดแปลงจาก Kargi และ Sagnak, 2011

จากกรณีศึกษาข้างต้น จึงสรุปได้ว่าสามารถผลิตไบโอไฮโดรเจนในปริมาณสูงได้โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งคาร์บอนที่เป็นกรดไขมันระเหยบริสุทธิ์ แต่สามารถใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งทดแทนได้ รวมทั้งสามารถประหยัดพลังงานได้ดีกว่าวิธีการผลิตอื่นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง Kargi, F. and R. Sagnak. 2011. Int. J. Hydrogen Energy 36: 4348-4353.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

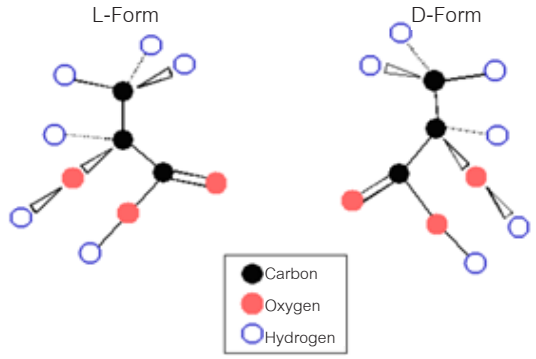
เดือนเมษายน 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

กรดแลกติก:กรดอินทรีย์เพื่อโลกสีเขียว

ลลิตา พลมณี/สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

กรดแลกติก (*Lactic acid*) มีชื่อทางเคมีว่า 2-hydroxypropanoic acid หรือ 2-hydroxypropionic acid พบได้ทั่วไปในร่างกายคน สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ โดยในพืชและจุลินทรีย์พบกรดแลกติกในรูปของ L(+)-lactic acid และ D(-)-lactic acid ซึ่งต่างเป็นไอโซเมอร์ซึ่งกันและกัน ดังภาพที่ 1 หรืออาจพบรวมกันในรูป DL-lactic acid ส่วนในร่างกายคน และสัตว์พบเพียง L(+)-lactic acid กรดแลกติกไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ระเหยได้ยาก และมีความสามารถในการกัดกร่อนเล็กน้อย โดยคุณสมบัติของกรดแลกติกสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 กรดแลกติกเป็นกรดอินทรีย์ที่สำคัญทางการค้า เนื่องจากมีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมผลิตสารสังเคราะห์พอลิเมอร์ เป็นต้น กรดแลกติกมากกว่า 50% ถูกใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมความเป็นกรดและให้เกิดรสเปรี้ยวที่พึงประสงค์ และช่วยป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของกรดแลกติก

ที่มา: http://www.lactic-acid.com/media/history.gif

ปัจจุบันสามารถผลิตกรดแลกติกได้ 2 วิธี คือ (1) *การสังเคราะห์ทางเคมี* โดยนำกรดไซยานิกมาทำปฏิกิริยากับแอซีทัลดีไฮด์ได้เป็นแลกโทไนไทรล์ จากนั้นนำแลกโทไนไทรล์ที่ได้มาทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับกรดไฮโดรคลอริกได้เป็นกรดแลกติก และแอมโมเนียมคลอไรด์ และ (2) การผลิตกรดแลกติกด้วย*กระบวนการหมัก*โดยอาศัยกิจกรรมของ*แบคทีเรียกรดแลกติก* การผลิตกรดแลกติกด้วยวิธีการหมักนั้น มีข้อได้เปรียบคือสามารถผลิตกรดแลกติกให้ได้ไอโซเมอร์ของกรดแลกติกตามต้องการเพียงชนิดเดียวได้ และไม่เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการหมัก ในขณะที่การผลิตด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ผสมของกรดแลกติกทั้งชนิด D (-) lactic acid และ L (+) lactic acid อย่างไรก็ตามกรดแลกติกที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักยังคงมีต้นทุนที่สูงอยู่ ส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์และส่วนหนึ่งมาจาก*กระบวนการทำให้บริสุทธิ์* หรือ *กระบวนการท้ายกระแส*

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกรดแลกติก

Product identification	
CAS no.	50-21-5, 79-33-4 (L), 10326-41-7 (D)
EINECS no.	200-018-0
Formula	$CH_3CH(OH)COOH$
Mol. wt.	90.08
H.S. code	2918.11
Toxicity	Oral rat LD50: 3543 mg/kg
Synonyms	2-hydroxypropanoic acid; 1-hydroxyethanecarboxylic acid; ethylidenelactic acid; alpha-hydroxypropionic acid
Physical and chemical properties (99%)	
Physical State	Colorless to slightly yellow, syrupy liquid
Melting point	17°C
Boiling point	122°C
Specific gravity	1.2
Solubility in water	Miscible
NFPA ratings	Health 3, Flammability 1, Reactivity 1
Flash point	112°C
Stability	Stable under ordinary conditions

ที่มา: Vaidya และคณะ, 2005

กระบวนการทำบริสุทธิ์กรดแลกติกเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญเนื่องจากประกอบไปด้วยขั้นตอนหลายขั้นตอน อาทิ การแยกเซลล์จุลินทรีย์ออกจากน้ำหมัก การทำให้กรดแลกติกเข้มข้น การทำให้บริสุทธิ์ การเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งกระบวนการทำบริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิต เนื่องจากมีการใช้สารเคมีและพลังงานในปริมาณสูง วิธีการทำให้บริสุทธิ์ของกรดแลกติกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การสกัด การแยกด้วยโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange chromatography) การแยกด้วยเยื่อเมมเบรนแบบอิเล็กทรอไดแอลิซิส (Electrodialysis) และการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol esterification) เป็นต้น

การพัฒนากรรมวิธีการผลิตกรดแลกติกที่มีต้นทุนการผลิตต่ำจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นมาก ซึ่งมีด้วยกันหลายแนวทาง เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้ซับสเตรตได้ดี และผลิตกรดแลกติกได้ปริมาณสูง การพัฒนากระบวนการผลิตกรดแลกติกให้มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบที่หาง่าย ราคาถูกยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง Vaidya, A. N. et al. 2005. Environ. Sci. Technol. 35: 429–467. • Wang, L. et al. 2010. Bioresour. Technol. 101: 7895–7901. • http://www.lactic-acid.com/media/history.gif.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

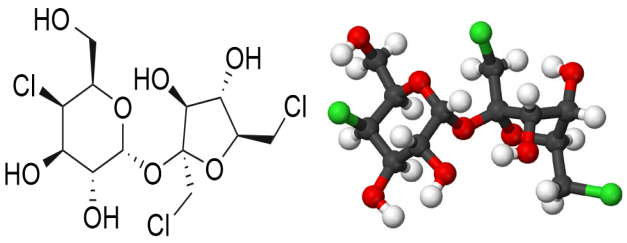
เดือนเมษายน 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

สารให้ความหวานสังเคราะห์ซูคราโลส

*สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

ซูคราโลส เป็นสารให้ความหวานเทียมที่ร่างกายไม่ย่อยสลาย จึงไม่ให้ค่าพลังงานแต่อย่างไร แต่ก็มีความหวานมากกว่าซูโครส 600 เท่า ขัณฑสกร/แซ็กคารีน 2 เท่า และเอสพาร์เทม 3 เท่า ซูคราโลสมีความเสถียรสูงพ้นจากอิทธิพลของความร้อนและสภาวะความเป็นกรด จึงนิยมใช้มากในอาหารและผลิตภัณฑ์แปรรูป เนื่องจากให้รสชาติที่ดี คุณสมบัติไม่ดูดความชื้น มีความเสถียร และได้รับการยอมรับว่าปลอดภัย (non-nutritive/non-caloric sweetener) อย่างเป็นทางการจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) เมื่อปี ค.ศ. 1998/1999/2006 และจากองค์กรหลากหลายทางด้านอาหารและยาทั่วโลก ปัจจุบันมีการใช้ซูคราโลสอย่างกว้างขวางแล้วกว่า 80 ประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทย ซูคราโลสใช้ได้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยไม่เพิ่มปริมาณกลูโคสในกระแสเลือดและไม่ส่งผลกระทบต่อระดับของอินซูลิน โดยมีปริมาณบริโภคต่อวัน/Estimated Daily Intake (EDI) แนะนำจากสมาคมโรคเบาหวานแห่งแคนาดา เท่ากับ 9 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน สำหรับหน่วยงาน เอฟดีเอ/FDA ได้กำหนดปริมาณบริโภคต่อวันไว้ที่ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนัก/วัน นอกจากนี้ยังปลอดภัยต่อผู้ป่วยด้วย*โรคฟีนิลคีโตนูเรีย (phenylketonuria/PKU)* ที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณ*กรดอะมิโนฟีนิลอะลานิน/Phe* ในกระแสเลือด (ผู้ป่วยจะมีค่า Phe ในเลือด >20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) รวมทั้งหญิงตั้งครรภ์และเด็กอีกด้วย ชื่อทางการค้าของซูคราโลสที่ปรากฏจำหน่ายทั่วไป ได้แก่ Splenda (ผสมด้วยมอลโทเด็กซ์ทรินที่เป็นสารเพิ่มปริมาณ/bulking agent)/McNeil Nutritionals LLC (Johnson & Johnson), Sukrana, SucraPlus, Candys, Cukren และ Nevella เป็นต้น



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของซูคราโลส ($C_{12}H_{19}C_{l3}O_8$) (1',4,6'-Trichlorogalactosucrose/E955)

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/Sucralose

ซูคราโลสสังเคราะห์จากซูโครส/น้ำตาลทราย ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า *คลอริเนชัน (Chlorination)* ซึ่งมีการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลสามหมู่ของซูโครสด้วยคลอรีนสามอะตอมด้วยกัน (ภาพที่ 1) ตัวอย่างของสารเติมคลอรีน ได้แก่ phosphorus oxychloride เป็นต้น โดยมีบริษัท Tate & Lyle (http://www.tateandlyle.com)/ผู้ผลิตน้ำตาลที่สำคัญของประเทศอังกฤษ เป็นผู้ค้นพบซูคราโลส ณ มหาวิทยาลัยลอนดอน/Queen Elizabeth College ในปี ค.ศ. 1989 และได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารและเครื่องดื่มได้ในแคนาดาและสหรัฐอเมริกาเมื่อ ปี ค.ศ. 1991 และ 1998 ตามลำดับ โดยมีบริษัท Johnson & Johnson/McNeil Nutritionals LLC ได้ซื้อสิทธิ์ในการผลิตและพัฒนาซูคราโลสเชิงพาณิชย์ ภายใต้ชื่อการค้าว่า Splenda อย่างไรก็ดี ในปี ค.ศ. 2009 ประเทศจีนก็ได้สิทธิ์ในการผลิตซูคราโลสออกจำหน่ายภายใต้ชื่อการค้าอื่นได้เช่นเดียวกัน ซูคราโลสนับเป็นสารให้ความหวานสังเคราะห์เพียงชนิดเดียวที่ผลิตจากน้ำตาลธรรมชาติ/ซูโครส สามารถก้าวผงาดขึ้นมาแทนแซ็กคารีนที่ประกาศห้ามใช้ในแคนาดาในปี ค.ศ. 1977 และไซคลาเมตที่ประกาศห้ามใช้ในแคนาดาและสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเป็นสาเหตุของการก่อโรคมะเร็งได้ แต่ก็ยังมีคู่แข่งอย่างเอสพาร์เทมที่มีคุณสมบัติด้อยกว่า ซึ่งไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูงและภายใต้สภาวะความเป็นกรด

ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์ซูคราโลสภายใต้ชื่อการค้า Splenda®/Tate & Lyle

ที่มา: http://www.tuberose.com/Sucralose.html; http://www.splenda.com/

ซูคราโลสภายใต้ชื่อการค้า Splenda®/Tate & Lyle ในสถานะสารให้ความหวานระดับครัวเรือน (ภาพที่ 2) สามารถจำหน่ายได้มากกว่าผลรวมของ Equal® /เอสพาร์เทม และ Sweet n Low®/แซ็กคารีน ในปี ค.ศ. 2004 โดยมีมูลค่าสูงถึง 172 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ปัจจุบันบริษัท Tate & Lyle จึงได้เปิดโรงงานอีกแห่งที่สิงคโปร์ (Jurong Island) เมื่อเดือนเมษายน 2007 นอกจากโรงงานเดิมที่ McIntosh/Alabama แล้ว แสดงให้เห็นถึงปริมาณการบริโภคซูคราโลสทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาทางด้านคลินิกและการแพทย์ในอดีตที่ผ่านมา ซูคราโลสได้รับการโฆษณาและยืนยันว่าปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังนี้ ไม่มีผลข้างเคียง ไม่เป็นพิษในสัตว์ทดลอง ไม่กระทบต่อเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไม่มีผลต่อการควบคุมกลูโคสในเลือดทั้งระยะสั้นและระยะยาว/และต่อระดับอินซูลิน และไม่ใช่เป็นแหล่งพลังงานเฉกเช่นคาร์โบไฮเดรตทั่วไป แม้ว่าจะผลิตมาจากน้ำตาลทรายก็ตาม

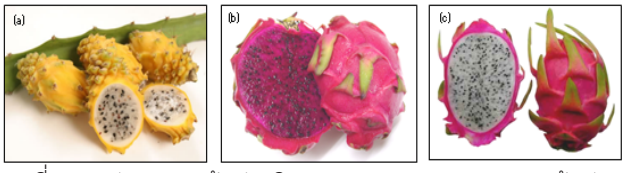
เอกสารอ้างอิง Rodero, A.B. et al. 2009. Toxicity of sucralose in humans: a review. Int. J. Morphol. 27(1): 239-244. • http://en.wikipedia.org/wiki/Sucralose. • http://www.sucralose.org/. • http://www.foodprocessing-technology.com/projects/tateandlyle/. • http://www.kon.org/urc/frank.html.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

Dragon fruits: อิทธิฤทธิ์ (ลูก) แก้วมังกร

มณชัย เดชสังกรานนท์/สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

แก้วมังกร มีถิ่นกำเนิดในแม็กซิโก อเมริกาใต้ และอเมริกากลาง มีการนำมาปลูกเป็นการค้าในประเทศเวียดนามกว่า 100 ปีแล้ว เนื่องจากผลคล้ายลูกแก้วที่มีเปลวไฟลุกโชติช่วงจึงเรียกผลไม้นี้ว่า ผลแก้วมังกร ส่วนต้นเรียกว่า ต้นแก้วมังกร แก้วมังกรจัดอยู่ในวงศ์ *Cactaceae* ซึ่งมีสมาชิกทั้งหมด 122 สกุล มีเพียง 9 สกุลที่สามารถรับประทานได้ และ 3 สกุลที่นิยมปลูกเป็นการค้า ได้แก่ *Mediocactus* sp. (ผลขนาดเล็ก รสหวานมาก) *Selenicereus* sp. (ผลสีเหลืองและเป็นหนาม เนื้อในสีขาว มีเมล็ดภายในสีดำ นิยมเรียกแก้วมังกรผิวทอง(ภาพที่ 1a)) และ *Hylocereus* sp. (นำเข้ามาปลูกในไทยและรู้จักกันมากที่สุด มีสองชนิด คือ เปลือกสีแดงเนื้อแดง (*H. polyrhizus*) นิยมเรียกแก้วมังกรแดง (ภาพที่ 1 b) และเปลือกสีแดงเนื้อขาว (*H. undatus*) นิยมเรียกแก้วมังกรขาว (ภาพที่ 1 c))



ภาพที่ 1 (a) ลักษณะผลแก้วมังกรผิวทอง (*Selenicereus sp.*) (b) แก้วมังกรแดง (*H. polyrhizus*) และ (c) แก้วมังกรขาว (*H. undatus*)

ที่มา: นิรนาม

แก้วมังกรประกอบด้วยพฤกษเคมีสำคัญหลายชนิด อาทิ *บีตาไซยานิน* (betacyanins) *ไลโคพีน* (lycopene) และ*วิตามิน อี* (vitamin E) โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 1.4, 3.4 และ 0.26 ไมโครกรัมต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนที่เป็นเมล็ดคล้ายงาดำประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็นประมาณ 50% ชนิดที่สำคัญ คือ *กรดลิโนเลอิก* (C18:2, 48%) และ*กรดลิโนเลนิก* (C18:3, 1.5%) นอกจากนี้ยังพบ*สารโอลิโกแซ็กคาไรด์* (oligosaccharides) ที่มีคุณสมบัติเป็น*พรีไบโอติก* (prebiotic) ส่วนที่เป็นเส้นใยจะมีสารมิวซิเล็จ (mucilage) จำนวนมากลักษณะคล้ายวุ้นเหลวมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ จึงช่วยลดการดูดซึมไขมันประเภทไตรกลีเซอร์ไรด์และคอเลสเทอรอลในเลือด

ในปี ค.ศ. 2010 Wichienchot และคณะ ได้ตีพิมพ์ผลงานในวารสาร Food Chemistry เรื่อง “Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties” ผลงานดังกล่าวยืนยันได้ว่าแก้วมังกรมีศักยภาพเป็นอาหารพรีไบโอติก พวกเขาพบว่าคาร์โบไฮเดรตหลักที่พบในเนื้อแก้วมังกรขาวและแก้วมังกรแดง คือ กลูโคสและฟรุกโทส และยังพบโอลิโกแซ็กคาไรด์อื่น ๆ อีกประมาณ 86.2 และ 89.6 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์คือ ใช้เอทานอลในการสกัดและใช้อัตราส่วนของเนื้อแก้วมังกรต่อเอทานอลเท่ากับ 2:1 ภายใต้อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ผลการทำบริสุทธิ์บางส่วนพบว่าโอลิโกแซ็กคาไรด์เหล่านี้มีน้ำหนักโมเลกุล 716, 700, 490 และ 474 ดาลตัน และมี degree of polymerization (DP) เท่ากับ 3–4 และพบว่าโอลิโกแซ็กคาไรด์จากแก้วมังกรมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก กล่าวคือ ทนต่อสภาวะกรดภายในกระเพาะอาหารของมนุษย์ ต้านทานต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์อะมัยเลส อีกทั้งยังส่งเสริมการเจริญเติบโตของแลกโตบาซิลลัสและบิฟิโดแบคทีเรียอีกด้วย

แก้วมังกรยังมีบีตาไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีม่วงแดงและเป็นชนิดเดียวกับที่พบในบีตรูต จัดอยู่ในกลุ่ม*สารบีตาเลน* (betalains) เช่น เดียวกับ*บีตาแซนทิน* (betaxanthin) และเป็นอนุพันธ์ของ*กรดบีตาลามิก* (betalamic acid) เป็นที่ทราบกันดีว่าสารกลุ่มนี้สามารถยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเนื่องอกได้หลายชนิด รวมถึงต่อต้านไวรัสและแบคทีเรียได้อีกด้วย นอกจากนี้บีตาไซยานินยังมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันได้ดีกว่า*คาเทชิน* (catechin) และ*วิตามินซี* และสามารถละลายน้ำได้ดี โดยจะให้สีแดงในช่วงค่าพีเอช 3-7 ด้วยเหตุนี้บีตาไซยานินจึงมีศักยภาพในการใช้เป็นสีผสมอาหารและในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นผลให้มีการศึกษาการสกัดบีตาไซยานินจากส่วนต่าง ๆ ของแก้วมังกรเพื่อการใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแก้วมังกรขาว (*H. undatus*) และแก้วมังกรแดง (*H. polyrhizus*)

Characteristic	White-flesh dragon fruit	Red- flesh dragon fruit
Fruit dimension (cm)[a]		
Length	134 ± 5.0a	127 ± 5.5b
Diameter	94.0 ± 9.0a	66.0 ± 4.0b
Fruit weight (g)[a]		
Flesh weight	305 ± 75.0a	215 ± 35.0b
Skin weight	100 ± 30.0a	75.0± 25.0b
Sweetness (Brix)[a]	12.5 ± 0.55a	14.8 ± 0.75b
Sugar content (g/kg)[b]		
Glucose	353 ± 0.74a	401 ± 1.27b
Fructose	238 ± 0.84a	158 ± 0.32b
Oligosaccharides	86.2 ± 0.93a	89.6 ± 0.76a

Different letters in the same row mean a significant difference ($p<0.05$)

[a]Average of 15 fruits.

[b]Average of triplicate analyses by HPLC.

ที่มา: Wichienchot และคณะ, 2011

นักเทคโนโลยีทางอาหารจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงประกอบด้วยบีตาไซยานิน สารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และใยอาหารในปริมาณสูง โดยสารบีตาไซยานินที่สกัดได้จะมีความคงตัวได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5-5.5 และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในที่มืด มีรายงานว่าเปลือกแก้วมังกรขาวจะมีสารบีตาเลนมากที่สุด โดยบีตาเลนจากเปลือกและเนื้อของแก้วมังกรแดงจะคล้ายกับที่พบในหัวบีต และพบว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรขาวมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด รองลงมาคือเปลือกแก้วมังกรแดงและเนื้อแก้วมังกรแดง ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดงเท่านั้นที่แสดงกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ไทรอซิเนส

นอกจากนี้ยังมีการสกัดเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) จากเปลือกแก้วมังกรขาว โดยเอนไซม์ที่สกัดได้จะมีค่าพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานเท่ากับ 7.0 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับงานทางด้านพัฒนาผลิตภัณฑ์และแปรรูปอาหารมีการนำเนื้อแก้วมังกรและเปลือกแก้วมังกรไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารมากมาย เช่น ผงสี เครื่องดื่ม คุกกี้ เยลลี่ แก้วมังกรกวน แก้วมังกรแช่อิ่ม รวมถึงผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหมัก อาทิ ไวน์ น้ำส้มสายชู วุ้นสวรรค์ และโยเกิร์ต เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง กรรณิการ์ สอนโยธา และ ปราณี อ่านเปรื่อง. 2552. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความคงตัวของเบต้าไซยานินจากเปลือกและเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง (Hylocereus polyrhizus (Weber) Britton & Rose). วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 40(1), 15-18. • มณชัย เดชสังกรานนท์ นันทพร รูจิขจร และ จีสุดา เกตุกราย. 2552. การแปรรูปผลแก้วมังกรโดยวิธีการหมัก. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. • Wichienchot , S. et al. 2010. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. Food. Chem. 120: 850-857.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

นมและภาวะแพ้แลกโทสในนม

ศิวพร วรรณวิไล/สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

นม เป็นเครื่องดื่มที่นิยมบริโภคกันทั่วโลกเนื่องจากในน้ำนมมีสารอาหารที่มีประโยชน์มากมาย อาทิ โปรตีน ไขมัน แคลเซียม วิตามินบี และเกลือแร่ต่าง ๆ (โพแทสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม ไอโอดีน และฟอสฟอรัส) ซึ่งช่วยในการเจริญเติบโต ซ่อมแซมร่างกายส่วนที่สึกหรอ ช่วยบำรุงกระดูกและฟัน และยังช่วยบำรุงเลือดทำให้ร่างกายแข็งแรง นอกจากสารอาหารดังกล่าวแล้ว นมยังมีแลกโทสซึ่งเป็นน้ำตาลหลักที่พบในน้ำนม

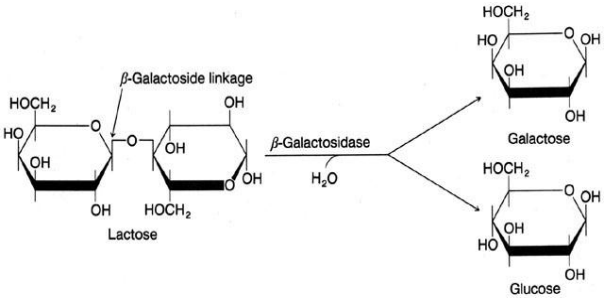
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ชนิดของน้ำนม	องค์ประกอบต่อน้ำนมสด 100 กรัม			
	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	แลกโทส (กรัม)	พลังงาน (กิโลแคลอรี)
วัว	3.3	3.9	4.6	66
มนุษย์	1.3	4.1	7.2	69
ควาย	4.1	9.0	4.8	118
แพะ	3.1	3.7	4.4	62
แกะ	5.4	5.8	5.1	93

ที่มา: Carrigan และคณะ, 2012

แลกโทส (Lactose) จัดเป็นน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยกลูโคสและกาแลกโทสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ปกติร่างกายของคนเราสามารถย่อยและดูดซึมแลกโทสได้โดยอาศัยเอนไซม์*แลกเทส* (Lactase) จากลำไส้เล็ก เพื่อย่อยแลกโทสเป็นกลูโคสและกาแลกโทส จากนั้นร่างกายจึงจะดูดซึมกลูโคสและกาแลกโทสเข้าสู่กระแสเลือดผ่านทางผนังลำไส้เล็ก ถ้าร่างกายขาดเอนไซม์แลกเทส น้ำตาลแลกโทสในนมก็ไม่สามารถถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพื่อดูดซึมในลำไส้เล็กได้ แลกโทสจึงเคลื่อนเข้าสู่บริเวณลำไส้ใหญ่ซึ่งมีแบคทีเรียที่มีแลกเทสจึงสามารถย่อยแลกโทสได้ ขณะที่แลกโทสผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะย่อยแลกโทสทันที กลูโคสและกาแลกโทสที่ได้จะก่อให้เกิดการหมักและเกิดก๊าซจำนวนมากในลำไส้ใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน นอกจากนี้ยังมีกรดแลกติกเกิดขึ้น ทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องเสีย ท้องอืด และอาการเกิดก๊าซในกระเพาะอาหาร ซึ่งจะเกิดอาการเหล่านี้หลังจากการดื่มนมหรือรับประทานอาหารที่มีแลกโทสเป็นส่วนผสมระหว่าง 30-120 นาที เรียกอาการที่เกิดขึ้นดังกล่าวว่า *ภาวะแพ้แลกโทสในนม* (Lactose intolerance)

ภาวะแพ้แลกโทสเนื่องจากขาดเอนไซม์แลกเทสพบได้ในผู้ใหญ่ประมาณ 75% ทั่วโลก ซึ่งภาวะการขาดแลกเทสเกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนจากวัยเด็กเป็นผู้ใหญ่ (adult-type hypolactasia) และความรุนแรงของอาการจะขึ้นอยู่กับอายุ ความถี่ของการบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของแลกโทส และเชื้อชาติ โดยพบว่าในยุโรปเหนือมีผู้ที่เกิด



ภาพที่ 1 การย่อยสลายของแลกโทสด้วยเอนไซม์บีตา-กาแลกโทซิเดส

ที่มา: http://www.cas.muohio.edu/~wilsonkg/old/gene2005/images/fs18p2.jpg

ภาวะแพ้แลกโทส ประมาณ 5 % แต่กลับพบมากในแถบเอเชียและแอฟริกาถึง 90 % นอกจากผู้ใหญ่แล้วภาวะแพ้แลกโทสยังพบได้ในเด็กที่คลอดก่อนกำหนด เนื่องจากเอนไซม์แลกเทสจะผลิตขึ้นในช่วง 6-9 เดือนของอายุครรภ์มารดา โดยจะพบแลกเทสปริมาณสูงสุดในลำไส้เล็กของทารกแรกเกิด จากนั้นปริมาณแลกเทสจะลดลงอย่างช้า ๆ ถ้าหากไม่ได้รับประทานนมเป็นประจำ ผู้ที่มีภาวะแพ้แลกโทสสามารถป้องกันไม่ให้เกิดอาการดังกล่าวได้ โดยการหลีกเลี่ยงการรับประทานนมหรืออาหารที่มีส่วนผสมของแลกโทส

อย่างไรก็ตาม นมถือว่าเป็นแหล่งของแคลเซียมที่จำเป็นต่อการสร้างความแข็งแรงของกระดูกและฟัน ทำให้ผู้ที่มีภาวะแพ้แลกโทสที่หลีกเลี่ยงการรับประทานนมหรืออาหารที่มีนมเป็นส่วนผสม จึงเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมซึ่งจะก่อให้เกิดโรคกระดูกพรุนได้ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ที่มีภาวะแพ้แลกโทสสามารถรับประทานนมได้ จึงมีการนำเอนไซม์แลกเทสหรือบีตา-กาแลกโทซิเดส (beta-galactosidase) ที่ผลิตจากเชื้อราสกุล *Aspergillus* ที่มีจำหน่ายในรูปแบบเม็ดใช้ในการช่วยย่อยแลกโทสในนมก่อนที่จะนำมาบริโภค โดยจะต้องใส่เอนไซม์เม็ดในน้ำนมหรืออาหารที่มีแลกโทสเป็นส่วนประกอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เอนไซม์แลกเทสย่อยแลกโทสให้สมบูรณ์เสียก่อนแล้วจึงจะนำมาบริโภค

ปัจจุบันผู้ประกอบการด้านการแปรรูปนมและผลิตภัณฑ์นมได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของภาวะแพ้แลกโทสดังกล่าว จึงได้พัฒนากรรมวิธีการแปรรูปนมและผลิตภัณฑ์นมที่ปราศจากแลกโทสหรือมีส่วนประกอบของแลกโทสต่ำ เพื่อช่วยแก้ปัญหาของผู้ที่มีภาวะแพ้แลกโทสให้สามารถบริโภคนมและผลิตภัณฑ์นมได้เช่นเดียวกับคนปกติทั่วไป

เอกสารอ้างอิง Carrigan, D. et al. 2012. Reduced lactose milk product and a process for the preparation thereof. Pub. no.US2012/0040052 A1.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนเมษายน 2555

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

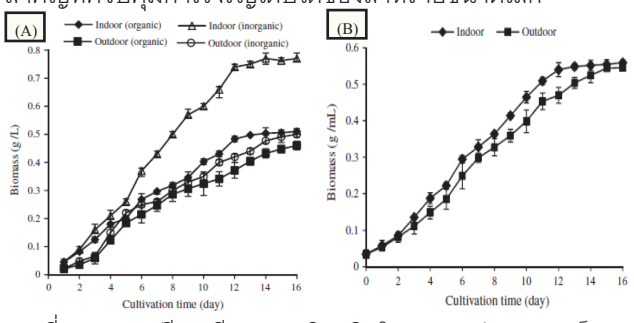
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตไบโอดีเซล(2)

ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กระดับอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสงและใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งแร่ธาตุ นอกจากจะศึกษาผลของความเข้มข้นไนเทรต ระยะเวลาการให้แสง และค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นแล้ว ยังมีอีกหลายพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาเพื่อพิสูจน์ความเหมาะสมของกรรมวิธีการเพาะเลี้ยงนี้

โดยทั่วไปการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* นิยมเพาะเลี้ยงภายในอาคารเนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ง่าย หากพิจารณาถึงความเหมาะสมในระดับอุตสาหกรรมแล้ว การเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารที่อาศัยแสงแดดเป็นแหล่งพลังงาน สามารถลดการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบลงได้ ส่งผลทำให้ต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลลดลง อย่างไรก็ตาม การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กภายนอกอาคารก็ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ ความเข้มแสง เป็นต้น ดังนั้นการเลือกใช้สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ที่สามารถปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจึงเป็นข้อได้เปรียบอย่างยิ่ง

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ที่เพาะเลี้ยงด้วยปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยอนินทรีย์ภายในหรือภายนอกอาคาร (ภาพที่ 1(B)) พบว่าสาหร่ายขนาดเล็ก สามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีปุ๋ยอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ภายใต้สภาวะของการเพาะเลี้ยงในอาคาร โดยมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.30 และ 0.27 ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารที่มีการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์และอินทรีย์ (0.20 ต่อวัน) โดยพบการปรับตัวในวันที่ 1-3 ของการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคาร ชี้ให้เห็นว่าหากมีแหล่งอาหารบริบูรณ์แล้ว ปัจจัยของการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารจะกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก



ภาพที่ 1 (A) เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ระหว่างการเพาะเลี้ยงภายในและนอกอาคาร โดยมีสภาวะการเพาะเลี้ยง ดังนี้ (ก) สารอาหารอินทรีย์ ปริมาตรเริ่มต้น 100 มล. (ความเข้มข้นไนเทรตเริ่มต้น 26.67 กรัม/ลิตร) พีเอช 5 (◆,●) (ข) สารอาหารอนินทรีย์ อาหาร BBM พีเอช 5 (△,○) (ค) การให้แสงไฟในอาคาร 24 ชั่วโมง (◆,△) (ง) ระยะเวลาให้แสงนอกอาคาร สว่าง:มืด 12:12 ชั่วโมง (■,○)จากไซโลส (B) เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ระหว่างการเพาะเลี้ยงที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ภายในและนอกอาคาร เมื่อใช้อาหารเพาะเลี้ยงซ้ำ โดยมีสภาวะการเพาะเลี้ยงดังนี้ ปริมาตรอาหารเริ่มต้น 100 มล. ความเข้มข้นไนเทรตเริ่มต้น 26.67 กรัม/ลิตร พีเอช 5 (ก) การให้แสงไฟในอาคาร 24 ชั่วโมง (◆) (ข) ระยะการให้แสงนอกอาคาร สว่าง:มืด 12:12 ชั่วโมง (■)

เอกสารอ้างอิง Lam, M.K. and K.T. Lee. 2012. Appl. Energy 94: 303–308.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

การนำอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กกลับมาใช้ใหม่นั้น นอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังช่วยสนับสนุนการประหยัดการใช้น้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมอื่นได้อีกด้วย แต่การใช้อาหารเพาะเลี้ยงซ้ำจะต้องคำนึงถึงการปนเปื้อนของเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเนื่องต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วย ดังนั้นสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็กที่จะนำมาใช้เพาะเลี้ยง จึงควรจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และทนทานต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้ดี

ภาพที่ 1(A) แสดงให้เห็นถึงผลของการนำอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ผ่านการบำบัด/การทำให้บริสุทธิ์เสียก่อน พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ที่เพาะเลี้ยงภายในอาคารที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และยังคงให้ผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายที่ดีส่วนการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารที่ใช้ปุ๋ยอนินทรีย์นั้นพบว่าการใช้อาหารเพาะเลี้ยงซ้ำยังช่วยแก้ปัญหาการปรับตัวในระยะเวลาสามวันแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ที่หลงเหลืออยู่ในอาหารเพาะเลี้ยงซ้ำนั้น จะช่วยลดระยะเวลาการปรับตัวของสาหร่ายลงได้อย่างชัดเจน

การสกัดไขมันโดยวิธีการทางเคมีโดยใช้ตัวทำละลายนั้น เป็นวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีทางกายภาพ เนื่องจากอาศัยสมบัติความเป็นขั้วของกรดไขมันและตัวทำละลาย อาทิ เอ็น-เฮกเซน เมทานอล เอทานอล และเมทานอลผสมคลอโรฟอร์ม (2:1) ในการสกัดไขมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* โดยใช้ตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ พบว่าสามารถสกัดได้ตั้งแต่ 5-40% ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงแบบให้แสง ซึ่งตัวทำละลายแต่ละชนิดจะให้ประสิทธิภาพของการสกัดแตกต่างกัน ดังนี้ เมทานอล (15.5%) เอทานอล (10.7%) และ เอ็น-เฮกเซน (3.2%) แม้ว่าจะมีการใช้เอ็น-เฮกเซน อย่างแพร่หลาย แต่ยังไม่เหมาะสมในการใช้สกัดไขมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* เนื่องจากเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว ที่มีความสามารถในการซึมผ่านผนังเซลล์ต่ำ จึงสกัดได้เฉพาะไขมันที่อยู่ภายนอกเซลล์เท่านั้น

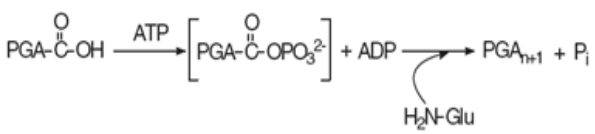
ไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ประกอบด้วยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน C16:0, C16:1, C16:2, C18:1 และ C18:3 ซึ่งมี C16:0/กรดปาล์มิติเมทิล-เอสเทอร์ C18:1/กรดโอเลอิกเมทิลเอสเทอร์ และ C18:2/กรดลิโนเลอิก มากที่สุดประมาณ 85.6% โดยมีเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 74% จึงสามารถลดอุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังคงเป็นของเหลวลงได้/pour point จึงเป็นไบโอดีเซลที่เหมาะสมกับประเทศเมืองหนาวอย่างยิ่ง

สรุปการวิเคราะห์ต้นทุนของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ได้ว่าการผลิตชีวมวลของสาหร่าย 1 กิโลกรัม มีต้นทุนของการใช้ปุ๋ยรวมกับต้นทุนอื่น ๆ เท่ากับ 2.5-3 และ 60-85 เหรียญสหรัฐตามลำดับ ฉะนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายระดับกำลังขยาย จึงมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในแง่ของการลดต้นทุนของการผลิตไบโอดีเซลและการรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมได้

พอลิกลูตามิกแอสิด: พอลิเมอร์ชีวภาพเพื่ออนาคต

ณัฐวุฒิ คงกล่อม/ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล**

พอลิกลูตามิกแอสิด (polyglutamic acid, PGA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ ที่ได้รับความสนใจอย่างสูงในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถบริโภคได้ ละลายน้ำได้ และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) โครงสร้างประกอบด้วยหน่วยย่อยของกรดกลูตามิกชนิด D และ L เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์ระหว่างกรดแอลฟาอะมิโน (alpha-amino acid) และกรดแกมมาคาร์บอกซิลิก (gamma-carboxylic acid) แสดงดังภาพที่ 1 มีการค้นพบพอลิกลูตามิกแอสิดครั้งแรกในปี ค.ศ.1973 โดยทีมวิจัยของ Ivanovics ซึ่งรายงานไว้ว่าแบคทีเรีย *Bacillus anthracis* ผลิตพอลิกลูตามิกแอสิดได้ในรูปแคปซูลภายในเซลล์ และปลดปล่อยออกมาภายนอกเซลล์เมื่อเซลล์แตก โดยทั่วไปแบคทีเรีย *Bacillus* sp. จะสังเคราะห์กรดกลูตามิกภายในเซลล์ แล้วจึงเกิดการเชื่อมต่อกันของกรดกลูตามิกจากการทำงานร่วมกันของกลุ่มเอนไซม์ poly(glutamic acid) synthetase (Pgs) จากนั้นจึงปลดปล่อยพอลิกลูตามิกแอสิดออกสู่ภายนอกเซลล์ (ภาพที่ 2)

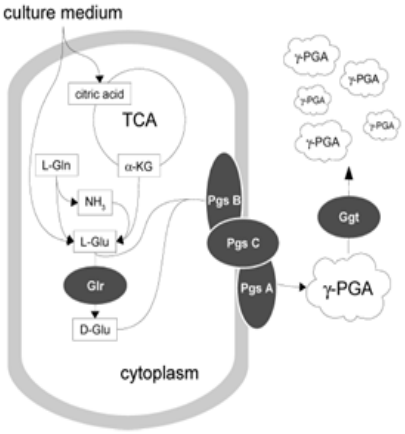


ภาพที่ 1 กลไกการเชื่อมของกรดกลูตามิกโดยแบคทีเรีย *B. subtilis*

ที่มา: Sung และคณะ, 2005

นอกจากแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ที่สามารถสังเคราะห์พอลิกลูตามิกแอสิดได้แล้ว ยังสามารถพบพอลิกลูตามิกแอสิดได้ในสิ่งมีชีวิตอื่น ได้แก่ ไซยาโนแบคทีเรียและสัตว์กลุ่มนีมาโทด เช่น ไฮดรา เป็นต้น รวมถึงเมล็ดพืชบางชนิด อย่างไรก็ตาม แหล่งของกรดกลูตามิกที่สำคัญก็คือ การเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *Bacillus* sp. ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของแบคทีเรียออกได้ตามความต้องการของแหล่งอาหารคาร์บอนและไนโตรเจนที่ใช้ในการเจริญเติบโตและการผลิตพอลิกลูตามิกแอสิดได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแบคทีเรียที่จะต้องมีการเติมกรดกลูตามิกลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ *B. licheniformis* ATCC 9945, *B. subtilis* IFO3335, *B. subtilis* F-2-01 และ *B. anthracis* เป็นต้น และกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ต้องการกรดกลูตามิกเพื่อใช้สังเคราะห์พอลิกลูตามิกแอสิด ได้แก่ *B. licheniformis* A35 *B. subtilis* TAM-4 และ *B. subtilis* 5E เป็นต้น สำหรับตัวอย่างของพอลิกลูตามิกแอสิดที่พบได้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ถั่วเน่า หรือนัตโตะ(natto) ซึ่งเป็นอาหารหมักพื้นบ้านของชาวญี่ปุ่น ที่ผลิตได้โดยการหมักถั่วเหลืองกับแบคทีเรีย *B. subtilis* (natto) สารเหนียวและหนืดที่ปรากฏอยู่ในผลิตภัณฑ์หมักถั่วเน่าเกิดขึ้นจากกิจกรรมของแบคทีเรีย ซึ่งมีฟรุกแทนในรูปของลีแวนและพอลิกลูตามิกแอสิดเป็นองค์ประกอบหลัก

เนื่องจากพอลิกลูตามิกแอสิดมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ จึงมีศักยภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายอาทิ การใช้พอลิกลูตามิกแอสิดในการดูดซับสารที่มีประจุ เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้เกิดการตกตะกอนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียและการผลิตน้ำดื่ม การใช้พอลิกลูตามิกแอสิดเป็นสารเพิ่มความเหนียวและสารรักษาความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร การใช้พอลิกลูตามิกแอสิดเป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยตัวยาในการผลิตยาเม็ด สำหรับทางด้านการแพทย์ก็มีการดัดแปลงโครงสร้างของพอลิกลูตามิกแอสิดให้เป็นไฮโดรเจล (hydrogel) ที่สามารถอุ้มน้ำและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุชีวภาพบางชนิด นอกจากนี้ยังมีการใช้ปฏิกิริยาทางเคมีในการดัดแปลงโครงสร้างของพอลิกลูตามิกแอสิดเพื่อเพิ่มเติมคุณสมบัติ ได้แก่ การเหนี่ยวนำหมู่คาร์บอกซิลของพอลิกลูตามิกแอสิดให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ทำให้ได้สารประกอบเอสเทอร์ของพอลิกลูตามิกแอสิด (PGAs) ที่มีคุณสมบัติเป็นพลาสติกทนร้อน หรือ poly(alpha-glutamic acid gamma-benzyl ester) ที่แสดงคุณสมบัติเป็นเส้นใยและแผ่นฟิล์มได้ดีอีกด้วย



ภาพที่ 2 วิถีการสังเคราะห์ PGA ของแบคทีเรีย *Bacillus* sp.

ที่มา: Buescher และ Margaritis, 2007

ปัจจุบันการผลิตพอลิกลูตามิกแอสิดโดยวิธีการหมักได้รับความสนใจในวงกว้าง เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพและให้ผลผลิตสูง ฉะนั้นจึงสมควรส่งเสริมให้มีการศึกษาและวิจัยการผลิตพอลิกลูตามิกแอสิดในประเทศไทยเพื่อเพิ่มผลผลิตและอัตราการผลิตให้สูงขึ้น ตลอดจนการศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติพอลิกลูตามิกแอสิดให้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประยุกต์ใช้พอลิกลูตามิกแอสิดเป็นวัสดุชีวภาพสำหรับงานด้านการแพทย์ที่ต้องการความปลอดภัยสูง จะทำให้สามารถทดแทนการใช้วัสดุที่สังเคราะห์จากกระบวนการทางเคมีลงได้ ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงทิศทางของการพัฒนากรรมการผลิตเชิงพาณิชย์ ภายใต้เงื่อนไขของการลงทุนที่เหมาะสมกับสถานภาพและศักยภาพของประเทศไทย จึงจะทำให้ได้รับผลคุ้มค่าเชิงประจักษ์ต่อการนำไปสู่การผลิตได้จริงในภาคอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง Bajaj, I. and R. Singhal. 2011. Bioresour. Technol. 102: 5551-5561. • Buescher, J. and A. Margaritis. 2007. Crit. Rev. Biotechnol. 27: 1-19. • Sung, M.H. et al. 2005. Chem. Rec. 5: 352-366.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ดรรชนี

ก

กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ 16
กรดพอลิกลูตามิก 17
กรดแลกติก 12
การตกผลึก 2,4,5,12
การทำบริสุทธิ์ 12
การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ 16
การผลิตก๊าซไฮโดรเจน 11
การเพาะเลี้ยงนอกอาคาร 16
การเพาะเลี้ยงในอาคาร 16
การหมัก 12
การหมักแบบใช้แสง 11
การหมักแบบไม่ใช้แสง 11
แก้วมังกร 14

ค

ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 10
ค่าดัชนีไกลเซมิก 7
โครมาโทกราฟี 4,5,6

ช

ชีวมวล 5,6,10,11

ซ

ซูคราโลส 13
ไซลิทอล 1,2,3,4,5,6
ไซโลส 1,3,4,5,6,7

ถ

ถั่วเหลืองหมัก 9

น

นมและผลิตภัณฑ์นม 15
น้ำตาลแอลกอฮอล์ 2,4

บ

บีตา-กาแลกโทซิเดส 15
บีตาไซยานิน 14

ป

ปฏิกิริยารีดักชัน 4
ปริมาณไนเทรต 10
ปุ๋ยอินทรีย์ 10,16
แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ 7

พ

พอลิเมอร์ชีวภาพ 17
พรีไบโอติก 1,14

ฟ

ฟรุกโทส 1

ภ

ภาวะแพ้แลกโทส 15

ม

ไมโครคริสตัล 2

ร

ระบบหมุนเวียนเซลล์ 3
ระยะเวลาของการให้แสง 10

ล

แลกเทส 15

ส

เส้นใยอาหาร 7
สารต้านอนุมูลอิสระ 8,9
สารให้ความหวาน 1,2,3,4,13

ดรรชนี (ต่อ)

อ

อาหารเพื่อสุขภาพ 7
อินซูลิน 6,7,9
อินูลิน 1
ไอโซฟลาโวนอยด์ 9
โอลิโกแซ็กคาไรด์ 14
โอลิโกฟรุกโทส 1

ฮ

เฮมิเซลลูโลส 5,6

A

additive code E955 13

B

Bacillus sp. 17
betacyanins 14
beta-galactosidase 15
Biopolymer 17

D

dairy products 15
dragon fruit 14

F

fermentation acid 12

L

Lactase 15
lactic acid 12
Lactose intolerance 15

O

oligosaccharides 14

P

Polyglutamic acid 17
prebiotic 14
purification 12

S

Splenda®/Tate & Lyle 13
sucralose 13
sweetener 13

รูปแบบและขั้นตอนการจัดทำต้นฉบับบทความ
"สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ"

นิตยสาร "สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ" เป็นนิตยสารเปิดอิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับภาษาไทย) ภายใต้การสนับสนุนของสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย (Thai Society for Biotechnology) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิชาการทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพแขนงต่าง ๆ ทางเว็บไซต์สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย (http://www.biotec.or.th/tsb/) โดยมีกำหนดเผยแพร่ประจำรายเดือน

เงื่อนไขการรับบทความ

- บทความจัดทำขึ้นโดยใช้ภาษาไทยเท่านั้น และต้องผ่านการตรวจข้อผิดพลาดในข้อความและจากการพิมพ์
- บทความที่ส่งมาพิจารณาลงพิมพ์ ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสื่อออนไลน์หรือสิ่งพิมพ์ใด ๆ มาก่อน ข้อความและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เป็นของผู้เขียนบทความนั้น ๆ ไม่ใช่ความเห็นของกองบรรณาธิการหรือของวารสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ
- ทุกบทความที่ได้ผ่านการคัดเลือกเพื่อพิมพ์เผยแพร่ จะถือเป็นกรรมสิทธิ์ของวารสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ
- กองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาในการตีพิมพ์ให้ผู้เขียนทราบภายใน 1 สัปดาห์ นับจากวันที่ส่งบทความ
- กองบรรณาธิการจะไม่รับผิดชอบในข้อผิดพลาดใด ๆ ในบทความ ที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้เขียน

ข้อกำหนดในการส่งบทความสำหรับผู้เขียน

- บทความต้องจัดทำเป็นภาษาไทยและต้องผ่านการตรวจการใช้หลักไวยากรณ์อย่างถูกต้องมาแล้ว
- ในการจัดทำบทความผู้เขียนจะต้องจัดทำบทความในรูปแบบที่ทางวารสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพกำหนดไว้ตามรายละเอียด "คำแนะนำในการเขียนบทความ"
- ผู้เขียนจะต้องส่งต้นฉบับบทความในรูปแบบของไฟล์เอกสาร Microsoft Word เท่านั้น จำนวนไม่เกิน 2 หน้า (รวมภาพและตารางที่เกี่ยวข้อง และเอกสารอ้างอิง) โดยส่งมาที่ fermenttechresearchcenter@gmail.com

รายละเอียดของบทความ ประกอบด้วย

ผู้เขียนสามารถจัดทำรูปแบบการนำเสนอได้ตามความเหมาะสม แต่เนื้อหาต้องนำเสนอองค์ความรู้ใหม่ที่น่าสนใจหรือความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพแขนงต่าง ๆ โดยมีหัวข้อดังนี้

1. **ชื่อเรื่องและชื่อผู้เขียนบทความ** ชื่อเรื่องพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ควรเป็นชื่อเรื่องที่สั้น กระชับได้ใจความตรงกับเนื้อหา ตามด้วยชื่อผู้เขียนบทความซึ่งพิมพ์เป็นภาษาไทยเท่านั้น

2. **เนื้อหา** นำเสนอข้อมูลวิชาการหรือแนวคิดทฤษฎีที่นำเสนอในประเด็นต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ซึ่งอาจมีการเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางและภาพประกอบได้

3. **เอกสารอ้างอิง** เป็นการรวบรวมรายชื่อหนังสือหรือสิ่งตีพิมพ์อื่น ๆ ที่ใช้สำหรับการค้นคว้าและอ้างอิงประกอบบทความ ตามที่ได้กำหนดไว้ในเอกสารนี้

4. **หน่วยงานที่สังกัด** ในส่วนที่อยู่หรือสถานที่ทำงานของผู้เขียน ให้ระบุไว้ที่เชิงอรรถ

หมวดบทความ

ผู้เขียนต้องระบุหมวดบทความที่เขียนในส่วนของหัวกระดาษ ซึ่งประกอบด้วย 6 หมวด ได้แก่

1. การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร
2. วิศวกรรมเคมีชีวภาพและวิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

3. การแพทย์ คลินิกและเภสัชกรรม

4. สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

5. กฎหมายและการศึกษา

6. ปกิณกะ

คำแนะนำในการเขียนบทความ

ขนาดกระดาษ จัดพิมพ์ลง Microsoft Word กระดาษขนาด A4

ขอบกระดาษ เว้นระยะขอบ 2.54 เซนติเมตร ทุกด้าน

จำนวนหน้า ไม่เกิน 2 หน้า (พร้อมภาพและตารางที่เกี่ยวข้อง และเอกสารอ้างอิง)

ตัวอักษร ตัวอักษรในบทความทั้งหมดให้ใช้ Cordia New ตามที่กำหนดดังนี้

ชื่อเรื่อง พิมพ์เป็นภาษาไทยหรืออังกฤษ ขนาด 16 point กำหนดกลาง ตัวหนา กระชับ ถ้าชื่อเรื่องเป็นภาษาอังกฤษ ตัวแรกของทุกคำต้องใช้ตัวใหญ่ ตัวต่อไปใช้ตัวเล็ก ทั้งนี้ยกเว้นบุพบทและ Article นำหน้าคำ

ชื่อผู้เขียนบทความ พิมพ์เป็นภาษาไทย ขนาด 14 point ตัวเอียง จัดชิดขวา

ที่อยู่หรือสถานที่ทำงานของผู้เขียน ให้ระบุไว้ที่เชิงอรรถ ขนาด 12 point โดยระบุภาควิชา และมหาวิทยาลัย ต้นสังกัดเท่านั้น จัดชิดซ้าย

บทความ ตัวบทความ ขนาด 14 point โดยกำหนดเนื้อหา ไม่รวมเอกสารอ้างอิง และข้อมูลเพิ่มเติม 500-700 คำ กำหนดการย่อหน้า 0.5 นิ้ว

ตารางและภาพประกอบ ผู้เขียนสามารถใส่ตารางได้จำนวน 1 ตาราง และภาพประกอบ 1 ภาพ หรืออย่างใดอย่างหนึ่ง จำนวนรวม 2 ตาราง/ภาพ

ตาราง ทุกตารางจะต้องมีหมายเลขและคำอธิบายตารางโดยพิมพ์ไว้เหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำอธิบายนี้รวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด คำอธิบายเพิ่มเติมและแหล่งที่มาของตารางให้ใส่ไว้ใต้ตาราง โดยจัดชิดซ้ายของกระดาษ กำหนดให้ใช้ขนาด12 point ทั้งหมด กำหนดให้ตารางที่นำเสนอเป็นไฟล์นามสกุล JPEG หรือพิมพ์ขึ้นเอง โดยตัวอักษรในตารางจะต้องมีขนาดไม่ใหญ่ไปกว่าคำอธิบายตาราง การตีเส้นกรอบตารางให้ตีเฉพาะเส้นแนวนอนเส้นเดียวและด้วยหมึกดำให้ชัดเจน ระหว่างตารางและคำอธิบายตาราง/คำอธิบายเพิ่มเติมและแหล่งที่มาของตารางไม่ต้องเว้นบรรทัด ส่วนการระบุหมายเลขตารางในบทความให้ระบุเป็นตารางที่ เช่น ตารางที่ 1, ตารางที่ 1-3 เป็นต้น ดังตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ผลของโซเดียมเบนโซเอตต่อการผลิตไซลิทอลจากไซโลส

โซเดียมเบนโซเอต (ppm)	อัตราการเติบโตจำเพาะ ($ชม.^{-1}$)	ผลได้เซลล์ (กรัม/กรัม)	ผลได้ไซลิทอล (กรัม/กรัม)	อัตราจำเพาะการใช้ไซโลส (กรัม/กรัม ชม.)	อัตราจำเพาะการผลิตไซลิทอล (กรัม/กรัม ชม.)
0	0.015	0.207	0.326	0.063	0.021
100	0.010	0.133	0.350	0.074	0.026
150	0.008	0.114	0.351	0.074	0.026
200	0.007	0.118	0.363	0.061	0.022
300	0.007	0.114	0.369	0.060	0.022
400	0.006	0.103	0.372	0.061	0.023
500	0.004	0.081	0.420	0.054	0.023
600	0.003	0.059	0.436	0.053	0.023

ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2548/53/54

ภาพ พิมพ์ลำดับ/ภาพที่ คำอธิบายภาพ และแหล่งที่มาของภาพให้ใส่ไว้ใต้ภาพ โดยใช้ขนาด 12 point จัดชิดซ้าย กำหนดไฟล์นามสกุล JPEG คำอธิบายภาพควรใช้ภาษาที่กระชับเนื้อหาได้ใจความ หมายเลขกำกับและคำอธิบายภาพนี้รวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด ภาพประกอบควรเลือกที่มีความคมและชัดเจน และระวังอย่าให้กลับข้างซ้ายเป็นขวาหรือกลับหัวบนเป็นล่าง หากมีภาพย่อยให้ระบุอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กตามลำดับอักษรไว้ภายในวงเล็บโดยใช้ตัวอักษรสีดำและตัวหนา กำหนดให้จัดวางไว้ภายในภาพย่อยแต่ละภาพบริเวณด้านบนของภาพและจัดชิดซ้าย ดังตัวอย่าง

ภาพที่ 1 ส่วนประกอบหลักของถั่งเช่าที่ประกอบด้วย (a) หนอนผีเสื้อค้างคาวตายซาก และเห็ด *Cordyceps sinensis* (b) ลักษณะของหนอนผีเสื้อที่ติดเชื้อจากเห็ด *C. sinensis* ที่เจริญขึ้นเองในธรรมชาติ และ (c) ถั่งเช่าที่มีการวางจำหน่ายในตลาดการค้าของทิเบต
ที่มา: Winkler, 2008

การเน้นคำ ให้ใช้วิธีการเขียน*ตัวเอน* แทนการใช้**ตัวหนาเข้ม** และเครื่องหมายสัญประกาศ (“ ”)

เครื่องหมายวรรคตอน เช่น , หรือ : และ ; ให้เว้น (ตาม) ด้วย 1 เคาะ หากเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องหมายวรรคตอน

คำทับศัพท์ ที่บัญญัติอย่างเป็นทางการหรือใช้จนเคยชินแล้วถือว่าเป็นคำไทย ตัวอย่างของคำเหล่านี้ ได้แก่ วัคซีน ฮอร์โมน แอลกอฮอล์ ไวรัส เซลล์ ฟิล์ม ไบโอดีเซล เป็นต้น

คำย่อ ไม่ควรใช้ถ้าไม่มีความจำเป็น การเขียนย่อคำต้องใช้เฉพาะที่คุ้นเคยกันดี และใช้อยู่เป็นปกติโดยทั่วไป สำหรับภาษาอังกฤษต้องใช้คำย่อที่เป็นสากล มิฉะนั้นจะต้องเขียนคำเต็มและใส่คำย่อในวงเล็บไว้ตอนแรกของเรื่อง 1 ครั้ง

คำสำคัญ ผู้เขียนสามารถกำหนดคำสำคัญได้ 3-5 คำ ไว้เหนือส่วนเอกสารอ้างอิง โดยให้ขีดเส้นใต้คำว่า <u>คำสำคัญ</u> และให้ใช้ขนาด 12 point จัดชิดซ้ายเรียงตามลำดับตัวอักษร แต่ละคำสำคัญให้ระบุทั้งคำไทยและคำอังกฤษ (ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด) และให้ใส่เครื่องหมาย (/) คั่นระหว่างคำไทยและคำอังกฤษ และเครื่องหมาย (,) คั่นระหว่างคำสำคัญ โดยใช้อักษรแบบปกติ ดังตัวอย่าง

อาหารเพื่อสุขภาพ/functional food, แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์/resistant starch, เส้นใยอาหาร/dietary fiber, ค่าดัชนีไกลเซมิก/Gylcemic Index/GI

เอกสารอ้างอิง ให้ขีดเส้นใต้คำว่า <u>เอกสารอ้างอิง</u> โดยใช้ขนาด 12 point ชิดซ้ายเรียงตามลำดับตัวอักษร โดยไม่ต้องมีเลขที่กำกับและไม่แยกประเภทของเอกสารและสิ่งอ้างอิง โดยจัดให้เอกสารภาษาไทยไว้ลำดับก่อนโดยเรียงลำดับตามอักษรตัวแรกของชื่อผู้แต่ง และจัดให้เอกสารภาษาอังกฤษอยู่ลำดับหลังภาษาไทยโดยเรียงลำดับตามอักษรตัวแรกของชื่อสกุล

รูปแบบการพิมพ์เอกสารอ้างอิง

1. **หนังสือ**

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. สำนักพิมพ์, สถานที่.

Priest, F.G. and G.G. Stewart. 2006. Handbook of Brewing. CRC Press, Boca Raton.

2. **บทความวารสาร**

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อย่อวารสาร. ฉบับที่(ลำดับที่): เลขหน้า.

กรณีผู้แต่ง 1 คน: Chisti, Y. 2007. Biotechnol Adv. 25: 294-306.

กรณีผู้แต่ง 2 คน: Ayhan, D. and M.F. Demirbas. 2011. Energy Conver. Manage. 52: 163-170.

กรณีผู้แต่ง 3 คนขึ้นไป: Yan, D. et al. 2011. Bioresour. Technol. 102: 6487-6493.

3. **วิทยานิพนธ์**

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์. ปีที่พิมพ์. ชื่อวิทยานิพนธ์. ระดับวิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัย.

Jolkkonen. M. 1996. Muscarinic Toxins from *Dendroaspis* Mamba Venom: Peptides Selective for Subtypes of Muscarinic Acetylcholine Receptors. Ph.D. Uppsala University.

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม ได้ที่

นายมณชัย เดชสังกรานนท์ Technical Editor

โทรศัพท์: 081-7633-119 E-mail: monchaibiot@hotmail.com

สนใจลงโฆษณา สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ

ชื่อ – สกุล/Name ..... ตำแหน่ง/Position .....
ชื่อบริษัท/Company Name .....
เลขที่/Address ..... หมู่/Moo ..... อาคาร/Tower ..... ชั้น/Floor .....
ซอย/Soi ..... ถนน/Road ..... แขวง/Sub-district .....
เขต/District ..... จังหวัด/Province ..... รหัสไปรษณีย์/Post Code .....
โทรศัพท์/Tel.No ..... โทรสาร/Fax No ..... อีเมล์/E-mail .....
เว็บไซต์/Website.....

รายละเอียดโฆษณา (สี)	อัตราค่าลงโฆษณา	
	1 ฉบับ / 6 เดือน	2 ฉบับ / 1 ปี
เต็มหน้า ปกหน้าด้านใน	6,000	10,200
½ หน้า ปกหน้าด้านใน	3,000	5,100
¼ หน้า ปกหน้าด้านใน	1,500	2,550
เต็มหน้า ปกหลังด้านใน	5,700	9,690
½ หน้า ปกหลังด้านใน	2,850	4,845
¼ หน้า ปกหลังด้านใน	1,425	2,420
½ หน้า ปกหลัง	3,000	5,100
¼ หน้า ปกหลัง	1,500	2,550
เต็มหน้า เนื้อใน	5,400	9,180
½ หน้า เนื้อใน	2,700	4,590
¼ หน้า เนื้อใน	1,350	2,295

รายละเอียดการชำระเงิน

- ○ *เงินสด จำนวน ..... บาท (นำมาชำระที่ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก)*
- ○ *โอนเข้าบัญชีธนาคารไทยพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) สาขามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) ประเภทบัญชีเงินฝากออมทรัพย์ ชื่อบัญชี นายประมุข ภระกูลสุขสถิตย์ และ/หรือ นางสาวสุมัลลิกา โมรากุล เลขที่บัญชี 235-226626-5*

หมายเหตุ: จัดส่งไฟล์ข้อมูล/อาร์ตเวิร์ค เพื่อจัดพิมพ์โฆษณาผ่านทาง E-mail: fermenttechresearchcenter@gmail.com และกรุณาส่งใบตอบรับพร้อมหลักฐานการชำระเงินได้ที่ รศ.ดร.วิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนา ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก ชั้น 2 อาคารอุตสาหกรรมเกษตร 5 เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 02-562-5074 ต่อ 5347