



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

สารสาระเทคโนโลยีชีวภาพ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม-สิงหาคม 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 เชื่อได้ว่าจะร่วมกันฟันฝ่าอุปสรรคนำทรัพย์ศฤงคารและความรุ่งเรืองมาสู่วามิภักดิ์ต่อพื้นปฐพีแห่งแผ่นดินสุวรรณภูมิของบรรพชนนี้ได้อย่างแน่นอน อย่างไรก็ตามหากมวลสมาชิกสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทยและนักเทคโนโลยีทั้งหลาย จะสละเวลาช่วยกันขมิ้มมันช่วยเหลือก้นส่งบทความวิชาการประยุกต์เข้มข้นเพียงหนึ่งหน้ากระดาษ เพื่อเป็นวิทยาทานและสื่อสารความรู้เชิงประจักษ์สู่ภาคอุตสาหกรรมไทยได้ ก็น่าอนุโมทนาร่วมแซ่ซ้องสาธุการเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายนี้ท่านทั้งหลายที่ได้อุทิศเสียสละแล้วในห้วงปีที่ผันผ่านมานั้น ทีมบรรณาธิการย่อมซาบซึ้งใจและกำลังรวบรวมจัดทำสารานุกรมสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพฉบับแรก เพื่อบรรณาธิการแทนคุณแก่คนไทยทุกท่านที่เปิดโอกาสให้พวกเราได้ขยายโลกทัศน์ให้กว้างใหญ่ไพศาลยิ่งขึ้น ๗ ไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด หากพบพานความบกพร่องผิดพลาดประการใด ก็ขอให้ทุกท่านได้โปรดชี้แนะด้วยเถิด ก็ย่อมจะทำให้สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพนี้ สามารถก้าวล่วงไปได้ซึ่งอวิชาและความไม่รู้ที่ถูกนำเสนอออกไปโดยไม่ได้อั้งใจ

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล

บรรณาธิการ

นิตยสารเปิด “สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ”



สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย



ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก

“สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ”

คณะที่ปรึกษา

รศ.ดร. เพ็ญจิตร์ ศรีนพคุณ

นายกสมาคม ฯ และคณะกรรมการสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย

บรรณาธิการ

รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รศ.ดร. วิรัตน์ วาณิชศรีรัตนนา

รศ.ดร. ธงไชย ศรีนพคุณ

ผศ.ดร. ประมุข ภระกุกุลสุขสถิตย์

ดร. อุทัยวรรณ อุสันสา

ดร. สุมลลิกา โมรากุล

ดร. สุธี วังเดือย

กองบรรณาธิการ

ดวงพร ลากะสงค์

มณฑัย เดชสังกรานนท์

ชนิกา ขึ้นแสงจันทร์

โยธกา ปัชชา

ลลิตา พลมณี

ดารารัตน์ มงคลการ

ภูซังค์ ขาดิสง่า

ณัฐวุฒิ คงกลม

ธนกศักดิ์ ไพโรจน์

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก

ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 02-562-5074

โทรสาร 02-579-4096

อีเมล sarote.s@ku.ac.th

.....

นิตยสารเปิดอิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับภาษาไทย)

ภายใต้การสนับสนุนลิขสิทธิ์ของ

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

เนื้อหา/ข้อความของบทความนี้เป็นความผิดชอบ
เฉพาะของผู้แต่ง/เขียน/เรียบเรียง สมาคมฯ ไม่
จำเป็นต้องเห็นชอบ/รับผิดชอบที่เกี่ยวกับกฎหมาย
(ถ้ามี)

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

ผลการประกวดบทความดีเด่น จากนิตยสารอิเล็กทรอนิกส์ “สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ” ปีที่ 1 ฉบับที่ 2

เพื่อเป็นการสร้างขวัญกำลังใจให้แก่ผู้เขียนที่ได้ร่วมกันสร้างสรรค์ผลงานวิชาการอันเป็นประโยชน์ต่อสาธารณชน ผ่านงานเขียนในนิตยสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กองบรรณาธิการจึงขอสมนาคุณด้วยการประกวดบทความดีเด่นประจำฉบับ โดยคัดเลือกบทความด้วยวิธีการให้คะแนนของสมาชิกของศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก (popular vote) ซึ่งเลือกบทความที่ชื่นชอบมากที่สุด จำนวน 3 เรื่อง จากทั้งหมด 71 เรื่อง และการให้คะแนนโดยคณะกรรมการ โดยพิจารณาบทความที่มีคะแนน Popular vote สูงสุด 3 ลำดับแรก มีเกณฑ์การให้คะแนนจากความน่าสนใจของหัวข้อเรื่อง การใช้ภาษา ความชัดเจนของเนื้อหา คุณค่าทางวิชาการ และการนำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์

กองบรรณาธิการขอแสดงความยินดีกับผู้ได้รับรางวัลบทความดีเด่นจากนิตยสารอิเล็กทรอนิกส์ “สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ” ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 ได้แก่

1. รางวัลชนะเลิศ บทความเรื่อง ผงไหมเชริชิน: มหัศจรรย์โปรตีนจากหนอนไหม
ผู้เขียน นายมณฑัย เดชสังกรานนท์/รองศาสตราจารย์ ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล
ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ได้รับเงินรางวัล 500 บาท
2. รางวัลรองชนะเลิศ อันดับ 1 บทความเรื่อง พีชจำลองพันธุ์สังเคราะห์ไบโอพอลิเมอร์
ผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล
ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ได้รับเงินรางวัล 300 บาท
3. รางวัลรองชนะเลิศ อันดับ 2 บทความเรื่อง ถังเช่า: อิทธิฤทธิ์เห็ด (หนอน) เทวดา
ผู้เขียน นายมณฑัย เดชสังกรานนท์/รองศาสตราจารย์ ดร. สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล
ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ได้รับเงินรางวัล 200 บาท

ผู้ที่สนใจสามารถอ่านบทความของนิตยสารอิเล็กทรอนิกส์สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพเพิ่มเติม และขอเชิญร่วมส่งบทความเพื่อเผยแพร่ได้ ผ่านเว็บไซต์ของสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย (<http://www.biotech.or.th/tsb/>) และ facebook ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก (<http://www.facebook.com/fermenttechresearchcenter>)

กองบรรณาธิการ นิตยสารสรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก ภายใต้การสนับสนุนของสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย **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

อีเมล: fermenttechresearchcenter@gmail.com

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติม ได้ที่

นายมนชัย เดชสังกรานนท์ (Technical Editor)

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

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2555

วิศวกรรมเคมีชีวภาพและ

หน้า

วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลผสมฟรุทโทสและโอลิโกฟรุทโทส.....	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

ดร.รชนี

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ. 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

หน้า

กรดแลกติก: กรดอินทรีย์เพื่อโลกสีเขียว..... 12

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

สารให้ความหวานสังเคราะห์ซูคราโลส 13

Dragon fruits: อิทธิฤทธิ์ (ลูก) แก้วมังกร..... 14

นมและภาวะแพ้แล็กโทสในนม..... 15

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตไบโอดีเซล (2)..... 16

กรดพอลิกลูตามิก : พอลิเมอร์ชีวภาพเพื่ออนาคต 17

ดร.รชนี

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

หน้า

ชีออกโกแลต: ราชั้นย้งแห่งของหวาน	18
การผลิตนมปราศจากแล็กโทสด้วยเอนไซม์แล็กเทส	19
น้ำมันหอมระเหย: พฤษเคมีเพื่อการถนอมอาหาร	20

วิศวกรรมเคมีชีวภาพและ วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ (1)	21
กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ (2)	22

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

Bacterial cellulose: ชีววัสดุธรรมชาติเพื่อการแพทย์ยุคใหม่	23
---	----

กฎหมายและการศึกษา

ดัชนีชี้วัดคุณภาพงานเขียน: Impact Factor	24
--	----

ดรธรชนี

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

หน้า

เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค/แก่นตะวัน มหัศจรรย์พืชเศรษฐกิจตัวใหม่ 25

วิศวกรรมเคมีชีวภาพและ วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอเอทานอล 26

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

โมแนสคัส: มหัศจรรย์ราชข้าวแดง ผู้พิชิต คอเลสเทอรอล 27

มะหาด: พืชวังวับ 28

น้ำมันหอมระเหย: สุนทรบำบัดต้านโรค 29

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตโทรฟเพื่อบำบัดน้ำเสีย (1) 30

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตโทรฟเพื่อบำบัดน้ำเสีย (2) 31

กฎหมายและการศึกษา

ดัชนีชี้วัดคุณภาพงานเขียน: h index 32

บรรณานุกรม

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

หน้า

กรรมวิธีการผลิตแป้งแท่งวัน (เยรูซาเล็มอาร์ทีไซด์)	33
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภัพย์ราชินีแห่งสารสี (1).....	34
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภัพย์ราชินีแห่งสารสี (2).....	35
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภัพย์ราชินีแห่งสารสี (3).....	36
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภัพย์ราชินีแห่งสารสี (4).....	37
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภัพย์ราชินีแห่งสารสี (5).....	38

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

กลูตาไทโอน/Glutathione: เภสัชภัณฑ์เพื่อผิวขาวแห่งสหสวรรษ	39
--	----

ดร.รชนี

สารบัญ

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

หน้า

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพัธยาธินิแห่งสารสี (6)	40
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพัธยาธินิแห่งสารสี (7)	41
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพัธยาธินิแห่งสารสี (8)	42
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพัธยาธินิแห่งสารสี (9)	43
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพัธยาธินิแห่งสารสี (10)	44

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

สารเติมแต่งอาหารสังเคราะห์พอลิเด็คซ์โทรส	45
ยีนบำบัด	46
ชาใบหม่อน: เครื่องดื่มต้านโรคเบาหวาน	47

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

การวิเคราะห์ไบโอดีเซล: กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (1)	48
การวิเคราะห์ไบโอดีเซล: กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (2)	49

กฎหมายและการศึกษา

จุลชีววิทยาพยากรณ์: ผู้พิชิตภัยความปลอดภัยทางอาหาร (1)	50
จุลชีววิทยาพยากรณ์: ผู้พิชิตภัยความปลอดภัยทางอาหาร (2)	51

บรรณานุกรม

เดือนมีนาคม 2555

วิศวกรรมเคมีชีวภาพ
และ
วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

กรรมวิธีการผลิตน้ำตาลผสมฟรุกโทสและโอลิโกฟรุกโทส

สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

อินูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตสะสมชนิดพรุทแทนพบได้ในพืชชิโครี เยลลูเลียมอาร์ทิไซค์ และยาคอน ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลผสมโอลิโกฟรุกโทสและฟรุกโทส โดยอาศัยเอนไซม์อินูลิเนส อาทิ เอนไซม์ Novozyme 230 จากเชื้อรา *Aspergillus niger* และเอนไซม์ Röhml Rohalase I. 10. X จากเชื้อยีสต์ ซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์เอกโซอินูลิเนสและเอนไซม์เอนโดอินูลิเนส ในการผลิตน้ำเชื่อมฟรุกโทสเข้มข้นสูงจากแป้งจะต้องใช้เอนไซม์อะมัยเลสและเอนไซม์กลูโคอะมัยเลส เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส และให้เอนไซม์กลูโคสไอโซเมอเรสเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นฟรุกโทส จึงจะได้เป็นน้ำเชื่อมฟรุกโทสความเข้มข้นสูง ฉะนั้นการใช้เอนไซม์อินูลิเนสในการผลิตน้ำเชื่อมฟรุกโทสจากอินูลิน จึงเป็นทางเลือกที่ดีของการผลิตน้ำตาลผสมระหว่างโอลิโกฟรุกโทสและฟรุกโทส ที่มีสมบัติของสารให้ความหวานและสารพรีไบโอติก สามารถทดแทนการใช้น้ำเชื่อมฟรุกโทสความเข้มข้นสูงที่ผลิตมาจากแป้งที่มีบทบาทเพียงสารให้ความหวาน

วิธีการผลิตน้ำตาลผสมฟรุกโทสและโอลิโกฟรุกโทสจะใช้เอนไซม์ดิบผสมจากเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3570 และเชื้อยีสต์ *Candida guilliermondii* TISTR 5844 ในอัตราส่วนผสมระหว่างเอนไซม์อินูลิเนสจากเชื้อราและเชื้อยีสต์เท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยเอนไซม์ดิบของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์ประกอบด้วยกิจกรรมเอนไซม์อินูลิเนส 0.20 และ 0.02 หน่วย/มิลลิลิตร และกิจกรรมเอนไซม์อินเวอร์เทส 0.98 และ 1.00 หน่วย/มิลลิลิตร ตามลำดับ ในกรรมวิธีการผลิตมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสม โดยสารผสมปฏิกริยาเอนไซม์มีปริมาตร 70 มิลลิลิตร ประกอบด้วยอินูลิน 100.45 กรัม/ลิตร เอนไซม์อินูลิเนส 0.2 หน่วย/กรัมอินูลิน (ใช้ปริมาตรของเอนไซม์ดิบจากเชื้อรา และเชื้อยีสต์เท่ากับ 3.5 และ 35 มิลลิลิตร ตามลำดับ) ฉะนั้นสารผสมปฏิกริยาจึงประกอบด้วยเอนไซม์อินูลิเนสรวมเท่ากับ 1.4 หน่วย และเอนไซม์อินเวอร์เทสรวมเท่ากับ 38.43 หน่วย จากนั้นจึงเติมกรดเบนโซอิก 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และควบคุมปฏิกริยาเอนไซม์ที่สภาพความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 4.5 และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 25 ชั่วโมง

เอกสารอ้างอิง สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล Ben Kop วรสิทธิ์ โทจำปา และวิรัตน์ วาณิชย์ศรีรัตนนา. 2548/53/54. กรรมวิธีการผลิตไซโทล (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 และโอลิโกฟรุกโทสที่มีดีกรีพอลิเมอร์แซนมากกว่า 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



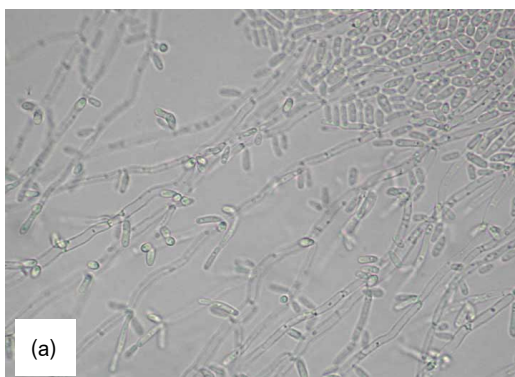
กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (1)

บุษราคัม หาญกิตติ* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ไซลิทอลสามารถผลิตได้จากไซโลสหรือวัสดุที่ประกอบด้วยไซแลน โดยเฉพาะไฮโดรไลเซตที่ได้จากการย่อยสลายชีวมวลของเฮมิเซลลูโลส กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลเริ่มจากการนำไฮโดรไลเซตของเฮมิเซลลูโลสเข้าสู่กระบวนการหมักโดยอาศัยยีสต์ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนไซโลสเป็นไซลิทอล 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 บริสุทธิ์และเข้มข้นโดยวิธีทางโครมาโทกราฟีเพื่อให้ได้ผลึกของไซลิทอล เป็นต้น

วัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตไซลิทอล ส่วนใหญ่คือไซโลสหรือส่วนประกอบของไซแลน ได้แก่ วัตถุดิบในกลุ่มของต้นไม้ผลัดใบ เช่น *birch beech poplar alder* และส่วนประกอบของพืช เช่น ข้าวโพด เปลือกข้าวโอ๊ต ชังข้าวโพด และเหง้า เปลือกถั่ว ชานอ้อย และเปลือกเมล็ดฝ้าย รวมถึงเศษไม้ ขี้เลื่อย หรือขี้สับไม้ นอกจากนี้ น้ำเสียจากโรงงานเยื่อกระดาษ (sulphite-spent liquors) ซึ่งประกอบด้วยเศษเยื่อไม้ ลิกนิน เฮกโซสและเพนโทส รวมทั้งไซโลสก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการผลิตไซลิทอลได้

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลเริ่มต้นด้วยการเตรียมสารละลายไซโลสจากกระบวนการย่อย (hydrolysis) วัตถุดิบด้วยกรดหรือเอนไซม์ เพื่อย่อยไซแลนให้ได้เป็นไซโลส จากนั้นกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ติดมากับไซโลสเพื่อป้องกันสารพิษหรือสารอันตรายอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการผลิตไซลิทอลของยีสต์ 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.

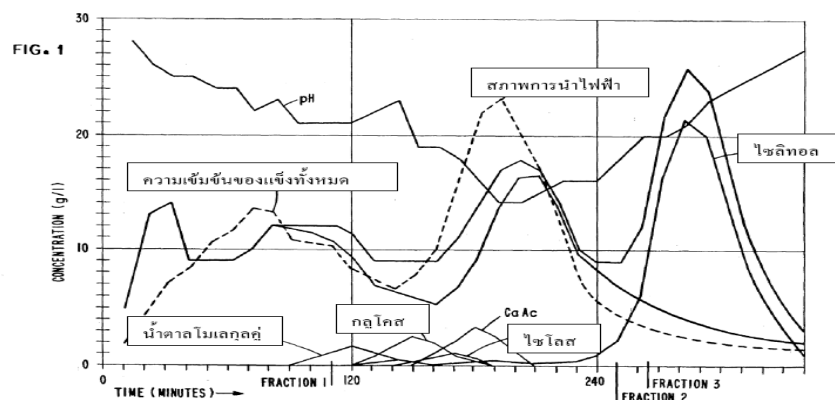
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอล (2)

บุษราคัม หาญกิตติ* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ไซลิทอลพบมากในผักและผลไม้หลายชนิด นอกจากนี้ในร่างกายมนุษย์ยังสามารถสังเคราะห์ไซลิทอลได้จากกระบวนการเมแทบอลิซึม ไซลิทอลมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวาน เนื่องจากไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินซูลินในร่างกาย นอกจากนี้ไซลิทอลยังช่วยป้องกันฟันผุได้ด้วย เนื่องจากแบคทีเรียในช่องปากไม่สามารถใช้ไซลิทอลได้ จึงทำให้ไม่เกิดการสร้างกรดที่จะไปทำลายฟันซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของฟันผุ อย่างไรก็ตาม ไซลิทอลทางการค้ายังคงมีราคาสูงอยู่ เนื่องจากมีขั้นตอนของการผลิตที่ซับซ้อน โดยทั่วไปแล้วไซลิทอลสามารถเตรียมได้จากไซแลน หรือการย่อยชีวมวลของเฮมิเซลลูโลสที่สามารถพบได้ในผนังเซลล์ของพืชน้ำและพืชบกทั่ว ๆ ไป ส่วนประกอบหลักที่พบมากในเฮมิเซลลูโลสคือ ดี-ไซแลน/D-xylan และ ดี-กลูโค-ดีแมนแนน/D-gluc-D-mannan และมีกิ่งแขนงเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวชนิดอื่น เช่น แอล-อะราบินโนส/L-arabinose เป็นต้น

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลจากน้ำทิ้งของโรงงานเยื่อกระดาษ ซึ่งมีการใช้ไม้เนื้อแข็งเป็นวัตถุดิบหลัก จะใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Debaryomyces hansenii* ซึ่งเป็นยีสต์ที่สามารถเปลี่ยนไซโลสเป็นไซลิทอลได้ โดยน้ำตาลเฮกโซสส่วนใหญ่จะเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล การวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตอาศัยวิธีการ gas liquid chromatography องค์ประกอบหลักในอาหารเลี้ยงเชื้อจะประกอบด้วย (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) แคลเซียม 2.0 โซเดียม 10 ไซโลส 39.3 และองค์ประกอบอื่น ได้แก่ อะราบินโนส 1.0 แรมนโนส 1.2 กลูโคส 2.5 แมนโนส 0.1 กาแลกโทส 2.0 ปรับอาหารเลี้ยงเชื้อให้ได้ค่าพีเอช ประมาณ 6.2 ด้วยการเติมแคลเซียมออกไซด์ 10 กรัม/ลิตร และเจือจางให้ได้ความเข้มข้นของไซโลส 51 กรัม/ลิตร ทำการหมักด้วยยีสต์ในขวดรูปชมพูนขนาด 200 มิลลิลิตร โดยควบคุมสภาวะการหมัก 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้กลิ่นเชื้อยีสต์ประมาณ 1.7×10^8 เซลล์/มิลลิเมตร จากนั้นจึงถ่ายกลั่นเชื้อลงในถังหมักเพื่อการหมักไซโลสให้ได้ไซลิทอล หลังเสร็จสิ้นการหมักจะแยกเซลล์ยีสต์ออกจากน้ำหมักโดยวิธีการเหวี่ยงและทำสารละลายไซลิทอลให้บริสุทธิ์โดยวิธีการโครมาโทกราฟี พบว่าสามารถผลิตไซลิทอลได้ 24.7 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงเหลือส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ไซโลส 0.3 กลูโคส 2.1 อะราบินโนส 0.6 และแคลเซียมแอสเทต 2.5 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ 2 แสดงผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหมักด้วยวิธีโครมาโทกราฟี จะเห็นได้ว่าไซลิทอลปรากฏอยู่ในส่วนที่สามของการแยกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีถึง 79 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหมักแห้ง (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำหมักด้วยวิธีโครมาโทกราฟี

ที่มา: ดัดแปลงจาก Heikkilä และคณะ, 1992

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์น้ำหมักที่ได้จากการผลิตไซลิทอลด้วยยีสต์

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

ที่มา: ดัดแปลงจาก Heikkilä และคณะ, 1992.

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

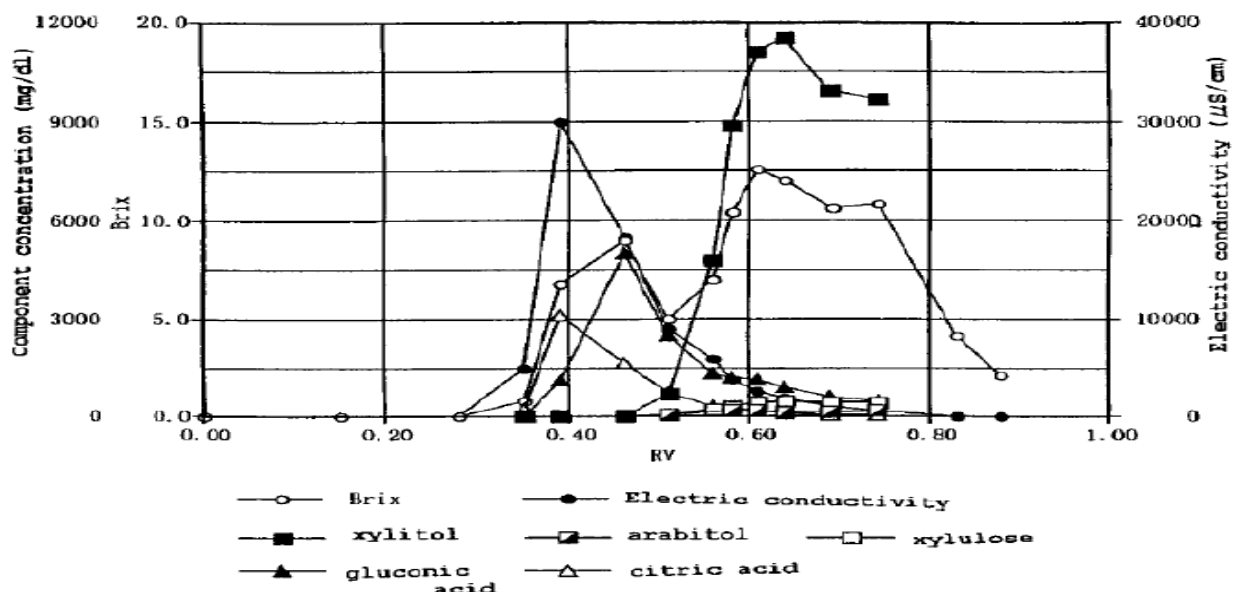
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลความบริสุทธิ์สูง

เวสารัช สุนทรชัยบุรณ์* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล**

ไซลิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งเป็นสารให้ความหวานธรรมชาติที่พบได้ในผักและผลไม้ ได้แก่ สตรอเบอรี่ ดอกกะหล่ำปลี ผักกาดหอม ผักขม ไซลิทอลมีคุณสมบัติที่ดีคือให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาล และสามารถลดปัญหาการเกิดฟันผุได้เนื่องจากไซลิทอลเป็นน้ำตาลที่จุลินทรีย์ทั่วไปในช่องปากไม่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารในการเจริญเติบโตได้ ไซลิทอลเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำตาลไซโลส ซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของไซแลนที่พบได้ในพืช ปกติกระบวนการผลิตไซลิทอลทางเคมี มักจะเกิดผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ไม่ต้องการเจือปนมาด้วย ได้แก่ น้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส จึงจำเป็นต้องกำจัดปัญหาดังกล่าวด้วยการปรับปรุงขั้นตอนของการเตรียมไซโลสซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ในกระบวนการผลิตไซลิทอลให้มีความบริสุทธิ์มากที่สุด จึงจะสามารถลดผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่ไม่ต้องการให้น้อยลงได้ ดังมีกรณีศึกษาของการผลิตไซลิทอลได้จากน้ำตาลกลูโคสโดยจุลินทรีย์ เพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะที่รุนแรงของวิธีการผลิตทางเคมี และช่วยลดต้นทุนในการผลิตไซลิทอล อย่างไรก็ตาม ยังคงมีกรดอินทรีย์ที่เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ปะปนมา ได้แก่ กรดซิตริก กรดแอสติก กรดฟumaric และกรดมาลิก ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตไซลิทอลโดยวิธีการหมักอย่างจริงจัง เพื่อตอบสนองกับความต้องการของไซลิทอลเชิงพาณิชย์ที่เพิ่มปริมาณมากขึ้น

การพัฒนากรรมวิธีการผลิตไซลิทอลให้ได้ไซลิทอลที่มีความบริสุทธิ์สูงโดยกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์และการทำบริสุทธิ์ไซลิทอลด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนประจุมีขั้นตอนดังนี้ (1) การเหวี่ยงเพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกจากอาหารเหลวที่มีไซลิทอล (2) การกำจัดไอออนของเกลือออกด้วยเรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวกและลบ จะทำให้ได้สารละลายไซลิทอลบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งช่วยให้การตกผลึกไซลิทอลดียิ่งขึ้น (3) การแยกไซลิทอลออกจากน้ำตาลแอลกอฮอล์และน้ำตาลชนิดอื่น โดยใช้เรซินชนิดแลกเปลี่ยนประจุบวกแบบกรดแก่ ซึ่งจะแยกส่วนออกได้เป็นสารละลายไซลิทอล น้ำตาล และน้ำตาลแอลกอฮอล์ชนิดอื่น และ (4) การแยกไซลิทอลออกจากสารละลายไซลิทอลด้วยวิธีการตกตะกอน โดยการเติมผลึกเหนียวหรือการเติมสารละลายอื่น 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

การผลิตไซลิทอลด้วยระบบหมวนเวียนเซลล์

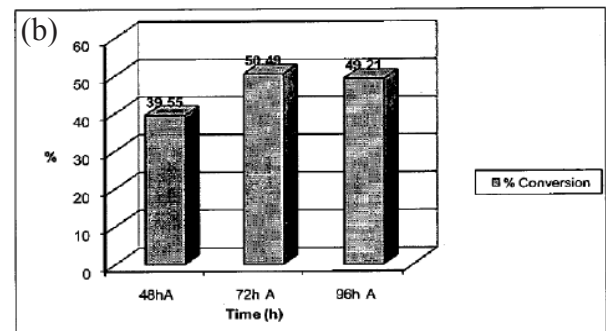
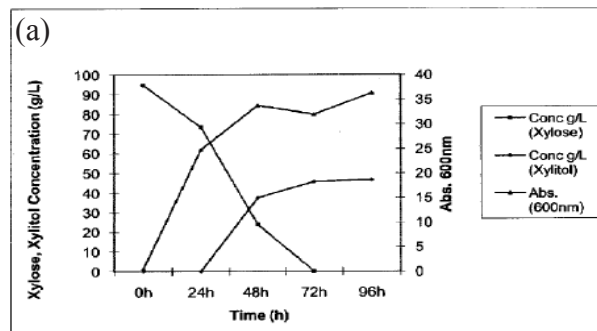
ธนศักดิ์ ไพโรจน์* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ไซลิทอล เป็นสารให้ความหวานแคลอรีต่ำ กรรมวิธีการผลิตไซลิทอลทางชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งของการผลิตไซลิทอลให้ได้ปริมาณสูง วิธีการง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Pichia* sp., *Candida* sp., *Hansenula* sp. และ *Kluyveromyces* sp. ซึ่งมีความสามารถเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสไปเป็นไซลิทอลได้ การพัฒนานวัตกรรมการผลิตไซลิทอลแบ่งออกเป็น 3 วิธีการ ดังนี้ (1) การผลิตกัลลาเชื้อเริ่มต้นโดยใช้ยีสต์ *C. tropicalis* ATCC 13803 ในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีไซโลส 25 กรัม/ลิตร มีพีเอช 6.0 จากนั้นถ่ายกัลลาเชื้อ 5 เปอร์เซ็นต์ลงในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีไซโลสความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร ยีสต์สกัด 10 กรัม/ลิตร แบทโทเพปไทน์ 20 กรัม/ลิตร กลูโคส 30 กรัม/ลิตร และมีพีเอช 6.0 ภายใต้สภาวะการควบคุมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าอัตราเร็ว 250 รอบ/นาที พบว่ายีสต์สามารถผลิตไซลิทอลได้สูงสุด 47.3 กรัม/ลิตร ที่ 72 ชั่วโมงหรือมีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลไซโลสไปเป็นไซลิทอล 50.49 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1)

(2) ปฏิบัติทำนองเดียวกับขั้นตอนแรก โดยการถ่ายกัลลาเชื้อเริ่มต้น 5 เปอร์เซ็นต์ ลงในอาหารเพาะเลี้ยงสำหรับผลิตไซลิทอล ซึ่งประกอบด้วยยีสต์สกัด 10 กรัม/ลิตร และแบคโทเพปไทน์ 20 กรัม/ลิตร และมีพีเอช 6.0 แต่มีการ

แยกการเติมสารละลายไซโลสและกลูโคสออกจากกันโดยเติมสารละลายไซโลสความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร ที่เวลา 0, 72 และ 144 ชั่วโมง และเติมสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 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) ทำการแยกเซลล์ยีสต์ออกจากอาหารเพาะเลี้ยงแบบเบดสตรีค/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 การผลิตไซลิทอลด้วยระบบหมวนเวียนเซลล์ (อุณหภูมิ 30 °C อัตราการเขย่า 215 รอบ/นาที เวลา 24 ชั่วโมง)
ที่มา: ดัดแปลงจาก Jain และคณะ, 2011

หมวนเวียน	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.

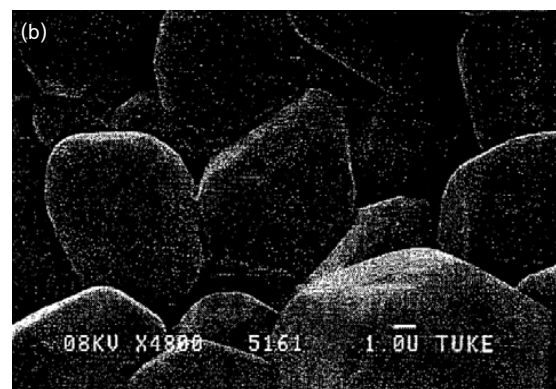
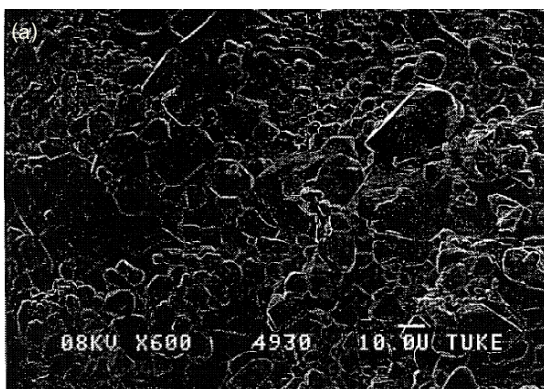
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการตกผลึกไซลิทอล

ณัฐวุฒิ คงกลม*/สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ไซลิทอลเป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่พบได้ในผักและผลไม้ตามธรรมชาติ ประกอบด้วยคาร์บอนห้าอะตอม มีความหวานเหมือนน้ำตาลปัจจุบันมีการใช้ไซลิทอลเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น ยาสีฟัน หมากฝรั่ง ขนม และอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาลในเลือดหรืออาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานเพื่อทดแทนการรับประทานน้ำตาลทั่วไป ปัจจุบันไซลิทอลที่วางจำหน่ายทางการค้าทั่วไปจะอยู่ในรูปผลึกไซลิทอลที่ได้จากกระบวนการตกผลึกสารละลายไซลิทอลเข้มข้นซึ่งมีกรรมวิธีที่ต้องการสภาวะจำเพาะที่เหมาะสมต่อการตกผลึก และใช้ระยะเวลานานเนื่องจากการตกผลึกโดยธรรมชาติ นอกจากนี้ในการตกผลึกไซลิทอลยังไม่สามารถตกผลึกให้ได้ไซลิทอลจากสารละลายทั้งหมด โดยจะยังคงมีไซลิทอลบางส่วนที่เหลืออยู่ในส่วนของเหลว ซึ่งจะสูญเสียไปเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำให้มีผลได้ของผลึกไซลิทอลที่ต่ำ อย่างไรก็ตามได้มีการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตไซลิทอลโดยการบรรจุไซลิทอลในถุงพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทิลีน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติรูปร่างของผลึกไซลิทอล นอกจากนี้ยังมีกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ซึ่งยังไม่ปรากฏผลสำเร็จในการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้ได้เฉพาะไซลิทอลโดยปราศจากส่วนผสมของน้ำตาลชนิดอื่น ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตไซลิทอลจากการเปลี่ยนสารละลายไซลิทอลไปเป็นผลึกไซลิทอลภายในขั้นตอนเดียว เพื่อรองรับกับความต้องการและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ไซลิทอลเป็นส่วนประกอบในระดับอุตสาหกรรมที่เพิ่มมากขึ้นต่อไปได้

การทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ผลึกไซลิทอลขนาดเล็กหรือไมโครคริสตัล เป็นกรรมวิธีการทำให้ไซลิทอลที่ละลายในสารละลายจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกับไมโครคริสตัลที่แขวนลอยในก๊าซร้อน ซึ่งการพ่นสารละลายไซลิทอลผ่านก๊าซร้อนที่มีไมโครคริสตัลของไซลิทอลแขวนลอยอยู่ จะช่วยให้เกิดผลึกและเป็นการทำแห้งให้ได้เป็นผลึกไซลิทอลในขั้นตอนเดียว โดยมีลักษณะโครงสร้างผลึกที่ได้แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งจะมีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 50 ไมครอน และจะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 10 ไมครอน ดังภาพที่ 2 โดยทั่วไปแล้วขนาดมาตรฐานของอนุภาคของผลึกไซลิทอลจะต้องมีขนาด 0.1-1.0 มิลลิเมตร และจะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.15-0.4 มิลลิเมตร ซึ่งการผลิตผลึกไซลิทอลด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ไมโครคริสตัลของไซลิทอลสามารถควบคุมขนาดอนุภาคของผลึกไซลิทอลตามที่ต้องการได้ และจะส่งผลให้สามารถนำผลึกไซลิทอลไปใช้เป็นสารให้ความหวานแทนการใช้ซูโครส และอาจมีการผสมไซลิทอลในผลิตภัณฑ์ร่วมกับสารให้ความหวานชนิดอื่น เช่น ไดเปปไทด์ (dipeptide) แซ็กคาริน (saccharin) อะซีซัลเฟมเค (acesulfame K) สตีวิโอไซด์ (stevioside) ไซคลาเมต (cyclamate) ซูคราโลส (sucralose) และนีโอเฮสเปอร์ดิโน ไดไฮโดรคาลโคน (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.

เดือนมีนาคม 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม

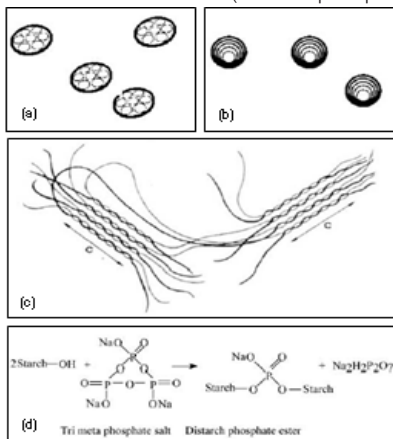
Resistant Starch อาหารยุคที่สี่ (4G) ของมนุษย์

มณฑล เดชสังกรานนท์/สาขาวิชา ศิริคณสินียกุล*

จากกระแสโลกาภิวัตน์มนุษย์ชาติได้ก้าวล้ำมาสู่ยุคโลกไร้พรมแดน เทคโนโลยีต่าง ๆ อาทิ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคโนโลยีพลังงาน เทคโนโลยีทางการแพทย์ หรือแม้แต่เทคโนโลยีชีวภาพ ล้วนได้รับการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง ในโลกแห่งเทคโนโลยีไร้สาย เทคโนโลยีการอาหารเป็นอีกแขนงหนึ่งที่มีความก้าวหน้าอย่างยิ่งยวด นักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารได้คิดค้นและประดิษฐ์นวัตกรรมอาหารมากมายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งนอกจากการยอมรับทางประสาทสัมผัสแล้ว ผู้บริโภคยังต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ/functional food อีกด้วย

แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Resistant Starch/RS) เป็นอีกความสำเร็จหนึ่งที่มาจากการกลสมองอันชาญฉลาดและกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน คาดการณ์ว่าจะมาทดแทนวัตถุดิบประเภทแป้งดั้งเดิมที่ประชากรเกือบทั้งโลกบริโภคเป็นอาหารหลัก จากกระแสอาหารเพื่อสุขภาพเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมีการนำแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต เนื่องจากมีคุณสมบัติคล้ายเส้นใยอาหาร (dietary fiber) และช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของอาหารให้ดีขึ้นด้วย ประการสำคัญคือ แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์จะส่งผลดีต่อสุขภาพหลายประการ อาทิ ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และลดปริมาณน้ำตาลในเลือดสำหรับผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน เป็นต้น

European FLAIR-Concerted Action on Resistant Starch ได้ให้คำจำกัดความแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ 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 พบในอาหารที่ให้ความร้อนจนเกิดเจลที่ไหม้ เมื่อเย็นลงจะเกิดการจัดเรียงตัวของอะมัยโลสใหม่ (ภาพที่ 1c) ละลายได้ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และไดเมทิลซัลโฟลิกไซด์ เช่น แป้งอกขนมปัง คอรันเฟลคส์ และการคืนตัวของแป้งข้าวโพดอะมัยโลสสูง เป็นต้น 4. RS4/chemically modified ไม่พบในธรรมชาติ ได้จากการนำแป้งไปดัดแปรโครงสร้างโดยใช้สารเคมีในการเชื่อมขวาง (cross link) เพื่อให้มีการจัดเรียงพันธะใหม่ เช่น ไดสตาρχฟอสเฟตเอสเทอร์ (distarch phosphate ester) เป็นต้น (ภาพที่ 1d)



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

ภาพที่ 1 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (a) RS1 (b) RS2 (c) RS3 และ (d) RS4

ที่มา: Sajilata และคณะ, 2006

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

ประโยชน์ของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ต่อสุขภาพ สรุปได้ดังนี้ 1. ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กแต่ถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ และเกิดเป็นกรดไขมันสายสั้น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อแบคทีเรีย *Bifidobacterium* เช่น แลคติก บิวทิเรต และพรีไบโอติก 2. ส่งผลดีต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน เนื่องจากมีค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic Index/GI) ต่ำ (GI คือ ดัชนีที่วัดการวัดคุณภาพของอาหารคาร์โบไฮเดรตภายหลังการรับประทานและเข้าสู่ระบบการย่อยและดูดซึมของร่างกาย ว่าสามารถเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดได้มากหรือน้อย โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส/ขนมปังขาวซึ่งมีค่า GI เท่ากับ 100/อาหาร GI ต่ำ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 55 หรือ น้อยกว่า/อาหาร GI ปานกลางมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 56-69/อาหาร GI สูงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 70 หรือ มากกว่า) จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดและอินซูลินหลังการบริโภคอาหารลดลง 3. ส่งเสริมให้ลำไส้ดูดซึมแร่ธาตุบางชนิดได้ดีขึ้น เช่น แคลเซียมและเหล็ก เป็นต้น 4. ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ กรดไขมันที่เกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่จะปรับค่าพีเอชภายในลำไส้ให้ต่ำลง เป็นผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนน้ำดีไปเป็นสารก่อมะเร็งไม่สามารถทำงานได้ 5. ยับยั้งการสะสมไขมัน ภายหลังการบริโภคจะเกิดการออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) เพิ่มขึ้น 6. ป้องกันโรคอ้วน ลดระดับคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน เป็นต้น

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

เอกสารอ้างอิง กล้าณรงค์ ศิริรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. • วิชา สุโรจนะเมธกุล. 2549. ค่าดัชนีไกลซีมิก. 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 ปัทมา*/ สาขาวิชา ศิริคณบดีเยกุล*

ข้าวจัดเป็นอาหารหลักของคนไทยและถือว่าเป็นอัตลักษณ์ของชาติ โดยเฉพาะข้าวหอมมะลิที่ได้รับการยอมรับจากเวทีโลกว่าเป็นข้าวที่ดีที่สุดในโลก จากสภาวะแวดล้อมปัจจุบันส่งผลให้คนส่วนใหญ่หันมาให้ความสำคัญกับอาหารการกินมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ข้าวซึ่งเป็นอาหารหลักของประชากรโลกจึงได้รับการพัฒนาในแง่มุมที่แตกต่างกัน

การส่งเสริมให้บริโภคข้าวมีสีเป็นหนทางหนึ่งที่ดีปฏิบัติได้โดยง่าย โดยเฉพาะข้าวที่มีสีชมพู แดงส้ม แดงม่วง และม่วงดำ โภชนาการแนะนำว่าการบริโภคข้าวมีสีจะช่วยต้านโรคมะเร็ง อาทิ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือด ป้องกันโรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น ตัวอย่าง ข้าวมีสีที่หาซื้อได้และมีจำหน่ายทางการค้า เช่น ข้าวแดงภูฐาน (bhanese red rice) ข้าวสีดำจากอิตาลี (italian black rice) ข้าวสีแดงจากบราซิล (venice rice) ข้าวสีแดงเข้มของเนปาล (himalayan red rice) ข้าวแดงที่ปลูกในฟิลิปปินส์ (bohul red rice) ข้าวดำของจีน/ข้าวดำต้องห้าม (forbidden black rice) เป็นต้น สำหรับข้าวมีสีของไทย เช่น ข้าวเจ้าดอกมะลิ และข้าวเจ้าดอกขจร ข้าวสีแดงที่บริโภคในรูปของข้าวเจ้าและมีจำหน่าย ได้แก่ ข้าวมัน/ของภาคกลาง ข้าวเจ้าหรือข้าวกริบของภาคอีสาน และข้าวสังข์หยดของภาคใต้ เป็นต้น



ภาพที่ 1 ข้าวสีดำไรซ์เบอร์รี่

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

ตารางที่ 1 ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวไรซ์เบอร์รี่

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 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางโภชนาการในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

คุณสมบัติ	
ปริมาณอะมิโน	15.6 %
อุณหภูมิแห้งสุก	< 70 °C
ธาตุเหล็ก	13-18 mg/kg
ธาตุสังกะสี	31.9 mg/kg
โอมิگا-3	25.51 mg/100 g
วิตามิน ซี	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 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

ข้าวมีสีประกอบด้วยสารฟิโชนเคมี (phytochemical) ที่สำคัญหลายชนิด โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระ (anti-oxidant) ซึ่งพบมากในรำข้าว มีสรรพคุณช่วยลดความเสี่ยงในการก่อให้เกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ มะเร็ง เป็นต้น การทดสอบทางเภสัชศาสตร์พบว่าข้าวสีดำและรำข้าวสีดำมีประสิทธิภาพสูงในการต่อต้านอนุมูลอิสระ โดยส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวจะอุดมด้วยสารสำคัญหลายชนิด เช่น แอนโทไซยานิน (anthocyanin) พรอแอนโทไซยานิดิน (proanthocyanidin) ไบโอฟลาโวนอยด์ (bioflavonoids) พอลิฟีนอล (polyphenol) และวิตามินอี (vitamin E) เป็นต้น โดยที่พรอแอนโทไซยานิดินจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุด

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry) เป็นตัวอย่างหนึ่งของข้าวมีสีที่อุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่พัฒนาขึ้นโดยศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ภาพที่ 1) จัดเป็นข้าวเจ้าสีดำซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมมะลิ (สีม่วงเข้ม เมล็ดเรียวยาว) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ข้าวขาว เมล็ดเรียวยาว) มีลักษณะประจำพันธุ์และคุณสมบัติทางโภชนาการดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจะมากขึ้นเมื่อข้าวมีสีเข้มขึ้น อย่างไรก็ตาม หากนำข้าวไรซ์เบอร์รี่ไปหุงต้มประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระจะลดลงครึ่งหนึ่งของข้าวขาว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าอุดมด้วยโทโคฟีโนล (tocopherol) และโทโคไตรอีนอล (tocotrienols) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบต่างๆ ในรำข้าว แกลบ ข้าวกล้องและข้าวขาว พบว่ารำข้าวมีปริมาณแกมมา-โอไรซานอล (gamma-oryzanol) และโทโคฟีรอล (tocopherols) สูงที่สุด ในขณะที่แกลบมีกรดฟีนอลิก (phenolic acids) ฟิโคมาริก (p-coumaric) และวานิลลิก (vanillic) สูงที่สุด

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

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

สารไอโซฟลาโวนจากถั่วเหลืองหมัก

มदनพรพร สงพิมพ์*/สาขาวิชา ศิริคั่นสนียกุล*

กระบวนการหมักถั่วเหลือง เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (bioactive compound) เนื่องจากในระหว่างกระบวนการหมัก จุลินทรีย์ต่าง ๆ อาทิ *Bacillus subtilis* *Rhizopus oligosporus* และ *Aspergillus sp.* เป็นต้น จะสร้างเอนไซม์ออกมาย่อยโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตในถั่วเหลืองให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เกิดเป็น เปปไทด์ กรดอะมิโน กรดไขมัน น้ำตาล และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญอีกหลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้จะส่งผลดีต่อรสชาติและคุณสมบัติทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักและสุขภาพของผู้บริโภคด้วย

ถั่วเหลืองหมักเป็นผลิตภัณฑ์อาหารดั้งเดิมของประเทศแถบเอเชีย ซึ่งให้กลิ่นรสและรสชาติที่เฉพาะตัว อีกทั้งยังอุดมด้วยคุณค่าทางอาหารที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกาย อาทิ กรดอะมิโนอิสระ วิตามินบี 12 สารต้านอนุมูลอิสระต่าง ๆ ที่สำคัญคือสารไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoid) ที่มีคุณสมบัติในการควบคุมปริมาณน้ำตาลกลูโคสและลดภาวะการดื้ออินซูลินในผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิด 2 จากสถิติพบว่า ผู้ป่วยโรคเบาหวานชนิด 2 เพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักจึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่รักสุขภาพและผู้ป่วยเบาหวานระยะเริ่มแรก

สารไอโซฟลาโวนอยด์ (isoflavonoid) เป็นสารที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกับ เอสโตรเจน (estrogen) จึงสามารถจับกับ ตัวรับเอสโตรเจน (estrogen receptor) ได้ โดยเฉพาะเจาะจง ณ บริเวณเดียวกับ อะโกนิสต์ (agonists) หรือ แอนตาโกนิสต์คู่แข่ง (competitive antagonist) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีผลต่อการกระตุ้นกลไกการตอบสนองของเซลล์

ด้วยเหตุนี้สารไอโซฟลาโวนอยด์ จึงออกฤทธิ์คล้ายกับฮอร์โมน เอสโตรเจน ที่สามารถป้องกันและรักษาโรคเบาหวานชนิดที่ 2 ด้วยการลดภาวะการดื้ออินซูลิน ปรับการปลดปล่อยอินซูลิน และเพิ่มจำนวน β -cell เป็นต้น ฉะนั้น สารไอโซฟลาโวนอยด์ จึงมีส่วนช่วยในการปรับระดับสมดุลของน้ำตาลกลูโคสภายในเซลล์ได้เช่นเดียวกับฮอร์โมนเอสโตรเจน

สารไอโซฟลาโวน เป็นสารในกลุ่มไอโซฟลาโวนอยด์ ซึ่งพบในถั่วเหลืองและถั่วเหลืองหมัก (ตารางที่ 1) มักพบในรูป 6-O-malonylglucoside หรือ β -glucoside conjugates อาทิ จินิสติน (genistin) เดียดซิน (diadzin) และ ไกลซิติน (glycitin) และ β -glucoside ที่เชื่อมต่อกับโปรตีนในถั่วเหลือง/สารไอโซฟลาโวนเหล่านี้ จะถูกย่อยสลายได้โดยความร้อนและกระบวนการหมัก โดยในระหว่างการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการหมักด้วยความร้อน 6-O-malonylglucoside จะเปลี่ยนเป็น 6-O-acetylglucoside หรือ β -glucoside จากนั้นเมื่อผ่านกระบวนการหมัก β -glucoside จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์บีตา-กลูโคซิเดส (β -glucosidase) ได้ β -glucoside unconjugates ซึ่งได้แก่ สารจินิสเทอิน (genistein) และเดียดเซอิน (diadzein) เป็นต้น และหากพิจารณาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมัก เช่น ผลิตภัณฑ์ของกุกจัง (cheonggukjang) จากประเทศเกาหลี พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารไอโซฟลาโวน กับ ถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านกระบวนการหมัก พบสารเหล่านี้ในผลิตภัณฑ์ของกุกจังมากกว่าถั่วเหลืองถึง 21 เท่า ดังนั้นกระบวนการหมักถั่วเหลืองจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้แก่ผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลืองได้มากยิ่งขึ้น

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
	Cysteine	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 ศิริคันสนียกุล*

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งแร่ธาตุโดยเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กระดับอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตไบโอดีเซล ปุ๋ยอินทรีย์ที่นำมาใช้ส่วนใหญ่ผลิตมาจากเศษอาหาร ชีวมวล หรือ ปุ๋ยคอก พบว่ามีสารอาหารสูงสามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กได้ (ตารางที่ 1)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสง (photobioreactor) ที่มีสูตรอาหารเพาะเลี้ยงพื้นฐาน (Bold's basal medium) ปริมาตร 5 ลิตร ซึ่งเตรียมจากการผสมสูตรอาหารกับน้ำประปาแทนน้ำกลั่น/น้ำปอดเชื้อ และมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของแร่ธาตุ (ตารางที่ 1) โดยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น 6.8 มีการให้อากาศแบบต่อเนื่องและให้แสง (cool-white fluorescent light) ที่ความเข้มแสง 60-70 ไมโครโมล/เมตร² วินาที ซึ่งวิธีการเพาะเลี้ยงนี้จะสามารถขยายกำลังการผลิตได้โดยง่ายและช่วยลดการใช้พลังงานโดยรวมในระดับอุตสาหกรรม

ปัจจัยของการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจน/ระยะเวลาของการให้แสง/ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น/การเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง/การหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้ระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง 12 วัน ผลของการเจือจางปุ๋ยอินทรีย์เพื่อประเมินความเข้มข้นของไนโตรเจน 1.33-40.71 กรัม/ลิตร พบว่าให้ความเข้มข้นของเซลล์สาหร่ายเท่ากับ 0.1-0.31 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ที่มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.132-0.229 ต่อวัน ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนที่เหมาะสม 40.71 กรัม/ลิตร จะให้ความเข้มข้นของเซลล์สูงสุด (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

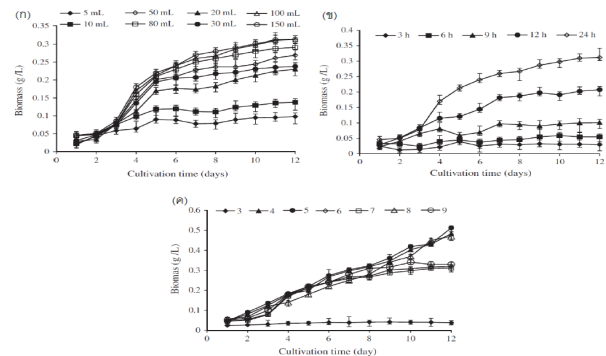
Testing method:

- ^a APHA 5220 B (2005).
- ^b APHA 5210 B (2005).
- ^c APHA 4500-NH₃-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 ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (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* สามารถใช้สารอาหารได้อย่างต่อเนื่องผ่านวัฏจักรสังเคราะห์แสง ทำให้การผลิตมวลของเซลล์เพิ่มขึ้น

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* (ก) ความเข้มข้นไนโตรเจนเริ่มต้น (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) (ความเข้มข้นกรด-ด่าง 7, การให้แสง 24 ชั่วโมง) (ข) ระยะเวลาการให้แสง (ไนโตรเจน 26.67 กรัม/ลิตร, ความเข้มข้นกรด-ด่าง 7) และ (ค) ค่าความเข้มข้นกรด-ด่าง (ไนโตรเจน 26.67 กรัม/ลิตร, การให้แสง 24 ชั่วโมง)

ที่มา: Lam และ Lee, 2012

ฉะนั้นสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* จึงไม่สามารถเก็บพลังงานแสงเพื่อใช้ในช่องของการเจริญเติบโตแบบไม่มีแสงได้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบคายพลังงาน (exergonic reaction) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาการออกแบบพื้นที่ผิวของการรับแสงสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีของการเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง เพื่อให้สาหร่ายได้รับพลังงานแสงที่เหมาะสมที่จะสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ 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 ความเข้มข้นกรด-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 ความเข้มข้นกรด-ด่างที่ 6, 7 และ 9 ของการเพาะเลี้ยงวันที่ 1-4 และความเข้มข้นของเซลล์สาหร่ายไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเพาะเลี้ยงวันที่ 9-12 โดยมีความเข้มข้นของเซลล์สูงสุดเท่ากับ 0.33 กรัม/ลิตร

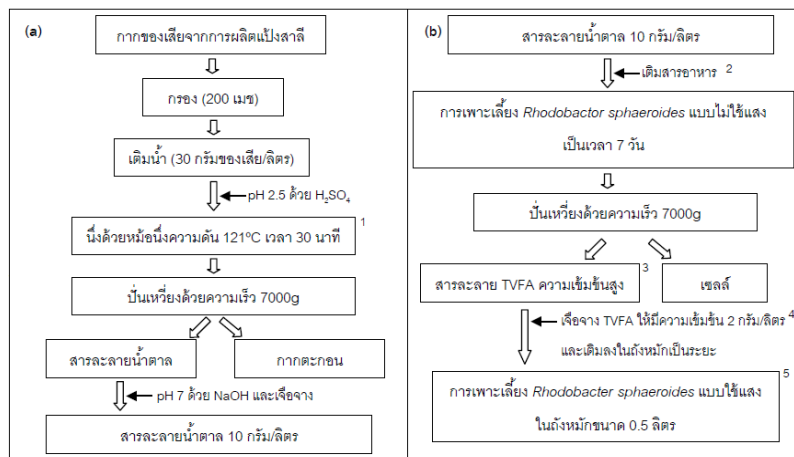
กรณีศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสง แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของแร่ธาตุ โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก ได้แก่ ความเข้มข้นของไนโตรเจน ระยะเวลาการให้แสง และค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น เป็นต้น

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

ไบโอไฮโดรเจน

ธนศักดิ์ ไพโรจน์*/ สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

การผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยการหมักแบบใช้แสงและไม่ใช้แสงจากชีวมวล/กากทิ้งที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรต จำเป็นต้องใช้กรด/เอนไซม์ช่วยในการย่อยสลายเพื่อให้ได้น้ำตาลที่หมักได้เสียก่อน จากนั้นจึงผ่านขั้นตอนแรกของการหมักแบบไม่ใช้แสงด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสง *Rhodobacter sp.* จะได้เป็นกรดไขมันระเหย (volatile fatty acids/ VFAs) เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนที่สองของการหมักแบบใช้แสง ทำให้แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสามารถเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นก๊าซไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ สรุปกระบวนการผลิตไบโอไฮโดรเจนภายใต้สภาวะการควบคุมของสารอาหารและ ความเข้มข้น 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 ควบคุมความเข้มข้น 5 กิโลกรัม

ที่มา: Lam และ Lee, 2012

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

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากการเพาะเลี้ยงแบบใช้แสงจากกรดไขมันที่ระเหยได้

จุลินทรีย์	แหล่งคาร์บอน	แหล่งไนโตรเจน	แหล่งให้แสง	ความเข้มข้น	ผลได้ไฮโดรเจน
<i>Rhodobacter sphaeroides</i> WP3-5	กรดบิวทริก (1.83 กรัม/ลิตร)	กรดกลูตามิก (0.607 กรัม/ลิตร)	หลอดทั้งเส้น	10 กิโลกรัม	1,460 มล./กรัม กรดบิวทริก
<i>R. sphaeroides</i> OU 001	กรดมาลิก (2.01 กรัม/ลิตร)	กลูตาเมต (0.3 กรัม/ลิตร)	หลอดทั้งเส้น	15 ± 1.1 วัตต์ต่อตารางเมตร	750 มล./กรัม กรดมาลิก
<i>R. sphaeroides</i> RV NIBH-8703	กรดแลกติก (9 กรัม/ลิตร)	ยีสต์สกัด (0.5 กรัม/ลิตร)	หลอดทั้งเส้น	10 กิโลกรัม	1,194 มล./กรัม กรดแลกติก
<i>R. sphaeroides</i> NRRL B-1727	ไฮโดรไลสจากแป้งสาลี (การเพาะเลี้ยงแบบไม่ใช้แสง)	-	หลอดฮาโลเจน	5 กิโลกรัม	1,200 มล./กรัม TVFA
<i>R. sphaeroides</i> NRRL B-1727	สารละลายจากแป้งสาลี (การเพาะเลี้ยงแบบไม่ใช้แสง)	-	หลอดฮาโลเจน	5 กิโลกรัม	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

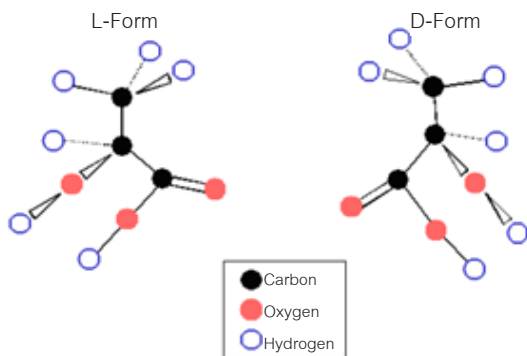
การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร



กรดแลกติก:กรดอินทรีย์เพื่อโลกสีเขียว

ลลิตา พลมณี*/สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร

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 หรืออาจพบรวมกันในรูปแบบ DL-lactic acid ส่วนในร่างกายคน และสัตว์พบเพียง L(+)-lactic acid กรดแลกติกไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ระเหยได้ยาก และมีความสามารถในการกักความร้อนเล็กน้อย 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 โดยนำกรดไฮยานิกมาทำปฏิกิริยากับแอซีทิลดีไฮด์ได้เป็นแลกโทไนไทรล จากนั้นนำแลกโทไนไทรลที่ได้มาทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสกับกรดไฮโดรคลอริกได้เป็นกรดแลกติก และแอมโมเนียมคลอไรด์ และ (2) การผลิตกรดแลกติกด้วยกระบวนการหมักโดยอาศัยกิจกรรมของแบคทีเรียกรดแลกติก การผลิตกรดแลกติกด้วยวิธีการหมักนั้น มีข้อได้เปรียบคือสามารถผลิตกรดแลกติกให้ได้ไอโซเมอร์ของกรดแลกติกตามต้องการเพียงชนิดเดียวได้ และไม่เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการหมัก ในขณะที่การผลิตด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีนั้นจะได้ผลิตภัณฑ์ผสมของกรดแลกติกทั้งชนิด D (-) lactic acid และ L (+) lactic acid

อย่างไรก็ตามกรดแลกติกที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักยังคงมีต้นทุนที่สูงอยู่ ส่วนใหญ่มาจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์และส่วนหนึ่งมาจากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ หรือ กระบวนการทำยวกระแ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกรดแลกติก

Product identification	
CAS no.	50-21-5, 79-33-4 (L), 10326-41-7 (D)
EINECS no.	200-018-0
Formula	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH}$
Mol. wt.	90.08
H.S. code	2918.11
Toxicity	Oral rat LD50: 3543 mg/kg
Synonyms	2-hydroxypropanoic acid; 1-hydroxyethanecarboxylic acid; ethylenelactic 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) การแยกด้วยเยื่อเมมเบรนแบบอิเล็กโตรไดอะลิซิส (Electrodialysis) และการทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ริฟิเคชันด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol esterification) เป็นต้น

การพัฒนากรรมวิธีการผลิตกรดแลกติกที่มีต้นทุนการผลิตต่ำจึงเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นมาก ซึ่งมีด้วยกันหลายแนวทาง เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้ขบสเตรดได้ดี และผลิตกรดแลกติกได้ปริมาณสูง การพัฒนากระบวนการผลิตกรดแลกติกให้มีประสิทธิภาพในการผลิตสูง นอกจากนี้การใช่วัตถุดิบที่หาง่าย 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

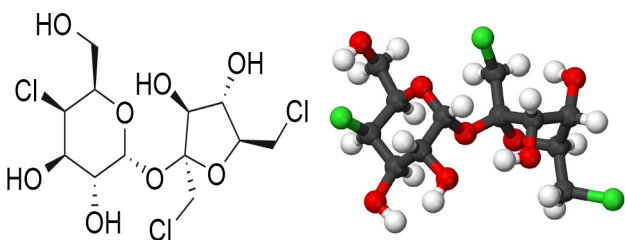
การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม



สารให้ความหวานสังเคราะห์ซูคราโลส

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ซูคราโลส เป็นสารให้ความหวานเทียมที่ร่างกายไม่ย่อยสลาย จึงไม่ให้ค่าพลังงานแต่อย่างใด แต่ก็มีค่าน้ำหนักมากกว่าซูโครส 600 เท่า ชัณทศกร/แซ็กคารีน 2 เท่า และ เอสพาร์เทม 3 เท่า ซูคราโลสมีความเสถียรสูงพ้นจากอิทธิพลของความร้อนและสภาวะความเป็นกรด จึงนิยมใช้มากในอาหารและผลิตภัณฑ์แปรรูป เนื่องจากให้รสชาติที่ดี คุณสมบัติไม่ดูดความชื้น มีความเสถียร และได้รับการยอมรับว่าปลอดภัย (non-nutritive/non-caloric sweetener) อย่างเป็นทางการจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) เมื่อปี ค.ศ. 1998/1999/2006 และจากองค์กรหลากหลายทางด้านอาหารและยาทั่วโลก ปัจจุบันมีการใช้ซูคราโลสอย่างกว้างขวางแล้วกว่า 80 ประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย ซูคราโลสใช้ได้กับผู้ป่วยโรคเบาหวานโดยไม่เพิ่มปริมาณกลูโคสในกระแสเลือด และไม่ส่งผลกระทบต่อระดับของอินซูลิน โดยมีปริมาณบริโภคต่อวัน/Estimated Daily Intake (EDI) แนะนำจากสมาคมโรคเบาหวานแห่งแคนาดา เท่ากับ 9 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม/วัน สำหรับหน่วยงาน เอฟดีเอ/FDA ได้กำหนดปริมาณบริโภคต่อวันไว้ที่ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/น้ำหนักตัว/วัน นอกจากนี้ยังปลอดภัยต่อผู้ป่วยด้วยโรคฟีนิลคีโตนูเรีย (phenylketonuria/PKU) ที่จำเป็นต้องควบคุมปริมาณกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน/Phe ในกระแสเลือด (ผู้ป่วยจะมีค่า Phe ในเลือด >20 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) รวมทั้งหญิงตั้งครรภ์และเด็กอีกด้วย ชื่อทางการค้าของซูคราโลสที่ปรากฏจำหน่ายทั่วไป ได้แก่ Splenda (ผสมด้วยมอลโทเดกซ์ทรินที่เป็นสารเพิ่มปริมาณ/bulking agent)/McNeil Nutritional LLC (Johnson & Johnson), Sukrana, SucraPlus, Candys, Cukren และ Nevella เป็นต้น



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของซูคราโลส ($C_{12}H_{19}Cl_3O_8$) (1',4',6'-Trichlorogalactosucrose/E955)

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

ซูคราโลสสังเคราะห์จากซูโครส/น้ำตาลทราย ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า คลอรีนชัน (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 และได้รับอนุญาตให้ใช้ในอาหารและเครื่องดื่มได้ในแคนาดาและ

สหรัฐอเมริกาเมื่อ ปี ค.ศ. 1991 และ 1998 ตามลำดับ โดยมีบริษัท Johnson & Johnson/McNeil Nutritional LLC ได้ซื้อสิทธิในการผลิตและพัฒนาซูคราโลสเชิงพาณิชย์ ภายใต้ชื่อการค้าว่า Splenda อย่างไรก็ดี ในปี ค.ศ. 2009 ประเทศจีนก็ได้สิทธิในการผลิตซูคราโลสออกจำหน่ายภายใต้ชื่อการค้าอื่นได้เช่นเดียวกัน ซูคราโลสนับเป็นสารให้ความหวานสังเคราะห์เพียงชนิดเดียวที่ผลิตจากน้ำตาลธรรมชาติ/ซูโครส สามารถก้าวผงาดขึ้นมาแทนแซ็กคารีนที่ประกาศห้ามใช้ในแคนาดาในปี ค.ศ. 1977 และโซคลาเมตที่ประกาศห้ามใช้ในแคนาดาและสหรัฐอเมริกา เนื่องจากเป็นสาเหตุของการก่อโรคมะเร็งได้ แต่ก็ยังมีคู่แข่งอย่างเอสพาร์เทมที่มีคุณสมบัติด้อยกว่า ซึ่งไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูงและภายใต้สภาวะความเป็นกรด



ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์ซูคราโลสภายใต้ชื่อการค้า Splenda®/Tate & Lyle

ที่มา: <http://www.tuberos.com/Sucralose.html>; <http://www.splenda.com/>

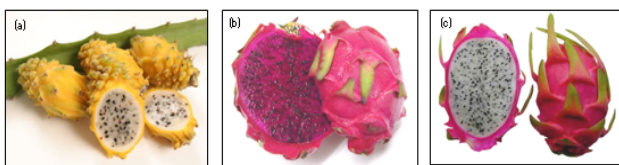
ซูคราโลสภายใต้ชื่อการค้า Splenda®/Tate & Lyle ในสถานะสารให้ความหวานระดับครัวเรือน (ภาพที่ 2) สามารถจำหน่ายได้มากกว่าผลรวมของ Equal®/เอสพาร์เทม และ Sweet n Low®/แซ็กคารีน ในปี ค.ศ. 2004 โดยมีมูลค่าสูงถึง 172 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ปัจจุบันบริษัท Tate & Lyle จึงได้เปิดโรงงานอีกแห่งที่สิงคโปร์ (Jurong Island)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

แก้วมังกร มีถิ่นกำเนิดในเม็กซิโก อเมริกาใต้ และอเมริกา กลาง มีการนำมาปลูกเป็นการค้าในประเทศเวียดนามกว่า 100 ปี แล้ว เนื่องจากผลคล้ายลูกแก้วที่มีเปลวไฟลูกชดช่วงจึงเรียกผลไม้ นีว่า ผลแก้วมังกร ส่วนต้นเรียกว่า ต้นแก้วมังกร แก้วมังกรจัดอยู่ ในวงศ์ *Cactaceae* ซึ่งมีสมาชิกทั้งหมด 122 สกุล มีเพียง 9 สกุล ที่สามารถรับประทานได้ และ 3 สกุลที่นิยมปลูกเป็นการค้า ได้แก่ *Mediocractus* sp. (ผลขนาดเล็ก รสหวานมาก) *Selenicereus* sp. (ผลสีเหลืองและเป็นหนาม เนื้อในสีขาว มี เมล็ดภายในสีดำ นิยมเรียกแก้วมังกรผิวทอง(ภาพที่ 1a)) และ *Hylocereus* sp. (นำเข้ามาปลูกในไทยและรู้จักกันมากที่สุด มีสอง ชนิด คือ เปลือกสีแดงเนื้อแดง (*H. polyrhizus*) นิยมเรียกแก้วมังกร แดง (ภาพที่ 1 b) และเปลือกสีแดงเนื้อขาว (*H. undatus*) นิยมเรียก แก้วมังกรขาว (ภาพที่ 1 c))



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

ที่มา: นิรนาม

แก้วมังกรประกอบด้วยพหุคุณเคมีสำคัญหลายชนิด อาทิ บีตาไซยานิน (betacyanins) ไลโคพีน (lycopene) และวิตามิน อี (vitamin E) โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 1.4, 3.4 และ 0.26 ไมโครกรัม ต่อส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม ตามลำดับ ส่วนที่เป็นเมล็ดคล้าย งาดำประกอบด้วยกรดไขมันจำเป็นประมาณ 50% ชนิดที่สำคัญ คือ กรดลิโนเลอิก (C18:2, 48%) และกรดลิโนเลนิก (C18:3, 1.5%) นอกจากนี้ยังพบสารโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharides) ที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ส่วนที่เป็นเส้นใยจะมี สารมิวซิเลจ (mucilage) จำนวนมากลักษณะคล้ายวุ้นเหลวมี คุณสมบัติในการดูดน้ำ จึงช่วยลดการดูดซึมไขมันประเภท ไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลในเลือด

ในปี ค.ศ. 2010 Wichienchot และคณะ ได้ตีพิมพ์ผลงาน ในวารสาร Food Chemistry เรื่อง "Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties" ผลงานดังกล่าว ยืนยันได้ว่าแก้วมังกรมีศักยภาพเป็นอาหารพรีไบโอติก พวกเขาพบว่าคาร์โบไฮเดรตหลักที่พบในเนื้อแก้วมังกรขาวและแก้วมังกรแดง คือ กลูโคสและฟรุคโตส และยังมีโอลิโกแซ็กคาไรด์อื่น ๆ อีกประมาณ 86.2 และ 89.6 กรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยสภาวะ ที่เหมาะสมในการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์คือ ใช้เอทานอลในการสกัด และใช้อัตราส่วนของเนื้อแก้วมังกรต่อเอทานอลเท่ากับ 2:1 ภายใต้อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 28 ± 2 องศาเซลเซียส ผลการทำปฏิกิริยา บางส่วนพบว่าโอลิโกแซ็กคาไรด์เหล่านี้มีน้ำหนักโมเลกุล 716, 700, 490 และ 474 ดาลตัน และมี degree of polymerization (DP) เท่ากับ 3-4 และพบว่าโอลิโกแซ็กคาไรด์จากแก้วมังกรมีคุณสมบัติเป็น พรีไบโอติก กล่าวคือ ทนต่อสภาวะกรดภายในกระเพาะอาหารของ มนุษย์ ด้านทานต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์อะไมเลส อีกทั้งยัง ส่งเสริมการเจริญเติบโตของแลคโตบาซิลลัสและบีฟิโดแบคทีเรียอีกด้วย

แก้วมังกรยังมีบีตาไซยานินซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สี ม่วงแดงและเป็นชนิดเดียวกับที่พบในบีตรูต จัดอยู่ในกลุ่ม สารบีตาเลน (betalains) เช่นเดียวกับบีตาแซนทีน

มนชัย เดชสังกรานนท์/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ*

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

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

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

* Average of 15 fruits.

* Average of triplicate analyses by HPLC.

ที่มา: Wichienchot และคณะ, 2011

(betaxanthin) และเป็นอนุพันธ์ของกรดบีตาแลมิก (betalamic acid) เป็นที่ทราบกันดีว่าสารกลุ่มนี้สามารถ ยับยั้งการแบ่งเซลล์ของเนื้องอกได้หลายชนิด รวมถึงต่อต้าน ไวรัสและแบคทีเรียได้อีกด้วย นอกจากนี้บีตาไซยานินยังมี ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันได้ดีกว่าคาเทชิน (catechin) และ วิตามินซี และสามารถละลายน้ำได้ดี โดยจะให้สีแดงในช่วง ค่าพีเอช 3-7 ด้วยเหตุนี้บีตาไซยานินจึงมีศักยภาพในการใช้ เป็นสีผสมอาหารและในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นผลให้มี การศึกษาการสกัดบีตาไซยานินจากส่วนต่าง ๆ ของแก้วมังกร เพื่อการใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย

นักเทคโนโลยีทางอาหารจากจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย พบว่าเปลือกและเนื้อแก้วมังกรแดงประกอบด้วย บีตาไซยานิน สารฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และใยอาหารใน ปริมาณสูง โดยสารบีตาไซยานินที่สกัดได้จะมีความคงตัวได้ดี ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.5-5.5 และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในที่มืด มีรายงานว่าเปลือกแก้วมังกรขาวจะ มีสารบีตาเลนมากที่สุด โดยบีตาเลนจากเปลือกและเนื้อของ แก้วมังกรแดงจะคล้ายกับที่พบในหัวบีต และพบว่าสาร สกัดหยาบจากเปลือกแก้วมังกรขาวมีความสามารถในการ ต้านออกซิเดชันและมีปริมาณสารประกอบฟีนอลมากที่สุด รองลงมาคือเปลือกแก้วมังกรแดงและเนื้อแก้วมังกร แดง ตามลำดับ ในขณะที่สารสกัดจากเปลือกแก้วมังกรแดง เท่านั้นที่แสดงกิจกรรมการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

นอกจากนี้ยังมีการสกัดเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenol oxidase, PPO) จากเปลือกแก้วมังกรขาว โดย เอนไซม์ที่สกัดได้จะมีค่าพีเอชและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ ทำงานเท่ากับ 7.0 และ 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับ งานทางด้านพัฒนาผลิตภัณฑ์และแปรรูปอาหารมีการนำ เนื้อแก้วมังกรและเปลือกแก้วมังกรไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ อาหารมากมาย เช่น ผงสี เครื่องดื่ม ลูกอม เยลลี่ แก้วมังกรกวน แก้วมังกรแช่อิ่ม รวมถึงผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหมัก อาทิ ไวน์ นำส้มสายชู วุ้นสวรรค์ และโยเกิร์ต เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง กรรณิการ์ สอนโยธา และ ปราณี อานปร่อง. 2552. สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความคงตัวของบีตาไซยานินจากเปลือก และเนื้อแก้วมังกรพันธุ์เนื้อสีแดง (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose). วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร 40(1), 15-18. • มนชัย เดชสังกรานนท์ นันทพร รุจิจร และ จิสดา เกตุกราย. 2552. การแปรรูปผล แก้วมังกรโดยวิธีการหมัก. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนดุสิต. • Wichienchot, S. et al. 2010. Oligosaccharides of pitaya (dragon fruit) flesh and their prebiotic properties. Food. Chem. 120: 850-857.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

นมและภาวะแพ้แล็กโทสในนม

ศิวพร วรรณวิไล*/สาขาวิชา ศิริคั่นสนียกุล*

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

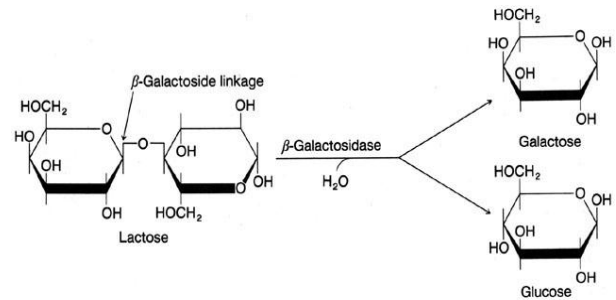
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ชนิดของน้ำนม	องค์ประกอบต่อน้ำหนัก 100 กรัม			
	โปรตีน (กรัม)	ไขมัน (กรัม)	แล็กโทส (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

แล็กโทส (Lactose) จัดเป็นน้ำตาลไดแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยกลูโคสและกาแล็กโทสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ปกติร่างกายของคนเราสามารถย่อยและดูดซึมแล็กโทสได้โดยอาศัยเอนไซม์แล็กเทส (Lactase) จากลำไส้เล็ก เพื่อย่อยแล็กโทสเป็นกลูโคสและกาแล็กโทส จากนั้นร่างกายจึงจะดูดซึมกลูโคสและกาแล็กโทสเข้าสู่กระแสเลือดผ่านทางผนังลำไส้เล็ก ถ้าร่างกายขาดเอนไซม์แล็กเทส น้ำตาลแล็กโทสในนมก็ไม่สามารถถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพื่อดูดซึมในลำไส้เล็กได้ แล็กโทสจึงเคลื่อนเข้าสู่บริเวณลำไส้ใหญ่ซึ่งมีแบคทีเรียที่มีแล็กเทสจึงสามารถย่อยแล็กโทสได้ ขณะที่แล็กโทสผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะย่อยแล็กโทสทันที กลูโคสและกาแล็กโทสที่ได้จะก่อให้เกิดการหมักและเกิดก๊าซจำนวนมากในลำไส้ใหญ่ซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน นอกจากนี้ยังมีกรดแลคติกเกิดขึ้น ทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องเสีย ท้องอืด และอาการเกิดก๊าซในกระเพาะอาหาร ซึ่งจะทำให้เกิดอาการเหล่านี้หลังจากการดื่มนมหรือรับประทานอาหารที่มีแล็กโทสเป็นส่วนผสมระหว่าง 30-120 นาที เรียกอาการที่เกิดขึ้นดังกล่าวว่า ภาวะแพ้แล็กโทสในนม (Lactose intolerance)

ภาวะแพ้แล็กโทสเนื่องจากขาดเอนไซม์แล็กเทสพบได้ในผู้ใหญ่ประมาณ 75% ทั่วโลก ซึ่งภาวะการขาดแล็กเทสเกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนจากวัยเด็กเป็นผู้ใหญ่ (adult-type hypolactasia) และความรุนแรงของอาการจะขึ้นอยู่กับอายุ ความถี่ของการบริโภคอาหารที่มีส่วนผสมของแล็กโทส และเชื้อชาติ โดยพบว่าในยุโรปเหนือมีผู้เกิด



ภาพที่ 1 การย่อยสลายของแล็กโทสด้วยเอนไซม์บีตา-กาแล็กโทซิเดส

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

ภาวะแพ้แล็กโทส ประมาณ 5 % แต่กลับพบมากในแถบเอเชียและแอฟริกาถึง 90 % นอกจากนี้ผู้ใหญ่แล้วภาวะแพ้แล็กโทสยังพบได้ในเด็กที่คลอดก่อนกำหนด เนื่องจากเอนไซม์แล็กเทสจะผลิตขึ้นในช่วง 6-9 เดือนของอายุครรภ์มารดา โดยจะพบแล็กเทสปริมาณสูงสุดในลำไส้เล็กของทารกแรกเกิด จากนั้นปริมาณแล็กเทสจะลดลงอย่างช้า ๆ ถ้าหากไม่ได้รับประทานนมเป็นประจำ ผู้ที่มีภาวะแพ้แล็กโทสสามารถป้องกันไม่ให้เกิดอาการดังกล่าวได้ โดยการหลีกเลี่ยงการรับประทานนมหรืออาหารที่มีส่วนผสมของแล็กโทส

อย่างไรก็ตาม นมถือว่าเป็นแหล่งของแคลเซียมที่จำเป็นต่อการสร้างความแข็งแรงของกระดูกและฟัน ทำให้ผู้ที่มีภาวะแพ้แล็กโทสที่หลีกเลี่ยงการรับประทานนมหรืออาหารที่มีนมเป็นส่วนผสม จึงเสี่ยงต่อการขาดแคลเซียมซึ่งจะก่อให้เกิดโรคกระดูกพรุนได้ ดังนั้นเพื่อให้ผู้ที่มีภาวะแพ้แล็กโทสสามารถรับประทานนมได้ จึงมีการนำเอนไซม์แล็กเทสหรือบีตา-กาแล็กโทซิเดส (beta-galactosidase) ที่ผลิตจากเชื้อราสกุล *Aspergillus* ที่มีจำหน่ายในรูปแบบเม็ดใช้ในการช่วยย่อยแล็กโทสในนมก่อนที่จะนำมาบริโภค โดยจะต้องใส่เอนไซม์เม็ดในน้ำนมหรืออาหารที่มีแล็กโทสเป็นส่วนประกอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เอนไซม์แล็กเทสย่อยแล็กโทสให้สมบูรณ์เสียก่อนแล้วจึงจะนำมาบริโภค

ปัจจุบันผู้ประกอบการด้านการแปรรูปนมและผลิตภัณฑ์นมได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของภาวะแพ้แล็กโทสดังกล่าว จึงได้พัฒนากรรมวิธีการแปรรูปนมและผลิตภัณฑ์นมที่ปราศจากแล็กโทสหรือมีส่วนประกอบของแล็กโทสต่ำ เพื่อช่วยแก้ปัญหาของผู้ที่มีภาวะแพ้แล็กโทสให้สามารถบริโภคนมและผลิตภัณฑ์นมได้เช่นเดียวกับคนปกติทั่วไป

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



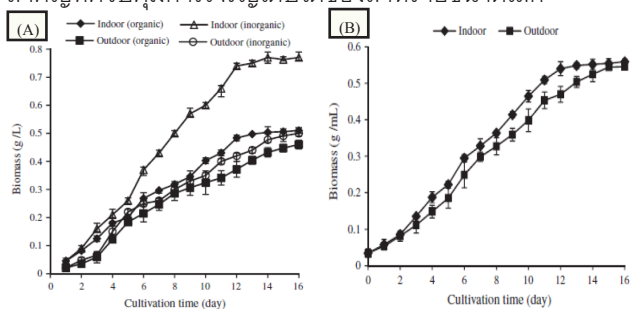
การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อผลิตไบโอดีเซล(2)

ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ*/ สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ*

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กระดับอุตสาหกรรม เพื่อการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสง และใช้ปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งแร่ธาตุ นอกจากจะศึกษาผลของความเข้มข้นในหลอด ระยะเวลากการให้แสง 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 สามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีปุ๋ยอนินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ภายใต้สภาวะของการเพาะเลี้ยงในอาคาร โดยมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ 0.30 และ 0.27 ต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารที่มีการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์และอินทรีย์ (0.20 ต่อวัน) โดยพบการปรับตัวในวันที่ 1-3 ของการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคาร ซึ่งให้เห็นว่าหากมีแหล่งอาหารบริบูรณ์แล้ว ปัจจัยของการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารจะกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก



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

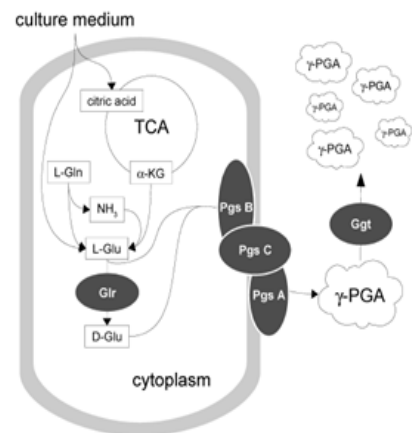
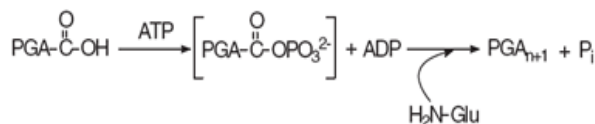
ภาพที่ 1(A) แสดงให้เห็นถึงผลของการนำอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กกลับมาใช้ใหม่โดยไม่ผ่านการบำบัด/การทำให้บริสุทธิ์เสียก่อน พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ที่เพาะเลี้ยงภายในอาคารที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ และยังคงให้ผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายที่ดีส่วนการเพาะเลี้ยงภายนอกอาคารที่ใช้ปุ๋ยอนินทรีย์นั้นพบว่าการใช้อาหารเพาะเลี้ยงซ้ำยังช่วยแก้ปัญหาการปรับตัวในระยะเวลากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก *C. vulgaris* ที่หลงเหลืออยู่ในอาหารเพาะเลี้ยงซ้ำนั้น จะช่วยลดระยะเวลาการปรับตัวของสาหร่ายลงได้อย่างชัดเจน

การสกัดไขมันโดยวิธีการทางเคมีใช้ตัวทำละลายนั้น 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* ประกอบด้วยเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน C16:0, C16:1, C16:2, C18:1 และ C18:3 ซึ่งมี C16:0/กรดปาล์มิติเมทิลเอสเตอร์ C18:1/กรดโอเลอิกเมทิลเอสเตอร์ และ C18:2/กรดลิโนเลอิก มากที่สุดประมาณ 85.6% โดยมีเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 74% จึงสามารถลดอุณหภูมิจุดติดไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่ยังคงเป็นของเหลวลงได้/pour point จึงเป็นไบโอดีเซลที่เหมาะสมกับประเทศไทยหนาวอย่างยิ่ง

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

ณัฐวุฒิ คงกล่อม*/ สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*



เดือนพฤษภาคม 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร



ช็อกโกแลต: ราชันย์แห่งของหวาน

ดารารัตน์ มงคลการ* /สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

ช็อกโกแลต (chocolate) เป็นของหวานที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความหวานและกลิ่นหอมที่เป็นเอกลักษณ์ สามารถใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด อาทิ ไอศกรีม ลูกกวาด เค้ก คุกกี้ เป็นต้น ช็อกโกแลต ผลิตได้จากการนำเมล็ดโกโก้ที่มีรสฝาดมาก คั่ว และบดละเอียด ซึ่งโกโก้ที่นิยมใช้ในการผลิตช็อกโกแลตมักเป็นโกโก้เขตร้อน (tropical cacao tree : ชื่อวิทยาศาสตร์ *Theobroma cacao*) และมีต้นกำเนิดจากอเมริกากลางและเม็กซิโก แต่ในปัจจุบันได้แพร่กระจายและปลูกได้ทั่วไปในเขตร้อน

กระบวนการผลิตช็อกโกแลต เริ่มจากเก็บเกี่ยวฝักโกโก้ที่แก่จัดมารวบรวมไว้ จากนั้นแกะเมล็ดโกโก้ออกจากฝัก แล้วนำเมล็ดโกโก้ที่ได้ไปหมัก (fermentation) ซึ่งสามารถกระทำได้โดยนำเมล็ดโกโก้ไปใส่ไว้ในถังที่ทำจากไม้หรือวัสดุอื่น จากนั้นปิดด้วยกระสอบป่านเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นให้เหมาะสม ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของโกโก้ โดยระยะเวลาในการหมักจะส่งผลต่อความหอมและรสชาติของโกโก้

การศึกษาทางจุลชีววิทยาของการหมักโกโก้ พบว่าประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีของเมล็ดโกโก้ โดยจุลินทรีย์ชนิดแรกที่มีบทบาทสำคัญคือยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งเป็นยีสต์ที่ไม่ต้องการอากาศ จะเปลี่ยนน้ำตาลในเมล็ดโกโก้ให้เป็นเอทานอล จุลินทรีย์ชนิดที่ 2 คือยีสต์ *S. chevalieri* ซึ่งเป็นยีสต์ที่ต้องการอากาศ จะย่อยสลายเพกตินในเมล็ดโกโก้ให้เป็นน้ำตาลและจุลินทรีย์ชนิดที่ 3 คือแบคทีเรีย *Acetobacter* จะเปลี่ยนเอทานอลให้เป็นกรดแอซิติกและกรดอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งจะส่งผลให้เมล็ดโกโก้เปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีน้ำตาลเข้ม

เมื่อกระบวนการหมักเสร็จสิ้น จะนำเมล็ดโกโก้ไปตากแห้งประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อลดระดับความชื้นจาก 60% ให้เหลือประมาณ 7% ในขั้นตอนนี้น้ำตาลโกโก้จะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างเห็นได้ชัด โดยสีของเมล็ดโกโก้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบภายในเมล็ดโกโก้ อย่างไรก็ตาม พบว่ากลิ่นรสของโกโก้ที่ได้จากขั้นตอนนี้ยังไม่มี การพัฒนามากนัก เนื่องจากยังคงสะสมไว้อยู่ในเนื้อเมล็ดไม่สามารถระเหยออกมาได้ อีกทั้งยังมีรสขมอีกด้วยขั้นตอนต่อมาจะนำเมล็ดโกโก้ไปคั่ว (roasting) ซึ่งจะเป็นขั้นตอนสำคัญของการเกิดกลิ่นรสที่เฉพาะของช็อกโกแลต เมื่อคั่วเมล็ดโกโก้เสร็จจึงนำไปบดละเอียดและใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอื่นต่อไป

การบริโภคช็อกโกแลตในปริมาณที่พอเหมาะจะส่งผลดีต่อสุขภาพหลายประการ เนื่องจากเมล็ดโกโก้มีสารฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ซึ่งทราบกันดีว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) นักโภชนาศาสตร์กล่าวว่า สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในเมล็ดโกโก้มีเสถียรภาพสูงและร่างกายสามารถดูดซึมได้ง่าย สามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนโลหิต โดยจะช่วยให้การทำงานของเซลล์บุผนังหลอดเลือดดีขึ้นและช่วยลดความดันโลหิต อีกทั้งยังช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระภายในเลือดด้วย

นอกจากนี้ยังพบสารฟีนิลเอทิล-เอมีน (phenylethylamine) ซึ่งมีคุณสมบัติในการกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารโดปามีน (dopamine) และอะดรีนาลิน (adrenalin) โดยที่สารโดปามีนเป็นฮอร์โมนที่ทำให้ร่างกายมีความสุข กระตุ้นกระแง ส่วนอะดรีนาลินเป็นฮอร์โมนที่ทำให้มีการหลั่งน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดเพิ่มขึ้น กระตุ้นการเต้นของหัวใจ เร่งการใช้พลังงาน นอกจากนี้ในช็อกโกแลตยังพบกรดอะมิโนทริปโตเฟน (tryptophan) ซึ่งจะช่วยให้การนอนหลับดีขึ้น (serotonin) ออกมา ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยคลายความตึงเครียด และเพิ่มความรู้สึกที่ดีอีกด้วย



ภาพที่ 1 (a) ฝักโกโก้ (b) เมล็ดโกโก้แห้ง (c) ผงโกโก้ (d) ช็อกโกแลตแท่ง

ที่มา: <http://www.nationwidepngpages.com/OUTSPAN/COCOA-POD.jpg>; <http://topnews.in/health/files/cocoa.jpg>; http://santabarbarachocolate.com/images/cocoa_powder.jpg; <http://www.sundrops.com/wp-content/uploads/2012/03/cocoa-300x295.jpg>

เอกสารอ้างอิง Grassi, D. et al. 2010. Arch. Biochem. Biophys. 501: 112-115. • Parker, G. et al. 2006. J. Affect. Disorders. 92: 149-159. • <http://en.wikipedia.org/wiki/Chocolate>.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

การผลิตนมปราศจากแลคโทสด้วยเอนไซม์แลคเทส

ศิวพร วรรณวิไล* /สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

นมปราศจากแลคโทส (lactose free milk) คือนมที่ไม่มีแลคโทส เป็นนมที่เหมาะสำหรับผู้ที่มีภาวะแพ้แลคโทส เนื่องจากน้ำตาลแลคโทสทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องเสีย ท้องอืด และอาการเกิดก๊าซในกระเพาะอาหารได้ การผลิตนมปราศจากแลคโทสทำได้หลายวิธี อาทิ การแยกแลคโทสจากนํ้านมด้วยเมมเบรน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแต่มีต้นทุนค่อนข้างสูง นอกจากนี้ยังมีการกำจัดน้ำตาลแลคโทสโดยการเติมเอนไซม์แลคเทสลงไป ในนํ้านม เพื่อย่อยน้ำตาลแลคโทสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโทส ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ทำให้คุณประโยชน์และสารอาหารต่าง ๆ ในนํ้านมเปลี่ยนแปลงไป แต่จะมีผลต่อรสชาติของนํ้านม เนื่องจากน้ำตาลแลคโทสมีความหวานต่ำกว่าน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโทสเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหวานสัมพัทธ์ (relative sweetness) ดังตารางที่ 1 ด้วยเหตุนี้ นํ้านมที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์แลคเทสจึงมีความหวานเพิ่มขึ้น

เอนไซม์แลคเทส (lactase, EC 3.2.1.108) จัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มบีตา-กาแลคโทซิเดส (β -galactosidase) ซึ่งทำหน้าที่ในการตัดพันธะไกลโคไซด์ (glycoside hydrolase) ของน้ำตาลแลคโทสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโทส โดยกิจกรรมของเอนไซม์แลคเทสถูกยับยั้งได้ด้วยไฮโดรเจน คลอรีน หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานอยู่ในช่วง 6.0-8.0 และพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่ออยู่ในพีเอช 5.5

ตารางที่ 1 ค่าความหวานสัมพัทธ์ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

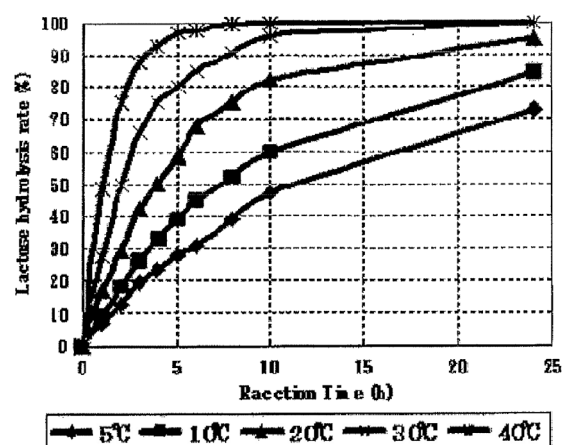
ชนิดของน้ำตาล	ค่าความหวานสัมพัทธ์
ซูโครส	100
แลคโทส	16
กลูโคส	74
กาแลคโทส	32

ที่มา: ดัดแปลงจาก Carrigan และคณะ, 2012

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

นอกจากนี้เอนไซม์แลคเทสสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างตั้งแต่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส และยังคงตัวได้ที่อุณหภูมิ 40-41 องศาเซลเซียส แต่กิจกรรมของเอนไซม์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึง 43 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานคือ 37 องศาเซลเซียส ซึ่งอัตราในการย่อยแลคโทสจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเอนไซม์ ระยะเวลา และอุณหภูมิ โดยพบว่าการใช้เอนไซม์ในปริมาณ 0.02% ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สามารถย่อยสลายแลคโทสได้ถึง 100% ภายในระยะเวลา 8 ชั่วโมง แต่การย่อยสลายภายใต้อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จะต้องใช้เวลา 24 ชั่วโมง จึงจะสามารถย่อยแลคโทสได้ 70% ดังแสดงในภาพที่ 1

หลังจากการย่อยแลคโทสด้วยเอนไซม์แลคเทสแล้ว จะต้องเจือจางนํ้านมปราศจากแลคโทส เพื่อลดความหวานที่เกิดจากน้ำตาลกลูโคสและกาแลคโทส จากนั้นจึงเติมสารอาหารต่าง ๆ ลงไปในนํ้านมเพื่อให้ได้รสชาติและคุณประโยชน์ที่ใกล้เคียงกับนมที่มีแลคโทส อาทิ โปรตีน วิตามิน (A B C D E และ K) และแร่ธาตุ (โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส คลอไรด์ เหล็ก แมงกานีส คอปเปอร์ ไอโอดีน ซีลีเนียม โมลิบดีนัม ซัลเฟอร์ โคบอลต์ นิกเกิล ฟลูออไรด์ โครเมียม และสังกะสี) แล้วจึงนำไปพาสเจอร์ไรซ์เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส โปรโตซัว รา และยีสต์ต่อไป



ภาพที่ 1 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยแลคโทส

ที่มา: Carrigan และคณะ, 2012

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

น้ำมันหอมระเหย: พืชเคมีเพื่อการถนอมอาหาร

มณฑลพรพร พงพิมพ์* สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

น้ำมันหอมระเหย (volatile oil, essential oil) ที่สกัดได้จากพืช จัดเป็นพืชเคมีที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมอาหาร ตามหลักสรีรวิทยาของพืช น้ำมันหอมระเหยจัดเป็นสารทุติยภูมิที่พืชผลิตขึ้นเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ รักษาบาดแผล ตลอดจนเพื่อการขับไล่แมลงหรือล่อแมลงและช่วยผสมพันธุ์ เป็นต้น โดยจะพบน้ำมันหอมระเหยได้ทั้งใน ดอก ใบ ผล เมล็ด ราก เปลือกต้น และส่วนที่เป็นเนื้อไม้ของพืช

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของสารที่พบได้ทั้งหมด 7 กลุ่ม ได้แก่ แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ เอสเทอร์ คีโตน ออกไซด์ ฟีนอล และเทอร์พีน จากการศึกษากฎการการต้านจุลินทรีย์ พบว่าน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากพืชหลายชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย เชื้อรา และต้านไวรัส โดยเฉพาะน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทย อาทิ มะกรูด ตะไคร้ ขมิ้นชัน ขิง ข่า กระเพรา กระชาย โหระพา และไพล มีรายงานว่าน้ำมันหอมระเหยในการต้านจุลินทรีย์ก่อโรคได้หลายชนิดได้อย่างกว้างขวาง

ตัวอย่างการนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทยไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น การใช้น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Bacillus cereus* ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ข้าวปรุงสุก และเป็นสาเหตุของโรคท้องร่วง ผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าการใช้ น้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากผิวมะกรูดความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *B. cereus* ที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ข้าวปรุงสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วันได้ โดยแบคทีเรียดังกล่าวจะเพิ่มจำนวนขึ้นเพียงเล็กน้อย (จาก 2.66 log CFU/g เป็น 2.80 log CFU/g) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวปรุงสุกที่ไม่ผสมน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดพบว่าจำนวนแบคทีเรียเพิ่มสูงขึ้นถึง 14.11 log CFU/g จากจำนวนแบคทีเรียเริ่มต้น 3.72 log CFU/g (ตารางที่ 1)

ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดมีศักยภาพในการใช้เป็นสารถนอมอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดประกอบด้วยพืชเคมีสำคัญที่มีคุณสมบัติในการทำลายจุลินทรีย์ที่สำคัญคือ สารปีตา-ไพเนน (β -pinene) ดี-ลิโมนีน (D-limonene) และแอลฟา-เทอร์พีนีออล (α -terpineol) ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) จึงสามารถเข้าจับกับไขมันภายในผนังเซลล์แบคทีเรียได้เป็น

ผลให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย *B. cereus* เกิดรูพรุน การซึมผ่านเข้าออกของสารจึงเกิดได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการร่วไหลของไอออนและองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญต่อเซลล์ อาทิ สารอาหาร และเอนไซม์ต่าง ๆ ภายในเซลล์ออกสู่นอกเซลล์ ทำให้เซลล์เสียหายและตายในที่สุด

นอกจากจะมีฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์แล้ว น้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดและจากพืชชนิดอื่น ๆ อาทิ ออริแกน โปไธม์ ขมิ้นชัน และไพล ยังมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระได้อีกด้วย ดังนั้นการนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรมาใช้ประโยชน์ จึงมิใช่เพียงเพื่อสุขภาพบำบัด (aromatherapy) เท่านั้น หากแต่การประยุกต์ใช้ในการถนอมอาหารยังเป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งของน้ำมันหอมระเหยที่ไม่ควรมองข้าม ทั้งนี้เพื่อลดการใช้สารสังเคราะห์ทางเคมีในการถนอมอาหาร และยังเป็นการยืดอายุของผลิตภัณฑ์อาหารด้วยสารจากธรรมชาติ อีกทั้งยังตอบสนองความต้องการของผู้รักสุขภาพได้อีกด้วย

ตารางที่ 1 จำนวนแบคทีเรีย *B. cereus* ที่ตรวจพบในข้าวปรุงสุกและข้าวปรุงสุกผสมน้ำมันหอมระเหยจากผิวมะกรูดความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน

ระยะเวลาในการเก็บรักษา (นาที่/วัน)	จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตในข้าวปรุงสุก (LogCFU/g) $\pm$ SD	
	ชุดควบคุม	ชุดทดสอบ
อุณหภูมิห้อง		
30 นาที	3.73 $\pm$ 0.01	2.66 $\pm$ 0.26 *
1 วัน	8.64 $\pm$ 0.93	2.30 $\pm$ 0.42 *
2 วัน	14.72 $\pm$ 0.03	2.71 $\pm$ 0.57 *
3 วัน	14.37 $\pm$ 0.52	2.15 $\pm$ 0.21 *
4 วัน	14.41 $\pm$ 0.47	2.00 $\pm$ 0.00 *
5 วัน	14.11 $\pm$ 0.52	2.80 $\pm$ 0.71 *

* ค่าเฉลี่ยของชุดควบคุมและชุดทดสอบที่ระยะเวลาเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ที่มา: ดัดแปลงจาก นวลจันทร์ และสุภาพร, 2007



ภาพที่ 1 พืชสมุนไพรไทยสำหรับผลิตน้ำมันหอมระเหย (a) ผิวมะกรูด (b) ขมิ้นชัน และ (c) ไพล

ที่มา: <http://www.khaokhonaturalfarm.com>, <http://www.siamca.com/knowledge-id166.html> และ <http://eureka.bangkokbiznews.com/>

เอกสารอ้างอิง นวลจันทร์ ใจใส และสุภาพร ล้าเลิศชน. 2007. Naresuan University J. 15(3): 195–203. • Burt, S. 2004. Int. J. Food Microbiol. 94: 223–253.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนพฤษภาคม 2555

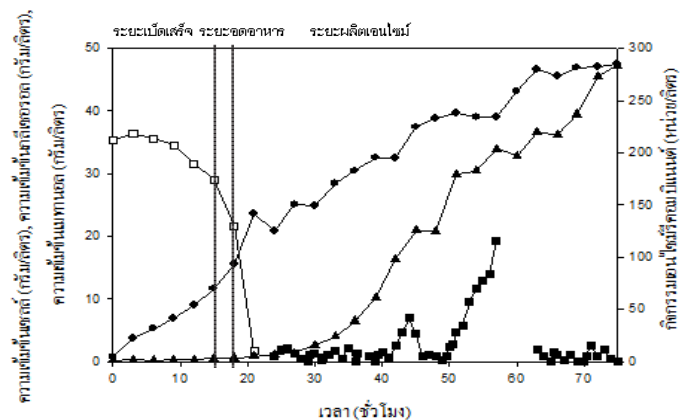
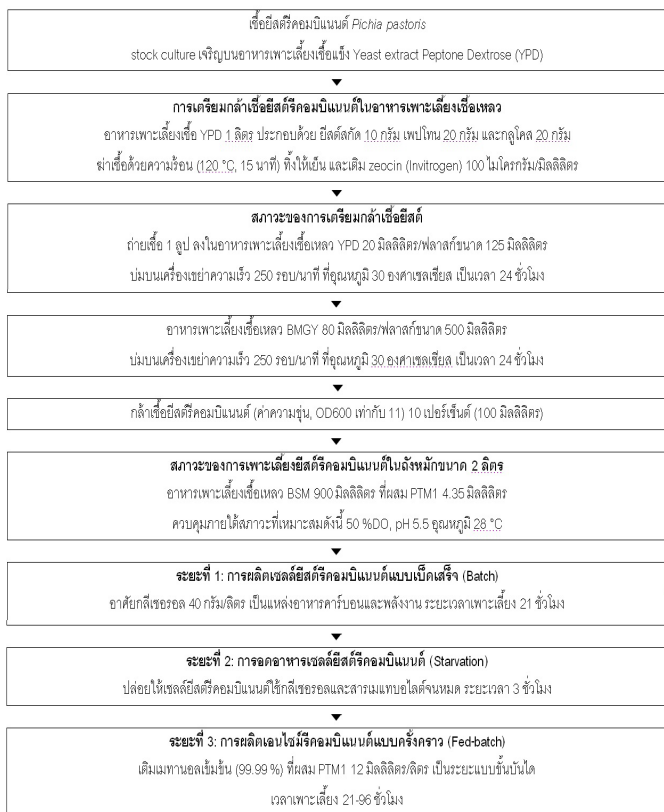
วิศวกรรมเคมีชีวภาพ
และ
วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ (1)

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

เมทิลโลทรอฟ *Pichia pastoris* เป็นยีสต์ที่นิยมใช้เป็นเซลล์เจ้าบ้านเพื่อการแสดงออกของยีนแปลกปลอม (heterologous gene) เนื่องจากมีวิธีการสร้างแอลกอฮอล์ออกซิเดส (AOX1) ซึ่งมีความไวต่อการถูกเหนี่ยวนำด้วยเมทานอล โดยการโคลนยีนที่สนใจเข้าไปในส่วนโครโมโซมของยีสต์ แล้วให้แสดงออกภายใต้การทำงานของโปรโมเตอร์ AOX1 โดยการแสดงออกจะอยู่ในระดับการถอดรหัสพันธุกรรม ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกลไกการกด การปลดออกการกด และการเหนี่ยวนำ จึงนำไปสู่การผลิตรีคอมบิแนนต์โปรตีนชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณค่าเชิงพาณิชย์ ได้แก่ เอนไซม์ ฮอร์โมน วัคซีน และโปรตีนอาหารเสริม จนประสบความสำเร็จในการโคลนโปรตีนกว่า 500 ชนิด อาทิ โปรตีนรีคอมบิแนนต์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งทางการแพทย์ ได้แก่ human serum albumin, human epidermal growth factor และ human insulin-like growth factor-1 เป็นต้น ส่วนการผลิตเอนไซม์รีคอมบิแนนต์ที่มีมูลค่าสูง ได้แก่ *Escherichia coli* phytase, elastase specific inhibitor, beta-galactosidase และ *Rhizopus oryzae* lipase เป็นต้น

การผลิตโปรตีนรีคอมบิแนนต์มักอาศัยกระบวนการเพาะเลี้ยงเซลล์ที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งประกอบด้วยช่วงการของสร้างเซลล์รีคอมบิแนนต์ (glycerol phase) ที่มีปริมาณความหนาแน่นสูง และช่วงของการเติมเมทานอล (methanol phase) เพื่อเหนี่ยวนำในการสังเคราะห์โปรตีนรีคอมบิแนนต์ โดยการควบคุมความเข้มข้นของเมทานอลและสภาวะของการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม ได้แก่ ออกซิเจนละลาย ความเข้มข้นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เพื่อส่งเสริมให้ยีสต์รีคอมบิแนนต์มีประสิทธิภาพในการผลิตโปรตีนรีคอมบิแนนต์ที่ดี เพื่อแข่งขันได้กับการผลิตโปรตีนด้วยกรรมวิธีดั้งเดิม อาทิ การสกัดโปรตีนจากพืชและสัตว์โดยตรง หรือการผลิตโปรตีนโดยอาศัยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์จากแหล่งธรรมชาติที่ไม่มีการดัดแปลงพันธุกรรม เป็นต้น



ภาพที่ 2 การผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์บีตาไกลูโคซิเดสจากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* แบบครั้งคราว โดยการเติมเมทานอลเป็นระยะภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (25 % DO, pH 5.5, 28 °C) สัญลักษณ์ รูปวงกลมสีดำ: เซลล์, รูปสี่เหลี่ยมสีขาว: กลีเซอรอล, รูปสี่เหลี่ยมสีดำ: เมทานอล, รูปสามเหลี่ยมสีดำ: เอนไซม์รีคอมบิแนนต์

ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2551/54

กรณีศึกษาการใช้ยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* เพื่อผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์บีตาไกลูโคซิเดส ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมด้วยการเพาะเลี้ยงแบบครั้งคราว (Fed-batch) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 2 ลิตร ได้อาศัยกลีเซอรอลเป็นขั้วสเตรตเริ่มต้นในการผลิตมวลชีวภาพและเมทานอลเป็นขั้วสเตรตหลักในการชักนำการผลิตเอนไซม์รีคอมบิแนนต์ สรุปกรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris*
ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2551/54

ตัวอย่างของการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* แบบครั้งคราวที่มีการเติมเมทานอลความเข้มข้น 4 กรัม/ลิตร เป็นระยะ (intermittent) โดยการควบคุมการเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่มีค่าออกซิเจนละลาย (DO) 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 และอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 51 ชั่วโมง สามารถผลิตเอนไซม์รีคอมบิแนนต์ได้สูงสุดเท่ากับ 283.19 หน่วย/ลิตร ซึ่งให้ผลได้ของเอนไซม์ 3.04 หน่วย/กรัมเมทานอล และอัตราการผลิตเชิงปริมาตรของเอนไซม์ 5.42 หน่วย/ลิตร ชั่วโมง แสดงผลของการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์บีตาไกลูโคซิเดสภายใต้สภาวะที่กำหนดข้างต้น ดังภาพที่ 2

เอกสารอ้างอิง สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน, ประมุข ภาณุกุลสุขสิทธิ์, ณิดา อารีย์ และ สิริรัตน์ ช่างมิ่ง. 2551/54. กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์. (เพื่อขอรับอนุสิทธิบัตรต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์) (เลขที่คำขอ 0801003890/28-07-51/31-03-54).

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ (2)

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์ปีตากูโคซิเดสจากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *Pichia pastoris* สามารถสรุปสาระสำคัญได้ ดังนี้

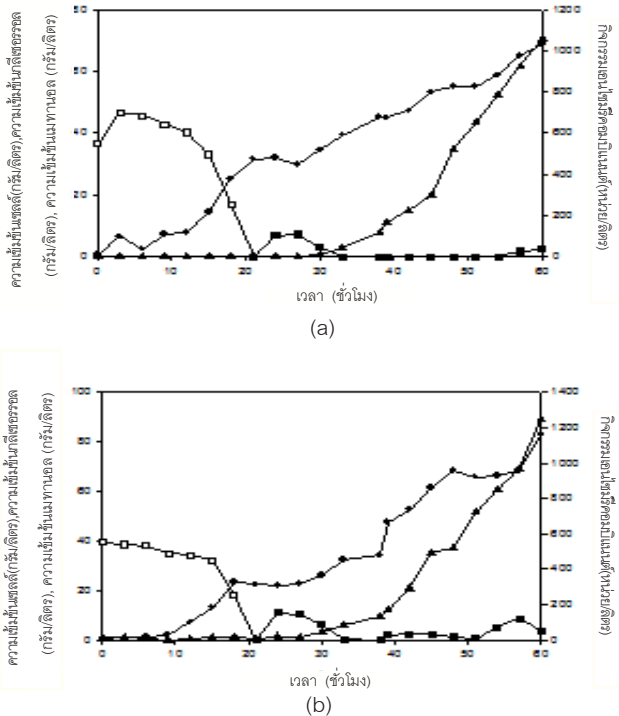
(1) การผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ จะต้องอาศัยระบบการเพาะเลี้ยงสองขั้นตอน ที่มีการผลิตเซลล์ยีสต์รีคอมบิแนนต์แบบเบ็ดเสร็จด้วยกลีเซอรอล และการผลิตเอนไซม์รีคอมบิแนนต์แบบครึ่งคราวด้วยเมทานอล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตเซลล์ยีสต์รีคอมบิแนนต์ด้วยการใช้กลีเซอรอลเป็นซับสเตรตที่ให้อัตราการผลิตเซลล์สูง และการผลิตเอนไซม์รีคอมบิแนนต์ ด้วยการให้เมทานอลที่ให้อัตราการผลิตเอนไซม์สูง

(2) การผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์ปีตากูโคซิเดสแบบครึ่งคราวจากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* ได้พัฒนาเทคนิคการเติมเมทานอลแบบเป็นระยะภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยงที่ไม่จำกัดออกซิเจน ซึ่งควบคุมด้วยอัตราการกวนและการให้อากาศ โดยอาศัยเทคนิคของการติดตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราการกวนที่แปรผันไปตามปริมาณของเมทานอลในน้ำหมักของระบบการเพาะเลี้ยง เพื่อกำหนดเวลาที่เหมาะสมของการเติมเมทานอลที่ไม่เกินความเข้มข้นวิกฤติ 4 กรัม/ลิตร

(3) การผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์ปีตากูโคซิเดสแบบครึ่งคราวจากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* ได้พัฒนาเทคนิคการเติมเมทานอลอย่างต่อเนื่องด้วยสมการอัตราเส้นตรง ซึ่งคำนวณด้วยสูตร $F = \frac{q_m V \bar{X}}{S}$ (ภาพที่ 3a) หรือสมการอัตราทวีคูณ (ภาพที่ 3b) ซึ่งคำนวณด้วยสูตร $F = \frac{q_m V \bar{X}}{S}$ ที่ขึ้นอยู่กัปริมาณเซลล์และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของยีสต์รีคอมบิแนนต์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการเพาะเลี้ยงที่ไม่จำกัดออกซิเจน เพื่อควบคุมความเข้มข้นของเมทานอลในน้ำหมักน้อยกว่าหรือเท่ากับ 4 กรัม/ลิตร

เอกสารอ้างอิง สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล, วิรัตน์ วาณิชศรีรัตน, ประมุข ภะกุลสุขสถิตย์, ณธิดา อาริย์ และ ศิริรัตน์ ช้างมิ่ง. 2551/54. กรรมวิธีการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์. (เพื่อขอรับอนุสิทธิบัตรต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์) (เลขที่คำขอ 0801003890/28-07-51/31-03-54).

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 3 การผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์ปีตากูโคซิเดสจากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* แบบครึ่งคราว ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (50 % DO, pH 5.5, 30 °C) โดยการเติมเมทานอลอย่างต่อเนื่อง (a) แบบอัตราเส้นตรง (Linear rate feeding) และ (b) แบบอัตราทวีคูณ (Exponential rate feeding) สัญลักษณ์ รูปวงกลมสีดำ: เซลล์, รูปสี่เหลี่ยมสีขาว: กลีเซอรอล, รูปสี่เหลี่ยมสีดำ: เมทานอล, รูปสามเหลี่ยมสีดำ: เอนไซม์รีคอมบิแนนต์

ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2551/54

จึงสรุปและเปรียบเทียบการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์ปีตากูโคซิเดสจากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* แบบครึ่งคราว ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปการผลิตเอนไซม์กลายพันธุ์จากยีสต์รีคอมบิแนนต์ *P. pastoris* แบบครึ่งคราว ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสม

Fed-batch No.	การเติมเมทานอล	สภาวะการผลิตที่เหมาะสม	กิจกรรมเอนไซม์สูงสุด	ผลเอนไซม์	อัตราการผลิตเอนไซม์
1	เป็นระยะ	25 % DO, pH 5.5, 28 °C	283.19	3.04	5.42
2	เป็นระยะ	50 % DO, pH 5.5, 28 °C	252.29	2.07	4.91
3	เป็นระยะ, ขึ้นปัล	50 % DO, pH 5.5, 28 °C	2681.05	11.90	35.64
4	สลับ, คง	50 % DO, pH 5.5, 30 °C	1724.75	13.04	33.82
5	สลับ, เป็นระยะ	50 % DO, pH 5.5, 30 °C	1057.24	7.74	27.11
6	สลับ, ทวีคูณ	50 % DO, pH 5.5, 30 °C	1252.58	9.68	32.12

หมายเหตุ หน่วยของกิจกรรม ผลได้ และอัตราการผลิตเชิงปริมาณของเอนไซม์รีคอมบิแนนต์ เท่ากับ หน่วย/ลิตร หน่วย/กรัมเมทานอล และ หน่วย/ลิตร ชั่วโมงตามลำดับ

ที่มา: สาโรจน์ และคณะ, 2551/54

เดือนพฤษภาคม 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม



Bacterial cellulose: ชีววัสดุธรรมชาติเพื่อการแพทย์ยุคใหม่

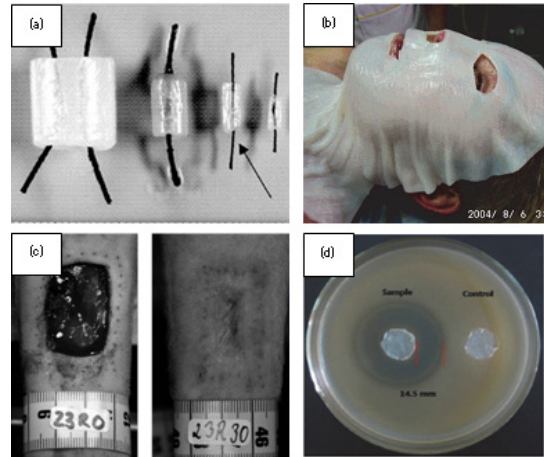
มณฑัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ปัจจุบันชีววัสดุ (biomaterials) เพื่อการแพทย์และเภสัชกรรม ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ตามคำจำกัดความ ชีววัสดุ หมายถึง วัสดุที่ไม่ใช่ยา เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์หรือจากธรรมชาติซึ่งถูกนำมาใช้ทั้งระบบ หรือบางส่วนในระบบ เพื่อการรักษา การเพิ่มขยายหรือการทดแทน ต่อเนื้อเยื่อ อวัยวะหรือสมรรถนะใด ๆ ของร่างกาย โดยชีววัสดุที่พัฒนาขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้ในการรักษาแผล (wound healing) ตกแต่งบาดแผล (wound dressing) ซ่อมแซม/ทดแทนเนื้อเยื่อ (tissue engineering) และใช้เป็นสารถนำส่งยาเข้าสู่ร่างกาย (drug delivery) เป็นต้น

ชีววัสดุธรรมชาติเป็นชีววัสดุชนิดใหม่ที่เข้ามาแทนที่ชีววัสดุสังเคราะห์ เนื่องจากเป็นมิตรกับร่างกาย (biocompatibility) และกระตุ้นการซ่อมแซมเนื้อเยื่อได้ดีกว่าชีววัสดุสังเคราะห์ แบ่งได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ชีววัสดุประเภทโปรตีน อาทิ คอลลาเจน เจลาติน ไฟบรอนเนกติน (fibronectin) โปรตีนไหม 2) ชีววัสดุประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ อาทิ อัลจินเนต เพกติน อะกาโรส ไกลโคซามิโนไกลแคน (glycosaminoglycans) และอนุพันธ์ของเซลลูโลส และ 3) ชีววัสดุประเภทไขมันฟอสเฟต (phospholipids) สำหรับประเทศไทยมักศึกษาชีววัสดุที่มีศักยภาพการผลิตภายในประเทศ ได้แก่ โคโคซาน ไพรอออิน เซรีซิน คอลลาเจน เจลาติน ไชมันฟอสเฟต และเซลลูโลส

เซลลูโลสจากแบคทีเรีย (bacterial cellulose) เป็นชีววัสดุธรรมชาติที่ได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติที่หลายประการและควบคุมการผลิตได้ง่าย รู้จักกันดีในชื่อ Nata de Coco หรือ วุ้นมะพร้าว หรือ วุ้นสวรรค์ ผลิตจากแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* (ปัจจุบันจำแนกเป็น *Gluconacetobacter xylinus*) แบคทีเรียชนิดอื่นที่สามารถผลิตเซลลูโลส ได้แก่ *Rhizobium* sp., *Pseudomonas* sp. และ *Sarcina* sp. เมื่อเลี้ยงแบคทีเรียดังกล่าวในอาหารที่มีกลูโคสเป็นองค์ประกอบ แบคทีเรียจะใช้กลูโคสผ่านวิถีเพนโทส (pentose phosphate pathway) จากนั้นจะเข้าสู่วิถีการผลิตเซลลูโลส (cellulose pathway) (ภาพที่ 1 a) เซลลูโลสที่ผลิตได้จะถูกปลดปล่อยสู่ภายนอกเซลล์บริเวณ extrusion pore และจับตัวกันอย่างมีแบบแผน มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นหนาสีขาวครีมและอวบน้ำ (มีน้ำประมาณ 99% ของน้ำหนักเปียก) ลอยอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของอาหารเหลว (ภาพที่ 1 b) การศึกษาทางอนุพันธุศาสตร์พบว่า ยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลสมีทั้งหมด 4 ยีน ได้แก่ bcs A, bcs B, bcs C และ bcs D โดยยีน bcs A, B และ C จะควบคุมการทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่วนยีน bcs D จะควบคุมการสังเคราะห์เซลลูโลส และพบว่าหากการแสดงออกของยีน bcs D น้อย การสังเคราะห์เซลลูโลสก็จะน้อยลงด้วย

โครงสร้างเซลลูโลสจากแบคทีเรีย ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่าไมโครไฟบริล มีขนาดกว้างประมาณ 1-25 นาโนเมตร ประกอบด้วยสายพอลิกลูแคน 10-250 สาย มีความยาวประมาณ 1-9 ไมครอน มีหน่วยย่อยของกลูโคสประมาณ 2,000-18,000 หน่วย โดยไมโครไฟบริลอยู่ในลักษณะ



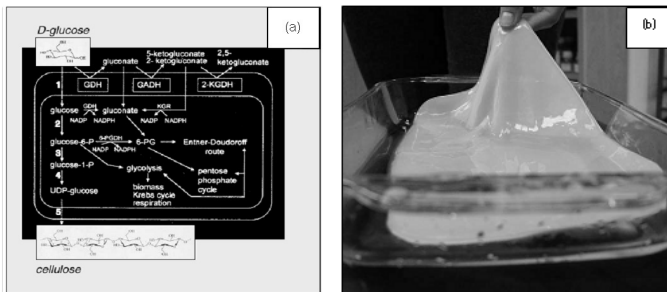
ภาพที่ 2 ตัวอย่างการนำเซลลูโลสจากแบคทีเรียไปใช้เป็นชีววัสดุสำหรับการแพทย์ (a) หลอดเลือดเทียมขนาดต่าง ๆ (b) ผิวหนังเทียมสำหรับรักษาแผลติดเชิ้อบริเวณใบหน้า (c) การใช้แผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียในการตกแต่งบาดแผลของแกะ (ซ้าย) แผลสด (ขวา) แผลที่ผ่านการตกแต่งแล้วนาน 30 วัน (d) บริเวณยับยั้งแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ของแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (ซ้าย) จุ่มสารละลาย benzalkonium chloride 0.102% (ขวา) ตัวอย่างควบคุม ที่มา: นิรนาม

เป็นสายเรียงยาวขนานกัน แต่ละสายเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนรวมอยู่เป็นมัดมีลักษณะเป็นเส้นใยเล็ก ๆ เรียกเซลลูโลสไฟบริล มีขนาดกว้างประมาณ 100 นาโนเมตร และหนาประมาณ 3-8 นาโนเมตร มีขนาดเล็กกว่าเส้นใยของพืชชั้นสูงและเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ 10-1000 เท่า และ 100 เท่า ตามลำดับ

เซลลูโลสจากแบคทีเรียมีความบริสุทธิ์สูง ไม่มีการเจือปนของเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพกตินเหมือนเซลลูโลสที่ได้จากพืช มีปริมาณเซลลูโลสต่อน้ำหนักเปียกประมาณ 1.0% ซึ่งมากกว่าเซลลูโลสที่ได้จากพืช หากเทียบกับน้ำหนักเปียกในปริมาณที่เท่ากัน อีกทั้งยังมีพื้นที่ซอบน้ำมากและมีพื้นที่ผิวสูงจึงสามารถกักน้ำไว้ได้ประมาณ 60-700 เท่า ของน้ำหนักแห้ง นอกจากนี้ยังทนต่อแรงดึงได้ดีกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์ โดยมีค่า Young's modulus ประมาณ 30,000 เมกกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่าไฟเบอร์อินทรีย์ประมาณ 4 เท่า และมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าพอลิเอทิลีนและโพลีคลอไรด์ 5 เท่า

นอกจากจะปรุงเป็นอาหารคาวหวานได้หลากหลายแล้ว เซลลูโลสจากแบคทีเรียยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานวัสดุได้อีกด้วย โดยอาศัยเทคโนโลยีและเทคนิคเฉพาะในการดัดแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี เช่น มีการนำเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมกับพอลิเมอร์หรือเส้นใยคาร์บอน เพื่อช่วยให้เส้นใยดังกล่าวขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ง่ายขึ้น หรือนำเซลลูโลสจากแบคทีเรียไปเป็นส่วนผสมร่วมกับซีตไฟเบอร์คาร์บอนกัมมันต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษ นอกจากนี้ยังมีการนำเซลลูโลสจากแบคทีเรียไปผลิตเป็นกระดาษลำโพง ซึ่งทำให้ได้คุณภาพของเสียงดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดอื่น เป็นต้น

เนื่องจากเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีความเหนียวแม้อยู่ในสภาพเปียกและไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อร่างกาย จึงถูกนำมาใช้เป็นชีววัสดุทางการแพทย์และเภสัชกรรมอย่างแพร่หลาย (ภาพที่ 2) เช่น มีการนำเซลลูโลสจากแบคทีเรียไปผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อช่วยให้ไฟเบอร์ผสมที่ได้มีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น สามารถใช้เป็นสารถนำส่งยาและความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร ยา และเครื่องสำอาง ตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมที่ได้ เช่น hydroxymethyl cellulose (HMC), carboxymethyl cellulose (CMC) และ cellulose acetate เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเซลลูโลสจากแบคทีเรียสำหรับใช้ในการผลิตหนังเทียม (artificial skin) หรือผ้าพันแผลสำหรับรักษาแผลติดเชิ้อโดยการเคลือบสารปฏิชีวนะหรืออนุภาคของเงินลงไป ตลอดจนมีการพัฒนาใช้เป็นอวัยวะเทียมต่าง ๆ เช่น หลอดเลือดเทียม (artificial arteries) และเยื่อเลือกผ่าน (dialysis membrane) เป็นต้น



ภาพที่ 1 (a) วิธีการสังเคราะห์เซลลูโลสโดยแบคทีเรีย *A. xylinum*, 1: glucose permease, 2: glucokinase, 3: phosphoglucumutase, 4: UDP-glucose pyrophosphorylase, 5: cellulose synthase (b) ลักษณะของแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย *A. xylinum*

ที่มา: Klemm และคณะ, 2001; Czaja และคณะ, 2006

เอกสารอ้างอิง Klemm, et al. 2006. Nanocelluloses as innovative polymers in research and application. Adv. Polym. Sci. 205: 49-96. • Czaja, et al. 2006. Microbial cellulose-the natural power to heal wounds. Biomaterials. 27: 145-151.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนพฤษภาคม 2555

กฎหมายและการศึกษา

ดัชนีชี้วัดคุณภาพงานเขียน: Impact Factor

ชนิกา ชื่นแสงจันทร์*/สาขาวิชา ศึกษาศาสตร์

เป้าหมายของนักวิจัย นอกจากการค้นหาคำตอบและยืนยันสมมติฐานงานวิจัย รวมถึงการได้ผลผลิตหรือผลิตภัณท์ที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคแล้ว การเผยแพร่องค์ความรู้ที่เกิดจากผลงานวิจัยสู่สาธารณชนในรูปแบบสิ่งตีพิมพ์ต่าง ๆ ก็เป็นอีกเป้าหมายหนึ่งที่นักวิจัยพึงปรารถนา ทั้งนี้เพื่อช่วยเติมเต็มให้งานวิจัยมีความครบถ้วนสมบูรณ์ตามวัฏจักรของการวิจัยอย่างแท้จริง การเขียนบทความวิจัยเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติและปรากฏอยู่ในฐานข้อมูลสากลต่าง ๆ เป็นดัชนีชี้วัดหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของนักวิจัยหรือผลงานวิจัยได้ อย่างไรก็ตาม ยังคงมีคำถามเกิดขึ้นเสมอว่า “วารสารวิชาการที่ตีพิมพ์บทความวิจัยเหล่านั้น มีคุณภาพมากน้อยเพียงใด” นั่นคือจำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วยในการเปรียบเทียบและจัดอันดับวารสาร ซึ่งจะเป็ประโยชน์สำหรับนักวิจัยในการคัดเลือกวารสารที่เหมาะสมเพื่อการตีพิมพ์ รวมถึงใช้ในการประเมินคุณภาพด้านการวิจัยได้อีกด้วย

ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการวัดคุณภาพงานเขียนในวารสารวิชาการโดยใช้การอ้างอิงบทความวิจัยในฐานข้อมูลสากลเป็นแหล่งข้อมูลในการกำหนดดัชนีชี้วัดชนิดต่าง ๆ ขึ้น เช่น ฐานข้อมูล JCR ของบริษัท Thompson ISI (Institute of Scientific Information) ประกอบด้วยดัชนีชี้วัด ได้แก่ Impact Factor, Total Cites, Immediacy Index, Cited Half-life และ Eigenfactor เป็นต้น ฐานข้อมูล Scopus ของบริษัท Elsevier ประกอบด้วยดัชนีชี้วัด ได้แก่ SJR/SNIP และ h index เป็นต้น โดยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ดัชนีชี้วัดที่เป็นที่นิยมในการใช้ประเมินคุณภาพงานเขียนในวารสารวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการแพทย์ ได้แก่ Impact Factor และ h index ซึ่งมีข้อดีต่อการประเมินคุณภาพงานเขียนและวารสารที่แตกต่างกันไป

Impact Factor (IF) หรือ Journal Impact Factor คือ จำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่บทความของวารสารนั้นจะได้รับ การอ้างอิงในแต่ละปี เช่น วารสาร Bioresource Technology ซึ่งมีค่า Impact Factor ในปี 2010 เท่ากับ 4.365 คำนวณได้จากจำนวนครั้งโดยเฉลี่ยที่บทความของวารสาร Bioresource Technology ซึ่งตีพิมพ์ภายในระยะเวลา 2 ปีย้อนหลัง (ปี 2008+2009) ได้รับการอ้างอิงในปีปัจจุบัน (ปี 2010) โดยค่า IF และอันดับของวารสารสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนการอ้างอิงในแต่ละปี ซึ่งวารสารที่มีค่า IF สูงบ่งบอกถึงความมีชื่อเสียงและการได้รับความนิยม อย่างไรก็ตาม การประเมินคุณภาพงานเขียนจากวารสารนั้นควรต้องพิจารณาตามกลุ่มสาขาวิชาของวารสารด้วย ซึ่งควรเปรียบเทียบวารสารภายในสาขาวิชาเดียวกัน เนื่องจากวารสารในแต่ละสาขาจะมีการอ้างอิงแตกต่างกัน เช่น วารสารในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์และชีวภาพจะมีการอ้างอิงบทความอย่างรวดเร็วส่งผลให้มีค่า IF สูง มีการเปลี่ยนแปลง IF และลำดับของวารสารอย่างรวดเร็ว ในขณะที่วารสารในสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ จะมีการอ้างอิงบทความน้อยกว่าจึงทำให้มีค่า IF ต่ำกว่าตามไปด้วย

สำหรับวารสารวิชาการในกลุ่มสาขา Biotechnology & Applied Microbiology ประกอบด้วยวารสารจำนวน 160 ชื่อ โดยมีค่า IF ปี 2010 สูงสุดคือวารสาร Nature Biotechnology มีค่า IF เท่ากับ 31.090 เป็นต้น การสืบค้นค่า IF สามารถสืบค้นได้จากฐานข้อมูล JCR ซึ่งครอบคลุมวารสารสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประมาณ 6,000 ชื่อ จากทั่วโลก โดยจะมีการประกาศค่า Impact Factor ในช่วงเดือนกรกฎาคม - กันยายนของทุกปี

อย่างไรก็ตาม การตีพิมพ์บทความวิจัยในวารสารที่มีค่า Impact Factor สูงไม่สามารถสรุปได้เสมอไปว่าบทความวิจัยนั้นจะได้รับการอ้างอิงสูงไปด้วย ในทางกลับกันวารสารที่มีค่า Impact Factor ต่ำ อาจตีพิมพ์บทความวิจัยที่ได้รับการอ้างอิงสูงก็เป็นได้ ดังนั้นจึงควรมีการพิจารณาดัชนีชี้วัดชนิดอื่น ๆ ในการประเมินคุณภาพของวารสารร่วมด้วย เช่น h index เพื่อบ่งบอกคุณภาพงานเขียนในวารสารวิชาการได้อย่างแท้จริง

ISI Web of KnowledgeSM

Journal Citation Reports[®]

WELCOME

?

HELP

2010 JCR Science Edition

Journal Summary List

Journals from: **subject categories BIOTECHNOLOGY & APPLIED MICROBIOLOGY**

VIEW CATEGORY SUMMARY LIST

[Journal Title Changes](#)

Sorted by:

Impact Factor

SORT AGAIN

Journals 1 - 20 (of 160)

Ranking is based on your journal and sort selections.

Page 1 of 8

Mark	Rank	Abbreviated Journal Title <i>(linked to journal information)</i>	ISSN	JCR Data [Ⓢ]						Eigenfactor TM Metrics [Ⓢ]	
				Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Articles	Cited Half-life	Eigenfactor TM Score	Article Influence TM Score
☐	1	NAT BIOTECHNOL	1087-0156	34523	31.090	29.065	5.342	117	6.2	0.13159	12.244
☐	2	NAT REV DRUG DISCOV	1474-1776	14742	28.712	30.918	5.493	67	4.6	0.06704	10.902
☐	3	GENOME RES	1088-9051	24166	13.588	11.971	3.176	170	5.8	0.12588	6.568
☐	4	TRENDS BIOTECHNOL	 0167-1799	9026	9.644	9.351	1.473	74	6.5	0.02357	2.645
☐	5	BRIEF BIOINFORM	1467-5463	2886	9.283	7.395	1.204	49	5.8	0.01009	2.736

ภาพที่ 1 ตัวอย่างรายชื่อวารสารวิชาการในสาขา Biotechnology & Applied Microbiology เรียงตามค่า Impact Factor จากสูงไปต่ำ ฐานข้อมูล JCR ที่มา: <http://admin-apps.webofknowledge.com/JCR/JCR?RQ=HOME>

เอกสารอ้างอิง รุจเรขา อัครวิชญ์. 2547. ค่า Impact Factor – ความสำคัญที่มีต่อบทความวิจัยระดับนานาชาติ. เอกสารเผยแพร่บนเว็บไซต์ <http://stang.sc.mahidol.ac.th/text/IF.htm>. มหาวิทยาลัยมหิดล. • ISI Web of Knowledge: Journal Citation Reports. <http://admin-apps.webofknowledge.com/JCR/JCR?RQ=HOME>.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนมิถุนายน 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร



เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค/แก่นตะวัน มหัศจรรย์พืชเศรษฐกิจ

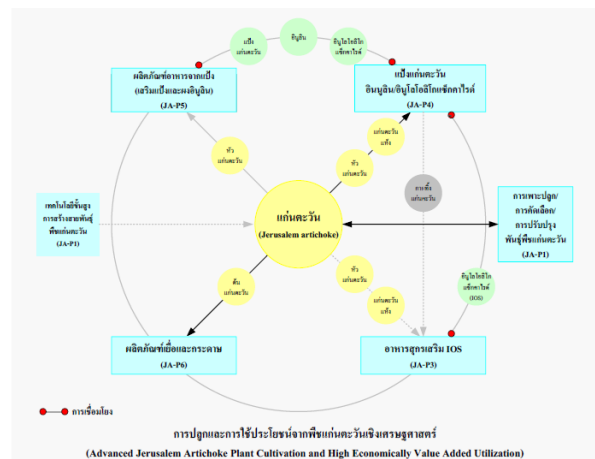
สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

ไม่เพียงแต่กระแสของความสนใจในเรื่องการรักษาสุขภาพของประชาชนทั่วไปและการคุมกำเนิดของผู้หญิงเท่านั้น กระแสของการป้องกันและการรักษาโรคอ้วนและเบาหวาน กลับจะทวีความสำคัญ และสามารถสร้างสังคมบริโภคในยุคดิจิทัลของคนสมัยใหม่ได้ บางท่านอาจจะเคยได้ยินการเลือกบริโภคอาหารชนิดแป้งและน้ำตาลต่ำ (โลว์คาร์บ) หรืออาหารที่ปราศจากแป้งและน้ำตาล (โนคาร์บ) ที่จะให้ผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชากรที่ป่วยด้วยโรคอ้วนและเบาหวานที่จะต้องรับประทานยาเป็นกิจวัตร ซึ่งคงจะไม่สามารถรับประทานต่อชีวิตได้ปกติสุขอย่างแน่นอน อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี พืชเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค หรือที่คนไทยรู้จักกันในชื่อ แก่นตะวัน เป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่อยู่ในตระกูลเดียวกับทานตะวัน กลับเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตชั้นเลิศ ชนิดที่ไม่ย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ในร่างกายนของมนุษย์อย่างแป้งและน้ำตาลโดยทั่วไป จึงไม่จัดเป็นแหล่งพลังงานหลักและไม่เพิ่มปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือด สามารถนำไปใช้เป็นสารผสมอาหารในอาหารแปรรูปและผลิตภัณฑ์อาหารทั่ว ๆ ไปที่ใช้บริโภคในชีวิตประจำวัน

แก่นตะวัน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Helianthus tuberosus* เป็นพืชชนิดหนึ่งที่คาดว่าน่าจะเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยได้ในอนาคต เป็นพืชที่มีการสะสมอินูลินในหัวได้ดินมากถึงร้อยละ 14-19 ของน้ำหนักแห้งสด อินูลินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบทางเดินอาหาร นอกจากการบริโภคสดโดยตรงและใช้ในการปรุงอาหารคาวหวานได้แล้ว การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากแก่นตะวันเชิงอุตสาหกรรม ได้แก่ แป้งแก่นตะวัน แป้งอินูลิน และน้ำเชื่อมฟรุทโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ จะเป็นการแปรรูปและการพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มเชิงพาณิชย์ เพื่อทดแทนหรือลดปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศได้ สำหรับการผลิตฟรุทโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์จากแก่นตะวัน สามารถผลิตได้โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์อินูลินเนสและอินเวอร์เทส โดยการย่อยสลายอินูลินให้ได้เป็นฟรุทโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ จึงเป็นทางเลือกของการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำตาลฟรุทโทสและอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์แทนสารให้ความหวานอย่างน้ำตาลทรายที่บริโภคกันอยู่ในปัจจุบัน

ในปี พ.ศ. 2550 ได้มีการแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์จากหัวแก่นตะวัน ได้แก่ ยีสต์ *Candida guilliermondii* TISTR 5844 และเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3570 ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีอัตราการเจริญและอัตราการผลิตเอนไซม์อินูลินเนสและอินเวอร์เทสที่ดี สามารถใช้เป็นแหล่งของเอนไซม์อินูลินเนสในกรรมวิธีของการผลิตน้ำตาลผสมฟรุทโทสและอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์อินูลินเนสทางการค้า สำหรับประโยชน์ของอินูลินและอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์จัดเป็นสารพรีไบโอติกที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่กลุ่มที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ได้แก่ *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* โดยจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาช่วยย่อยสารพรีไบโอติกดังกล่าวได้เป็นกรดไขมันสายสั้น ส่งผลให้ลำไส้ใหญ่มีสภาพเป็นกรด ซึ่งส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ทั้งยังทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อร่างกายซึ่งมักจะก่อให้เกิดโรกระบบทางเดินอาหารถูกทำลายไปด้วย นอกจากนี้ อินูลินและอินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ยังมีสมบัติในการป้องกันการเกาะตัวของอาหาร คือ มีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี จึงสามารถนำมาใช้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารไขมันต่ำ (ใช้ทดแทนไขมัน) ให้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นอีกด้วย ซึ่งสามารถใช้เป็นสารผสมอาหารของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และนมที่ต้องการลดปริมาณไขมันลงได้

อย่างไรก็ตาม การแปรรูปผลิตภัณฑ์แก่นตะวันข้างต้น ยังคงจัดอยู่ในกลุ่มของอาหารสุขภาพพื้นฐานทั่วไป ยังไม่ใช่สารผสมอาหารชนิดโลว์คาร์บที่ปราศจากแป้งและน้ำตาล เพื่อตอบสนองความต้องการของการแก้ปัญหาโรคอ้วนและโรคเบาหวานที่สำคัญยิ่งกว่า ทีมวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สามารถพัฒนากรรมวิธีการเตรียมอินูลินสายสั้นและสายยาวที่ปราศจากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ได้แล้ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อินูลินเพียงชนิดเดียวในท้องตลาดที่มีการจำหน่ายอยู่ที่สามารถนำไปใช้ในอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานและโรคอ้วน และสามารถแสดงบทบาทของการเป็นพรีไบโอติกและใยอาหารซึ่งเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นของพืชเยรูซาเล็มอาร์ทิโชคได้อย่างเต็มที่ยิ่งกว่าในอดีตที่ผ่านมา การเพิ่มบทบาทของการเป็นสารให้ความหวานจากธรรมชาติ สามารถกระทำได้โดยการปรุงแต่งด้วยน้ำตาลชนิดหลายโมเลกุลที่ผลิตได้จากน้ำตาลทราย ที่มีชื่อเรียกว่า น้ำตาลโอลิโก-ฟรุทโทส ซึ่งร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้จึงไม่ใช่แหล่งของพลังงานเช่นเดียวกัน แต่กลับสนับสนุนการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มพรีไบโอติกที่เอื้ออำนวยต่อระบบนิเวศในลำไส้ใหญ่ได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 1 การใช้ประโยชน์จากพืชแก่นตะวันเชิงบูรณาการ

ทีมวิจัยชุดใหญ่ของการใช้ประโยชน์จากพืชเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค/แก่นตะวัน ประกอบด้วยทีมปลูกและปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิต (นายประภาส ช่างเหล็ก/02-5796959/สถาบันค้นคว้าและพัฒนากระบวนการเกษตร) ทีมแปรรูปอาหารพร้อมบริโภค (ดร. เกศศินี ตระกูลทิวกว/02-9428629-35/สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร) ทีมแปรรูปผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร (รศ.ดร. สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล/02-5625086/คณะอุตสาหกรรมเกษตร) และทีมการผลิตเยื่อและกระดาษจากต้นแก่นตะวันเพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์ (นายวุฒิวัฒน์ คงทัด/02-9428600-3 ต่อ 501/สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร) นอกจากนี้ ยังมีทีมสัตวบาลที่ใช้ประโยชน์จากเปลือกและกากเหลือทิ้งหลังการสกัดอินูลินในอาหารสัตว์ (รศ.ดร. ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์/02-5791120/คณะเกษตร) จึงเห็นได้ว่าพืชเยรูซาเล็มอาร์ทิโชคนี้มีคุณสมบัติมากที่เกี่ยวข้องใกล้ชิดกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ควรมองข้ามคุณค่าประโยชน์ของพืชชนิดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อการรักษาสุขภาพโดยรวม ความงาม และแก้ปัญหาโรคอ้วนและเบาหวานตามหลักการของการบริโภคอาหารปราศจากแป้งและน้ำตาล ซึ่งนายแพทย์ ดร. วิชาญ ยาวพงศ์ศิริ ได้รับรองคำก่อนหน้าแล้วในอดีต อาณิสสน์นี้เพิ่งเกิดขึ้นอย่างจริงจังได้เมื่อพืชแก่นตะวันได้ถูกบดขึ้นในประเทศไทยและเป็นที่รู้จักและกล่าวขานกันทั่วไปในปัจจุบัน

*เอกสารอ้างอิง http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem_artichoke.

*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนมิถุนายน 2555

วิศวกรรมเคมีชีวภาพ
และ
วิศวกรรมกระบวนการชีวภาพ

การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอเอทานอล

ศิวพร วรรณวิไล* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ปัจจุบันพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic biomass) อาทิ ชังข้าวโพด ชานอ้อย ฟางข้าว และเศษไม้ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวัสดุชีวมวลที่มีปริมาณมากและสามารถใช้เป็นขั้วสเตรตในการหมักเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การนำชีวมวลดังกล่าวมาใช้ในการหมักเอทานอลจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Pretreatment) เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการหมักเอทานอลเสียก่อน เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ประกอบด้วยโครงสร้างที่แข็งแรงและซับซ้อนของลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส

การนำวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลสมาใช้ในการหมักเอทานอลจำเป็นต้องกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลสออกไปเพราะยีสต์ไม่สามารถใช้ได้โดยตรง ส่วนเซลลูโลสที่เหลืออยู่จะถูกย่อยสลายต่อไปเป็นน้ำตาลที่ยีสต์สามารถหมักได้ (fermentable sugar) ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการเตรียมวัตถุดิบโดยทั่วไป คือ การย่อยด้วยกรดหรือด่าง การใช้เอนไซม์ หรือการระเบิดด้วยไอน้ำ เป็นต้น ผลจากการเตรียมวัตถุดิบโดยวิธีการเหล่านี้จะได้น้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยกลูโคสและไซโลสเป็นหลัก ซึ่งยีสต์สามารถใช้ในการหมักเอทานอลต่อไปได้ โดยวิธีที่นิยมมากที่สุดคือการย่อยด้วยกรดเจือจาง (Dilute acid hydrolysis) เนื่องจากมีราคาถูกนั่นเอง

การเตรียมวัตถุดิบโดยการย่อยด้วยกรดเจือจาง นิยมใช้กรดซัลฟิวริกภายใต้อุณหภูมิสูงในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส และใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่ปรับให้มีความเหมาะสมในการย่อยสลายเซลลูโลสส่วนที่เหลือให้เป็นน้ำตาลโมโนแซ็กคาไรด์ อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ก็มีข้อเสียคือ มักเกิดเกลือซัลเฟตในรูปของแอมโมเนียมหรือโซเดียมซัลเฟตจากขั้นตอนของการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้เป็นกลางอยู่เสมอ ซึ่งเกลือที่เกิดขึ้นสามารถยับยั้งกิจกรรมการหมักเอทานอลของยีสต์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดเกลือดังกล่าวออกไปก่อนกระบวนการหมักเริ่มต้น อีกทั้งการกำจัดเกลือทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องผ่านการบำบัดเสียก่อน ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้การหาวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

ตารางที่ 1 ผลได้กลูโคสและไซโลสที่ได้จากการเตรียมวัตถุดิบจากชังข้าวโพด

Pretreatment conditions (temp (°C), acid (g/g), time (min))	Pretreatment		Enzyme dose (g enzyme/g corn stover)						Enzyme accessibility	
	Glucan conversion (%)	Xylan conversion (%)	0.011		0.016		0.022		Glucan conversion (%)	Xylan conversion (%)
			Glucan conversion (%)	Xylan conversion (%)	Glucan conversion (%)	Xylan conversion (%)	Glucan conversion (%)	Xylan conversion (%)		
160, 0.010, 60	1.3	11.3	45.8	60.7	56.9	66.6	64.1	70.6	79.2	75.6
160, 0.015, 45	2.3	23.8	48.9	68.9	60.4	74.8	68.7	78.7	82.0	82.5
160, 0.020, 30	4.5	45.5	53.0	74.8	64.0	79.3	71.9	82.6	82.3	85.2
160, 0.025, 20	6.9	61.5	59.8	79.3	72.7	82.7	78.8	84.7	91.5	87.6
160, 0.025, 10	2.6	28.6	51.9	68.5	59.5	72.3	64.1	75.4	73.7	80.0
170, 0.010, 60	1.9	21.4	49.5	65.3	61.0	70.8	70.3	74.4	87.1	78.3
170, 0.015, 45	2.2	27.8	56.9	72.8	64.1	74.3	73.4	76.3	81.6	80.4
170, 0.020, 30	4.6	52.8	53.9	77.5	67.3	82.1	76.6	84.3	92.4	87.3
170, 0.025, 20	6.5	65.3	56.6	82.8	70.9	86.7	79.2	89.1	93.7	90.4
170, 0.025, 10	3.8	47.9	56.7	81.0	67.7	85.8	74.0	88.4	83.2	91.3
190, 0.050, 1	11.8	78.6	53.0	83.8	66.7	84.1	72.5	85.7	81.6	84.9

ที่มา: Chen และคณะ, 2012

มีการศึกษาถึงวิธีการเตรียมวัตถุดิบจากวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส โดยสามารถลดความเข้มข้นของกรดลงได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลายนานขึ้นจาก 1-5 นาที เป็น 15-20 นาที ซึ่งก็สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้เป็นอย่างดี โดยสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมวัตถุดิบ คือการใช้อัตราส่วนระหว่างกรดซัลฟิวริกต่อวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสเท่ากับ 0.025 กรัม/กรัม และใช้เวลาในการย่อยสลายนาน 20 นาที จากนั้นจึงเติมเอนไซม์เซลลูเลสลงไปโดยใช้ปริมาณเอนไซม์ 0.022 กรัม/กรัมวัสดุเหลือทิ้งลิกโนเซลลูโลส สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสและไซโลสได้มากที่สุด เท่ากับ 79.2 และ 89.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม ถ้าหากอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยสลายสูงกว่า 170 องศาเซลเซียส ก็มีแนวโน้มที่จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) ซึ่งผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาดังกล่าวมักเป็นพิษต่อยีสต์ที่ใช้ในการหมักเอทานอล ผลการศึกษาดังกล่าวสรุปได้ว่า วิธีการนี้สามารถลดการใช้สารเคมีและปริมาณเกลือซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนของการสะเทินกรดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลได้ของกลูโคสและไซโลสยังคงอยู่ในระดับที่น่าพึงพอใจ นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณของเสียจากขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบและสามารถลดต้นทุนของกรรมวิธีการผลิตไบโอเอทานอลได้ในที่สุด

เอกสารอ้างอิง Chen, Y. et al. 2012. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 39: 691-700.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนมิถุนายน 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม



โมแนสคัส: มหัศจรรย์ราข้าวแดง ผู้พิชิต คอเลสเตอรอล

มณฑลย เดชสังกรานนท์*/สาขาวิชา ศิริคั่นสนียกุล*

โมแนสคัส (*Monascus* spp.) เป็นราที่มีการใช้ประโยชน์ด้านอาหารและการแพทย์มานานหลายศตวรรษ พบครั้งแรกในฝรั่งเศส โดยแยกได้จากมันฝรั่งต้ม มักพบปนเปื้อนในธัญพืช แป้ง ข้าว และสารอื่น ๆ ตามอนุกรมวิธานจัดอยู่ในวงศ์ (Family) Monascaceae กลุ่ม (Class) Ascomycetes กลุ่มย่อย (Subclass) Plectomycetidae อันดับ (Order) Eurotiales เส้นใยมีผนังกัน (septate) มีการสืบพันธุ์แบบมีเพศและไม่มีเพศ เมื่อเจริญเติบโตบนผิวหน้าอาหารแห้งเส้นใยจะแตกกิ่งก้านสาขามากมายและเกาะติดกับผิวหน้าอาหาร เมื่ออายุอ่อนเส้นใยจะมีสีขาว เมื่ออายุมากขึ้นจะมีสีแดงหรือแดงม่วงเนื่องจากการผลิตสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิ (secondary metabolite) ที่ให้สีไว้ภายในเส้นใย (ภาพที่ 1a และ 1b)

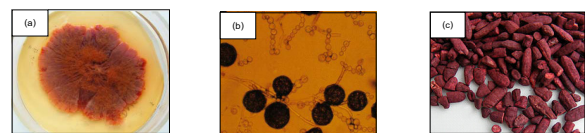
ชาวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ใช้ประโยชน์จากราโมแนสคัสในรูปของข้าวแดง หรือ อังคัก (an-kak) (ชื่อเรียกอื่น เช่น ไชนิสเรดไรซ์ (chinese red rice), แอนคัก (an-kak), แอนคา (an-ka), อังควอก (ang-quac), เบนนิโคจิ (beni-koji), เอกาโคจิ (aga-koji), เรดยีสต์ไรซ์ (red yeast rice) และเรดโมลด์ไรซ์ (red mold rice) อย่างแพร่หลายโดยมีลักษณะเป็นเมล็ดข้าวสีแดงเข้มซึ่งเกิดจากสารสีที่สร้างขึ้น (ภาพที่ 1c) มีต้นกำเนิดจากประเทศจีน ซึ่งเป็นประเทศที่มีการผลิตและใช้ประโยชน์จากข้าวแดงมากที่สุด โดยข้าวแดงส่วนใหญ่ใช้ในอาหารและเครื่องสำอาง วิธีการผลิตข้าวแดงจะคล้ายกับการผลิตโคจิของญี่ปุ่น ข้าวแดงจัดเป็นแหล่งของเอนไซม์หลายชนิดที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้น อาทิ กลูโคสอะมิเลส, โปรตีเอส, แอลฟา-กาแลกโตซิเดส และ แอลฟา-อะมิเลส นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของสารให้กลิ่นหอม ซึ่งเกิดจากสารเมแทบอไลต์ปฐมภูมิ (primary metabolite) ประเภทเมทิลคีโตน (methyl ketones) ที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้น อีกทั้งยังเป็นแหล่งของวิตามินที่สำคัญคือวิตามินบี12 โดยสายพันธุ์ที่นิยมใช้ในการผลิตข้าวแดงคือ *M. purpureus* ตัวอย่างอาหารที่ใช้ข้าวแดงเป็นส่วนผสมเพื่อปรุงแต่งสีและกลิ่นเช่น เต้าหู้ยี้ปลาแห้งแดง เหล้าเกาเหลียง ไวน์แดงสาโทสาเกซูริมิ เนื้อเทียม เป็นต้น

จากการพิสูจน์เอกลักษณ์สารสีที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้น พบว่ามีด้วยกัน 3 กลุ่มคือกลุ่มสารสีเหลืองสีส้มและสีแดงโดยกลุ่มสารสีเหลืองประกอบด้วย Monascin และ Ankaflavin กลุ่มสารสีส้มประกอบด้วย Monascorubrin และ Rubropunctatin และกลุ่มสารสีแดงประกอบด้วย Monascorubramine และ Rubropunctamine ซึ่งโครงสร้างของสารสีจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอนของสารสีที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้นจัดเป็นสีธรรมชาติ จึงนิยมใช้เป็นสีผสมอาหารแทนสีสังเคราะห์ เพราะราคาถูก ปลอดภัย และไม่ก่อมะเร็ง ปัจจุบันมีการผลิตสารสีจากราโมแนสคัส เพื่อการใช้งานในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอางอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธีคือการหมักแบบอาหารแข็ง (solid state fermentation) และการหมักแบบอาหารเหลว (submerged fermentation) โดยการหมักแบบอาหารแข็งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เพราะกรรมวิธีการผลิตไม่ยุ่งยากและเก็บเกี่ยวสารสีได้ง่าย ปัจจุบันพบว่าสารสีที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้นมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิดได้ด้วย

ราโมแนสคัสยังผลิตสารเมแทบอไลต์ทุติยภูมิที่มีความสำคัญอีกหลายชนิด ในปี ค.ศ.1970 Endo ได้ค้นพบสารชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติอันน่าพิศวงต่อวงการแพทย์ จากอาหารเหลวของการเพาะเลี้ยงรา *M. ruber* No. 1005 ที่คัดแยกได้จากอาหารหมักของประเทศไทย สารดังกล่าวจัดเป็นสารประเภทพอลิเคไทด์ (polyketide) รู้จักกันในชื่อ โมนาโคลิน-เค (monacolin-K, MK) หรือ โลวาสตาติน (lovastatin) หรือ เมวินอลิน (mevinolin) หรือ เมวาคอร์ (mevacor) (สูตรโครงสร้างคือ $C_{24}H_{36}O_5$, น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 404.55) และจัดเป็นอนุพันธ์ของสารเมวินอลินที่ผลิต

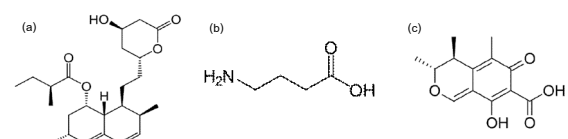
จากรา *Aspergillus terreus* (ภาพที่ 2a) ผลการทดสอบทางเภสัชศาสตร์พบว่า MK มีคุณสมบัติลดระดับคอเลสเตอรอลได้อย่างดีเยี่ยม เนื่องจากมี โครงสร้างคล้ายกับ HMG-CoA (3-hydroxy-3-methylglutaryl CoA) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของการเกิดคอเลสเตอรอลด้วยเหตุนี้ MK จึงมีคุณสมบัติเป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) ของเอนไซม์ HMG-CoA reductase (3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในตับและมีหน้าที่สังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย เมื่อเอนไซม์ HMG-CoA reductase ไม่สามารถทำงานได้ วิถีเมวาโลเนต (mevalonate pathway) จึงถูกยับยั้ง การสังเคราะห์คอเลสเตอรอลจึงไม่เกิดขึ้น ทำให้สามารถควบคุมระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือดได้ จากการค้นพบดังกล่าวทำให้ MK ถูกใช้เป็นยาลดคอเลสเตอรอล (cholesterol lowering drug) เพื่อลดการอุดตันของเส้นเลือด มีรายงานว่า MK ยังส่งผลดีต่อการรักษาทางการแพทย์อีกมากมาย เช่น สามารถรักษาอาการชักแบบลม กระตุก หัก ภาวะแพ้ันตาลูกกลูโคส โรคอัลไซเมอร์ และด้านการขยายตัวของมะเร็งได้เป็นอย่างดี โดยคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการผลิต MK อยู่ในช่วง 24-26 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นราโมแนสคัสจะมีการสะสมสารสีแทน MK นอกจากนี้ราโมแนสคัสยังสามารถผลิตสารกาบ้า (γ-aminobutyric acid, GABA) (ภาพที่ 2b) ชนิดเดียวกับที่พบในข้าวกล้องงอกและแบคทีเรีย *Lactobacillus* บางสปีชีส์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitting) สารลดความดัน (hypertensive) สารขับปัสสาวะ (diuretic effects) โดยสารกาบ้าันเกิดจากการกระบวนการบอกรีคาร์บอกซิเลชัน (decarboxylation) ของกรดกลูตามิก ด้วยเอนไซม์ กลูตาเมต ดีคาร์บอกซิเลส (glutamate decarboxylase)

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงราโมแนสคัสเชิงอุตสาหกรรมเพื่อผลิตสารชีวภัณฑ์ในรูปของอาหารเสริมสุขภาพอย่างแพร่หลาย โดย FDA ของสหรัฐอเมริกาได้ประกาศรับรองสารสกัดจากข้าวแดง (red yeast rice extract) และราโมแนสคัสให้อยู่ในกลุ่มของผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (dietary supplement) อย่างไรก็ตาม ราโมแนสคัสไม่ได้ผลิตเฉพาะสารที่มีประโยชน์เท่านั้น แต่ยังผลิตสารซิตรีนิน (citrinin) (สูตรโครงสร้างคือ $C_{13}H_{14}O_5$) (ภาพที่ 2c) ซึ่งถือเป็นสารชีวภัณฑ์ที่ให้งดคุณและโทษ โดยซิตรีนินจะมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ (antimicrobial) สามารถฆ่าแบคทีเรีย *Bacillus* spp., *Streptococcus* spp. และ *Pseudomonas* spp. ได้ เป็นต้น ขณะเดียวกันซิตรีนินในปริมาณสูงจะมีคุณสมบัติเป็นไมโคทอกซิน (mycotoxin) ซึ่งเป็นพิษต่อคนและสัตว์ ด้วยเหตุนี้การผลิตสารชีวภัณฑ์จากราโมแนสคัสจึงไม่ควรให้ความสำคัญเฉพาะสารที่ต้องการเท่านั้น แต่ควรคำนึงถึงปริมาณซิตรีนินที่ราโมแนสคัสสร้างขึ้นระหว่างการเจริญเติบโตด้วย



ภาพที่ 1 (a) สันฐานวิทยาของราโมแนสคัสบนอาหารแข็ง (b) สันฐานวิทยาของราโมแนสคัสภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และ (c) ลักษณะของข้าวแดง หรือ อังคัก (an-kak)

ที่มา: นรินาม



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของ (a) สารโมนาโคลิน-เค (monacolin-K, MK) (b) สารกาบ้า (γ-aminobutyric acid, GABA) และ สารซิตรีนิน (citrinin)

ที่มา: <http://en.wikipedia.org>

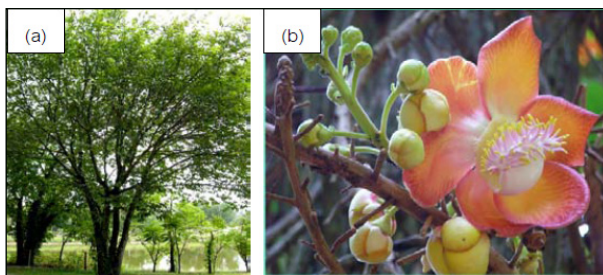
เอกสารอ้างอิง Chayawat, J.S. et al. 2009. J. (Nat. Sci.) 43 : 696-702. • Ho, B. Y. and T. M. Pan 2009. J. Agric. Food Chem. 57: 8258-8265. • Wang, J.J. et al. 2003. J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 30: 669-676.

*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

มะหาด: พืชวิงวับ

โยธกา ปัทมา*/ สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

มะหาด เป็นพืชในสกุล *Artocarpus* จัดอยู่ในวงศ์ Moraceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus lakoocha* Roxb. ตัวอย่างพืชสกุลนี้ที่รู้จักกันดี ได้แก่ ขนุน หม่อน และสาเก เป็นต้น มะหาด เป็นพืชที่พบทั่วไปแถบเอเชียใต้และตะวันออกเฉียงใต้ จัดเป็นไม้ยืนต้น ขนาดกลางถึงใหญ่ และเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ในประเทศไทยมะหาดมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่การเพาะปลูก เช่น นราธิวาส-มาเลเซีย เรียก กาแย ตาแป ตาแปง ตรัง เรียก มะหาดใบใหญ่ เป็นต้น โดยมะหาดจะออกดอกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 (a) ต้นมะหาด (b) ดอกมะหาด
ที่มา: นิรนาม

การศึกษาทางเภสัชศาสตร์ พบว่าส่วนต่าง ๆ ของมะหาดประกอบด้วยสารทุติยภูมิที่สำคัญหลายชนิด อาทิ กลุ่มสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) กลุ่มสารสติลเบนอยด์ (stilbenoids) กลุ่มสารไตรเทอร์พีนอยด์ (triterpenoids) กลุ่มสารสเตียรอยด์ (steroids) และกลุ่มสารเลกติน (lectins) นอกจากนี้ยังพบสารอื่น ๆ ได้แก่ แทนนิน เป็นต้น โดยสารสำคัญที่สุดคือ สาร oxyresveratrol ซึ่งพบมากในส่วน ราก เนื้อไม้ และแก่น โดยส่วนของแก่นจะพบมากที่สุด (ตารางที่ 1) การทดสอบคุณสมบัติทางเภสัชวิทยา พบว่า สาร oxyresveratrol แสดงคุณสมบัติทางชีวภาพที่ตีหลายประการ อาทิ ฤทธิ์ถ่ายพยาธิ (anthelmintic) ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ฤทธิ์ต้านไวรัส (antiviral activity) และฤทธิ์ปกป้องเซลล์ประสาท (neuroprotective activity) นอกจากนี้ยังแสดงคุณสมบัติในการช่วยทำให้ผิวขาว (skin whitening) ขึ้นด้วย จากคุณสมบัติที่ตีเหล่านี้เป็นผลให้มะหาดได้รับการส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมยา เวชสำอาง และอาหารอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 ปริมาณสาร oxyresveratrol ในมะหาดจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่งที่เก็บ	ปริมาณคิดเป็นร้อยละของน้ำหนัก		
	ราก	เนื้อไม้	แก่นต้น
เชียงใหม่ (ภาคเหนือ)	0.07	0.02	13.61
อุบลราชธานี (ภาคอีสาน)	0.01	ไม่มีตัวอย่าง	11.78
สระบุรี (ภาคกลาง)	0.01	0.01	ไม่มีตัวอย่าง
กระบี่ (ภาคใต้)	0.05	0.01	ไม่มีตัวอย่าง
นครศรีธรรมราช (ภาคใต้)	ไม่มีตัวอย่าง	0.25	ไม่มีตัวอย่าง

ที่มา: กิตติศักดิ์, 2551

ปัจจุบันมีการผลิตเวชสำอางสำหรับผิวขาวโดยใช้สารสกัด oxyresveratrol จากมะหาดเป็นส่วนผสม ซึ่งเป็นการที่ต้องการในกลุ่มวัยรุ่นและผู้รักสวยรักงามอย่างแพร่หลาย โดยกลไกการทำให้ผิวขาวเกิดขึ้นจากการที่สาร oxyresveratrol ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเม็ดสีดำหรือน้ำตาลของผิวหนังหรือเส้นผม จากคุณสมบัตินี้เองทำให้ผู้ประกอบการผลิตเครื่องสำอางนิยมนำสารสกัด oxyresveratrol บริสุทธิ์มาใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เพื่อผิวขาว นอกจากอุตสาหกรรมเครื่องสำอางแล้วยังมีการนำสาร oxyresveratrol จากมะหาดมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารด้วย โดยมีการนำสารสกัด oxyresveratrol จากมะหาดไปยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลดำของผักและผลไม้ที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ไทโรซิเนส

จากงานวิจัยเกี่ยวกับมะหาด และสาร oxyresveratrol ที่มีออกมาอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่ามะหาดเป็นพืชที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์มากมาย ทั้งนี้เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ในการนำไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นมิตร และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่รักธรรมชาติและใส่ใจต่อสุขภาพ

เอกสารอ้างอิง กิตติศักดิ์ ลิขิตวิทย์วุฒิ. 2551. มะหาด ประโยชน์ทางยา เครื่องสำอาง และการเกษตร. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. • <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%94>.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

น้ำมันหอมระเหย: สุนทรบำบัดต้านโรค

มณฑลพรพรฯ สงพิมพ์*/ สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากเนื้อสัตว์ อาทิ ไส้กรอก แฮม และลูกชิ้น ที่มีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมักประสบปัญหาเน่าเสียอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรียอยู่เสมอ โดยจุลินทรีย์สำคัญที่มักตรวจพบ คือ แบคทีเรีย *Micrococcus* spp. *Enterococcus* spp. และ *Listeria monocytogenes* เป็นต้น ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่าพืชสมุนไพรไทยมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งของสารธรรมชาติที่มาจากธรรมชาติ เนื่องจากประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย (volatile oil, essential oil) ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งและฆ่าจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้พืชสมุนไพรไทยจึงมีได้มีบทบาทเพียงเพื่อสุนทรบำบัด (aromatherapy) หรือเป็นส่วนผสมในยาและเครื่องสำอางเท่านั้น หากแต่ยังใช้เป็นสารธรรมชาติได้อีกด้วย ดังนั้นการนำน้ำมันหอมระเหยจากพืชสมุนไพรไทยมาใช้ในอาหาร จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ที่มักก่อผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภค

แบคทีเรีย *L. monocytogenes* จัดเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) หากมีการติดเชื้ออย่างรุนแรงอาจทำให้ได้รับอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ โดยจะก่อให้เกิดโรคลิสเทอริโอซิส (Listeriosis) โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ (meningitis) การติดเชื้อในกระแสเลือด (septicemia) และการแท้ง (abortion) เป็นต้น เมื่อร่างกายได้รับแบคทีเรีย *L. monocytogenes* ที่ปนเปื้อนมากับผลิตภัณฑ์อาหาร แบคทีเรีย *L. monocytogenes* จะเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วที่บริเวณลำไส้ เมื่อผ่านเข้าสู่กระแสเลือดจะผลิตโปรตีนลิสเทอริโอไลซิน โอ (Listeriolysin O) ที่มีฤทธิ์ทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดงและเซลล์ภูมิคุ้มกัน โดยโปรตีนลิสเทอริโอไลซิน โอ จะเข้าจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ที่ประกอบด้วยคอเลสเตอรอลและสร้างโมโนเมอร์พิษที่สามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์เหล่านั้น เป็นผลให้ความสามารถในการรั่วไหลของสารนอกเซลล์ดีขึ้น และก่อให้เกิดการตายของเซลล์และเสียชีวิตในที่สุด สำหรับการปนเปื้อนแบคทีเรีย *L. monocytogenes* ในผลิตภัณฑ์อาหารมักมาจากสิ่งแวดล้อมของวัตถุดิบก่อนการแปรรูป อาทิ ดิน น้ำ หรือสิ่งปฏิกูลต่าง ๆ ที่วัตถุดิบสัมผัส เป็นต้น

จากการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากสมุนไพรไทย 11 ชนิด ได้แก่ กะเพรา กระชาย ขิง ขมิ้น ข่า ตะไคร้ ตะไคร้หอม ผลมะกรูด ใบมะกรูด พริกไทยดำ และโหระพา (ตารางที่ 1) พบว่า น้ำมันหอมระเหยที่ได้จากพืชสมุนไพรหลายชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะกระชาย ตะไคร้ ตะไคร้หอม และใบมะกรูด มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* ได้ดีที่สุด โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญเติบโต (Minimum inhibitory concentration, MIC) เท่ากับ 0.1 % (ตารางที่ 1) จากตัวอย่างงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การนำน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยเข้ามาประยุกต์ใช้ในการถนอมอาหารมีความเป็นไปได้สูง สามารถช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารและด้านจุลินทรีย์ก่อโรคซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคได้

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (MIC) ของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยต่อแบคทีเรีย *L. monocytogenes*

ชนิดจุลินทรีย์ทดสอบ	น้ำมันหอมระเหย (ร้อยละ, v/v)									
	กะเพรา	กระชาย	ขิง	ขมิ้น	ข่า	ตะไคร้	ตะไคร้หอม	ผลมะกรูด	ใบมะกรูด	พริกไทยดำ
<i>L. monocytogenes</i>										
101	0.2	0.1	0.8	8	0.7	0.1	0.1	0.5	0.1	1
108	0.2	0.1	0.8	8	0.2	0.1	0.1	0.5	0.1	1
310	0.2	0.1	0.8	8	0.7	0.1	0.1	0.5	0.1	1
Scott A	0.3	0.1	0.8	8	0.7	0.1	0.1	0.5	0.1	1
V7	0.2	0.1	0.5	8	0.7	0.1	0.1	0.4	0.1	1

หมายเหตุ สายพันธุ์แบคทีเรียทดสอบ *L. monocytogenes* ได้แก่ 101 108 310 ScottA และ V7

ที่มา: ดัดแปลงจาก อาภากร, 2551

เอกสารอ้างอิง อาภากร สุภาพพัฒน์. 2551. การกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพรไทยเพื่อต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. • <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/2269>.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนมิถุนายน 2555

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน



การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตทรอฟเพื่อบำบัดน้ำเสีย(1)

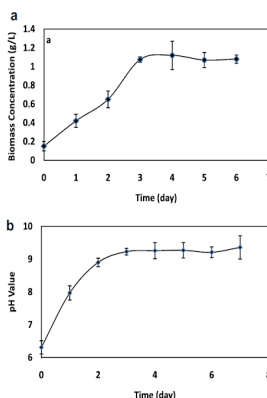
ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ*/ สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Auxenochlorella protothecoides* UMN280 แบบสองขั้นตอน ภายใต้การเพาะเลี้ยงเฮเทอโร-โฟโตออโตทรอฟเพื่อบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยขั้นตอนแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียชุมชนเข้มข้นแบบเฮเทอโรทรอฟ (ไม่ให้แสงเป็นแหล่งพลังงาน) จากนั้นเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายโดยการตกตะกอนตามธรรมชาติ น้ำเสียที่เหลือนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในขั้นตอนที่สองแบบโฟโตออโตทรอฟ (ให้อากาศและ/หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1% และ 5% ที่ความเข้มข้นแสง 60 ไมโครโมล/เมตร² วินาที) โดยมีเซลล์สาหร่ายที่เหลืออยู่เป็นกัลลัเชื้อเริ่มต้น

น้ำเสียชุมชนแบบเข้มข้นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วมีปริมาณของ ซีโอดี (COD) ทีโอซี (TOC) (แอสติก พรอพ-ไอนิก บิวทริก เอทานอล) ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส สูงกว่าน้ำเสียที่เก็บได้จากขั้นตอนอื่นของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน จึงมีปริมาณของสารอาหารและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ดี อาทิ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในขั้นตอนแรกแบบเฮเทอโรทรอฟ สาหร่ายใช้ระยะเวลาช่วงการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ (exponential phase) นาน 4 วัน แล้วจึงเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตคงที่ (stationary phase) (ภาพที่ 1a) โดยไม่มีระยะปรับตัว (lag phase) แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถปรับตัวได้ดีในน้ำเสียที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ในขณะที่ค่าความเป็นกรด-ด่างก็เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 1b) ในลักษณะทำนองเดียวกับการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพสาหร่าย (ภาพที่ 1a) ซึ่งเป็นผลมาจากการสะสมปริมาณของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ที่ทำให้เป็นกรด-ด่างสูงขึ้น

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายปริมาณฟอสฟอรัส



ภาพที่ 1 (a) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *A. protothecoides* UMN280 สองขั้นตอนแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตทรอฟในน้ำเสียชุมชน และ (b) ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (เฉพาะขั้นตอนแรก: เฮเทอโรทรอฟ)ที่มา: Zhou และคณะ, 2012

เอกสารอ้างอิง Zhou, W. et al. 2012. Bioresour. Technol. 110: 448-

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

จนกระทั่งเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตคงที่ (จากกระบวนการสร้างและสลายของสาหร่ายหรือจากการตกตะกอนของฟอสเฟต) ส่วนปริมาณแคลเซียมก็ลดลงจาก 132.67 เหลือ 10.90 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอธิบายได้ในการทำงานเกี่ยวกับการลดลงของฟอสฟอรัส

กรณีของปริมาณแอมโมเนียม-ไนโตรเจน (NH₄-N) ลดลงได้อย่างรวดเร็วในช่วง 4 วันแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย (ลดลง ~69% จาก 91 เหลือ 28 มิลลิกรัม/ลิตร) (ภาพที่ 2b) จากนั้นคงที่จนสิ้นสุดการเพาะเลี้ยง การลดลงเกิดขึ้นจากสาหร่ายใช้แอมโมเนียม-ไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจน ไม่ได้เกิดจากกระบวนการกำจัดแอมโมเนีย (NH₃ stripping) เพราะกระบวนการกำจัดแอมโมเนียจะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะความเป็นด่างที่มีอุณหภูมิและปริมาณของยูเรียสูง แต่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีอุณหภูมิต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียส และน้ำเสียก็มีปริมาณของยูเรียไม่สูงมาก

ความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ลดลงจาก 134 เหลือ 54 มิลลิกรัม/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 59.7% (ภาพที่ 2c) ส่วนใหญ่ไนโตรเจนที่พบในน้ำเสียชุมชนเป็นสารประกอบแอมโมเนียมซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้โดยตรงแต่มีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำเนื่องจากสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์บางชนิดไม่สามารถเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ จึงทำให้สาหร่ายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ปริมาณซีโอดีและทีโอซีแสดงให้เห็นถึงปริมาณของแหล่งคาร์บอนในน้ำเสียชุมชน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทำให้ความเข้มข้นของซีโอดีลดลงจาก 2,344 เหลือ 280 มิลลิกรัม/ลิตร และทีโอซีลดลงจาก 970 เหลือ 70 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 3 ของการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 2d) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลง และเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตคงที่ในวันที่ 4 ของการเพาะเลี้ยง อย่างไรก็ตาม น้ำเสียยังคงมีแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสหลงเหลืออยู่ จึงจำเป็นต้องอาศัยการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในขั้นตอนที่สองของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบโฟโตออโตทรอฟ ภายใต้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสองขั้นตอนแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตทรอฟที่มีประสิทธิภาพเพื่อบำบัดน้ำเสียได้ในที่สุด

ภาพที่ 2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *A. protothecoides* UMN280 สองขั้นตอนแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตทรอฟ (a) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (b) แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (c) ไนโตรเจนทั้งหมด และ (d) ซีโอดีและทีโอซีทั้งหมด (เฉพาะขั้นตอนแรก: เฮเทอโรทรอฟ) ที่มา: Zhou และคณะ, 2012

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตโทรฟเพื่อบำบัดน้ำเสีย (2)

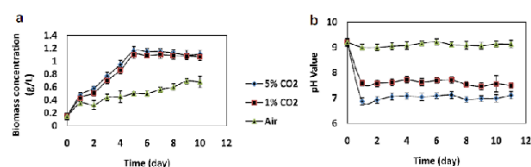
ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Auxenochlorella protothecoides* UMN280 สองขั้นตอนแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตโทรฟ เพื่อบำบัดน้ำเสียชุมชน ขั้นตอนแรกได้เพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียชุมชนแบบเข้มข้นแบบเฮเทอโรโทรฟ หลังจากเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายด้วยการตกตะกอนตามธรรมชาติแล้ว จึงทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในขั้นตอนที่สองต่อไปแบบโฟโตออโตโทรฟ โดยอาศัยเซลล์สาหร่ายที่เหลืออยู่เป็นก้ำเชื้อเริ่มต้น ศึกษาการให้อากาศทั้งที่มีและไม่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 1% และ 5% ภายใต้ความเข้มข้นแสง 60 ไมโครโมล/เมตร² วินาที (ภาพที่ 1a)

การเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายโดยการตกตะกอนแบบธรรมชาติได้อาศัยคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุ วิธีนี้ช่วยลดต้นทุนของการเพาะเลี้ยง เพราะไม่ต้องเติมสารเคมีเพื่อช่วยตกตะกอนเซลล์สาหร่าย ผงเซลล์สาหร่ายมีประจุลบจึงสามารถจับกับไอออนบวกหรืออนุภาคที่มีประจุบวกที่มีอยู่แล้วในน้ำเสียหรือเกิดขึ้นจากกิจกรรมของสาหร่าย ทำให้เซลล์สาหร่ายเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอนได้ในที่สุด

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขั้นตอนที่สองแบบโฟโตออโตโทรฟสภาวะที่ให้อากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 5% ให้ปริมาณมวลชีวภาพของสาหร่ายสูงที่สุดเท่ากับ 1.16 กรัม/ลิตร และการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 5% ค่าความเป็นกรด-ด่างลดลงมากกว่าการให้อากาศเพียงอย่างเดียวที่มีแนวโน้มคงที่ เนื่องจากปริมาณของไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ที่เกิดขึ้นจากการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระหว่างการเพาะเลี้ยงนั่นเอง (ภาพที่ 1b)

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดภายใต้สภาวะที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 5% เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันแรกของการเพาะเลี้ยง อาจเนื่องมาจากการไม่ละลายของตะกอนฟอสฟอรัสที่สภาวะความเป็นด่าง (ภาพที่ 2a) จากนั้นปริมาณลดลงและคงที่หลังจากการเพาะเลี้ยงไปได้ 4 วัน สรุปได้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดภายใต้การเพาะเลี้ยงที่มีการให้อากาศและการเติมก๊าซ

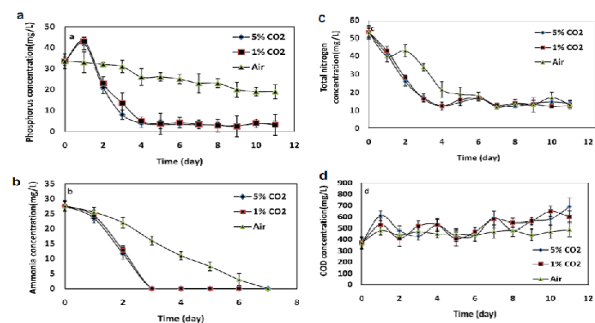


ภาพที่ 1 (a) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *A. protothecoides* UMN280 สองขั้นตอนแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตโทรฟในน้ำเสียชุมชน และ (b) ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการเพาะเลี้ยง (ขั้นตอนที่สอง: โฟโตออโตโทรฟ)

ที่มา: Zhou และคณะ, 2012

เอกสารอ้างอิง Zhou, W. et al. 2012. Bioresour. Technol. 110: 448-

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *A. protothecoides* UMN280 สองขั้นตอนแบบเฮเทอโร-โฟโตออโตโทรฟ (a) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (b) แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (c) ไนโตรเจนทั้งหมด และ (d) ซีโอดีและทีโอซีทั้งหมด (ขั้นตอนที่สอง: โฟโตออโตโทรฟ) ที่มา: Zhou และคณะ, 2012

คาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 5% ลดลงจาก 33.5 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 19, 3.2 และ 3.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ สภาวะที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 5% มีประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสสูงที่สุดเท่ากับ 90.54%

ส่วนแอมโมเนีย-ไนโตรเจนถูกกำจัดได้ทั้งหมดในวันที่ 3 ของการเพาะเลี้ยง ภายใต้สภาวะที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 และ 5% และในวันที่ 6 ของการเพาะเลี้ยง ภายใต้การเพาะเลี้ยงที่มีการให้อากาศเพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 2b) โดยสาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง ไม่ได้เกิดจากกระบวนการกำจัดแอมโมเนีย (NH_3 stripping) เนื่องจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกิดขึ้นภายใต้สภาวะเป็นด่างที่มีการควบคุมความเป็นกรด-ด่าง 7.0-7.4

สำหรับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดนั้น ลดลงจาก 53.2 เหลือ ~13 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาพที่ 2c) เนื่องจากยังมีไนโตรเจนอินทรีย์ชนิดที่สาหร่ายไม่สามารถนำไปใช้ได้เหลืออยู่อีก ประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจึงเท่ากับ 73.7%

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในขั้นตอนที่สองแบบโฟโตออโตโทรฟไม่สามารถกำจัดปริมาณของซีโอดีที่เหลือจากการเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟในขั้นตอนแรกได้อีก และมีการแปรผันสูงตลอดระยะเวลาของการเพาะเลี้ยง (ภาพที่ 2d) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์เพียงชนิดเดียว พบปริมาณของซีโอดีสูงขึ้นระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากสังเคราะห์แสงของสาหร่ายที่ปล่อยคาร์บอนอินทรีย์ระหว่างการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง หลังจากการเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายแล้ว จำเป็นต้องนำน้ำเสียที่หมักเรียบร้อยแล้วไปผ่านการบำบัดในขั้นตอนแรกของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบเฮเทอโรโทรฟอีกครั้ง จนกระทั่งสามารถลดปริมาณซีโอดีฟอสฟอรัส และไนโตรเจน ลงได้ตามเกณฑ์ของมาตรฐานน้ำทิ้งที่กฎหมายกำหนดไว้

เดือนมิถุนายน 2555

กฎหมายและการศึกษา

ชนิกา ชื่นแสงจันทร์*/สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

เดือนกรกฎาคม 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร



กรรมวิธีการผลิตแป้งแค้นตะวัน (เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค)

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

อินูลิน (inulin) เป็นคาร์โบไฮเดรตสะสมประเภท ฟรุคแทนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของฟรุคโทส ที่พบได้ในพืช ได้แก่ chicory (*Cichorium intybus*), yacón (*Smallanthus sonchifolius*) และ Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) เป็นต้น สามารถใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแป้งอินูลินและผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อม ฟรุคโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์อินูลิเนสและอินเวอร์เทสจากเชื้อรา *Aspergillus niger* TISTR 3570 และ/หรือเชื้อยีสต์ *Candida guilliermondii* TISTR 5844

การผลิตแป้งแค้นตะวันจากเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค (ซึ่งเป็นแหล่งหลักของอินูลิน) นอกจากจะใช้เป็น สารผสมอาหารเบื้องต้นของอาหารแปรรูปทั่วไปแล้วยังใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกของการใช้ผลิตภัณฑ์ (1) แป้งอินูลิน (ที่มีสมบัติของโยอาหาร) และ (2) น้ำเชื่อม ฟรุคโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์ (ที่มีสมบัติของสารให้ความหวานและสารพรีไบโอติก) ที่สามารถใช้เป็นสารผสมอาหารในอุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะใช้แทนน้ำเชื่อม ฟรุคโทสความเข้มข้นสูงที่ผลิตจากแป้ง ซึ่งขาดแคลนฟังก์ชันของการเป็นสารพรีไบโอติกและโยอาหาร

กรรมวิธีการผลิตแป้งแค้นตะวันจากเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค มีขั้นตอนสรุปดังนี้ ล้างและปอกเปลือก หัวแค้นตะวัน หั่นสไลด์เนื้อแค้นตะวัน อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน บดด้วยเครื่องบดหยาบ (ได้แป้งแค้นตะวันชนิดหยาบ) และบดแป้งแค้นตะวันชนิดหยาบด้วยเครื่องบดละเอียด (ได้แป้งแค้นตะวันชนิดละเอียด) ได้แสดงถึงดุลของวัสดุระหว่างขั้นตอนของการผลิตแป้งแค้นตะวันไว้ในตารางที่ 1 ส่วนตารางที่ 2 ได้แสดงถึงคุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของแป้งแค้นตะวันที่ได้มาตรฐานที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ตารางที่ 1 แสดงดุลของวัสดุระหว่างขั้นตอนการผลิตแป้งแค้นตะวัน

ขั้นตอนการผลิต	น้ำหนัก (กรัม)	ผลได้ (เปอร์เซ็นต์)
หัวแค้นตะวัน	30.17 ± 5.05	100.00
เนื้อแค้นตะวัน	21.07 ± 3.86	69.83
เปลือกแค้นตะวัน	9.07 ± 1.10	30.06
ชิ้นแค้นตะวัน	21.07 ± 3.86	69.83
แป้งแค้นตะวัน (อบแห้ง)	4.25 ± 0.86	14.09
แป้งแค้นตะวัน (บดหยาบ)	4.19 ± 0.88	13.88
แป้งแค้นตะวัน (บดละเอียด)	3.91 ± 0.73	12.96

หมายเหตุ: คิดจากน้ำหนักของเมล็ดพันธุ์และขั้นตอน 1 กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ)

เอกสารอ้างอิง เกศศิณี ตระกูลจิรากร กษกร ปรางค์วิเศษ ดารารัตน์ มงคลการ ประภาส ช่างเหล็ก และ สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล. 2555. กรรมวิธีการผลิตแป้งเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค. ขอรับอนุสิทธิบัตรต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญา กระทรวงพาณิชย์ เลขที่คำขอ 1203000174. http://en.wikipedia.org/wiki/Jerusalem_artichoke

จะเน้นการพัฒนากรรมวิธีของการผลิตแป้งแค้นตะวันจากแหล่งวัตถุดิบอินูลิน อาทิ เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค จึงประกอบด้วยการเตรียมชิ้น/แผ่นเยรูซาเล็มอาร์ทิโชคจากหัวสด การอบแห้งชิ้น/แผ่นเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค และการบดแผ่นเยรูซาเล็มอาร์ทิโชคแห้งให้เป็นแป้งแค้นตะวันผง (หยาบและละเอียด) ซึ่งสามารถใช้เป็นสารผสมอาหาร/อาหารแปรรูป และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้งอินูลินและน้ำเชื่อมฟรุคโทส/อินูโลโอลิโกแซ็กคาไรด์จากเยรูซาเล็มอาร์ทิโชค ทำให้เห็นได้ถึงความสำคัญเชิงศักยภาพและจุดแข็งของประเทศไทยที่จะสามารถกลายเป็นคลังอาหารของโลกได้อย่างเบ็ดเสร็จ ตั้งแต่การเพาะปลูกของภาคเกษตรกรรมสมัยใหม่ จนกระทั่งถึงการแปรรูปอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารต่อเนื่องเชิงอุตสาหกรรมเกษตรได้ในที่สุด ซึ่งย่อมจะเป็นปัจจัยสนับสนุนที่ทำให้ประเทศไทยสามารถเป็นศูนย์กลางของภูมิภาคประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนทางด้านความมั่นคงของอาหารของโลกที่คาดหวังไว้ได้



ภาพที่ 1 พืชแค้นตะวัน/เยรูซาเล็มอาร์ทิโชค (บน) และ แป้งแค้นตะวัน/อินูลิน/น้ำเชื่อมโอลิโกแซ็กคาไรด์ (ล่าง)

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและจุลินทรีย์ของแป้งแค้นตะวัน¹

คุณสมบัติทางเคมี	ปริมาณ	หมายเหตุ
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	3.20	
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	4.13	
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	0.27	
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	3.75	
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	88.65	
อินูลิน (เปอร์เซ็นต์)	60.66	
โยอาหารที่ละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	2.23	
โยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	8.16	
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม)	373.55	
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม)	2.43	
โลหะ		
อาร์เซนิกหรือสารหนู (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	น้อยกว่า 0.50	ไม่พบ ²
แคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	น้อยกว่า 0.50	ไม่พบ ²
ตะกั่ว (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	น้อยกว่า 0.50	0.55 ²
ปรอท (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	น้อยกว่า 0.50	0.02 ²
คุณสมบัติทางจุลินทรีย์	ปริมาณ (โคโลนีต่อกรัม)	
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด	8.4×10^7	
ยีสต์	น้อยกว่า 10 (ไม่พบ)	
รา	1.5×10^7	

หมายเหตุ ¹การวิเคราะห์ทางเคมีและจุลินทรีย์ (ยกเว้นการวิเคราะห์อินูลิน/ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการหมัก ม.เกษตรศาสตร์) โดยศูนย์บริการประกันคุณภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตอาหาร ม.เกษตรศาสตร์ 2/ผลการวิเคราะห์โลหะ โดยสำนักคุณภาพและความปลอดภัยอาหาร กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

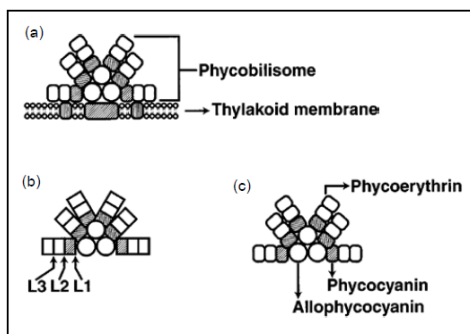
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพยาราชินีแห่งสารสี (1)

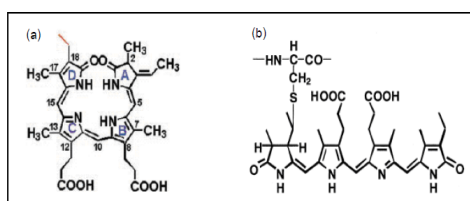
มณชัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคันทน์นียกุล*

สไปรูลินา (*Spirulina* sp.) หรือ อาร์โทรสไปรา (*Arthrospira* sp.) เป็นไซยาโนแบคทีเรีย (cyanobacteria) ที่มีการใช้พลังงานจากแสงแดดในการเจริญเติบโตและมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารเป็นเวลานานหลายศตวรรษ ปัจจุบันพบว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาทางการค้าในหลาย ๆ ภูมิภาคของโลกอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพสำหรับมนุษย์และสัตว์ นอกจากนี้ยังมีการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาเพื่อผลิตเป็นผงสีไฟโคไซยานิน (Phycocyanin: PC) สำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องสำอาง และงานทางการแพทย์อีกด้วย

เนื่องจากสไปรูลินาเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยแสงเป็นแหล่งพลังงานหลัก จึงพบโครงสร้างของโปรตีนชนิดที่เรียกว่าไฟโคบิลิโซม (Phycobilisomes: PBS) (ภาพที่ 1 a) เช่นเดียวกับพืช ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวมีหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงแดดแล้วถ่ายเทพลังงานดังกล่าวผ่านเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (Thylakoid membrane) แล้วเข้าสู่ระบบการสังเคราะห์แสงของเซลล์ ประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย คือ ไฟโคบิลิโปรตีน (Phycobiliprotein: PBPs) หรือไบลิโปรตีน (Biliprotein) และสายพอลิเพปไทด์ที่เป็นตัวเชื่อมโยง (linker polypeptide) (ภาพที่ 1 b) โดยไฟโคบิลิโปรตีนประกอบด้วยสองส่วนย่อย คือ อะโพอโรตีน (Apoprotein) และไบลิน (Bilin) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไทโออีเทอร์ (thioether bond) ระหว่างวงแหวนเอของไบลินกับกรดอะมิโนซิสเทอีน (Cysteine) บนอะโพอโรตีน ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของไบลินจะมีลักษณะเป็นวงแหวนไพร์รอล (pyrrole ring) 4 วงต่อกันเป็นเส้นตรง เรียกว่าเทตราไพร์รอล (tetrapyrrole) โดยไซยาโนแบคทีเรียส่วนใหญ่จะมีไบลิน 4 ชนิด คือ ไฟโคไซยาโนไบลิน (Phycocyanobilin) ไฟโคอีโรทรอบิลิน (Phycococerythrobilin) ไฟโคยูโรไบลิน (Phycocourobilin) และไฟโคไบลิโวลิน (Phycobiliviolin) ทั้งนี้ ไบลินแต่ละชนิดจะมีจำนวนของพันธะคู่แบบคอนจูเกต (conjugated double bond) บนโมเลกุลแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของไฟโคบิลิโซม (a) แสดงการเชื่อมต่อระหว่างไฟโคบิลิโซมกับเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ (b) L1,L2,L3 แสดงตำแหน่งที่อยู่ของสายพอลิเพปไทด์ที่เป็นตัวเชื่อมโยง และ (c) แสดงการจัดเรียงตัวของ 3 องค์ประกอบหลักในไฟโคบิลิโซม



ภาพที่ 2 (a) โครงสร้างไฟโคไซยาโนไบลิน และ (b) การเชื่อมต่อของไบลินกับอะโพอโรตีน

ที่มา: Hanzawa และคณะ, 2002; Fukui และคณะ, 2004

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

สีเขียวแกมน้ำเงินเข้มของสไปรูลินาเกิดจากรงควัตถุหลายชนิดที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงแดดในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน ได้แก่ แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่ให้สีเหลืองส้มซึ่งพบว่ามีประมาณ 0.4% ของน้ำหนักแห้ง ส่วนคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ที่ให้สีเขียวพบว่ามีประมาณ 1% ของน้ำหนักแห้ง โดยรงควัตถุที่พบมากที่สุดคือไฟโคบิลิโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของไฟโคบิลิโซมดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น โดยมีปริมาณมากถึง 14-16% ของน้ำหนักแห้ง ไฟโคบิลิโซมชนิดที่สำคัญคือไฟโคไซยานิน (Phycocyanin: PC) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีน้ำเงินครามหรือฟ้าและดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 615-620 นาโนเมตร และอัลโลไฟโคไซยานิน (Allophycocyanin: APC) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีน้ำเงินเข้มและดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 652 นาโนเมตร โดยพบว่ามีประมาณ 50% ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในสไปรูลินาคือไฟโคไซยานิน และอัลโลไฟโคไซยานิน โดยที่อัลโลไฟโคไซยานินจะมีปริมาณน้อยกว่าไฟโคไซยานิน หลายเท่าตัว อย่างไรก็ตาม มักพบรายงานว่าสไปรูลินาประกอบด้วยไฟโคบิลิโปรตีนเพียงสองชนิดคือไฟโคไซยานินและอัลโลไฟโคไซยานิน แต่ก็มีรายงานว่าสไปรูลินายังประกอบด้วยไฟโคบิลิโปรตีนชนิดที่เรียกว่าไฟโคอีโรทริน (Phycococerythrin; PE) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีแดงและดูดกลืนแสงได้ดีที่มีความยาวคลื่น 562 นาโนเมตร โดยการจัดเรียงตัวของไฟโคบิลิโปรตีนทั้ง 3 ชนิด บนโครงสร้างของไฟโคบิลิโซมมีลักษณะดังภาพที่ 1 c

เนื่องจากสไปรูลินาประกอบด้วยไฟโคไซยานินในปริมาณสูง และพบวาร์รงควัตถุดังกล่าวมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการจึงมีการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาเพื่อผลิตเป็นผงสีไฟโคไซยานินสำหรับใช้ในงานด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย สำหรับการประยุกต์ใช้ไฟโคไซยานินส่วนใหญ่ใช้เป็นสีผสมอาหาร ใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับมนุษย์ ใช้ผสมอาหารสัตว์ และ บางส่วนใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางวิทยาภูมิคุ้มกัน (fluorescent probes) ส่วนการประยุกต์ใช้ทางการแพทย์พบว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ต้านมะเร็ง (anticancer) และมีรายงานว่า ซี-ไฟโคไซยานินบริสุทธิ์สูงสามารถต้านแบคทีเรียก่อโรคชนิดที่ดื้อยาบางชนิดได้

ตารางที่ 1 ตารางที่ 1 จำนวนพันธะคู่แบบคอนจูเกตบนโมเลกุลของไบลินที่พบในไซยาโนแบคทีเรียจากไซโลส

ไบลิน	จำนวนพันธะคู่แบบคอนจูเกต (คู่)
ไฟโคไซยาโนไบลิน (Phycocyanobilin: PCB)	8
ไฟโคอีโรทรอบิลิน (Phycococerythrobilin: PEB)	6
ไฟโคอีโวลไบลิน (Phycocoviolobilin)	7
ไฟโคยูโรไบลิน (Phycocourobilin)	5

ที่มา: MacColl, 1998

เอกสารอ้างอิง Fukui, K. et al. 2004. Relationship between color development and protein conformation in the PC molecule. *Dyes Pigm.* 63: 89-94. • Hanzawa, H. et al. 2002. Structural requirement of bilin chromophore for the photosensory specificity of phytochromes A and B. *PNAS* 99(7): 4725-4729. • MacColl, R. 1998. Cyanobacterial phycobilisomes. *J. Struct. Biol.* 124: 311-334.

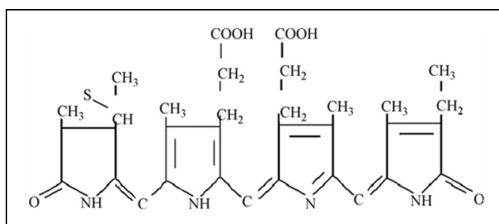
ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพยี่ห้อราชินีแห่งสารสี (2)

มณชัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคันทน์กุล*

การให้สัญลักษณ์และการเขียนชื่อไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC) นั้นจะแตกต่างจากกรดนิวคลีอิก โดยทั่วไปมักใช้คำนำหน้า (prefix) คำว่า Phycocyanin ด้วยอักษร C- หรือ R- เพื่อบอกถึงแหล่งที่มาของไฟโคไซยานินที่ค้นพบเป็นครั้งแรก เช่น C-Phycocyanin (C-PC) หมายถึงไฟโคไซยานินที่พบในไซยาโนแบคทีเรีย ส่วน R-Phycocyanin (R-PC) หมายถึงไฟโคไซยานินที่พบในสาหร่ายสีแดงในคลาส *Rhodophyceae* เป็นต้น

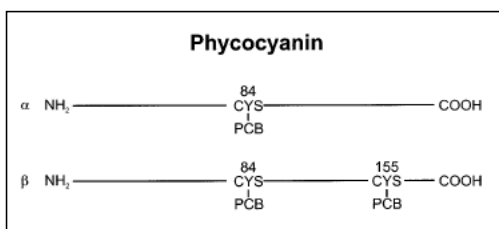
ซี-ไฟโคไซยานิน จัดเป็นสารประกอบโปรตีนซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นอะโปโปรตีน (Apoprotein) และส่วนของไบลิน (Bilin) โดยที่ไบลินจะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีลักษณะเป็นวงแหวนไพร์รอล (pyrrole ring) สี่วงเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงเรียกว่าเทตราไพร์รอล (tetrapyrrole) โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไทโออีเทอร์ (thioether bond) ระหว่างวงแหวนเอของไบลินกับกรดอะมิโนซิสเทอีน (Cysteine) ของอะโปโปรตีน เช่นเดียวกับไฟโคบิลิโปรตีนชนิดอื่น (ภาพที่ 1) เมื่อพิจารณาโครงสร้างระดับโมเลกุลพบว่าซี-ไฟโคไซยานินประกอบด้วยหน่วยย่อยแอลฟา (α -subunits) และหน่วยย่อยบีตา (β -subunits) โดยปกติแต่ละโมเลกุลของซี-ไฟโคไซยานินจะรวมตัวกันในลักษณะของไตรเมอร์ ($\alpha_3\beta_3$) เฮกซะเมอร์ ($\alpha_6\beta_6$) หรือโอลิโกเมอร์ (oligomers) และแบบอื่น ๆ โดยในแต่ละหน่วยย่อยแอลฟาและบีตาจะมีไบลินเกาะอยู่กับกรดอะมิโนซิสเทอีนบนอะโปโปรตีนของหน่วยย่อย 1 และ 2 หมู่ ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง α_{84} ของหน่วยย่อยแอลฟา และที่ตำแหน่ง β_{84} และ β_{155} ของหน่วยย่อยบีตา ดังแสดงในภาพที่ 2

จากการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลโดยใช้ SDS-PAGE พบว่าหน่วยย่อยแอลฟาและบีตามีขนาดประมาณ 19.5 และ 21.5 kDa ตามลำดับ ซึ่งโดยปกติมักพบหน่วยย่อยทั้งสองในปริมาณที่เท่ากันเสมอ โดยทั้งสองหน่วยย่อยจะประกอบด้วยกรดอะมิโนเรียงต่อกัน 162 และ 172 หน่วย ตามลำดับ ทั้งนี้ซี-ไฟโคไซยานิน และ อาร์-ไฟโคไซยานิน จะประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดเดียวกัน และสามารถจำแนกชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบได้ 2 กลุ่ม คือ กรดอะมิโนมีขั้ว (acidic – Asp, Glu; basic – Lys, His, Arg; hydroxy – Thr, Ser) และกรดอะมิโนไม่มีขั้ว (aliphatic – Gly, Ala, Val, Ile, Leu, Pro, Met, Cys, Tyr, Phe)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของซี-ไฟโคไซยานินจาก *Spirulina platensis*

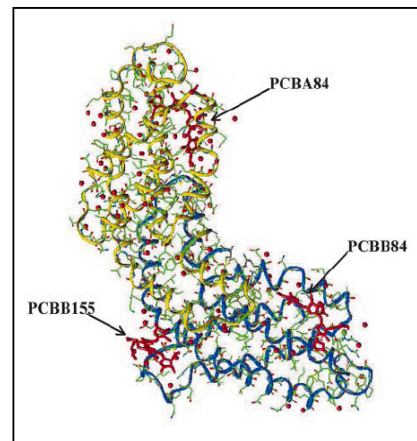
ที่มา: Sanjiv และคณะ, 2008



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างไบลินกับอะโปโปรตีนของซี-ไฟโคไซยานิน

ที่มา: MacColl, 1998

หน่วยย่อยทั้งสองของซี-ไฟโคไซยานินในมอนอเมอร์ ไตรเมอร์ และเฮกซะเมอร์ มีโครงสร้างตติยภูมิเป็นรูปทรงกลม (globular) ที่มีลักษณะคล้ายกันมาก (ภาพที่ 3) เมื่อก่อรูปเป็นไตรเมอร์และเฮกซะเมอร์ จะเกิดช่องว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 ถึง 4.5 นาโนเมตร โดยที่ตำแหน่ง β_8 จะหันเข้าหาแกนกลางของช่องว่าง สายพอลิเพปไทด์ของหน่วยย่อยทั้งสองประกอบด้วยเกลียวแอลฟา (α -helices) 9 ชุด แต่ละชุดต่อกันด้วยตำแหน่งโค้งงอของโครงสร้าง การก่อรูปตติยภูมิดังกล่าวข้างต้นนั้นหน่วยย่อยแต่ละหน่วยจะถูกตรึงด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals) และอันตรกิริยาไฟฟ้าสถิต (electrostatic interactions) ซึ่งพบว่าที่แกนกลางของเฮกซะเมอร์มีสนามไฟฟ้าสถิตเป็นลบ ในขณะที่บริเวณผิวด้านนอกจะมีสนามไฟฟ้าสถิตเป็นบวก



ภาพที่ 3 โครงสร้างการจัดเรียงโมเลกุลของไฟโคไซยานินมอนอเมอร์

ที่มา: Adir และคณะ, 2001

ณ สภาวะสมดุลหนึ่ง ๆ สารละลายซี-ไฟโคไซยานินจะประกอบด้วยส่วนผสมระหว่างมอนอเมอร์ ไตรเมอร์ และเฮกซะเมอร์ โดยสามารถเปลี่ยนรูประหว่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นของซี-ไฟโคไซยานิน ค่าพีเอช ค่าความเข้มข้นของไอออน (ionic strength) รวมถึงอุณหภูมิ ซึ่งมักพบว่าซี-ไฟโคไซยานินจะรวมตัวเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและไม่พบไดเมอร์เมื่อความเข้มข้นสูงชัน สำหรับที่พีเอช 5.7 ความเข้มข้น 1-10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซี-ไฟโคไซยานินจะรวมตัวเป็นเฮกซะเมอร์ ส่วนที่พีเอช 8.0 ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไฟโคไซยานินส่วนใหญ่จะรวมตัวเป็นไตรเมอร์ นอกจากนี้ ยังพบว่าที่พีเอช 6.8 ซี-ไฟโคไซยานินจะรวมตัวเป็นไตรเมอร์ และจะเปลี่ยนเป็นเฮกซะเมอร์ที่พีเอช 5.0 แต่ถ้าความเข้มข้นสูงถึง 40 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะพบทั้งไตรเมอร์และเฮกซะเมอร์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูประหว่างกันได้ในช่วงพีเอชระหว่าง 5.0 ถึง 9.0 ทั้งนี้อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอออนจะมีผลต่อสัดส่วนระหว่างรูปทั้งสอง และที่พีเอช 5.0 จะพบมอนอเมอร์ในปริมาณที่น้อยมาก

เอกสารอ้างอิง Adir, N. et al. 2001. Structure of C-Phycocyanin from the thermophilic cyanobacterium *Synechococcus vulcanus* at 2.5 angstroms: structural implications for thermal stability in phycobilisome assembly. J. Mol. Biol. 313: 71-81. • MacColl, R. 1998. Cyanobacterial phycobilisomes. J. Struct. Biol. 124: 311-334. • Sanjiv, K.M.S. et al. 2008. Effect of preservatives for food grade C-PC from *Spirulina platensis*. Process Biochem. 43: 339-345.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหากาพย์ราชนิแห่งสารสี (3)

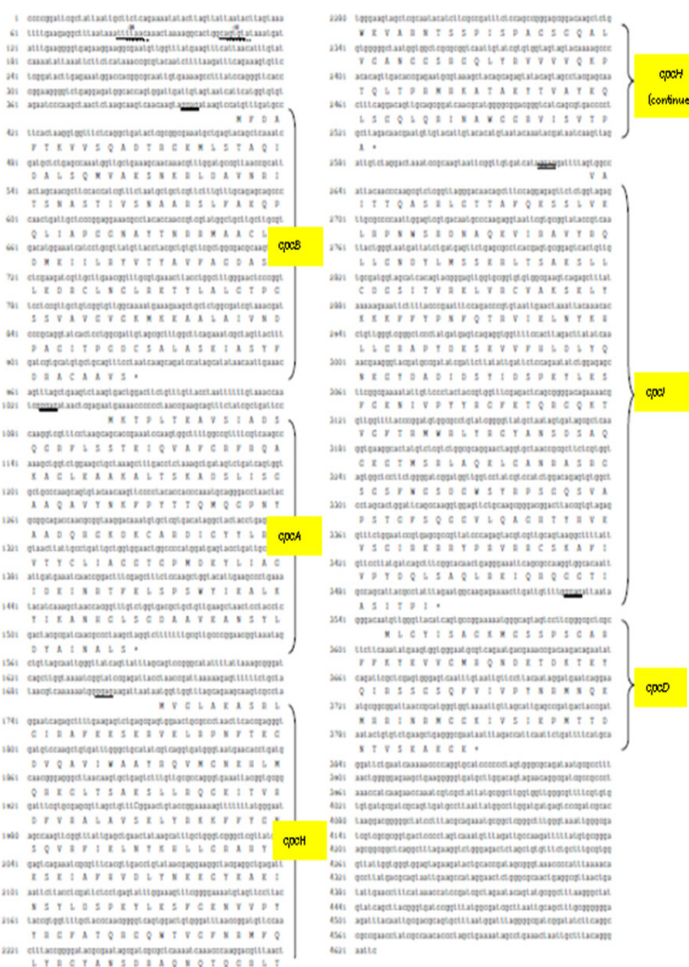
มณฑัย เดชสังกรานนท์*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีววิทยา*

สไปรูลินา (*Spirulina* sp.) เป็นสาหร่ายที่มีการเพาะเลี้ยงทางการค้าในหลายภูมิภาคของโลกอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโตโทรฟ (photoautotroph) ที่อาศัยแสงแดดเป็นพลังงานหลักสำหรับการเจริญเติบโต การเพาะเลี้ยงดังกล่าวนิยมเพาะเลี้ยงในบ่อเปิดแบบรางคู่ (open raceway pond) โดยไม่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมใด ๆ ด้วยเหตุนี้ผลผลิตและคุณภาพของสไปรูลินาจึงขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะความเข้มแสงที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการสร้างชีวมวล (biomass) และการสะสมไฟโคไบลิซึม (phycobillisome)

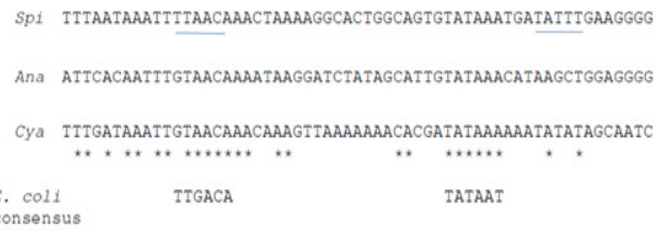
อย่างไรก็ตาม แม้จะมีการพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาในระดับห้องปฏิบัติการและอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย แต่ก็พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตและควบคุมการเพาะเลี้ยงให้ดีขึ้นได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ปัจจุบันมีการนำความรู้ทางด้านพันธุศาสตร์ (molecular genetics) มาใช้ในการควบคุมและปรับปรุงสายพันธุ์สไปรูลินาและสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) ซึ่งพบว่าสามารถพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ ดังนั้นการทราบข้อมูลทางพันธุศาสตร์ของยีนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC)

และสรีรวิทยาของสไปรูลินาในระดับโมเลกุลจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้เพาะเลี้ยงสไปรูลินา ทั้งนี้เพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาให้มีประสิทธิภาพและสัมฤทธิ์ผลได้ในที่สุด

การศึกษาทางอนุพันธุศาสตร์ทำให้ทราบว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานิน มีทั้งสิ้น 4,625 เบส ซึ่งประกอบด้วย 5 โอเพนรีดดิ้งเฟรม (open reading frame) คือ *cpcBAHID* ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยโอเพนรีดดิ้งเฟรมแรกประกอบด้วย 516 คู่เบส แปลเป็นลำดับกรดอะมิโนได้ 172 หน่วย ในขณะที่โอเพนรีดดิ้งเฟรมที่สองประกอบด้วย 486 คู่เบส แปลเป็นลำดับกรดอะมิโนได้ 162 หน่วย จากการวิเคราะห์ลำดับเบสพบว่าลำดับกรดอะมิโนที่ได้มีความเหมือนกับลำดับกรดอะมิโนของยีน *cpcB* (โอเพนรีดดิ้งเฟรมแรก) และ *cpcA* (โอเพนรีดดิ้งเฟรมที่สอง) ที่ควบคุมการสร้างหน่วยย่อยแอลฟา (α -subunits) และหน่วยย่อยบีตา (β -subunits) ของไฟโคไซยานินในสิ่งมีชีวิตอื่น (ภาพที่ 2) ผลจากการทำ southern blot analysis ของจีโนมิก ดีเอ็นเอ (genomic DNA) ทำให้ทราบว่าจำนวนชุด (copy number) ของยีนซี-ไฟโคไซยานิน (*cpcBA*) มีเพียงหนึ่งชุด และสามารถวางแผนการตัดด้วยเอนไซม์ตัดจำเพาะ (restriction map) และองค์การ (organization) ของยีนซี-ไฟโคไซยานินได้ดังภาพที่ 3



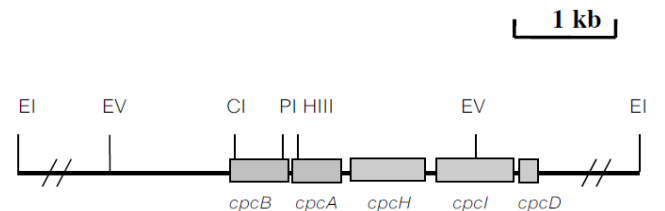
ภาพที่ 1 ยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานินของ *S. platensis* C1
ที่มา: ดัดแปลงจาก Nomsawai และคณะ, 1999



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบลำดับเบสบริเวณโปรโมเตอร์ของ *S. platensis* C1 (*SpI*) กับบริเวณโปรโมเตอร์ ของยีน *cpcBA* gene ของ *Anabaena* 7120 (*Ana*) และ *Cyanophora paradoxa* (*Cya*)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nomsawai และคณะ, 1999

สำหรับยีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อัลโลไฟโคไซยานิน (Allophycocyanin: APC) พบว่ามีทั้งสิ้น 2,400 เบสซึ่งประกอบด้วย 3 โอเพนรีดดิ้งเฟรม (*apcABC*) และจากการทำ southern blot analysis ของจีโนมิก ดีเอ็นเอ พบว่ายีนที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อัลโลไฟโคไซยานินมีเพียงหนึ่งชุดเช่นเดียวกับซี-ไฟโคไซยานิน



ภาพที่ 3 restriction map และ organization ของ *cpc* gene ของ *S. platensis* C1

ที่มา: Nomsawai และคณะ, 1999

เอกสารอ้างอิง Nomsawai et al. 1999. Light regulation of phycobillisome structure and gene expression in *Spirulina platensis* C1 (*Arthrospira* sp. PCC 9438). *Plant Cell Physiol.* 40(12): 1194-1202.

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC) มหาภาพยาราชินีแห่งสารสี (4)

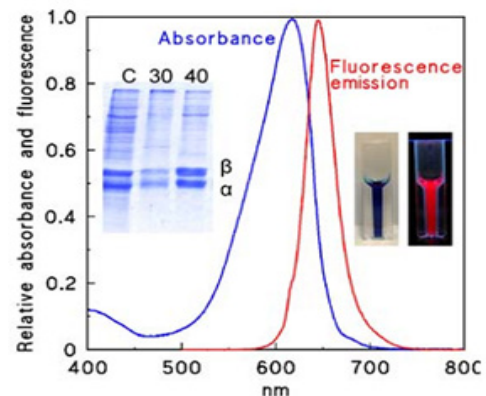
มณฑลย์ เดชสังกรานนท์*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ*

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin) เป็นสารประกอบโปรตีนที่มีสีน้ำเงินครามหรือฟ้าเรืองแสงได้ ละลายน้ำได้ และมีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) คุณสมบัติเหล่านี้แตกต่างกันไปขึ้นกับสายพันธุ์ของสไปรูลินา วิธีการเพาะเลี้ยง วิธีการสกัด และกระบวนการหลังการสกัด ซี-ไฟโคไซยานินสามารถดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่นระหว่าง 615-620 นาโนเมตร และสามารถเรืองแสง (fluorescence emission) ได้ที่ความยาวคลื่นประมาณ 650 นาโนเมตร (ภาพที่ 1) อย่างไรก็ตาม พบว่าน้ำหนักโมเลกุลและความสามารถในการดูดกลืนแสงของซี-ไฟโคไซยานินจะขึ้นอยู่กับการแปรรูปของสารละลาย อุณหภูมิ ความเข้มข้นของโปรตีน และแหล่งที่มาของสาหร่ายด้วย

ซี-ไฟโคไซยานินเป็นชีวโมเลกุลธรรมชาติที่มีคุณสมบัติที่ดีทางชีวภาพหลายประการ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านการแพทย์ คลินิก และเภสัชกรรมได้หลากหลาย คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของซี-ไฟโคไซยานิน คือ คุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เอกสารงานวิจัยหลายฉบับยืนยันว่าซี-ไฟโคไซยานินมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารมาตรฐานหลายชนิด การศึกษาในหลอดทดลองพบว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถกำจัดอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide) ไฮดรอกซิล (hydroxyl) และแอลกอฮอล์ (alkoxyl) ได้เช่นเดียวกับไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl-sulfoxide; DMSO) และทอรอลลอกซ์ (trolox) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอี โดยพบว่าสมบัติในการกำจัดอนุมูลอิสระเกิดจากส่วนของไฟโคไซยานินไบลิน (Phycocyanobilin) เป็นหลัก มีรายงานว่าซี-ไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากเซลล์สดและเซลล์แห้งของสไปรูลินาที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยมีแนวโน้มในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสมบัติการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ส่งผลเสียต่อเยื่อหุ้มเซลล์เนื่องจากทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันจำนวนมากที่ side chain เป็น lipid peroxides ทำให้โครงสร้างและคุณสมบัติทางชีวเคมีของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าส่วนสกัดแอลกอฮอล์จากสไปรูลินาซึ่งประกอบด้วยซี-ไฟโคไซยานินมีความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยาดังกล่าวได้สูงสุด 65 % ซึ่งมากกว่าแอลฟา-โทโคเฟอรอล (α -tocopherol) (35 %), บีตา-แคโรทีน (β -carotene) (45 %) และ บิเอชเอ (BHA) (48 %)

การศึกษาทางคลินิกพบว่า ซี-ไฟโคไซยานินแสดงคุณสมบัติต้านการอักเสบ (anti-inflammatory capacity) เป็นตุ่มเล็ก ๆ ตรงบริเวณรักแร้ (axillae) ของหนูได้แต่พบว่าไม่มีประสิทธิภาพน้อยกว่ายารักษาโรคเหน็บ (Indomethacin) ซึ่งเป็นยามาตรฐานที่ใช้ในการลดการอักเสบ นอกจากนี้มีรายงานว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถป้องกันการอักเสบของซี-ไฟโคไซยานินในถุงเท้าของหนู (in vivo model) โดยการฉีดเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) เข้าไปในถุงเท้าของหนูเพื่อกระตุ้นให้เกิดการอักเสบและเกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และเกิดเป็นอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลซึ่งผลการทดลองพบว่า ซี-ไฟโคไซยานินสามารถกำจัดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($IC_{50} = 0.91$ มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และแอลกอฮอล์ ($IC = 76$ มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) โดยมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับไดเมทิลซัลฟอกไซด์ในปริมาณ 0.125 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นอกจากนี้ยังมีรายงานการรักษามะเร็งของหนูที่ถูกกระตุ้นให้ล่าให้ใหญ่อกแบบ กับพบว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์ myeloperoxidase (MPO) และสามารถควบคุมการอักเสบของลำไส้ได้

นอกจากนี้ซี-ไฟโคไซยานินยังแสดงคุณสมบัติยับยั้งเซลล์มะเร็ง (anticancer capacity) ได้ด้วย การศึกษาในหลอดทดลองโดยการวัดการรอดชีวิต (% of viability) ของ Ehrlich Ascites Carcinoma Cells (EACC) พบว่าเซลล์ที่ให้ซี-ไฟโคไซยานินมีการรอดชีวิตลดลง เมื่อใช้ความเข้มข้นของ



ภาพที่ 1 ช่วงความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสง (absorbance) และเรืองแสง (fluorescence emission) ของซี-ไฟโคไซยานิน

ที่มา: ดัดแปลงจาก Eriksen, 2008

ตารางที่ 1 ค่า MIC ของซี-ไฟโคไซยานินในการยับยั้งแบคทีเรียตัวอย่างบางชนิด

Pathogens	MIC ($\mu\text{g/ml}$) ^a
<i>Escherichia coli</i>	100
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	75
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	50
<i>Staphylococcus aureus</i>	125

MIC minimum inhibitory concentration

^a Values are the mean of 3 replicates using 1×10^3 cells of each culture

ที่มา: Sarada และคณะ, 2011

สารสกัดจากสไปรูลินาเพิ่มขึ้น การศึกษาในเซลล์ไลน์ (cell line) พบว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถลดการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาวขนาดใหญ่ของหนู (Macrophage cell line; RAW264.7) โดยซี-ไฟโคไซยานินสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cyclooxygenase-2 (COX-2) ที่เป็นสาเหตุหลักของการอักเสบและบาดเจ็บของเซลล์ นอกจากนี้มีรายงานว่าซี-ไฟโคไซยานินในปริมาณ 50 ไมโครโมล สามารถลดการเจริญ (proliferation) ของเซลล์มะเร็งในเซลล์ไลน์-K562 อย่างมีนัยสำคัญถึง 49% ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับแอสไพรินและยาต้านการอักเสบแบบที่ไม่ใช่สเตียรอยด์ที่สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งได้ 40-50% การศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว-K562 ชนิดเรื้อรัง พบว่าซี-ไฟโคไซยานินสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งดังกล่าวได้ดี โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 72.5 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ซี-ไฟโคไซยานินแล้วยังมีรายงานว่าพอลิแซ็กคาไรด์หรือแคลเซียมฟอสเฟต (Ca-SP) และสารสกัดนรอนจากสไปรูลินาก็แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเนื้องอกได้เช่นกัน

ในปี ค.ศ. 2011 Sarada และคณะ นักวิจัยจากศูนย์การศึกษาขั้นสูง พฤษศาสตร์ (Centre for Advanced Studies in Botany) แห่งมหาวิทยาลัย มาดราส (University of Madras) ประเทศอินเดีย ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ซี-ไฟโคไซยานินเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียดื้อยา (agent against drug resistant bacteria) ขึ้นเป็นครั้งแรกของโลก ซึ่งรายงานไว้ว่า ซี-ไฟโคไซยานินที่สกัดได้จาก *S. platensis* (Nordstedt) Geitler, Oscillatoriaceae ซึ่งผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้คอลัมน์ชนิด DE-52 anion exchange (% C-PC from total protein, 96.35; Absorbance ratios (A620/A280), 4.69; Yield, 46.67) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* และ *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์ที่ดื้อยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า MIC อยู่ในช่วง 50-125 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (ตารางที่ 1) การค้นพบดังกล่าวส่งผลดีต่อวงการเภสัชกรรมเป็นอย่างมาก เพราะจะช่วยขับเคลื่อนให้เกิดการค้นพบยาตัวใหม่ที่สามารถควบคุมแบคทีเรียดื้อยา ซึ่งกำลังเป็นปัญหาใหญ่ระดับโลกที่รอการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

เอกสารอ้างอิง Eriksen, N.T. 2008. Production of phycocyanin—a pigment with applications in biology, biotechnology, foods and medicine. Appl. Microbiol. Biotechnol. 80: 1–14. • Sanjiv, K.M.S. et al. 2008. Effect of preservatives for food grade C-PC from *Spirulina platensis*. Process Biochem. 43: 339–345. • Sarada, D.V.L. et al. 2011. Purified C-phycocyanin from *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geitler: a novel and potent agent against drug resistant bacteria. World J. Microbiol. Biotechnol. 27: 779–783..

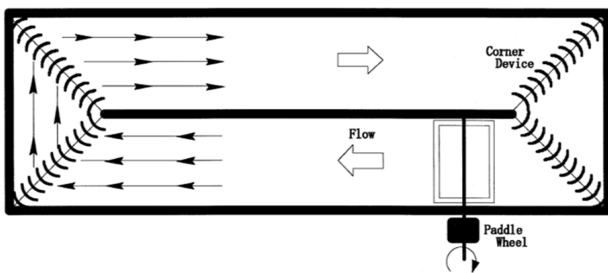
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาकाพย์ราชินีแห่งสารสี (5)

มณฑลย ชัยเดชสงครามนท์*/สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ*

ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงสปิรูลินา (*Spirulina* sp.) เพื่อการผลิตชีวมวล (biomass) และซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin) อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนแถบมหาสมุทรแปซิฟิก เนื่องจากมีแสงแดดซึ่งจัดเป็นแหล่งพลังงานหลักของสปิรูลินาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งพบว่าในแต่ละปีจะมีผลผลิตรวมของสปิรูลินาประมาณ 3,000 ตัน ตัวอย่างผู้ผลิตสปิรูลินาทางการค้า เช่น Spirulina Mexicana SA (เม็กซิโก), Cyanotech Corporation และ Earthrise farms (สหรัฐอเมริกา), Nippon Spirulina Co., Ltd (ญี่ปุ่น), Yunnan Spirin Co., Ltd และ Hainan DIC Microalgae Co., Ltd (จีน) และ Parry Agro Industries Ltd. (อินเดีย) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการผลิตสปิรูลินาทางการค้าในบ่อเพาะเลี้ยงในเรือนกระจก (greenhouse production pond) โดยบริษัท Greek Company Algae A.C. ที่ Nigrita, Serres

การเพาะเลี้ยงสปิรูลินาทางการค้านิยมการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโตโทรฟ (photoautotroph) ในบ่อเปิดแบบรางคู่ (open raceway pond) ที่ไม่มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมใด ๆ บ่อเพาะเลี้ยงจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีการติดตั้งกังหัน (paddle wheels) เพื่อควบคุมการหมุนวนของอาหารเหลวให้มีการกวนผสมแบบปั่นป่วน (turbulent flow) และป้องกันการนอนกันของเซลล์ ดังแสดงในภาพที่ 1 ส่วนภาพที่ 2 แสดงระบบการเพาะเลี้ยงสปิรูลินาทางการค้าเพื่อผลิตเป็นอาหารเสริมสุขภาพ อาหารสัตว์ และสารสีซี-ไฟโคไซยานิน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลักคือการเพาะเลี้ยงสปิรูลินาในบ่อเพาะเลี้ยง (Spirulina culture) การเก็บเกี่ยวชีวมวล (separation) การล้างเซลล์ (washing) การบีบน้ำ (dehydration) การทำแห้ง (drying) และการบรรจุหีบห่อ (packaging) สำหรับอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสปิรูลินานิยมใช้อาหาร Zarrouk medium ซึ่งมีโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) เป็นแหล่งคาร์บอนหลัก และโซเดียมไนเตรด (NaNO_3) เป็นแหล่งไนโตรเจน (อาจใช้อาหารสูตรดัดแปลงในการเพาะเลี้ยงเพื่อลดต้นทุนการผลิต บางพื้นที่มีการใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นจากฟาร์มสุกรหรือปศุสัตว์อื่น ๆ หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารในการเพาะเลี้ยง) โดยการปรับปริมาณแร่ธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง และมักควบคุมให้มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 9.5-10.5 โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการปรับ

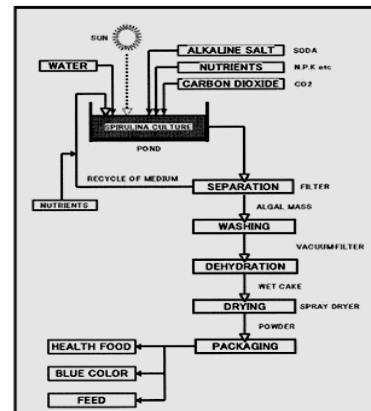


ภาพที่ 1 ลักษณะของบ่อเปิดแบบรางคู่ (open raceway pond) สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ที่มา: Shimamatsu, 2004

เนื่องจากการเพาะเลี้ยงในบ่อเปิดแบบรางคู่ต้องอาศัยแสงแดดจากธรรมชาติ ดังนั้นความสูงของระดับอาหารเหลวในบ่อเพาะเลี้ยงจึงไม่สูงมากนัก ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 10-30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงที่แสงสามารถทะลุผ่านได้และการผสมโดยใช้กังหันดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ การเพาะเลี้ยงแบบนี้แสงจะทะลุผ่านได้ดีในระดับน้ำที่ไม่ลึกมาก หากการกวนผสมไม่ดีพอเซลล์ที่อยู่บริเวณผิวหน้าจะได้รับแสงที่มีความเข้มสูงมากกว่าเซลล์ที่อยู่ด้านล่าง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ได้รับแสงมากเกินไปจึงทำให้เซลล์อ่อนแอลงและตายในที่สุด (photoinhibition)

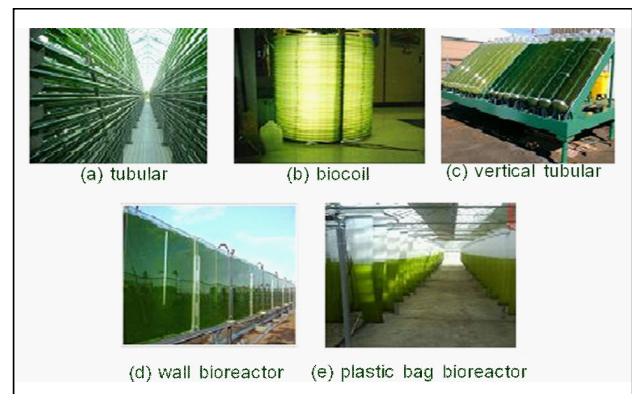
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 ระบบการเพาะเลี้ยงสปิรูลินาทางการค้า

ที่มา: Shimamatsu, 2004

การเพาะเลี้ยงสปิรูลินาภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโตโทรฟ ยังสามารถเพาะเลี้ยงได้ในระดับปิดโดยใช้ถังปฏิกรณ์ปิดแบบให้แสง (enclosed photobioreactor) ซึ่งออกแบบให้มีพื้นที่ผิวในการรับแสงเพิ่มมากขึ้นและสามารถแก้ปัญหาเซลล์สาหร่ายได้รับแสงไม่ทั่วถึงได้ดี โดยเฉพาะในสภาวะที่เซลล์มีความหนาแน่นมากเกินไป ด้วยเหตุนี้การเพาะเลี้ยงสปิรูลินาในถังปฏิกรณ์แบบให้แสง จึงให้ผลผลิตของชีวมวลสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในบ่อเปิดแบบรางคู่ การเพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์แบบให้แสงจะออกแบบให้มีระบบหมุนเวียนอาหารเหลว ระหว่างบริเวณที่ได้รับแสงและไม่ได้รับแสงอย่างทั่วถึง และสามารถลดระยะเวลาในการรับแสงของเซลล์ให้สั้นลง จึงทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเพิ่มขึ้น และการยับยั้งเนื่องจากความเข้มแสงที่มากเกินไปลดลง โดยแหล่งของแสงที่ใช้สามารถใช้ได้ทั้งแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงเทียมจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ หรืออาจให้แสงจากทั้งสองแหล่งร่วมกัน สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการเพาะเลี้ยงสามารถทำได้โดยการวางถังปฏิกรณ์ไว้ในห้องที่มีอุณหภูมิคงที่ อย่างไรก็ตาม ถังปฏิกรณ์แบบให้แสงที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน ผู้ผลิตมักออกแบบให้มีระบบควบคุมอุณหภูมิมาพร้อมกับตัวถังปฏิกรณ์ด้วย ตัวอย่างของถังปฏิกรณ์แบบให้แสงมีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น คอลัมน์ฟองอากาศ (bubble column), คอลัมน์อากาศลอยตัว (airlift column), ถังกวน (stirred-tank), ท่อขด (helical tubular) เป็นต้น (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ถังหมักแบบให้แสง (photobioreactor) สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ที่มา: นิรนาม

เอกสารอ้างอิง Shimamatsu, H. 2004. Mass production of Spirulina, an edible microalga. Hydrobiologia 512: 39-44.

เดือนกรกฎาคม 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม



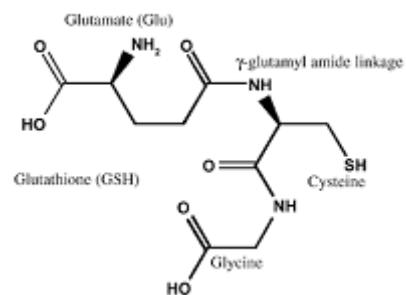
กลูตาไทโอน/Glutathione: เกสส์ภัณฑ์เพื่อผิวขาวแห่งสหัชวรรษ

ลลิตา พลมณี* / สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

กลูตาไทโอน (Glutathione) จัดเป็นสารประเภทที่ทำให้ผิวขาว (whitening agent) มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบโปรตีนประเภทไตรเพปไทด์ที่ละลายน้ำได้ โครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด เชื่อมต่อกัน ได้แก่ ซีสเทอีน ไกลซีน และกรดกลูตามิก ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งร่างกายสามารถผลิตได้เองโดยพบมากในเซลล์ตับ และสามารถพบได้ในพืชผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์บางชนิด โดยเฉพาะหน่อไม้ฝรั่ง อะโวคาโด วอลนัต นม ไข่ สตรอเบอร์รี่ มะเขือเทศ ผักบรอกโคลี และผักโขม เป็นต้น

กลูตาไทโอนมีหน้าที่หลัก คือป้องกันเนื้อเยื่อไม่ให้ถูกทำลายจากสารอนุมูลอิสระที่สะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย จึงจัดเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่สำคัญชนิดหนึ่งของร่างกาย ซึ่งหากขาดไปจะทำให้วิตามินซีและวิตามินอีทำงานได้ไม่เต็มที่ นอกจากนี้ยังช่วยสร้างเอนไซม์ Glutathione-S-transferase ที่ช่วยในการขับสารพิษชนิดไม่ละลายน้ำ (ละลายในน้ำมัน) อาทิ โลหะหนัก สารระเหย ยาฆ่าแมลง สารเคมีต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในอาหาร น้ำดื่ม เป็นต้น ให้กลายเป็นสารที่ไม่อันตรายและสามารถกำจัดออกจากร่างกายได้ง่าย นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการต่อต้านสิ่งแปลกปลอม โดยทั่วไปแล้วร่างกายของคนเราจะไม่ขาดกลูตาไทโอน เนื่องจากสามารถผลิตขึ้นได้เอง โดยภาวะขาดกลูตาไทโอนมักเกิดในกรณีที่ป่วยเป็นโรคบางชนิด ซึ่งเป็นภาวะที่ร่างกายต้องการสารชนิดนี้มากขึ้น หรือโรคที่ด้านการสร้างกลูตาไทโอน เช่น โรคตับ เบาหวาน มะเร็งบางชนิด เอดส์ เป็นต้น และในกรณีที่ผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีโรคประจำตัวจะพบว่ามีระดับกลูตาไทโอนในเลือดต่ำ เนื่องจากมีอัตราการใช้กลูตาไทโอนเพิ่มขึ้น

ทางการแพทย์มีการนำกลูตาไทโอนมาใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ เช่น ภาวะเป็นหมันในเพศชาย มะเร็งกระเพาะอาหาร หรือมะเร็งต่อมลูกหมาก โรคตับ โรคไต เป็นต้น วิธีการรักษามักทำโดยการฉีดเข้าทางหลอดเลือดดำหรือเข้าทางกล้ามเนื้อ ซึ่งผลข้างเคียงที่เกิดจากการฉีดกลูตาไทโอนเข้าเส้นเลือดดำคือ ผู้ป่วยจะมีผิวขาวขึ้น โดยเป็นผลมาจากการที่ กลูตาไทโอนมีคุณสมบัติยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส (tyrosinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับ

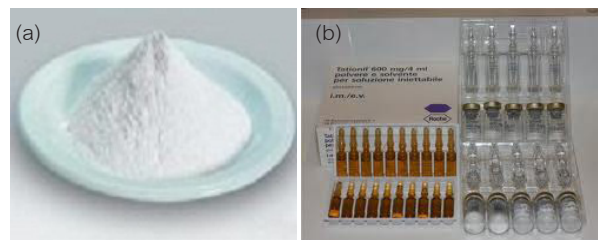


ภาพที่ 1 โครงสร้างของสารกลูตาไทโอน

ที่มา: Dalton และคณะ, 2004

การสร้างเม็ดสีของร่างกาย ส่งผลให้เม็ดสีของผิวหนังอ่อนลงและทำให้ผิวขาวขึ้น จากคุณสมบัตินี้เองจึงมีการนำกลูตาไทโอนมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ความงามเพื่อผิวขาวในรูปแบบต่าง ๆ โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ มักอยู่ในรูปของยาเม็ดหรือยาผงละลายน้ำดื่ม (ภาพที่ 2)

อย่างไรก็ตาม การนำกลูตาไทโอนมาใช้งานเพื่อผิวขาวพบว่า มีข้อพึงระวัง กล่าวคือกลูตาไทโอน มักถูกทำลายในทางเดินอาหารของมนุษย์ ดังนั้นจึงมีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายน้อยมากหรือไม่ดูดซึมเลย ด้วยเหตุนี้การรับประทานกลูตาไทโอนในรูปของยาเม็ดหรือผงละลายน้ำจึงแทบไม่ได้ประโยชน์ใด ๆ เลย ในขณะที่การฉีดเข้าเส้นเลือดดำในปริมาณที่เหมาะสม พบว่า จะให้ผลดีที่สุด โดยปริมาณที่แพทย์อนุญาตให้ใช้คือ ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้เกิดอาการแพ้ยาจนถึงขั้นเสียชีวิตเฉียบพลัน หรือส่งผลในระยะยาว เช่น สะสมในร่างกาย ส่งผลเสียต่อตับและไตได้ ดังนั้นผู้บริโภคควรศึกษาข้อมูลอย่างละเอียดเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากสารพิษชนิดนี้



ภาพที่ 2 (a) กลูตาไทโอนชนิดผงและ (b) ชนิดเหลวฉีดเข้าเส้นเลือด

ที่มา: <http://www.ecvv.com/product/1277169.html>

เอกสารอ้างอิง Pastore, A. et al. 2003. Clin. Chim. Acta 333: 19-39. • Dalton, T.P. et al. 2004. Free Radical Bio. Med. 37: 1511-1526. • <http://www.ecvv.com/product/1277169.html>.

*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนสิงหาคม 2555

การเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร



ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหากาพย์ราชินีแห่งสารสี (6)

มณฑัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

การเพาะเลี้ยงสไปรูลินา (*Spirulina* sp.) เพื่อการผลิตชีวมวล (biomass) และซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin; C-PC) นิยมการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟ (photoautotrophic culture) ซึ่งสามารถเพาะเลี้ยงได้ในระบบเปิดและระบบปิดในบ่อเปิดแบบรางคู่ (open raceway pond) และถังปฏิกรณ์ปิดแบบให้แสง (enclosed photobioreactor) ตามลำดับ โดยตารางที่ 1 สรุปข้อดีและข้อจำกัดของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเปิดแบบรางคู่ เปรียบเทียบกับถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสงชนิดต่าง ๆ ซึ่งพบว่า การเพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์แบบให้แสงจะให้ผลผลิตของสาหร่ายสูงกว่าบ่อเปิดแบบรางคู่ เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ของการเพาะเลี้ยงในบ่อเปิดแบบรางคู่ที่มีข้อด้อยหลายประการ อาทิ ต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมาก ประสิทธิภาพในการรับแสงของเซลล์สาหร่ายต่ำ การระเหยของของเหลวมีสูง การสูญเสียก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศมีมาก และมักพบการปนเปื้อนของแมลงและสัตว์น้ำขนาดเล็ก นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์ปิดแบบให้แสง ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิและปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดีกว่า จึงช่วยปรับปรุงอัตราการผลิตชีวมวลให้ดีขึ้น

ตารางที่ 1 ข้อดีและข้อจำกัดของถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบให้แสงสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กจากไซโลส

Culture systems	Prospects	Limitations
Open ponds	Relatively economical, easy to clean up after cultivation, good for mass cultivation of algae	Little control of culture conditions, difficulty in growing algal cultures for long periods, poor productivity, occupy large land mass, limited to few strains of algae, cultures are easily contaminated
Vertical-column photobioreactors	High mass transfer, good mixing with low shear stress, low energy consumption, high potentials for scalability, easy to sterilize, readily tempered, good for immobilization of algae, reduced photoinhibition and photo-oxidation	Small illumination surface area, their construction require sophisticated materials, shear stress to algal cultures, decrease of illumination surface area upon scale-up
Flat-plate photobioreactors	Large illumination surface area, suitable for outdoor cultures, good for immobilization of algae, good light path, good biomass productivities, relatively cheap, easy to clean up, readily tempered, low oxygen build-up	Scale-up require many compartments and support materials, difficulty in controlling culture temperature, some degree of wall growth, possibility of hydrodynamic stress to some algal strains
Tubular photobioreactors	Large illumination surface area, suitable for outdoor cultures, fairly good biomass productivities, relatively cheap	Gradients of pH, dissolved oxygen and CO ₂ along the tubes, fouling, some degree of wall growth, requires large land space

ที่มา: Ugwu และคณะ, 2008

อย่างไรก็ตาม พบว่าการเพาะเลี้ยงในบ่อเปิดแบบรางคู่ยังคงได้รับความนิยมเรื่อยมา ทั้งนี้เนื่องจากการขยายขนาดและการก่อสร้างทำได้ง่าย อีกทั้งการดูแลรักษาบ่อเพาะเลี้ยงไม่ยุ่งยากที่สำคัญคือต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์แบบให้แสงค่อนข้างมาก จากที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่าการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟมีความเหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบการผลิตแบบบ่อเปิด (open pond production system) ระบบถังปฏิกรณ์ปิดแบบให้แสง (closed photobioreactor system) และระบบการผลิตแบบลูกผสม (hybrid production system) โดยแต่ละระบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสาหร่าย และสภาพของพื้นที่ในการเพาะเลี้ยง เป็นต้น

นอกจากการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟแล้ว สไปรูลินายังสามารถเจริญเติบโตได้ภายใต้สภาวะการเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟ (heterotrophic culture) และการเพาะเลี้ยงแบบมิกโซโทรฟ (mixotrophic culture) เช่นเดียวกับสาหร่ายชนิดอื่น ๆ โดยที่การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟสาหร่ายจะใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งของอาหารเพื่อการเจริญเติบโต ในขณะที่การเพาะเลี้ยงแบบมิกโซโทรฟเป็นการรวมกันระหว่างการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟและเฮเทอโรโทรฟเข้าด้วยกัน โดยสาหร่ายจะได้พลังงานจากการสังเคราะห์แสงและสาร-

อินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเพาะเลี้ยง ตารางที่ 2 ได้สรุปความแตกต่างของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตแบบโฟโตออโทรฟ เฮเทอโรโทรฟ และมิกโซโทรฟ

ตารางที่ 2 ความแตกต่างของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

Growth	Sun light, hy	Organic source of carbon, glucose	Inorganic source of carbon, CO ₂
Photoautotrophic	Yes	No	Yes
Heterotrophic	No	Yes	No
Mixotrophic	Yes	Yes	Yes

ที่มา: Chojnacka และ Zielińska, 2012

จากการตรวจเอกสารพบว่าการเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟและมิกโซโทรฟจะให้อัตราการผลิตเซลล์ (cell productivity) มากกว่าการเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟ โดยที่การเพาะเลี้ยงแบบมิกโซโทรฟสไปรูลินาจะมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด ซึ่งการเพาะเลี้ยงแบบนี้จะมีข้อดีหลายประการ อาทิ อัตราการผลิตชีวมวลสูง สามารถเพาะเลี้ยงได้ดีภายใต้ความเข้มข้นของเซลล์สูง ๆ และสามารถรักษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการเพาะเลี้ยงแบบมิกโซโทรฟก็ยังคงมี กล่าวคือ เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่มีการเจริญเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟ โดยเฉพาะหากมีการขยายขนาดการเพาะเลี้ยงในขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งมักพบการปนเปื้อนของแบคทีเรียประเภท นอน-โฟโตออโทรฟ (non-photoautotrophic bacteria) โดยแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวที่สามารถปฏิบัติได้ง่าย คือ ฆ่าเชื้ออาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงควบคุมสภาวะการเพาะเลี้ยงให้อยู่ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ ใช้ความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้นสูง ๆ ใช้แหล่งคาร์บอนอินทรีย์ชนิดพิเศษ (เอทานอล หรือ แอสซิเทต) และเติมยาปฏิชีวนะลงในอาหารเพาะเลี้ยง เป็นต้น

จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาแบบเฮเทอโรโทรฟและมิกโซโทรฟ จะประสบความสำเร็จในแง่ของการผลิตชีวมวล แต่ก็มักพบว่าการเพาะเลี้ยงโดยวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะหากมีการขยายขนาดกำลังผลิตในระดับที่ใหญ่ขึ้น อีกทั้งแนวโน้มการผลิตซี-ไฟโคไซยานินภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟและมิกโซโทรฟ มักจะมีอัตราการผลิตที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับ การเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟ โดยเฉพาะการเพาะเลี้ยงแบบเฮเทอโรโทรฟพบว่าสไปรูลินาจะมีอัตราการผลิตตรงตัวเฉลี่ยเพียง 0.01 กรัม/ลิตร/วัน ด้วยเหตุนี้จึงมักพบรายงานวิจัยการผลิตซี-ไฟโคไซยานินภายใต้การเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโทรฟอยู่เสมอ

เอกสารอ้างอิง Eriksen, N.T. 2008. foods and medicine. Appl. Microbiol. Biotechnol. 80: 1-14. • Chojnacka, K. and A. Noworyta. 2004. Enzyme Microb. Technol. 34(5): 461-465. • Chojnacka, K. and A. Zielińska. 2012. World J. Microb. Biotechnol. 28(2): 437-445. • Ugwu et al. 2008. Bioresour. Technol. 99: 4021-4028.

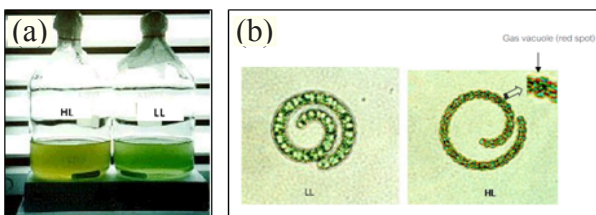
* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพยราซีนีแห่งสารสี (7)

มณฑัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

การสร้างชีวมวล (biomass) และการสะสม ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin; C-PC) ของสไปรูลินา (*Spirulina* sp.) ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมทางกายภาพและเคมีหลายประการ อาทิ สายพันธุ์ของสาหร่าย อุณหภูมิ ความเข้มแสง คุณภาพแสง ระยะเวลาในการให้แสง ค่าพีเอช ความเข้มข้นของเกลือ อัตราการเติมอากาศ อัตราการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ ความเข้มข้นของไนโตรเจน อายุของกล้าเชื้อ ปริมาณกล้าเชื้อ และการกวนผสม เป็นต้น ซึ่งพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดต่อการสะสมซี-ไฟโคไซยานิน คือ ความเข้มแสง และความเข้มข้นของไนโตรเจน

จากรายงานวิจัยของนักเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พบว่าการเพาะเลี้ยง *S. platensis* CI (*Arthrospira* sp. PCC 9438)/Pasteur Culture Collection ในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย modified Zarrouk's medium (no addition of TiSO_4) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และมีการกวนอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ภายใต้สภาวะการให้แสงแตกต่างกัน 4 สภาวะ คือ 1) เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสง 50 (low light) ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที 2) เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสง 500 (high light) ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที 3) เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำแล้วเปลี่ยนไปให้ความเข้มแสงสูงทันที และ 4) เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงแล้วเปลี่ยนไปให้ความเข้มแสงต่ำทันที พบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (LL; 50 ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที) สาหร่ายจะมีสีเขียวแกมน้ำเงิน ในขณะที่การเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง (HL; 500 ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที) สาหร่ายจะมีสีเหลือง ดังภาพที่ 1 (a) จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อการสะสมรงควัตถุต่าง ๆ ของสไปรูลินา



ภาพที่ 1 (a) ลักษณะสัณฐานวิทยาของ *S. platensis* CI และ (b) ลักษณะของ *S. platensis* CI ภายใต้ phase contrast microscope เมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง (HL; 500 ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที) และ ความเข้มแสงต่ำ (LL; 50 ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nomsawai และคณะ, 1999

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเห็นได้ชัดเจนในการทดลองที่เปลี่ยนจากการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง ซึ่งเซลล์จะมีสีเหลืองแล้วจะเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวแกมน้ำเงินเมื่อเปลี่ยนมาเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ ในขณะที่เดียวกันเซลล์จะเปลี่ยนจากสีเขียวแกมน้ำเงินไปเป็นสีเหลืองเมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำแล้วเปลี่ยนไปเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวพบว่าการเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ (carotenoid) และไฟโคไบลิโสม (phycobilisome) เช่นเดียวกับที่พบในสาหร่ายชนิดอื่น

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

นอกจากนี้พบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงเซลล์จะมีจำนวนของ gas vacuoles มากกว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 1 (b) โดยจะพบอยู่บริเวณรอบ ๆ เยื่อหุ้มเซลล์ แสดงให้เห็นว่าปริมาณ gas vacuoles ที่เพิ่มมากขึ้นนี้เพื่อประโยชน์ในการป้องกันเซลล์จากแสงมากกว่าการลดตัวของเซลล์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณแสงที่อาจจะไปทำลายส่วนรับแสง (light harvesting complex) และเป็นผลให้เกิด photobleaching แก่

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของรงควัตถุ สารประกอบทางชีวเคมี และเวลาที่วิวัฒนาการของ *S. platensis* CI เมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง (HL; 500 ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที) และความเข้มแสงต่ำ (LL; 50 ไมโครโวลต์/ตารางเมตร/วินาที)

	High Light (500 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Low Light (50 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Chl a ($\mu\text{g/KU}$)	0.025 $\pm$ 0.001	0.055 $\pm$ 0.001
PC ($\mu\text{g/KU}$)	0.082 $\pm$ 0.002	0.280 $\pm$ 0.019
AP ($\mu\text{g/KU}$)	0.049 $\pm$ 0.001	0.148 $\pm$ 0.010
PBP ($\mu\text{g/KU}$)	0.138 $\pm$ 0.008	0.427 $\pm$ 0.029
SP ($\mu\text{g/KU}$)	0.280 $\pm$ 0.028	0.586 $\pm$ 0.059
TP ($\mu\text{g/KU}$)	0.642 $\pm$ 0.025	1.003 $\pm$ 0.071
Gly ($\mu\text{g/KU}$)	0.359 $\pm$ 0.015	0.212 $\pm$ 0.005
PC/AP	1.7 $\pm$ 0.011	1.9 $\pm$ 0.009
Doubling time	21-24 h	31-34 h

All values are given as means $\pm$ ISD of 3 independent experiments. Chl a, chlorophyll a; PC, phycocyanin; AP, allophycocyanin; PBP, phycobiliproteins (PC+APC); SP, soluble protein; TP, total protein; Gly, glycogen.

ที่มา: Nomsawai และคณะ, 1999

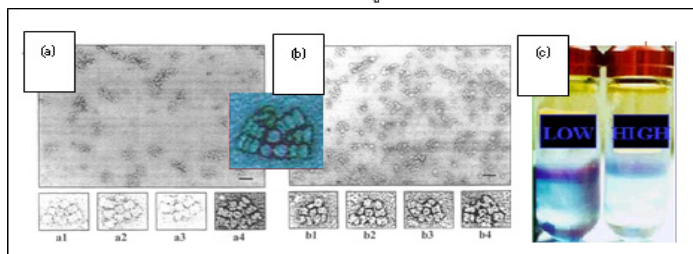
นอกจากจะมีอิทธิพลต่อการสะสมของรงควัตถุแล้ว ความเข้มแสงยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเซลล์ของสไปรูลินาอีกด้วย (ตารางที่ 1) การเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงสไปรูลินาจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยมีเวลาทวีคูณ (doubling time) ประมาณ 21-24 ชั่วโมง ในขณะที่การเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำสไปรูลินาจะเจริญเติบโตได้ช้ากว่า โดยมีเวลาทวีคูณประมาณ 31-34 ชั่วโมง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงสไปรูลินาจะมีการสะสมคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a) ไฟโคไบลิโปรตีน โปรตีนละลาย (soluble protein) และโปรตีนทั้งหมด (total protein) ไว้ภายในเซลล์น้อยกว่าเซลล์ที่เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำประมาณ 3-3.4 เท่า โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงการเพาะเลี้ยงจากความเข้มแสงสูงไปเป็นความเข้มแสงต่ำ การสะสมรงควัตถุต่าง ๆ จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ปริมาณโปรตีนละลายและโปรตีนทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเกิดจากปริมาณไฟโคไบลิโปรตีนที่เพิ่มมากขึ้นนั่นเอง ในขณะที่การเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำแล้วเปลี่ยนไปเป็นความเข้มแสงสูง ปริมาณรงควัตถุภายในเซลล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนโปรตีนละลายและโปรตีนทั้งหมดพบว่าจะลดลงน้อยกว่าสภาวะการเพาะเลี้ยงที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ ทั้งนี้เนื่องจากไฟโคไบลิโปรตีน ถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตในสภาวะที่ความเข้มแสงสูง ๆ และพบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงสไปรูลินาจะมีการสะสมไกลโคเจน (glycogen) มากกว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ

เอกสารอ้างอิง Nomsawai et al. 1999. Light regulation of phycobilisome structure and gene expression in *Spirulina platensis* CI (*Arthrospira* sp. PCC 9438). Plant Cell Physiol. 40(12): 1194-1202.

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพยราซีนีแห่งสารสี (8)

มณฑัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

อิทธิพลของความเข้มแสงต่อการสะสมซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin; C-PC) ของสไปรูลินา (Spirulina sp.) สามารถอธิบายได้โดยภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยพบว่าความเข้มแสงมีผลโดยตรงต่อขนาดและจำนวนของไฟโคไบลิโซม (Phycobilisome) ที่อยู่ภายในเซลล์ของสไปรูลินา จากภาพที่ 1 (a) และ 1 (b) พบว่าลักษณะการจัดเรียงตัวของไฟโคไบลิโซมภายในเซลล์ของ *S. platensis* CI เป็นแบบ hemidiscoidal shape ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ แกน/core และ แท่ง/rod โดยส่วนของแกนประกอบด้วยอัลโลไฟโคไซยานิน (Allophycocyanin; APC) จำนวน 3 หน่วยรวมตัวกันอยู่ตรงกลาง และส่วนที่เป็นแท่งที่ประกอบด้วยโมเลกุลของซี-ไฟโคไซยานินเรียงตัวมีลักษณะเป็นรูปพัดจำนวน 6 แท่ง อยู่ด้านนอกของแกน โดยพบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (50 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) (ภาพที่ 1 (a)) ขนาดของไฟโคไบลิโซมจะใหญ่กว่าและสมบูรณ์กว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง (500 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) (ภาพที่ 1 (b)) นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มแสงยังมีผลต่อปริมาณซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin) หรือจำนวนแท่งบนไฟโคไบลิโซม โดยพบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำไฟโคไบลิโซมจะมีจำนวนแท่งและแผ่น/discs มากกว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง ส่วนภาพที่ 1 (c) แสดงผลการทำ sucrose gradient ของไฟโคไบลิโซมที่แยกได้จากเซลล์ *S. platensis* CI ซึ่งพบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงจะมีค่าความหนาแน่นของตะกอน/sediment density ต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ แสดงให้เห็นว่าไฟโคไบลิโซมของเซลล์ที่เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงมีขนาดเล็กกว่านั่นเอง

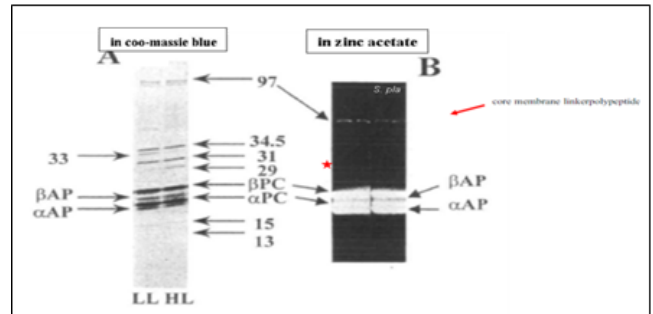


ภาพที่ 1 ลักษณะการจัดเรียงตัวของไฟโคไบลิโซมของ *S. platensis* CI แบบ hemidiscoidal shape ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเมื่อเพาะเลี้ยง (162,000 x) (a) ภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (LL; 50 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) (b) ภายใต้ความเข้มแสงสูง (HL; 500 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) เส้นตรงมีขนาดเท่ากับ 50 nm และ (c) ผลการทำ sucrose gradient ของไฟโคไบลิโซมที่แยกได้จากเซลล์ *S. platensis* CI ที่เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำและสูง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nomsawai และคณะ, 1999

ผลของความเข้มแสงต่อองค์ประกอบไฟโคไบลิโซมและการตอบสนองของไฟโคไบลิโซมสามารถอธิบายได้ ดังภาพที่ 2 ซึ่งพบว่าเมื่อนำไฟโคไบลิโซมที่แยกได้จาก *S. platensis* CI ที่เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำและสูงมาวิเคราะห์ขนาดโปรตีนโดยเทคนิค SDS-PAGE พบว่ามีโปรตีน 3 ชนิดที่สามารถเรืองแสงได้ เนื่องจากมีโครงสร้างของโครโมฟอร์ (chromophore) ที่สามารถเกาะกับไอออนสังกะสี/zinc ion ในสารละลายที่ใช้ย้อมได้ ซึ่งได้แก่หน่วยย่อยแอลฟาและบีตา (α และ β subunit) ของซี-ไฟโคไซยานิน (18-19 kDa) และพอลิเพปไทด์ตัวเชื่อมโยนเมมเบรนของแกน (core membrane linker polypeptide, 97 kDa) และพบโปรตีนอีก 5 ชนิด ที่ทำหน้าที่เป็นพอลิเพปไทด์ตัวเชื่อมโยน/linker polypeptide ที่ไม่มีโครโมฟอร์เกาะอยู่ โดยมีขนาด 34.5 33 31 15 และ 13 kDa ซึ่งเป็นโปรตีนสำหรับเชื่อม rod-rod, rod-core และ core-core การเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูงจะพบองค์ประกอบของโปรตีนเหมือนกับที่

เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ ยกเว้นโปรตีนขนาด 33 kDa ซึ่งเป็นโปรตีนสำหรับตัวเชื่อมโยนแท่ง-แท่ง/rod-rod linker แต่จะพบโปรตีนที่มีขนาด 29 kDa แทน ซึ่งยังไม่ทราบหน้าที่แน่นอนของโปรตีนดังกล่าวว่ามีหน้าที่อย่างไรต่อไฟโคไบลิโซม



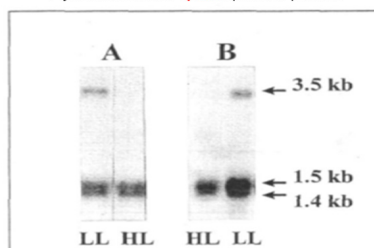
ภาพที่ 2 ผลการทำ SDS-PAGE ของไฟโคไบลิโซมที่แยกมาจากเซลล์ของ *S. platensis* CI เมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (LL; 50 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) และความเข้มแสงสูง (HL; 500 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nomsawai และคณะ, 1999

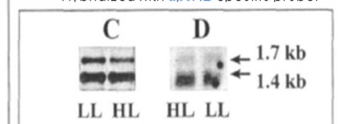
เมื่อพิจารณาผลของความเข้มแสงต่อการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานิน (*cpc*) และอัลโลไฟโคไซยานิน (*apc*) ในระดับการถอดรหัส (transcription) พบว่าการเพาะเลี้ยง *S. platensis* CI ภายใต้ความเข้มแสงต่ำจะพบ mRNA ที่มีความจำเพาะต่อยีน *cpc* จำนวน 3 ชนิด โดยมีขนาดเท่ากับ 1.4 1.5 และ 3.5 กิโลเบส ตามลำดับ และมักพบ mRNA ขนาด 1.4 และ 1.5 กิโลเบส มากกว่าขนาด 3.5 กิโลเบส เสมอ สำหรับยีน *apc* พบ mRNA ที่มีความจำเพาะต่อยีน *apc* เพียง 2 ชนิดคือ 1.4 และ 1.7 กิโลเบส โดยจะพบทั้งการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำและความเข้มแสงสูง โดยที่การถอดรหัสของ mRNA ขนาด 1.4 กิโลเบส จะพบมากกว่า mRNA ขนาด 1.7 กิโลเบส และพบว่าการเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำจะเหนี่ยวนำให้มีการแสดงออกของยีนทั้งสองชนิดมากกว่าที่ความเข้มแสงสูง

จากการเปลี่ยนแปลงขนาด จำนวน และองค์ประกอบของไฟโคไบลิโซม รวมถึงการแสดงออกของยีนที่ควบคุมการสังเคราะห์ซี-ไฟโคไซยานิน (*cpc*) ในระดับการถอดรหัส เมื่อเพาะเลี้ยง *S. platensis* CI ภายใต้ความเข้มแสงที่แตกต่างกันสรุปได้ว่า ความเข้มแสงมีอิทธิพลต่อการสะสมซี-ไฟโคไซยานินอย่างยิ่งยวด โดยที่การเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำจะส่งเสริมให้สไปรูลินามีการสะสมซี-ไฟโคไซยานินในปริมาณสูง

Hybridized with *cpcA* specific probe.



Hybridized with *apcAB* specific probe.



ภาพที่ 3 ผลการทำ northern hybridization ของ total RNA ที่แยกได้จากเซลล์ของ *S. platensis* CI เมื่อเพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (LL; 50 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) และความเข้มแสงสูง (HL; 500 ไมโครไฮสโตม/ตารางเมตร/วินาที) (A) และ (C) เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงต่ำ (LL) แล้วเปลี่ยนเป็นความเข้มแสงสูง (HL) ทันที ; (B) และ (D) เพาะเลี้ยงภายใต้ความเข้มแสงสูง (HL) แล้วเปลี่ยนเป็นความเข้มแสงต่ำ (LL) ทันที

ที่มา: Nomsawai และคณะ, 1999

เอกสารอ้างอิง Nomsawai et al. 1999. Light regulation of phycobilisome structure and gene expression in *Spirulina platensis* CI (*Arthrospira* sp. PCC 9438). Plant Cell Physiol. 40(12): 1194-1202.

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพยาราชินีแห่งสารสี (9)

มณฑล เดชสังกรานนท์*/ สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

สไปรูลินา (*Spirulina* sp.) ประกอบด้วยซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin; C-PC) ในปริมาณสูงและสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายไม่ยุ่งยาก จึงมีการเพาะเลี้ยงสไปรูลินาทางการค้าเพื่อผลิตเป็นผงซี-ไฟโคไซยานินสำหรับงานทางด้านอาหาร เครื่องสำอาง และการแพทย์ อย่างแพร่หลาย เนื่องจากซี-ไฟโคไซยานินเป็นสารประกอบโปรตีนที่อยู่ภายในเซลล์ ดังนั้น การสกัดแยกซี-ไฟโคไซยานินจากสไปรูลินาจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการทำให้ผนังเซลล์แตก (cell wall disruption) โดยผนังเซลล์ของสไปรูลินามีลักษณะคล้ายกับแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วย 4 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 1 ชั้นนอกสุด (layer IV) ประกอบด้วย lipopolysaccharides (LPS) ชั้น Layer III ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีน ชั้น Layer II เป็นชั้นที่แข็งแรงที่สุดประกอบด้วยโมเลกุลของเพปติโดไกลแคน (peptidoglycan) ส่วนชั้นในสุด Layer I จะมี β -1,2-glucan เป็นองค์ประกอบ

การสกัดซี-ไฟโคไซยานินนั้นสามารถสกัดได้ทั้งเซลล์สดและเซลล์แห้งแต่เซลล์สดจะให้ผลผลิตของซี-ไฟโคไซยานินมากกว่า และพบว่ามีวิธีการอบแห้งสไปรูลินาทำให้ซี-ไฟโคไซยานินสูญเสียไปประมาณ 45-50 % (ตารางที่ 1) วิธีการทำให้ผนังเซลล์สไปรูลินาแตกสามารถทำได้หลายวิธี อาทิ การแช่เยือกแข็งสลับกับการละลาย (repeatedly freezing and thawing) การใช้คลื่นอัลตราโซนิก (sonication) การใช้เม็ดทรายละเอียด (glass bead homogenization) และการใช้ไลโซไซม์ (lysozyme) เป็นต้น โดยสารละลายสกัดที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ หรือแอมโมเนียมซัลเฟต($(NH_4)_2SO_4$) ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์

การทำให้ผนังเซลล์แตกโดยการแช่เยือกแข็งสลับกับการละลายเกิดจากผลึกน้ำแข็งและการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่เยือกแข็งไปบดผนังเซลล์แล้วทำให้ผนังเซลล์เกิดรูรั่ว (transient pores) เป็นผลให้เอนไซม์และโปรตีนต่าง ๆ ภายในเซลล์แพร่ออกสู่ภายนอกเซลล์ โดยอัตราการแพร่จะขึ้นอยู่กับอัตราการละลายน้ำแข็ง (rate of thawing) และความคงตัวของรูรั่วภายในเซลล์ โดยที่บริเวณผิวนอกจะมีอัตราการละลายน้ำแข็งสูงกว่าบริเวณด้านใน และพบว่าการละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้รูรั่วภายในเซลล์คงตัวได้นานกว่าการละลายโดยใช้อุณหภูมิสูง

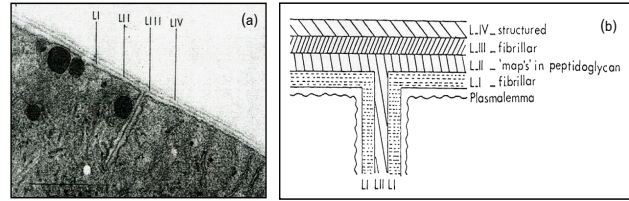
การใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่มีความยาวคลื่นเสียงสูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต จะทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนและเกิดเป็นฟองอากาศขนาดเล็กขึ้นในสารแขวนลอยของสาหร่ายและภายในเซลล์สาหร่าย เรียกปรากฏการณ์ดังกล่าวว่า "cavitation" เมื่อฟองอากาศถูกสร้างขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นจนแตกสลาย ผลที่ตามมาคือจะเกิดคลื่นสะท้อน (shock wave) อย่างรุนแรง ณ จุดต่าง ๆ ทั้งภายในเซลล์และนอกเซลล์ของสาหร่าย ทำให้เกิดความแตกต่างของแรงเฉือน ณ จุดต่าง ๆ ซึ่งกระทำต่อเซลล์จึงทำให้ผนังเซลล์ฉีกขาดในที่สุด โดยประสิทธิภาพในการทำให้ผนังเซลล์แตกขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นเสียงที่ใช้ อย่างไรก็ตาม พบว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับการใช้เม็ดทรายละเอียดจะให้ประสิทธิภาพในการทำลายผนังเซลล์ดีกว่าการใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 1 สภาวะการอบแห้ง *S. platensis* ต่อองค์ประกอบของชีวมวลสดและชีวมวลอบแห้งและค่าความบริสุทธิ์ของซี-ไฟโคไซยานิน

Drying methods	Temperature (°C)	Time (h)	Moisture (%DW)	Protein (%DW)	Phycocyanin (%DW)	Phycocyanin recovery (%)	Purity ratio of crude extract	Amount of phycocyanin in crude extract (mg mL ⁻¹)
Fresh			74.7±1.0	55.8±1.3	204±0.7	100	1.04±0.07	1.09±0.32
Freeze dried	-80	8	62±0.3	53.0±2.4	200±1.2	99.7	0.77±0.04	1.33±0.16
Sun dried	30-35	7	93±0.2	53.9±2.7	190±0.9	95.1	0.76±0.02	1.25±0.02
Oven dried	70	7	69±0.1	55.4±1.8	4.1±0.3	20.1	0.19±0.01	0.24±0.03

In this table and subsequent table, values are expressed as mean ± SD of n=2.

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nomsawai และคณะ, 1999



ภาพที่ 1 (a) โครงสร้างผนังเซลล์ของ *S. platensis* จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และ (b) แบบจำลองโครงสร้างผนังเซลล์ของ *S. platensis*

ที่มา: Van Eykelenburg, 1977

การใช้ไลโซไซม์มีกลไกทำลายผนังเซลล์คือ ไลโซไซม์จะย่อยสลายผนังเซลล์ชั้น L.II ซึ่งเป็นชั้นที่มีความแข็งแรงมากที่สุดของผนังเซลล์สไปรูลินา โดยไลโซไซม์จะตัดพันธะ β -1,4-glucosidic ในโมเลกุลของเพปติโดไกลแคน อย่างไรก็ตาม การจะทำลายผนังเซลล์ชั้นดังกล่าวได้นั้นจะต้องทำลายผนังเซลล์ชั้นนอกก่อน เพื่อเปิดทางให้ไลโซไซม์สามารถเข้าถึงชั้นของเพปติโดไกลแคนได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวหรือสารกำจัดไขมันเป็นต้น

มีรายงานการศึกษาการสกัดซี-ไฟโคไซยานินโดยใช้เซลล์แขวนลอยของแบคทีเรีย *Klebsiella pneumoniae* ผสมกับเซลล์แขวนลอยของ *Spirulina platensis* เพื่อทำการสกัดและเก็บเกี่ยวซี-ไฟโคไซยานิน พบว่าวิธีการดังกล่าวจะให้ส่วนสกัดหยาบของซี-ไฟโคไซยานินที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับได้ และมีความสะดวกรวดเร็วเหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม เมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดโดยใช้วิธีอื่น ๆ พบว่าการสกัดโดยใช้แบคทีเรียจะให้ประสิทธิภาพการสกัด (extraction efficiency) ความเข้มข้นของซี-ไฟโคไซยานิน (phycocyanin concentration) และค่าความบริสุทธิ์ (purity) สูงกว่าการใช้วิธีการแช่เยือกแข็งสลับกับการละลาย การใช้คลื่นอัลตราโซนิก การใช้เม็ดทรายละเอียด และการใช้ไลโซไซม์ โดยกลไกการสกัดโดยใช้แบคทีเรียสันนิษฐานว่าเกิดจากการทำงานของไลโซไซม์และเอนไซม์ที่ปลดปล่อยออกมาจากเซลล์ของแบคทีเรีย

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสกัดซี-ไฟโคไซยานินจากสาหร่าย *S. platensis*

Extract methods	Extraction efficiency (%)	Phycocyanin concentration (mg/ml) 250 mg dry weight:10 ml	Purity ratio (A _{615nm})	Time (h)
Treated <i>K. pneumoniae</i>	91.00±2.95a (++)	4.12±0.12a	1.09±0.08a	20-30
Lysozyme (2 mg/g wet weight)	89.34±3.17a	4.08±0.08a	1.07±0.06a	24-30
Freeze-thaw (repeated four times from -20°C to 25°C)	90.89±3.02a	4.03±0.17a	1.08±0.09a	72
Glass bead grinding (0.5 mm diameter)	52.77±5.17b	2.25±0.10b	0.30±0.05b	4
Sonication (continued for 5 min, frequency: repeated eight times)	42.65±4.34c	2.13±0.09b	0.25±0.04b	0.66

ที่มา: ดัดแปลงจาก Zhu และคณะ, 2007

อย่างไรก็ตาม การทำให้เซลล์สไปรูลินาแตกเพื่อการสกัดซี-ไฟโคไซยานิน สามารถใช้หลาย ๆ วิธีร่วมกัน ซึ่งมักพบว่าจะให้ประสิทธิภาพในการทำลายผนังเซลล์และสามารถสกัดซี-ไฟโคไซยานินได้ดีกว่าการใช้เพียงวิธีเดียว ซึ่งหลังจากทำให้ผนังเซลล์สไปรูลินาแตก ของเหลวที่เหลือจะประกอบด้วยเศษเซลล์ รังควาญต่าง ๆ และองค์ประกอบทางเคมีของเซลล์ จากนั้นจะแยกเศษเซลล์ขนาดใหญ่โดยการกรองหรือการปั่นเหวี่ยงหรืออาจใช้วิธีตกตะกอนโปรตีนด้วยเกลือแอมโมเนียมหรือกรดอินทรีย์เพื่อแยกโปรตีนปนเปื้อนออกจากซี-ไฟโคไซยานิน แล้วจึงนำซี-ไฟโคไซยานินหยาบ (crude C-Phycocyanin) ที่ได้ไปทำบริสุทธิ์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง Chaiklahan et al. 2011. Separation and purification of phycocyanin from *Spirulina* sp. using a membrane process. *Bioresour. Technol.* 102: 7159-7164. • Van Eykelenburg, C. 1977. On the morphology and ultrastructure of the cell wall of *Spirulina platensis*. *A Van Leeuw. J. Microb.* 43: 89-99. • Zhu et al. 2007. A simple method for extracting C-phycocyanin from *Spirulina platensis* using *Klebsiella pneumoniae*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 74: 244-248.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin: C-PC): มหาภาพยาราชินีแห่งสารสี (10)

มณชัย เดชสังกรานนท์* / สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

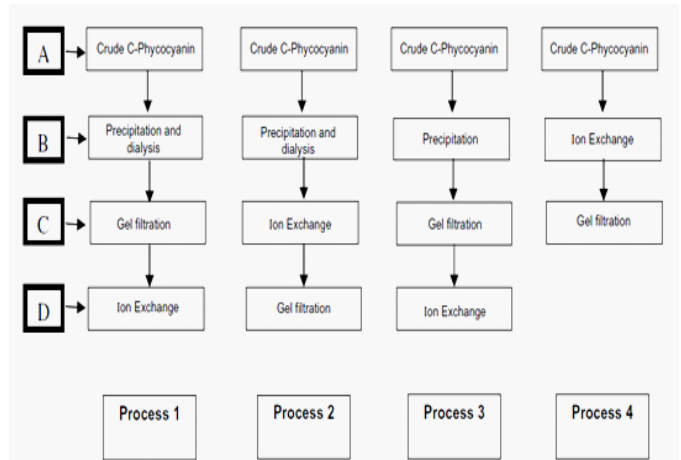
ความบริสุทธิ์ (purification) ของซี-ไฟโคไซยานิน (C-Phycocyanin; C-PC) สามารถประเมินได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น A620/A280 หากอัตราส่วนดังกล่าวเท่ากับ 0.7 จะจัดอยู่ในเกรดอาหาร (food grade) หากเท่ากับ 3.9 จะจัดอยู่ในเกรดทำปฏิกิริยา (reactive grade) และหากมากกว่า 4.0 จะจัดอยู่ในเกรดวิเคราะห์ (analytical grade) โดยทั่วไปแล้วกระบวนการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินจากสไปรูลิน่า (*Spirulina* sp.) จะอาศัยเทคนิคต่าง ๆ หลายขั้นตอน อาทิ การทำลายผนังเซลล์ (cell wall disruption) การตกตะกอน (precipitation) การปั่นเหวี่ยง (centrifugation) การทำไดอะไลซิส (dialysis) โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange chromatography) และ โครมาโทกราฟีแบบกรองเจล (gel filtration chromatography) เนื่องจากกระบวนการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินใช้เวลาค่อนข้างมากและมีต้นทุนค่อนข้างสูง ดังนั้นการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินจึงต้องคำนึงถึงงานที่นำไปใช้ เพราะในแต่ละงานต้องการความบริสุทธิ์ต่างกันและมีต้นทุนการผลิตแตกต่างกันด้วย นักทำบริสุทธิ์ได้เสนอแนะว่าวิธีการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินควรเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่ยุ่งยากซับซ้อน คุ่มค่าในการขยายขนาดในระดับใหญ่ ให้ความบริสุทธิ์สูง สามารถเก็บเกี่ยวซี-ไฟโคไซยานินได้ดี และสามารถรักษาคุณสมบัติทางชีวภาพต่าง ๆ ของซี-ไฟโคไซยานินไว้ได้

ในปี ค.ศ. 2009 Moraes และคณะ ได้ศึกษากลยุทธ์ของการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน โดยออกแบบกระบวนการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน 4 กระบวนการ เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสมในการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน ดังแสดงในภาพที่ 1 (Process 1, 2 3 และ 4) โดยแต่ละกระบวนการประกอบด้วย 3 เทคนิคหลักที่นิยมใช้ในการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน ได้แก่ การตกตะกอนด้วยเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต การใช้โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ และการใช้โครมาโทกราฟีแบบกรองเจล ผลการศึกษาพบว่าโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุเป็นขั้นตอนหลักในการเพิ่มความบริสุทธิ์ให้กับซี-ไฟโคไซยานิน โดยที่ Process 2 (C) มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะให้ความบริสุทธิ์ใกล้เคียงกับ Process 1 (D) และ Process 3 (D) แม้ไม่ผ่านขั้นตอนของโครมาโทกราฟีแบบกรองเจล อีกทั้งยังให้ค่า overall recovery สูงกว่าด้วย (ตารางที่ 1) จากผลการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่า โครมาโทกราฟีแบบกรองเจลมีบทบาทสำคัญในการกำจัดเกลือที่หลงเหลือจากขั้นตอนการตกตะกอน เมื่อพิจารณาผลการทดลองใน Process 4 สรุปได้ว่าการตกตะกอนเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากต่อการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มความบริสุทธิ์ให้แก่ซี-ไฟโคไซยานินแล้ว ยังเป็นเทคนิคที่สามารถปฏิบัติได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายไม่สูง ในขณะที่เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกรองเจลนอกจากจะไม่ช่วยปรับปรุงความบริสุทธิ์ให้แก่ซี-ไฟโคไซยานินแล้วยังเป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน สำหรับโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ แม้ว่าจะเป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูงแต่โปรตีนที่ได้มีปริมาณมากขึ้นและซี-ไฟโคไซยานินก็มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเทคนิคนี้จึงมีความเหมาะสมในการผลิตซี-ไฟโคไซยานินความบริสุทธิ์สูง

ตารางที่ 1 การประเมินค่าพารามิเตอร์ความบริสุทธิ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน

Process/step	Extract Purity (EP)				Purification Factor (PF)				Overall Recovery (%)			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
1	0.63	1.32	1.37	3.16	1	2.1	2.2	5.0	100	88.6	65.3	41.7
2	0.63	1.32	3.04	3.30	1	2.1	4.8	5.2	100	88.6	47.7	31.9
3	0.63	0.99	1.73	3.03	1	1.5	2.7	4.8	100	88.6	60.4	40.2
4	0.63	2.30	2.97	-	1	3.6	4.7	-	100	54.9	31.9	-

ที่มา : Moraes และคณะ, 2009



ภาพที่ 1 แผนผังแสดงกระบวนการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานิน (Process 1, 2, 3, 4) ที่ประกอบด้วยขั้นตอนการทำบริสุทธิ์แตกต่างกัน 4 ขั้นตอน (A, B, C, D).

ที่มา : ถ่ายภาพโดย มณชัย เดชสังกรานนท์, 2012

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีผู้พยายามหาเทคนิคหรือคิดค้นกระบวนการต่าง ๆ ในการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินอย่างมากมาย แต่เทคนิคที่ได้รับการยอมรับในการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินในวงกว้างก็คือ การสกัดโดยระบบน้ำสองวัฏภาค (aqueous two phase extraction) และโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ โดยการสกัดโดยระบบน้ำสองวัฏภาคเป็นเทคนิคที่สามารถขยายขนาดได้ง่าย อีกทั้งยังใช้เวลาน้อยในการดำเนินการ และสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง ที่สำคัญสามารถแยกซี-ไฟโคไซยานินออกจากโปรตีนผสมได้ดี ส่วนโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุเป็นเทคนิคที่เหมาะสมต่อการผลิตซี-ไฟโคไซยานินความบริสุทธิ์สูง เพราะเป็นการแยกที่มีความจำเพาะสูง อีกทั้งสภาวะที่ใช้ในการชะซี-ไฟโคไซยานินออกจากตัวแลกเปลี่ยนประจุก็ไม่รุนแรง จึงทำให้รักษาคุณสมบัติและกิจกรรมทางชีวภาพของซี-ไฟโคไซยานินไว้ได้ สำหรับเทคนิคอื่น ๆ ที่มีรายงานว่ามีความเป็นไปได้สูงในการทำบริสุทธิ์ซี-ไฟโคไซยานินเชิงพาณิชย์คือการใช้เทคโนโลยีเมมเบรน (membrane technology) โดยพบว่าการใช้ไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration) ร่วมกับอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สามารถเก็บเกี่ยวซี-ไฟโคไซยานินได้มากถึง 82% โดยมีความเข้มข้นของซี-ไฟโคไซยานินเท่ากับ 6.17 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และมีความบริสุทธิ์ (purity factor) มากถึง 1.07 ซึ่งซี-ไฟโคไซยานินที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์อยู่เกรดอาหารและเครื่องสำอาง (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ลักษณะของผงซี-ไฟโคไซยานินที่ผ่านการทำบริสุทธิ์โดยเทคโนโลยีเมมเบรนและทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) ของห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีด้านสาหร่าย สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางขุนเทียน

ที่มา : ถ่ายภาพโดย มณชัย เดชสังกรานนท์, 2012

เอกสารอ้างอิง Moraes, C.C. and S.J. Kalil. 2009. Strategy for a protein purification design using C-phycocyanin extract. Bioresour. Technol. 100: 5312-5317.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนสิงหาคม 2555

การแพทย์คลินิกและเภสัชกรรม



สารเติมแต่งอาหารสังเคราะห์พอลิเดกซ์โทรส

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

พอลิเดกซ์โทรส เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์จากกลูโคส ไม่ถูกย่อยสลายเสมือนเป็นเส้นใยชนิดละลายได้ (soluble fiber) และประยุกต์นำมาใช้เป็นสารผสมในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อเพิ่มเส้นใยที่ไม่ใช่อาหาร (non-dietary fiber) ทดแทนการขาดแคลนใยอาหารธรรมชาติในอาหารที่บริโภค สามารถทำหน้าที่แทนที่น้ำตาล/แป้งเพื่อใช้ลดแคลอรีและปริมาณไขมันของอาหารลงได้ จึงจัดเป็นสารผสมอาหารเอนกประสงค์ที่น่าสนใจ ที่สังเคราะห์ได้มาจากกลูโคส (90%) ซอร์บิทอล (10%) และกรดซิตริก/กรดฟอสฟอริก (1%) มีรหัสของสารเติมแต่งอาหาร E1200 ที่ได้รับการยอมรับจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทย/กรกฎาคม ค.ศ. 2006) เป็นสารเติมแต่งอาหารประเภทใยอาหารที่ต้องไว้ระบุนบนฉลากอาหาร)

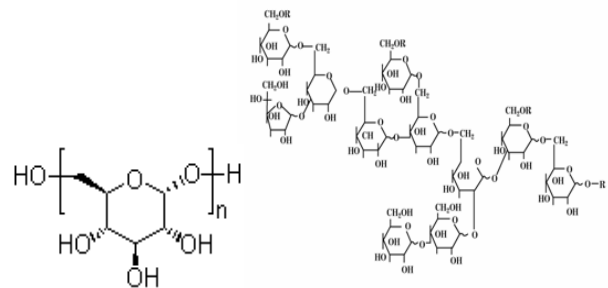
พอลิเดกซ์โทรส เป็นสารผสมอาหารที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตต่ำ (low carb) อาหารที่ปราศจากน้ำตาล (sugar free) และอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน นอกจากนี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น (humectants/desiccant) สารให้ความคงตัว (stabilizer) และสารทำให้ข้น (thickener) ของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปได้อีกด้วย พอลิเดกซ์โทรสยังเป็นเส้นใยละลายที่มีฟังก์ชันของพรีไบโอติก (prebiotic) ที่มีพลังงานต่ำเพียง 1 กิโลแคลอรี/กรัม มีเปอร์เซ็นต์ความหวานสัมพัทธ์เป็นศูนย์ (relative sweetness, %) เมื่อเทียบกับซูโครส ในขณะที่น้ำตาลแอลกอฮอล์กลับทำหน้าที่เป็นสารให้ความหวานได้ (ไซลิทอล 100%, มอลทิทอล 90%, อีริทริทอล 60-80%, ซอร์บิทอล 50-70%) แต่ก็ไม่มีฟังก์ชันของความเป็นใยอาหารและพรีไบโอติก พอลิเดกซ์โทรสยังมีส่วนต่อการเพิ่มน้ำตาลในเลือดต่ำในทำนองเดียวกับน้ำตาลแอลกอฮอล์ เนื่องจากพอลิเดกซ์โทรสมีค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic Index, GI) ต่ำกว่า 7 ซึ่งทางการค้าของพอลิเดกซ์โทรสที่เป็นที่รู้จักทั่วไป ได้แก่ Litesse® (<http://www.danisco.com>, เดนมาร์ก), Sta-Lite® (www.tate-and-lyle.com, สหราชอาณาจักร), Trimcal (<http://www.candh-ingredients.co.uk>, สหราชอาณาจักร), Winway® (<http://www.winwayfood.com>, สาธารณรัฐประชาชนจีน) เป็นต้น

ตารางที่ 1 สูตรไอศกรีมผสมพอลิเดกซ์โทรส

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
ครีมเนย (ไขมัน 36%)	20.83
นมผงพร่องมันเนย	11.92
น้ำ	38.19
พอลิเดกซ์โทรส (น้ำเชื่อมเข้มข้น 70%)	25.00
ปรับพีเอช 5.5 ด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต	
เจลาติน (125 Bloom)	0.5
Avicel RC 591	1.00
อิมัลซิไฟเออร์ (Drewmulse 700E)	0.30
สารสกัดวานิลลา	1.50
สารให้ความหวาน (Alitame 1% solution)	0.76

ที่มา: ดัดแปลงจาก Guzek และคณะ, 1997

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเดกซ์โทรส, $(C_6H_{10}O_5)_n$ (poly-D-glucose, E1200)

ที่มา: <http://www.chemblink.com/products/68424-04-4.htm>, <http://www.tailijie.com.cn>

การสังเคราะห์พอลิเดกซ์โทรสเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของกลูโคส/มอลโทส ที่ประกอบด้วยกรดพอลิคาร์บอกซิลิก (0.5-5%) ชนิดบริโกลได้ (อาทิ กรดซิตริก ฟumaric ทาร์ทาริก ซักซินิก แอดิพิค อิทาโคนิก และเทเรพทาสิก เป็นต้น) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง/สารเชื่อมโยง (cross-linking agent) และน้ำตาลแอลกอฮอล์ (8-12%) (อาทิ ซอร์บิทอล กลีเซอรอล อีริทริทอล ไซลิทอล แมนนิทอล กาแลกทิทอล เป็นต้น) ทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) ดำเนินภายใต้ภาวะสุญญากาศ (ความดัน 100-300 mm Hg) และอุณหภูมิ 140-180 °C (ตัวอย่างเช่น 160 °C เวลา 8 ชม., 140 °C เวลา 24 ชม. หรือปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 200-300 °C เป็นเวลา 10 นาที) โดยมีสัดส่วนระหว่างกลูโคส/มอลโทสและกรดเท่ากับ 12:1 ถึง 20:1 เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้วจะได้พอลิเดกซ์โทรสที่ละลาย (น้ำหนักโมเลกุล 1,500-18,000) และไม่ละลาย (น้ำหนักโมเลกุล 6,000-36,000) เท่ากับ 40-50 และ 50-60 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตัวอย่างเช่น น้ำหนักโมเลกุล/Mn ระหว่าง 4,000-12,000 จะมีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน/Mn เท่ากับ 1,000-24,000) จึงทำให้สารผสมเย็นลงปรับพีเอชเท่ากับ 5-6 ด้วยด่างแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ หรือเกลือคาร์บอเนต (โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม) หรือแอล-ไลซีน/ดี-กลูตา-มิน/เอน-เมทิล-กลูตามีน/ ทำการตกผลึก และผ่านการปั่นเป็นผง พอลิเดกซ์โทรสที่มีจำหน่ายเชิงการค้าทั่วไปมีอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ ผงพอลิเดกซ์โทรสชนิด A และ K และน้ำเชื่อมพอลิเดกซ์โทรสชนิด N เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

พอลิเดกซ์โทรสประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรีต่ำ ได้แก่ เยลลี่ แยม มาร์มาเลด เนยผลไม้ ไอศกรีม เบเกอรี่ ขนมหวาน หมากฝรั่ง เครื่องดื่มน้ำเชื่อม ซอส น้ำสลัด เป็นต้น และสามารถทำหน้าที่ทดแทนไขมันที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารได้สูงถึง 20-80 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างของการใช้พอลิเดกซ์โทรสในไอศกรีมแคลอรีต่ำรสวานิลลา แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งให้รสชาติโดยรวมของไอศกรีมจากการประเมินประสาทสัมผัสที่ดีกว่าสูตรดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม องค์การ FAO/WHO ก็ได้กำหนดถึงปริมาณบริโภคพอลิเดกซ์โทรสที่เหมาะสมไว้ที่ ~90 กรัม/วัน หรือ 1.3 กรัม/น้ำหนักร่างกาย 1 กิโลกรัม หรือไม่ควรเกิน 50 กรัม/มื้ออาหาร

เอกสารอ้างอิง <http://en.wikipedia.org/wiki/Polydextrose>. • Fuisz, R.C. 1998. Polydextrose product and process. US Patent 5,728,397. • Guzek, D.B. et al. 1997. Modified polydextrose and process therefor. US Patent 5,645,647. • Flood, M.T. et al. 2004. Food Chem. Toxicol. 42, 1531-1542.

ยีนบำบัด

สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

การบำบัดด้วยยีน (gene therapy) เป็นวิธีการบำบัดหรือการรักษาโรคทางพันธุกรรม อาทิ มะเร็งและเอดส์ โดยการแทนที่ยีนที่บกพร่องด้วยยีนปกติ หรือการกระตุ้นให้การทำงานของร่างกายเป็นปกติ อาทิ ภูมิคุ้มกัน โดยมีเป้าหมายที่เป็นเซลล์ร่างกาย (somatic cells) หรือเซลล์สืบพันธุ์ (gamete) ได้แก่ ไข่และสเปิร์ม กรณีของการบำบัดยีนของเซลล์ร่างกายนั้น แม้จะทำให้จีโนมของผู้ป่วยเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ก็จะไม่ถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูก ส่วนในกรณีของการบำบัดยีนของเซลล์สืบพันธุ์นั้น จะมีวัตถุประสงค์ของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในรุ่นลูกต่อไป

ฉะนั้นยีนบำบัดจึงเป็นการใช้ดีเอ็นเอทำหน้าที่เสมือนเภสัชสาร (pharmaceutical agent) ที่สามารถบำบัดโรคได้เหมือนยารักษาโรคโดยทั่วไป ดีเอ็นเอเป้าหมายที่เข้าสู่เซลล์ของร่างกายมนุษย์จึงไปทำหน้าที่เสริมหรือดัดแปลงยีนของผู้ป่วยเพื่อการบำบัดโรค โดยที่ดีเอ็นเอนั้นอาจเป็นยีนบำบัดรักษาเชิงฟังก์ชันที่เข้าไปแทนที่ยีนกลายพันธุ์ที่ผิดปกติในร่างกาย หรืออาจจะเป็นยีนถดถอยสังเคราะห์โปรตีนที่เป็นยีนบำบัดโรคอีกทอดหนึ่งก็ได้ พื้นฐานของวิธีการยีนบำบัดนี้ ประกอบด้วย 2 ประการ ดังนี้

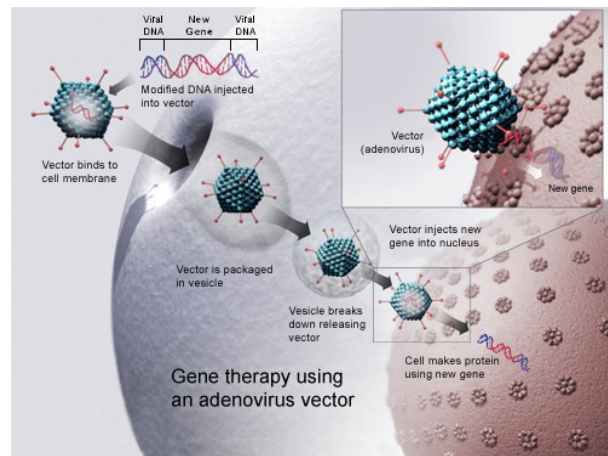
(1) *ภายนอกในร่างกาย (Ex vivo)* เป็นการเพาะเซลล์ที่ได้จากเลือดหรือไขกระดูกของผู้ป่วยในห้องปฏิบัติการ และปล่อยให้ไวรัสที่มียีนเป้าหมายนำส่งเข้าสู่ภายในเซลล์ ทำให้เกิดการสังเคราะห์ดีเอ็นเอใหม่ของเซลล์ที่ก่อด้วยยีนแปลกปลอมนั้นด้วย จากนั้นจึงเพาะจำนวนเซลล์ใหม่เพื่อนำไปฉีดเข้าสู่เส้นเลือดของคนที่ต่อไป

(2) *ภายในร่างกาย (In vivo)* เป็นการอาศัยเวกเตอร์ภายนอกในการขนส่งยีนเป้าหมายเข้าสู่เซลล์ของร่างกายผู้ป่วยโดยตรง

รายงานในเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2001 สรุปไว้ว่ามีจำนวนผู้ป่วยทั่วโลกประมาณ 3,500 ราย ที่มีการรักษาด้วยวิธีการบำบัดด้วยยีนกว่า 500 การทดลอง ด้วยกัน ซึ่งเกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกาและยุโรปราว 78 และ 18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนใหญ่เป็นการรักษาเกี่ยวกับโรคมะเร็งหลายชนิด โดยมีรายงานว่าเด็กที่ป่วยด้วยโรคขาดภูมิคุ้มกัน SCID (severe combined immunodeficiency disorder) จำนวน 2 ราย ประสบความสำเร็จในการรักษาด้วยการปลูกถ่ายยีนพันธุวิศวกรรม เพราะฉะนั้นในระหว่างปี ค.ศ. 2006-2011 ที่ผ่านมา ความสำเร็จทางด้านคลินิกยีนบำบัดได้บันดาทำให้วิธีการรักษาโรคด้วยยีนบำบัดในวงการแพทย์ได้รับการกล่าวขานในวงกว้างและยอมรับมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม การบำบัดด้วยยีนก็ยังคงประสบกับอุปสรรคเชิงปฏิบัติในการใช้รักษาโรค ดังนี้

(1) เครื่องมือในการนำส่งยีน การสอดใส่ยีนเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์จำเป็นต้องอาศัยพาหะที่เรียกว่า *เวกเตอร์* โดยทั่วไปมักใช้ไวรัสเป็นพาหะที่นำส่งยีนเข้าสู่เซลล์มนุษย์คล้ายกับการแพร่โรค โดยการจัดจีโนมของไวรัสที่ก่อโรคและสอดใส่ด้วยยีนเป้าหมายที่จะใช้ในการบำบัดเข้าแทนที่ อย่างไรก็ตาม ไวรัสนั้นก็ยังคงสามารถก่อความเป็นพิษ ภูมิคุ้มกัน และก่อการอักเสบ ต่อผู้ป่วยได้อีก นอกเหนือจากปัญหาของการควบคุมยีนและการบรรจุเป้าหมายที่มีอยู่แล้ว นอกจากนี้ การบำบัดด้วยยีนจะมีผลลัพธ์เชิงบวกที่ยั่งยืนได้นั้น จะต้องแสดงให้เห็นว่ายีนเป้าหมายที่โคลนไว้นั้น สามารถบูรณาการเข้าสู่จีโนมของผู้ป่วยได้อย่างแท้จริงอีกด้วย ปกติไวรัสที่เป็นเวกเตอร์หลายชนิดทำหน้าที่อย่างเดาสุ่ม จึงทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมยีนเข้าบ้านอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 1 ยีนบำบัดอาศัยอะดีโนไวรัส (adenovirus) ทำหน้าที่เป็นเวกเตอร์ โดยการสอดใส่ยีนเป้าหมายเข้าสู่อะดีโนไวรัส เพื่อการนำส่งดีเอ็นเอดัดแปรเข้าสู่เซลล์ในร่างกายมนุษย์ทางอ้อม หากประสบความสำเร็จก็จะเกิดการสังเคราะห์โปรตีนเชิงฟังก์ชันตามที่ต้องการได้

ที่มา: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gene_therapy.jpg

(2) ค่าใช้จ่ายแพง เนื่องจากการบำบัดด้วยยีนเป็นวิธีการค่อนข้างใหม่ บ้างก็ยังคงอยู่ในขั้นการทดลอง จึงจำเป็นต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก จึงเป็นเหตุผลการศึกษาวิจัยยังคงอุปถัมภ์และเน้นการรักษาโรคที่อยู่ในประเทศที่พัฒนาแล้วแทบทั้งสิ้น เพราะผู้ป่วยมีความสามารถในการจ่ายเงินเพื่อการรักษาพยาบาลได้ อย่างไรก็ดี คาดการณ์ว่าเทคโนโลยีการบำบัดด้วยยีนนี้ จะบังเกิดผลเชิงประจักษ์ขึ้นได้จริงในประเทศกำลังพัฒนาที่จะได้รับอานิสงส์ในอีกหลายทศวรรษข้างหน้าอย่างแน่นอน

(3) การขาดความรู้เกี่ยวกับบทบาทในการทำงานของยีน ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ยังคงทราบบทบาทและการทำงานของยีนได้เพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้น จึงทำให้การบำบัดด้วยยีนยังคงรักษาโรคเฉพาะได้เพียงวงจำกัด ผลร้ายก็ยังคงประสบพบเห็นได้ ถ้าหากยีนเป้าหมายที่สอดใส่เข้าไปนั้นมีบทบาทมากกว่าเพียงหน้าที่เดียวตามที่กำหนดไว้ จึงทำให้เกิดกรณีของความไม่แน่นอนในการรักษาโรคของผู้ป่วยได้อย่างแท้จริงติดตามมา

(4) ความผิดปกติจากกลายพันธุ์และอิทธิพลจากภาวะแวดล้อม โดยทั่วไปความผิดปกติมักเกิดขึ้นมาจากยีนที่เกี่ยวข้องของหลายยีน และโรคส่วนใหญ่ที่มักเป็นก็มิสาเหตุมาจากอันตรกิริยา (interaction) ของหลายยีนและสภาพแวดล้อมอีกด้วย ดังตัวอย่างที่ผู้คนจำนวนมากที่ป่วยเป็นโรคมะเร็งนั้น นอกจากเกิดขึ้นจากการที่ตนเองได้รับยีนที่มีความผิดปกติมาแต่กำเนิดแล้ว ร่างกายก็ยังคงบกพร่องจากการขาดการรับการถ่ายทอดยีนจำเพาะที่ใช้เพื่อกระตุ้นการเกิดของเนื้องอกอีกด้วย นอกจากนี้ ปัจจัยแวดล้อมทั้งหลาย อาทิ อาหาร การออกกำลังกาย และการสูบบุหรี่ ก็ยังเป็นสาเหตุและปัจจัยของการก่อโรคได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง <http://en.wikipedia.org/wiki/Biotechnology>. • http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gene_therapy.jpg. • Rastogi, S.C. 2007. Biotechnology: Principles and Applications. Alpha Science International, 684 p.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

ชาใบหม่อน: เครื่องดื่มต้านโรคเบาหวาน

มณฑลพรพรฯ สงพิมพ์/ สาโรจน์ ศิริคั่นสนียกุล*

จากสภาพการณ์ปัจจุบันส่งผลให้วิถีชีวิตคนเมืองต้องดำเนินไปอย่างเร่งรีบและมีพฤติกรรมการบริโภคเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในวัยทำงาน เนื่องจากขาดการเอาใจใส่ต่อเรื่องอาหารการกินและการออกกำลังกาย ซึ่งถือเป็นสาเหตุสำคัญของการเจ็บไข้ได้ป่วยจากโรคภัยต่าง ๆ อาทิ โรคเบาหวาน โรคความดัน และระดับคลอเรสเตอรอลในเลือดสูง จากสถิติพบว่าคนไทยป่วยเป็นโรคเบาหวานเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในกลุ่มผู้ที่มีอายุน้อย ซึ่งโรคเบาหวานถือเป็นภัยคุกคามอย่างยิ่งต่อการพัฒนาของประเทศ เนื่องจากเป็นสาเหตุของการเจ็บป่วยด้วยโรคแทรกซ้อนอื่น ๆ ตามมา อาทิ โรคไตเรื้อรัง จอประสาทตาเสื่อม และอัตราการติดเชื้อจากแผลเรื้อรัง เป็นต้น ส่งผลให้ในแต่ละปีรัฐบาลต้องเสียงบประมาณในการจัดการด้านปัญหาสุขภาพเป็นจำนวนมาก ดังนั้น การปรับพฤติกรรมบริโภคและการดำเนินชีวิตโดยการหันมาใส่ใจบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นวิธีป้องกันโรคเบาหวานได้ดีที่สุด เพราะเป็นการแก้ปัญหาด้านสุขภาพจากต้นเหตุนั่นเอง

การเลือกบริโภคพืชสมุนไพรที่มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายนั้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการป้องกันและลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคเบาหวาน เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยนั้นอุดมด้วยพืชสมุนไพรที่มีคุณประโยชน์หลายชนิด สมุนไพรที่มีรายงานว่าสามารถป้องกันโรคเบาหวานได้ดี และได้รับความสนใจมากที่สุด คือ หม่อน (มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus spp.* จัดอยู่ในตระกูล โมราชี้อ; Family Moraceae) เพราะนอกจากจะมีสรรพคุณป้องกันโรคเบาหวานแล้ว ยังประกอบด้วยสารพฤกษเคมี (phytochemical) ที่สำคัญอีกหลายชนิด อาทิ สารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ เควอเซติน (quercetin) รูติน (rutin) และ เคมเพอรอล (kaempferol) สารกาบา (GABA; gamma amino-butyric acid) ที่มีฤทธิ์ช่วยปรับระดับความดันโลหิตในกระแสเลือด และสาร 1-ดีออกซิโนจิริมัยซิน (1-deoxynojirimycin) หรือที่เรียกกันว่า สารดีเอ็นเจ ที่พบว่าสามารถลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง วิโรจน์. 2553. สารน้ำหม่อนไหม. <http://www.gotoknow.org/blogs/posts/411654> .• Vichasilp. et al. 2012. LWT - Food Sci. Technol. 45: 226-232.



ภาพที่ 1 ลักษณะของ (a) ใบหม่อน และ (b) ชาใบหม่อน

ที่มา: http://cha-thai.blogspot.com/2010/07/blog-post_29.html

จากการศึกษาทางเภสัชวิทยาพบว่า สารดีเอ็นเจที่พบในใบหม่อนมีฤทธิ์ยับยั้งกิจกรรมเอนไซม์ แอลฟา-กลูโคซิเดส (α -glucosidase) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นน้ำตาล จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงและการดูดซึมน้ำตาลในลำไส้เล็กชะลอตัวลงด้วย โดยปริมาณสารดีเอ็นเจที่มีผลต่อการลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด คือ 6 มิลลิกรัม/ 60 กิโลกรัม น้ำหนักตัว

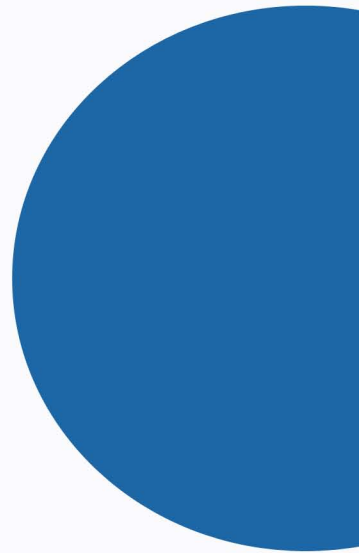
การดื่มชาใบหม่อนเพื่อลดระดับน้ำตาลในเลือดที่ถูกต้องนั้น นอกจากจะเลือกดื่มชาที่ผลิตได้จากสายพันธุ์หม่อนที่มีคุณภาพแล้ว ผู้ดื่มต้องรู้เทคนิคการชงชาอย่างถูกวิธีด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ประโยชน์จากการดื่มชาใบหม่อนมากที่สุด จากการเปรียบเทียบสายพันธุ์หม่อนในประเทศไทยจำนวน 35 สายพันธุ์ พบว่า ยอดอ่อนของต้นหม่อนสายพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณสารดีเอ็นเจสูงถึง 300 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักใบหม่อนแห้ง และเมื่อนำชาใบหม่อนดังกล่าวมาชงภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คืออุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 400 วินาที พบว่าสามารถสกัดสารดีเอ็นเจได้ในปริมาณ 284 มิลลิกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้งของใบชา หรือ 6.5 มิลลิกรัมต่อ 1 หน่วยบริโภค (ปริมาตรน้ำชาใบหม่อน 230 มิลลิลิตร) ซึ่งเป็นปริมาณของสารดีเอ็นเจที่เพียงพอต่อการออกฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด

การดื่มชาใบหม่อนที่ประกอบด้วยสารดีเอ็นเจที่เพียงพอต่อการออกฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือดนี้ จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีคุณประโยชน์ต่อทั้งผู้ป่วยเบาหวาน ผู้ที่ต้องควบคุมระดับน้ำตาล และผู้รักสุขภาพ และหากบริโภคควบคู่ไปกับการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมบริโภคและออกกำลังกายให้เหมาะสมแล้ว จะยิ่งช่วยลดและป้องกันการเจ็บป่วยจากโรคเบาหวานได้เป็นอย่างดี

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนสิงหาคม 2555

สิ่งแวดล้อมและพลังงาน



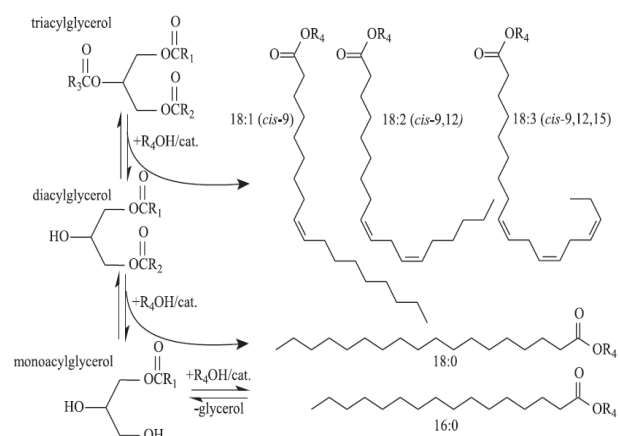
การวิเคราะห์ไบโอดีเซล: กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (1)

ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ*/ สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันประกอบด้วยองค์ประกอบที่ซับซ้อนหลายชนิด อีกทั้งยังมีความหลากหลายของสายโซ่คาร์บอน ดีกรีของความไม่อิ่มตัวของสายโซ่คาร์บอน สเตอริโอเคมี (ซิส/cis และ ทรานส์/trans) และตำแหน่งของพันธะคู่ในสายโซ่คาร์บอน จึงเป็นการยากที่จะสามารถจำแนกและวิเคราะห์ได้ ปัจจุบันมีการนำเทคนิคทางโครมาโทกราฟีมาใช้ในการจำแนกและวิเคราะห์โพลีเมอร์ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลได้อย่างแพร่หลาย อาทิ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบชั้นบาง (thin layer chromatography) เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ (gas chromatography) เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography) เทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี (gel permeation chromatography) เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติก เรโซแนนซ์ (nuclear magnetic resonance) และ เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (near infrared spectroscopy) เป็นต้น

เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซชนิดตัวตรวจวัดฟลูออโรไนเซนซ์ (GC-FID) เป็นเทคนิคทางโครมาโทกราฟีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ไบโอดีเซลดิบ/สารผสมของไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ มอนออลิลเอสเทอร์ แอลกอฮอล์ และกลีเซอรอลอิสระ อย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม พบว่าเทคนิคดังกล่าวยังมีข้อบกพร่องอยู่หลายประการ ดังนี้

- (1) การมีสารประกอบบางชนิดที่ไม่เสถียรต่อความร้อน จะส่งผลต่อคุณสมบัติของเมทิลเอสเทอร์/ไบโอดีเซล
- (2) อุณหภูมิสูงที่ใช้ในเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ มีผลต่อสายโซ่คาร์บอนของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ไอโซเมอร์ และเกิดการสลายตัวได้
- (3) ไม่สามารถนำตัวอย่างของกรดไขมันเอสเทอร์ที่แยกได้ไปทำการวิเคราะห์ในลำดับต่อไป
- (4) เกิดการเบี่ยงเบนของเบสไลน์ (baseline drifts) และ
- (5) การวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ ต้องการขั้นตอนของการทำให้เกิดอนุพันธ์ของกรดไขมันโดยการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (saponification) ตามด้วยปฏิกิริยาเมทิลเลชัน (methylation) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรเอซิลกลีเซอรอล โดยที่ R₁ R₂ และ R₃ คือ สายโซ่คาร์บอนของเอิลแฟตติก/เอสเทอร์ และ R₄ คือสายโซ่คาร์บอนของแอลกอฮอล์
ที่มา: Carvalho และคณะ, 2012

จากเหตุผลดังกล่าว เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง จึงถูกนำมาใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการศึกษาการวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลดิบ

การวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในตัวอย่างไบโอดีเซลดิบโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวี (HPLC-UV) ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซชนิดตัวตรวจวัดฟลูออโรไนเซนซ์ตามวิธีมาตรฐานของ American Oil Chemists' Society (AOCS) ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ของทั้งสองเทคนิคว่าสามารถใช้ทดแทนกันได้ ซึ่งจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลต่อไป

เอกสารอ้างอิง Carvalho et al. 2012. J. Braz. Chem. Soc. 23(4): 763-769.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

การวิเคราะห์ไบโอดีเซล: กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (2)

ณัฐวุฒิ ยอดสุวรรณ*/ สาขาวิชา วิศวกรรมชีวภาพ*

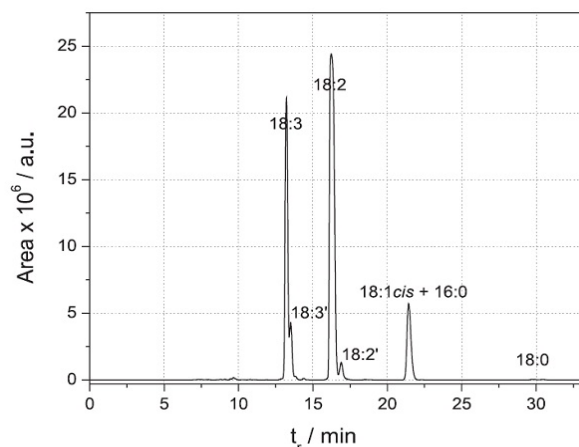
การวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในตัวอย่างไบโอดีเซลดิบ โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวี (HPLC-UV) ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซชนิดตัวตรวจวัดเฟลมไอออนไนเซชัน (GC-FID) ตามวิธีมาตรฐานของ American Oil Chemists' Society (AOCS)

เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ถูกเตรียมและวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวีและเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซชนิดตัวตรวจวัดเฟลมไอออนไนเซชัน ทั้งนี้ตัวอย่างโครมาโทแกรมของไบโอดีเซลของน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวีแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพีคของเมทิลเอสเทอร์แต่ละชนิดสามารถแยกได้อย่างชัดเจนภายใน 34 นาทีภายใต้สภาวะความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส และปริมาตรตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร ทั้งนี้ระยะเวลาที่เก็บ (retention time) ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตามจำนวนคาร์บอนของเมทิลเอสเทอร์ที่เพิ่มขึ้นและจำนวนพันธะคู่ที่ลดลง ตามลำดับดังนี้ $C18:3 < C18:2 < C18:1cis + C16:0 < C18:1trans < C18:0$ แต่ทั้งนี้พบว่าเทคนิคนี้ไม่สามารถแยกพีคของ $C18:1cis$ และ $C16:0$ ออกจากกันได้ เมื่อใช้ตัวตรวจวัดยูวีที่มีความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร เนื่องจากกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ทั้งสองมีโครงสร้างที่คล้ายกัน ทั้งนี้หากต้องการหาปริมาณของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ทั้งสองจะต้องมีการทำไฮโดรจีเนชัน (hydrogenation) ไบโอดีเซลชนิดนั้น ๆ ก่อน ซึ่งจะส่งผลทำให้ $C18:1cis$ เปลี่ยนเป็น $C18:0$ และทำให้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้มีเฉพาะ $C18:0$ และ $C16:0$ เท่านั้น จากนั้นจึงทำการยืนยันผลโดยใช้เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (nuclear magnetic resonance; NMR) ทั้ง 1H NMR และ ^{13}C NMR เพื่อคำนวณหาปริมาณของ $C18:1cis$ ที่เปลี่ยนไปเป็น $C18:0$ และปริมาณ $C16:0$ ที่มีอยู่

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของทั้งสองเทคนิคโดยใช้ตัวอย่างกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ พบว่าให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 2) โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation) อยู่ระหว่าง 0-10% ดังนั้นเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวีจึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกับวิธีมาตรฐานที่วิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟี

แบบก๊าซชนิดตัวตรวจวัดเฟลมไอออนไนเซชันจากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะแยกไอโซเมอร์ทรานส์/ซิส ในน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการไฮโดรจีเนชันบางส่วน (partial hydrogenated soybean oil; PHS) ซึ่งต่างจากเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงที่สามารถแยกและหาปริมาณได้เป็นอย่างดี

ดังจะเห็นได้ว่าเป็นเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ได้เช่นเดียวกับวิธีมาตรฐานของเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซ แต่ทั้งนี้ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นเพื่อที่จะสามารถสร้างมาตรฐานการวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซต่อไป



ภาพที่ 1 โครมาโทแกรมของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่วิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวี (ความยาวคลื่น 205 นาโนเมตร, อัตราการไหล 1 มิลลิลิตร/นาที, อุณหภูมิคอลัมน์ 40 องศาเซลเซียส และปริมาตรตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร)

ที่มา: Carvalho และคณะ, 2012

FAME	Cotton		Custard		Sunflower		Corn		Soybean		PHS ^a	
	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC	GC	HPLC
18:3	0.2	0.2	5.7	6.0	0.5	1.3	1.5	6.3	6.2	0	0	0
18:3 ^a	—	0	—	1.0	—	0.1	—	0.2	—	1.3	—	0
18:2	55.6	55.9	22.4	22.0	61.9	59.2	48.6	51.4	53.6	50.6	5.8	4.4
18:2 ^a	—	0.1	—	0.9	—	0.7	—	1.9	—	1.9	—	6.7
18:1 cis	15.4	16.3	60.9	62.8	24.6	21.1	33.4	30.7	23.5	21.2	65.6	38.3
16:0	22.2	19.6	4.9	4.2	6.2	5.3	12.6	12.7	10.7	11.4	11.1	11.6
18:1 trans	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	32.4
18:0	2.6	2.3	2.0	2.2	4.1	4.2	2.3	2.1	3.3	3.2	6.4	5.7

^aPHS: partially hydrogenated soybean oil

ภาพที่ 2 ปริมาณกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่าง ๆ ที่วิเคราะห์โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงชนิดตัวตรวจวัดยูวี (HPLC-UV) และเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบก๊าซชนิดตัวตรวจวัดเฟลมไอออนไนเซชัน/GC-FID

ที่มา: Carvalho และคณะ, 2012

เอกสารอ้างอิง Carvalho et al. 2012. J. Braz. Chem. Soc. 23(4): 763-769.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

เดือนสิงหาคม 2555

กฎหมายและการศึกษา

จุลชีววิทยาพยากรณ์: ผู้พิชิตภัยความปลอดภัยทางอาหาร (1)

ภูษงค์ ขาติสง่า*/มนชัย เดชสังกรานนท์*/สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

ในขณะที่มนุษยชาติกำลังเผชิญกับปัญหาปรากฏการณ์โลกร้อน (global warming) ที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น ปัญหาความมั่นคงทางอาหาร (food security) และความปลอดภัยทางอาหาร (food safety) ก็ดูเหมือนว่าจะไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน จากอุบัติการณ์ของการแพร่ระบาดเชื้อโรคอาหารเป็นพิษ พบว่าในแต่ละปีประชากรโลกหลายล้านคนต้องประสบปัญหาเจ็บไข้เนื่องมาจากอาหารเป็นพิษ นับเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่ควรเร่งรัดให้มีการป้องกันและแก้ไข ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์หรือผู้วิจัยจึงต้องคิดค้นเครื่องมือประสิทธิภาพสูงเพื่อหยุดยั้งและบรรเทาปัญหาดังกล่าว

จุลชีววิทยาพยากรณ์ (predictive microbiology; PM) เป็นเครื่องมือสำคัญที่มีบทบาทในการแก้ปัญหาด้านความปลอดภัยของอาหาร เนื่องจากการใช้แบบจำลอง (model) ทางคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์หรือทำนายการรอดชีวิตหรือการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคอาหารเป็นพิษ (pathogenic microorganisms) และจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (spoiling microorganisms) ในผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประเมินอายุการเก็บรักษา (shelf life) ของผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่ใช้เทคโนโลยีฮาร์ดเดิล (hurdle technology) ในการยืดอายุการเก็บรักษาได้อีกด้วย

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เกิดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1990 โดยนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจกับกลุ่มจุลินทรีย์ก่อโรคในผลิตภัณฑ์อาหาร อาทิ *Salmonella* sp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้จัดเป็นจุลินทรีย์บ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งแต่เดิมวิธีการประเมินคุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์อาหารจะปฏิบัติในห้องทดลองที่มีขั้นตอนยุ่งยากซับซ้อนและใช้ระยะเวลานาน ซึ่งส่วนหนึ่งกับการแพร่ระบาดของโรคอาหารเป็นพิษที่ต้องการความรวดเร็วในการแก้ปัญหาอย่างทันเวลาที่จากความสำเร็จดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการนำศาสตร์ทางด้านจุลชีววิทยาพยากรณ์มาใช้ในการประเมินอายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร

ตัวอย่างหนึ่งของการนำจุลชีววิทยาพยากรณ์มาใช้ในการควบคุมความปลอดภัยของอาหารคือ อุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อสัตว์ ซึ่งจัดเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ครอบคลุมตลาดเกือบทั่วโลก โดยแต่ละประเทศจะมีมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับประเมินคุณภาพและความปลอดภัยแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรัฐบาลของแต่ละประเทศจะกำหนดเป็นผลให้เกิดปัญหาการกีดกันสินค้าระหว่างประเทศขึ้น ด้วยเหตุนี้องค์ระหว่างประเทศ หรือ World Health Organization (WHO) จึงออกมาตรฐานสำหรับใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูป โดยหนึ่งในมาตรฐานสำคัญ คือ กำหนดให้ตรวจพบเชื้อแบคทีเรีย *Listeria monocytogenes* ได้ไม่เกิน 0.04 CFU/กรัม อาหาร (WHO/FAO, 2004) ซึ่งแบคทีเรียดังกล่าวจัดเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดร้ายแรงและสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำ -1.8 ถึง 45 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากสามารถพยากรณ์หรือทำนายความเป็นไปได้ในการตรวจพบเชื้อ *L. monocytogenes* ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปหรือผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ก่อนถึงมือผู้บริโภค จึงเป็นผลดีต่อการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคอาหารเป็นพิษ

จากความสำเร็จดังกล่าวได้มีผู้พยายามนำเอาทฤษฎีต่าง ๆ มาใช้อธิบายความเป็นไปได้เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างเฉียบพลัน ทฤษฎีหนึ่งที่ได้รับการสนใจคือ ทฤษฎีของเจมส์ (1962) กล่าวไว้ว่า “เมื่อจุลินทรีย์สองชนิดมีการเจริญแข่งขันกัน ในสภาพแวดล้อมและสารอาหารเดียวกัน จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีการแข่งขันกันใช้สารอาหารในการเจริญเติบโตจนกระทั่งเพิ่มปริมาณประชากรสูงสุด และสภาวะการแข่งขันจะยุติลงเมื่อสารอาหารในสภาพแวดล้อมย่อยหรือหมดไป” ซึ่งสามารถเขียนอธิบายในเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$\frac{1}{N(t)} \frac{dN(t)}{dt} = \frac{d(\ln(N(t)))}{dt} = \mu_{\max} \cdot \alpha(t) \cdot f(t) \quad (1)$$

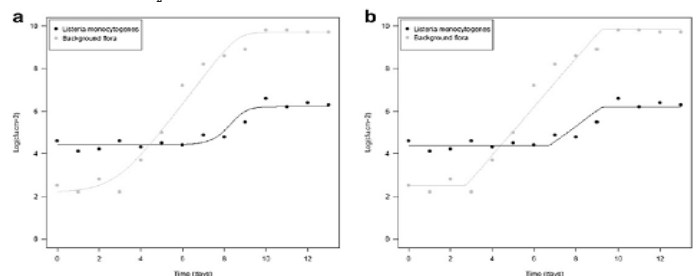
เมื่อ N = จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในระบบ
 $\mu_{\max}$ = อัตราการเจริญสูงสุดของจุลินทรีย์
 α = ฟังก์ชันการปรับ (adjustment function)
 f = ฟังก์ชันยับยั้ง (inhibition function)

อย่างไรก็ตาม พบว่าทฤษฎีเจมส์ดังสมการที่ 1 ยังมีข้อจำกัดคือสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้เพียงชนิดเดียวเท่านั้น รวมถึงตัวแปรควบคุมและตัวแปรยับยั้งเพียงตัวแปรเดียว ซึ่งในความเป็นจริงแล้วในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปหรือผลิตภัณฑ์อาหารหนึ่ง ๆ ไม่ได้มีจุลินทรีย์เพียงชนิดเดียวเจริญเติบโตและไม่ได้มีเพียงปัจจัยเดียวเข้ามาเกี่ยวข้อง ฉะนั้นจึงมีการนำสมการของ Le Marc และคณะ (2009) มาใช้อธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าว ซึ่งสามารถใช้อธิบายสภาวะการแข่งขันของจุลินทรีย์สองชนิด ดังแสดงในสมการที่ 2 ซึ่งปรับปรุงมาจากสมการที่ 1 ของเจมส์

$$\begin{cases} f_A(t) = \left(1 - \frac{N_A(t)}{N_{\max A}}\right) \left(1 - \frac{N_B(t)}{N_{\max B}}\right) \\ f_B(t) = \left(1 - \frac{N_B(t)}{N_{\max B}}\right) \left(1 - \frac{N_A(t)}{N_{\max A}}\right) \text{ if } N_A(t) \geq N_{CPDA} \\ f_B(t) = 0 \text{ if } N_A(t) \geq N_{CPDA} \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ N_A = จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ชนิด A
 N_B = จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ชนิด B
 $N_{\max A}$ = จำนวนประชากรสูงสุดของจุลินทรีย์ชนิด A
 $N_{\max B}$ = จำนวนประชากรสูงสุดของจุลินทรีย์ชนิด B
 N_{CPDA} = จำนวนประชากร ณ จุดวิกฤตของจุลินทรีย์ชนิด A

ภาพที่ 1 แสดงการเจริญเติบโตของของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลคติกในผลิตภัณฑ์เนื้อหมักแช่แข็งที่เก็บรักษาภายใต้อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะจำลองที่มีอากาศ ซึ่งแสดงการจำลองการเจริญเติบโตของของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลคติกโดยอาศัยสมการที่ 1 และ 2 ในการพยากรณ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิด พบว่ามีความใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง แสดงให้เห็นว่าการนำจุลชีววิทยาพยากรณ์มาใช้ในการทำนายการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคในผลิตภัณฑ์อาหารมีความเป็นไปได้สูง อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์โดยใช้ทฤษฎีของเจมส์ยังคงมีข้อจำกัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า “จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดจะต้องไม่สร้างสารยับยั้งการเจริญเติบโตที่มีผลต่อกัน แต่จะถูกยับยั้งด้วยปัจจัยของจุลินทรีย์ชนิดนั้นเอง” ซึ่งในความเป็นจริงสภาวะการดังกล่าวแทบจะไม่มีอยู่จริงในสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นเลย



ภาพที่ 1 (a) การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลคติก ณ อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะที่มีอากาศ (b) การจำลองการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลคติก ด้วยสมการที่ 2

ที่มา: Cornu และคณะ, 2011

เอกสารอ้างอิง Cornu M., E. Billoir, H. Bergis, A. Beaufort and V. Zuliani. 2011. Modeling microbial competition in food: Application to the behavior of *Listeria monocytogenes* and lactic acid flora in pork meat products. Food Microbiol. 28: 639-647.

*ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์

จุลชีววิทยาพยากรณ์: ผู้พิชิตความปลอดภัยทางอาหาร (2)

ภูษงค์ ขาติสง่า*/มนชัย เดชสังกรานนท์*/สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล*

จากทฤษฎีของเจมส์ที่สามารถอธิบายสภาวะการแข่งขันการเจริญเติบโตระหว่างจุลินทรีย์สองชนิด ซึ่งพบว่าค่อนข้างมีความใกล้เคียงกับผลการทดลองจริง แต่จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขว่า “จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดจะต้องไม่มีการสร้างสารยับยั้งการเจริญเติบโตที่มีผลต่อกัน แต่จะถูกยับยั้งด้วยปัจจัยของจุลินทรีย์ชนิดนั้นเอง โดยไม่ถูกยับยั้งจากจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง” ทำให้ทฤษฎีของเจมส์ไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก เพราะสภาวะการยับยั้งไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะสภาวะที่จุลินทรีย์ยับยั้งการเจริญเติบโตของตัวเอง แต่ยังรวมถึงการถูกยับยั้งเนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำทฤษฎีอื่นเข้ามาอธิบายถึงปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ แบบจำลองของลอตคา-วอลเทอร์รา (Lotka-Volterra) ซึ่งรูปแบบของสมการและการคำนวณจะคล้ายคลึงกับทฤษฎีของเจมส์ และสามารถใช้อธิบายลักษณะการเจริญเติบโต รวมถึงถึงคาดการณ์สภาพแวดล้อมจากสภาวะการแข่งขันของจุลินทรีย์สองกลุ่มได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น ดังสมการต่อไปนี้

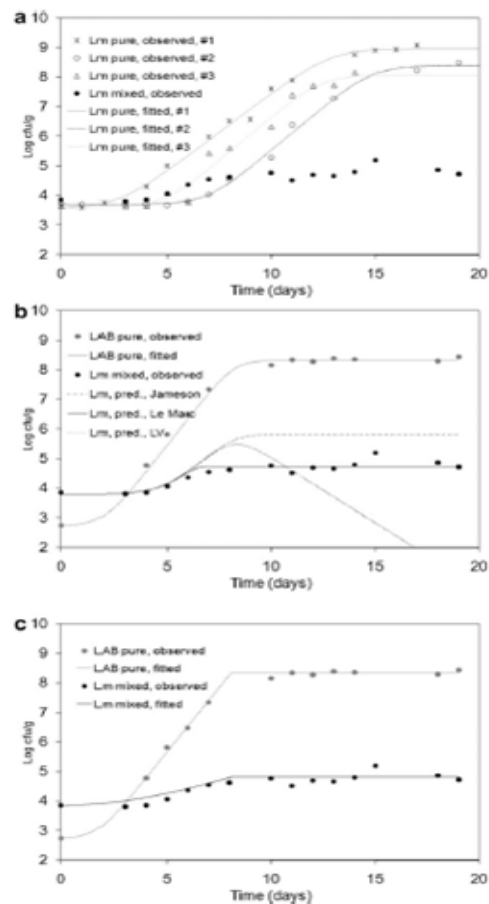
$$\begin{cases} f_A(t) = \left(1 - \frac{N_A(t) + \alpha_{AB}N_B(t)}{N_{maxA}}\right) \\ f_B(t) = \left(1 - \frac{N_B(t) + \alpha_{BA}N_A(t)}{N_{maxB}}\right) \end{cases}$$

เมื่อ	N_A	=	จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ชนิด A
	N_B	=	จำนวนประชากรของจุลินทรีย์ชนิด B
	N_{maxA}	=	จำนวนประชากรสูงสุดของจุลินทรีย์ชนิด A
	N_{maxB}	=	จำนวนประชากรสูงสุดของจุลินทรีย์ชนิด B
	α_{AB}	=	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ชนิด A ต่อจุลินทรีย์ชนิด B
	α_{BA}	=	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ชนิด B ต่อจุลินทรีย์ชนิด A
	f_A	=	ตัวแปรยับยั้งของจุลินทรีย์ชนิด A
	f_B	=	ตัวแปรยับยั้งของจุลินทรีย์ชนิด B

สมการดังกล่าว สามารถอธิบายสภาวะการแข่งขันการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลกติกในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์แปรรูปได้ใกล้เคียงกับการทดลองจริงและมีความแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากการนำค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดมาใช้ในการคำนวณด้วย ดังกรณีศึกษาพฤติกรรมของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลกติกในผลิตภัณฑ์เบคอนรมควันแช่แข็ง (smoked diced bacon) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้อุณหภูมิสูง เพื่อให้เนื้อหมูมีความกรอบนอกนุ่มใน และเป็นการรักษาสภาพของเนื้อหมูให้น่ารับประทานก่อนจะบรรจุหีบห่อและแช่แข็งเพื่อการจำหน่ายต่อไป ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิติดลบนี้ ผลิตภัณฑ์เนื้อหมูรมควันอาจมีการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* ซึ่งมักปนเปื้อนมาในขั้นตอนการผลิต รวมถึงแบคทีเรียกรดแลกติกที่เป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่น ส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง ดังนั้นการพยากรณ์หรือการทำนายการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว จะช่วยทำให้ผู้ผลิตสามารถประเมินอายุการเก็บรักษา (shelf-life) และความปลอดภัยได้อย่างแม่นยำก่อนถึงมือผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง Comu M., E. Billoir, H. Bergis, A. Beaufort and V. Zuliani. 2011. Modeling microbial competition in food: Application to the behavior of *Listeria monocytogenes* and lactic acid flora in pork meat products. Food Microbiol. 28: 639-647.

* ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ม.เกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 การพยากรณ์พฤติกรรมของการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลกติกภายใต้สภาวะจำลองต่าง ๆ ที่มา: Comu และคณะ, 2011

ภาพที่ 1a แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *L. monocytogenes* บริสุทธิ์ กับแบคทีเรียผสมระหว่าง *L. monocytogenes* และแบคทีเรียกรดแลกติก พบว่าชุดการทดลองที่มีแบคทีเรีย *L. monocytogenes* บริสุทธิ์เพียงชนิดเดียว จะมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าชุดการทดลองแบคทีเรียผสม และพบว่าผลการเจริญเติบโตที่คำนวณจากสมการของลอตคา-วอลเทอร์รา (กราฟเส้น) มีความสอดคล้องกับการเจริญเติบโตที่ได้จากผลการทดลองจริง (สัญลักษณ์) จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่าชุดการทดลองที่มีแบคทีเรียผสมเกิดสภาวะการยับยั้งจากจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง เป็นผลให้แบคทีเรีย *L. monocytogenes* มีอัตราการเจริญเติบโตลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลองในภาพที่ 1b และ 1c

จากกรณีศึกษาในขั้นต้นเป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งเท่านั้น ในการนำจุลชีววิทยาพยากรณ์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาความปลอดภัยของอาหาร โดยอาศัยความรู้เชิงคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์หรือทำนายการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคและจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งผลจากการใช้จุลชีววิทยาพยากรณ์เป็นเครื่องมือในการประยุกต์แก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้สามารถกำหนดหนเวลาอายุการเก็บรักษาและประเมินความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหารก่อนถึงมือผู้บริโภคได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว และสามารถเร่งรัดการแก้ปัญหาการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษได้อย่างยิ่งยวด

รูปแบบและขั้นตอนการจัดทำต้นฉบับบทความ “สารสาระเทคโนโลยีชีวภาพ”

นิตยสาร “สารสาระเทคโนโลยีชีวภาพ” เป็นนิตยสารเปิดอิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับภาษาไทย) ภายใต้การสนับสนุนของสมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย (Thai Society for Biotechnology) มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่บทความวิชาการทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพแขนงต่าง ๆ ทางเว็บไซต์สมาคมเทคโนโลยีชีวภาพแห่งประเทศไทย (<http://www.biotech.or.th/tsb/>) โดยมีกำหนดเผยแพร่ประจำรายเดือน

เงื่อนไขการรับบทความ

- บทความจัดทำขึ้นโดยใช้ภาษาไทยเท่านั้น และต้องผ่านการตรวจสอบข้อผิดพลาดในข้อความและจากการพิมพ์
- บทความที่ส่งมาพิจารณาจะลงพิมพ์ ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสื่อออนไลน์หรือสิ่งพิมพ์ใด ๆ มาก่อน ข้อความและข้อคิดเห็นต่าง ๆ เป็นของผู้เขียนบทความนั้น ๆ ไม่ใช่ความเห็นของกองบรรณาธิการหรือของวารสารสาระเทคโนโลยีชีวภาพ
- ทุกบทความที่ได้ผ่านการคัดเลือกเพื่อพิมพ์เผยแพร่ จะถือเป็นกรรมสิทธิ์ของวารสารสาระเทคโนโลยีชีวภาพ
- กองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาในการตีพิมพ์ให้ผู้เขียนทราบภายใน 1 สัปดาห์ นับจากวันที่ส่งบทความ
- กองบรรณาธิการจะไม่รับผิดชอบในข้อผิดพลาดใด ๆ ในบทความ ที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้เขียน

ข้อกำหนดในการส่งบทความสำหรับผู้เขียน

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

รายละเอียดของบทความ ประกอบด้วย

ผู้เขียนสามารถจัดทำรูปแบบการนำเสนอได้ตามความเหมาะสม แต่เนื้อหาต้องนำเสนอองค์ความรู้ใหม่ที่น่าสนใจหรือความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีชีวภาพแขนงต่าง ๆ โดยมีหัวข้อดังนี้

1. **ชื่อเรื่องและชื่อผู้เขียนบทความ** ชื่อเรื่องพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ควรเป็นชื่อเรื่องที่สั้น กระชับ ได้ใจความตรงกับเนื้อหา ตามด้วยชื่อผู้เขียนบทความซึ่งพิมพ์เป็นภาษาไทยเท่านั้น
2. **เนื้อหา** นำเสนอข้อมูลวิชาการหรือแนวคิดทฤษฎีที่น่าสนใจในประเด็นต่าง 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 ทั้งนี้ยกเว้นบุพพทและ 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 กำหนดให้ใช้ขนาด 12 point ทั้งหมด กำหนดให้ตารางที่นำเสนอเป็นไฟล์นามสกุล JPEG หรือพิมพ์ขึ้นเอง โดยตัวอักษรในตารางจะต้องมีขนาดไม่ใหญ่ไปกว่าคำอธิบายตาราง การตีเส้นกรอบตารางให้ตีเฉพาะเส้นแนวนอนเส้นเดียวและด้วยหมึกดำให้ชัดเจน ระหว่างตารางและคำอธิบายตาราง/คำอธิบายเพิ่มเติมและแหล่งที่มาของตารางไม่ต้องเว้นบรรทัด ส่วนการระบุหมายเลขตารางในบทความให้ระบุเป็นตารางที่ เช่น ตารางที่ 1, ตารางที่ 1-3 เป็นต้น ดังตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ผลของโซเดียมเบนโซเอตต่อการผลิตโซลิตอลจากโซลอส

โซเดียม เบนโซเอต (ppm)	อัตราการเติบโต จำเพาะ (ชม. ⁻¹)	ผลได้ เซลล์ (กรัม/กรัม)	ผลได้ โซลิตอล (กรัม/กรัม)	อัตราจำเพาะ การใช้โซลอส (กรัม/กรัม ชม.)	อัตราจำเพาะ การผลิตโซลิตอล (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

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



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

การเน้นคำ ให้ใช้วิธีการเขียนตัวเอน แทนการใช้ตัวหนาเข้ม และเครื่องหมายสัญลักษณ์ประกาศ (“ ”)

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

คำทับศัพท์ ที่บัญญัติอย่างเป็นทางการหรือใช้จนเคยชินแล้วถือว่าเป็นคำไทย ตัวอย่างของคำเหล่านี้ ได้แก่ วัคซีน ฮอโมน แอลกอฮอล์ ไวรัส เซลล์ ฟิสิกส์ ไบโอดีเซล เป็นต้น

คำย่อ ไม่ควรใช้ถ้าไม่มีความจำเป็น การเขียนย่อคำต้องใช้เฉพาะที่คุ้นเคยกันดี และใช้อยู่เป็นปกติโดยทั่วไป สำหรับภาษาอังกฤษต้องใช้คำย่อที่เป็นสากล มิฉะนั้นจะต้องเขียนคำเต็มและใส่คำย่อในวงเล็บไว้ตอนแรกของเรื่อง 1 ครั้ง

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

อาหารเพื่อสุขภาพ/functional food, แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์/resistant starch, เส้นใยอาหาร/dietary fiber, ค่าดัชนีไกลซีมิก/Glycemic Index/GI

เอกสารอ้างอิง ให้ขีดเส้นใต้คำว่า เอกสารอ้างอิง 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. ชื่อวารสาร. 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.

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่

นายมณชัย เดชสังกรานนท์ Technical Editor

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

ดรรชนี

ก

กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์	48, 49
กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์	16
กรดพอลิกลูตามิก	17
กรดแลกติก	12
กลูตาไทโอน	39
กาบ่า	27
การเจริญเติบโต	41
การตกผลึก	2, 4, 5, 12
การเตรียมวัตถุดิบ	26
การทำปฏิกิริยา	12, 44
การทำให้ผนังเซลล์แตก	43
การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่	16
การบำบัดน้ำเสีย	30, 31
การผลิตก๊าซไฮโดรเจน	11
การเพาะเลี้ยงนอกอาคาร	16
การเพาะเลี้ยงในอาคาร	16
การเพาะเลี้ยงแบบครึ่งคร่าว	21, 22
การเพาะเลี้ยงแบบโฟโตออโททรอฟ	36, 38
การเพาะเลี้ยงสาหร่าย	30, 31
การย่อยด้วยกรดเจือจาง	26
การสกัด	43
การสกัดโดยระบบน้ำสองวัฏภาค	44
การหมัก	12
การหมักแบบใช้แสง	11
การหมักแบบไม่ใช้แสง	11
การอ้างอิง	32
แก่นตะวัน	25, 33
แก้วมังกร	14

ค

ความเข้มข้น	41, 42
-------------------	--------

ความหวานสัมพัทธ์	45
ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้น	10
ค่าดัชนีไกลเซมิก	7
คุณสมบัติการเป็นสารต้านออกซิเดชัน	37
คุณสมบัติด้านการอักเสบ	37
คุณสมบัติยับยั้งเซลล์มะเร็ง	3
โครมาโทกราฟี	4, 5, 6
โครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนประจุ	44

จ

จุลชีววิทยาพยากรณ์	50, 51
--------------------------	--------

ช

ชีโกลแลต	18
ชาใบหม่อน	47
ชีวรส	23
ชีวมวล	5, 6, 10, 11, 40

ซ

ซิติรีน	27
ซี-ไฟโคไซยานิน	34-38, 40-44
ซูโครโลส	13
เซลล์ร่างกาย	46
เซลล์สืบพันธุ์	46
เซลล์ลูเลต	26
เซลล์ลูโลส	26
เซลล์ลูโลสจากแบคทีเรีย	23
ไซลิทอล	1-6
ไซโลส	1, 3-7

ด

1-ดีออกซีโนจิริมัยซิน	47
ไดกลีเซอไรด์	48, 49
ดัชนีชี้วัด	32

ดรรชนี (ต่อ)

ดีเอ็นเอ 46

ด

ไดรกลีเซอไรด์ 48, 49

ถ

ถังปฏิกรณ์ปิดแบบให้แสง 38

ถั่วเหลืองหมัก 9

ท

เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบก๊าซ 48, 49

เทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง 48, 49

เทคโนโลยีเมมเบรน 44

น

นมปราศจากแล็กโทส 19

นมและผลิตภัณฑ์นม 15

น้ำตาลแอลกอฮอล์ 2, 4

น้ำมันหอมระเหย 20

น้ำเสียชุมชนแบบเข้มข้น 30, 31

บ

บ่อเปิดแบบรางคู่ 36, 38

ปีตากลูลูโคซิเดส ยีสต์รีคอมบิแนนต์ 21, 22

ปีตา-กาแล็กโทซิเดส 15

ปีตาไธยานิน 14

ไบโอดีเซล 48, 49

ป

ปฏิกิริยารีดักชัน 4

ปริมาณไนเตรต 10

ปุ๋ยอินทรีย์ 10, 16

แป้ง 1, 7, 11, 25, 27, 33

แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ 7

พ

พรีไบโอติก 1, 14

พอลิเด็คซ์โทรส 45

พอลิเมอร์ชีวภาพ 17

พอลิเมอร์ไฮเซน 45

พฤษเคมี 8, 14, 18, 20, 29

ฟ

ฟรุกโทส 1

ไฟโตออโททรอฟ 40

ไฟโคไบลิซึม 34, 36

ไฟโคอิทธิวิน 34

ภ

ภาวะแพ้แล็กโทส 15

ม

มอนอกลิเซอไรด์ 48, 49

มะหาด 28

มิกโซทรอฟ 40

โมนาโคลิน-เค 27

โมแนสคัส 27

ไมโครคริสตัล 2

หม่อน 47

ย

ยีนบำบัด 46

เยรูซาเล็มอาร์ทีไซด์ 1, 25, 34

ร

ระบบหมุนเวียนเซลล์ 3

ระยะเวลาของการให้แสง 10

โรคเบาหวาน 47

ดรรชนี (ต่อ)

ล

แลกโทส.....3, 15, 19

ว

วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน.....26

เวกเตอร์.....46

ไวรัล.....46

ส

สไปรูลินา.....34, 36-38, 40-44

สมุนไพร.....20

สมุนไพรไทย.....29

สารดีเอ็นเอ.....47

สารต้านอนุมูลอิสระ.....8, 9, 18

สารให้ความหวาน.....1-4, 13

สารต้านออกซิเดชัน.....37, 39

สารประเภทที่ทำให้ผิวขาว.....39

สารผสมอาหาร.....45

สารเมแทบอลิซึม.....27

สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย.....37

เส้นใยอาหาร.....7

อ

อนุพันธุศาสตร์.....23, 36

อัลโลไฟโคไซยานิน.....34, 36

อัลโลไฟโคไซยานิน.....42

อาหารเพื่อสุขภาพ.....7

อินซูลิน.....6, 7, 9

อินซูลิน.....1, 25, 33

เอนไซม์กลายพันธุ์.....21, 22

โพลิเมอร์.....14, 25, 33

โพลิเมอร์.....1

ไฮโซฟลาโวนอยด์.....9

ฮ

เฮเทอโรทรอป.....40

เฮเทอโร-โฟโตออโตทรอป.....30, 31

เฮมิเซลลูโลส.....5, 6

A

additive code E955.....13

agent against drug resistant bacteria.....37

Allophycocyanin.....34, 36

Allophycocyanin/ APC.....42

anticancer capacity.....37

anti-inflammatory capacity.....37

antioxidant capacity.....37

antioxidants.....18, 37, 39

aqueous two phase extraction.....44

Auxenochlorella protothecoides.....30, 31

B

Bacillus sp.....17

bacterial cellulose.....23

betacyanins.....14

beta-galactosidase.....15

Biomass.....40

Biomaterials.....23

Biopolymer.....17

C

cell wal disruption.....43

Cellulase.....26

Cellulose.....26

Chocolate.....18

Citrinin.....27

C-Phycocyanin/C-PC.....34-38, 40

ดรรชนี (ต่อ)

D

1-deoxynojirimycin	47
dairy products	15
Dilute acid hydrolysis	26
DNA	46
dragon fruit	14

E

essential oil	20
extraction	43

F

Fed-batch culture	21, 22
fermentation acid	12
food ingredient	45

G

GABA/ γ -aminobutyric acid	27
gamete	46
gene therapy	46
Glutathione	39
growth	41

H

h index	32
heterotroph	40

I

index	32
inulin	1, 25, 33
ion exchange chromatography	44

J

Jerusalem artichoke	25, 33
---------------------------	--------

L

Lactase	15, 19
lactic acid	12
lactose intolerance	15
Lactose free milk	19
Lactose	15, 19
light intensity	41
Lignocellulosic biomass	26
<i>Listeria monocytogenes</i>	29
<i>Listeria monocytogenes</i>	50, 51

M

membrane technology	44
mixotroph	40
molecular genetics	36
monacolin-K/MK	27
<i>Monascus</i> spp	27

O

oligosaccharides	14, 25, 33
open raceway pond	36, 38
oxyresveratrol	28

P

photoautotroph	40
Phycobilisome	34, 35, 36
phytochemical	8
<i>Pichia pastoris</i>	21, 22
polydextrose	45
Polyglutamic acid	17
prebiotic	14
predictive microbiology	50, 51
Pretreatment	26

ดรรชนี (ต่อ)

purification.....	12, 44
Phycoerythrin.....	34
Photoautotroph	36, 38

R

relative sweetness	45
--------------------------	----

S

secondary metabolite.....	27
somatic cells	46
<i>Spirulina</i> sp	34, 36, 38, 40-44
Splenda®/Tate & Lyle	13
sucralose	13
sweetener.....	13

V

vector	46
virus	46
volatile oil.....	20

W

whitening agent.....	39
----------------------	----

สนใจลงโฆษณา สรุสาระเทคโนโลยีชีวภาพ

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 อีเมล/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 กระจุกสุขสถิตย์ และ/หรือ นางสาวสุมลลิกา โมรากุล เลขที่บัญชี 235-226626-5

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

