

Lipids Are Membrane Constituents and Function as Carbon Stores

ลิพิดในพืชมี 2 บทบาทใหญ่ คือ

เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และ เป็นแหล่งสะสมคาร์บอน/พลังงานในรูปแบบน้ำมัน

1. ลิพิดของเยื่อหุ้มเซลล์

ลิพิดสำคัญในพืชแบ่งเป็น **glycerolipids**, **sphingolipids** และ **sterols** โดยลิพิดไขมันมีส่วนหัวชอบน้ำและหางไม่ชอบน้ำ จึงรวมตัวเป็น **lipid bilayer** ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของเยื่อหุ้มเซลล์

ความลื่นไหลของเยื่อหุ้มขึ้นกับชนิดกรดไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบ **cis** ทำให้สายไฮโดรคาร์บอนงอ เยื่อหุ้มจึงลื่นไหลมากขึ้น ส่วน **sterols** และ **sphingolipids** มักช่วยลดความลื่นไหลและทำให้เยื่อหุ้มเสถียรขึ้น พืชที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำมักเพิ่มกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพื่อรักษาความลื่นไหลของเยื่อหุ้ม

2. องค์ประกอบลิพิดแตกต่างกันตามออร์แกเนลล์

เยื่อหุ้มคลอโรพลาสต์ โดยเฉพาะ **thylakoid membrane** มี **galactolipids** เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น **MGDG** และ **DGDG** รวมทั้ง **SQDG** ส่วนเยื่อหุ้ม **ER** และ **plasma membrane** มี **phospholipids**, **sphingolipids** และ **sterols** มากกว่า ตารางในบทนี้แสดงว่า **thylakoid membrane** ของ **rye leaves** มี **MGDG** และ **DGDG** สูงมาก ขณะที่ **plasma membrane** มี **sterols** สูง

ข้อสำคัญคือ พืชใช้ **galactolipids** แทน **phospholipids** จำนวนมากใน **plastid membrane** ซึ่งอาจเป็นข้อได้เปรียบเมื่อฟอสเฟตในดินจำกัด

3. Triacylglycerol เป็นลิพิดสะสมพลังงาน

Triacylglycerols หรือ **triglycerides** พบมากในเมล็ดและผลบางชนิด เช่น มะกอก อะโวคาโด ทำหน้าที่สะสมคาร์บอนและพลังงาน โดยมีข้อดีเหนือแป้งคือไม่อุ้มน้ำ น้ำหนักต่อคาร์บอนต่ำกว่า และมีสภาพรืดวซึมมากกว่า จึงให้พลังงานต่อคาร์บอนสูงกว่า

Triacylglycerol ถูกสะสมใน **oil bodies** หรือ **oleosomes** ซึ่งเกิดจาก **ER membrane** แล้วล้อมรอบด้วย **phospholipid monolayer** พร้อมโปรตีน เช่น **oleosins**, **caleosins** และ **steroleosins** เพื่อช่วยคงรูปและป้องกันการสลายก่อนเวลา รูป 15.6 แสดงการเกิด **oil body** จาก **ER membrane** อย่างชัดเจน

4. การสังเคราะห์กรดไขมันเกิดใน plastids

การสังเคราะห์กรดไขมันใหม่ในพืชเกิดใน **plastids** ได้แก่ **chloroplasts**, **leucoplasts** และ **chromoplasts** ส่วน **ER** ทำหน้าที่ดัดแปลงกรดไขมันต่อ เช่น **elongation** และ **desaturation**

สารตั้งต้นสำคัญคือ **acetyl-CoA** ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็น **malonyl-CoA** โดยเอนไซม์ **acetyl-CoA carboxylase, ACC** ขั้นนี้ใช้ ATP และ biotin และเป็นขั้นตอนควบคุมสำคัญของการสังเคราะห์กรดไขมัน ในคลอโรพลาสต์ ACC ถูกกระตุ้นในสภาวะมีแสง เพราะการสังเคราะห์กรดไขมันต้องใช้ NADPH จากการสังเคราะห์ด้วยแสง

กระบวนการยืดสายกรดไขมันใช้ **ACP** เป็นตัวพาหะ ผ่านปฏิกิริยา condensation, reduction, dehydration และ reduction ซ้ำ ๆ ทำให้สายกรดไขมันยาวขึ้นครั้งละ 2 คาร์บอน จนได้กรดไขมันหลัก เช่น 16:0, 18:0 และ 18:1

5. การสร้าง glycerolipids มี 2 เส้นทาง

glycerolipid เริ่มจาก **glycerol 3-phosphate** แล้วเติม acyl group เข้าไป เกิด lysophosphatidic acid และ phosphatidic acid

มี 2 pathway สำคัญคือ

Prokaryotic pathway เกิดใน plastid envelope ใช้ acyl-ACP และมักมีกรดไขมัน 16:0 ที่ตำแหน่ง C-2 ของ glycerol

Eukaryotic pathway เกิดที่ ER membrane ใช้ acyl-CoA และมักมีกรดไขมัน C18 ไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่ง C-2

บางส่วนของลิพิดเยื่อหุ้ม plastid สร้างผ่านทาง ER ก่อน แล้วส่งกลับเข้า plastid เพื่อสร้าง galactolipids ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง

6. ER เป็นแหล่งสร้าง triacylglycerol และดัดแปลงกรดไขมัน

การสร้าง triacylglycerol เกิดที่ **ER membrane** โดยใช้ glycerol 3-phosphate และ acyl-CoA หรือผ่าน phosphatidylcholine เป็นตัวกลาง กรดไขมัน 18:1 สามารถถูก desaturase เปลี่ยนเป็น 18:2 และ 18:3 ใน ER ได้ และ elongase ใน ER สามารถยืดสายกรดไขมันให้ยาวกว่า C18 ได้

7. ระหว่างเมล็ดงอก น้ำมันถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาล

เมื่อเมล็ดงอก เอนไซม์ lipase จะสลาย triacylglycerol ใน oil body ให้เป็น glycerol และ fatty acids กรดไขมันถูกนำเข้าสู่ **glyoxysomes** แล้วถูกย่อยด้วย **β -oxidation** ให้เป็น acetyl-CoA

พืชต่างจากสัตว์ตรงที่สามารถเปลี่ยน acetyl-CoA จากไขมันไปเป็นน้ำตาลได้ ผ่าน **glyoxylate cycle** แล้วเชื่อมต่อกับ TCA cycle และ gluconeogenesis จนได้ hexoses สำหรับการเจริญของต้นอ่อน รูป 15.26 สรุปเส้นทางนี้จาก oil body $\rightarrow$ fatty acid $\rightarrow$ **β -oxidation** $\rightarrow$ glyoxylate cycle $\rightarrow$ gluconeogenesis

8. กรดไขมันเฉพาะทางมีบทบาทด้านสัญญาณและการป้องกัน

กรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น linolenic acid สามารถถูกเปลี่ยนโดย lipoxygenase เป็น hydroperoxy fatty acids แล้วเกิดสารระเหย เช่น hexenals และ hexenols ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลิ่นหญ้าตัดใหม่และการป้องกันศัตรูพืช

อีกเส้นทางหนึ่งนำไปสู่การสร้าง **jasmonic acid** และ jasmonates ซึ่งเป็นสารสัญญาณสำคัญเกี่ยวกับการต้านทานแมลง เชื้อรา การสร้างดอก ผล เมล็ด และการเข้าสู่ senescence

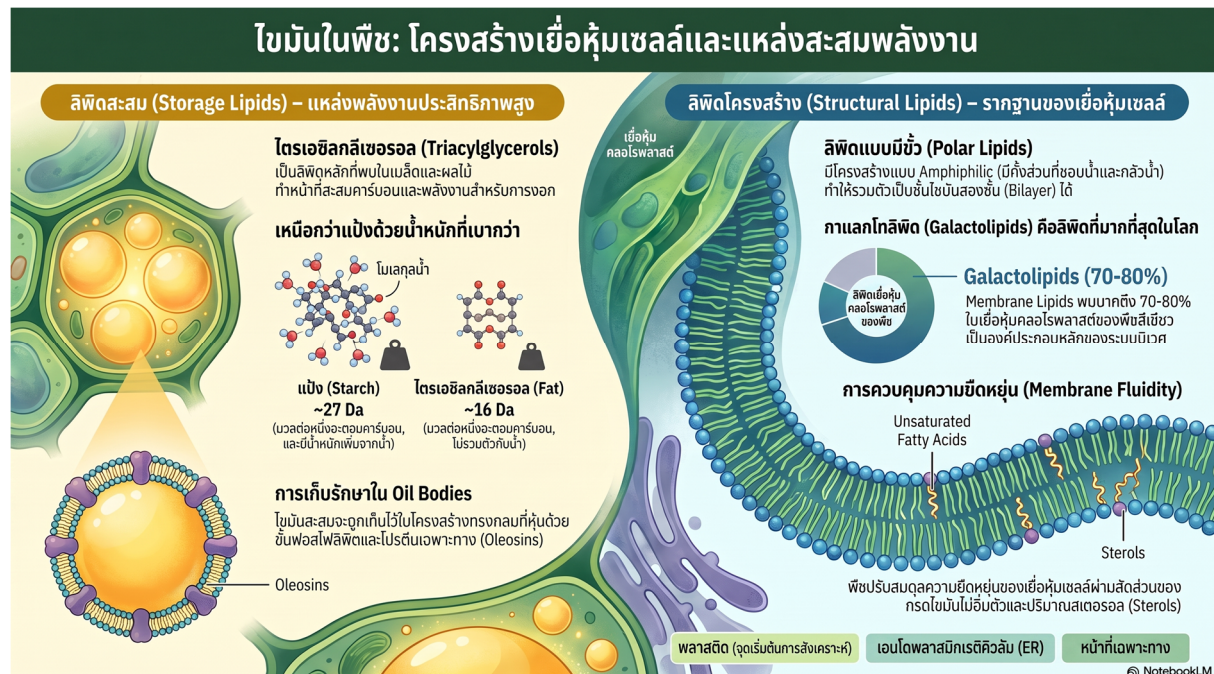
9. ความสำคัญต่ออาหารและอุตสาหกรรม

ไขมันพืชมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่าสัตว์ และเป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น เช่น **linoleic acid** และ **α -linolenic acid** เพราะมนุษย์สร้างพันธะคู่ที่ตำแหน่ง 12 และ 15 เองไม่ได้

ในอุตสาหกรรม ไขมันพืชใช้ผลิตสบู่ ผงซักฟอก เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น สี และ biodiesel เช่น fatty acid methyl ester จากน้ำมัน rapeseed รวมทั้ง glycerol ที่ได้จากการ hydrolysis ของไขมันก็เป็นวัตถุดิบสำคัญ

ใจความสำคัญที่สุด

บทนี้เน้นว่า **ลิพิดของพืชไม่ได้เป็นเพียงไขมันสะสม** แต่เป็นโมเลกุลหลักของเยื่อหุ้ม เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของ membrane เป็นแหล่งคาร์บอนในเมล็ด เป็นสารตั้งต้นของสัญญาณพืช และเป็นวัตถุดิบสำคัญทางอาหารและอุตสาหกรรม ทั้งหมดเชื่อมโยงกันผ่าน plastids, ER, oil bodies และ glyoxysomes.



Potential applications of lipid droplets from marine plants and microalgae in food and health

บทความนี้เป็นบทความทบทวนเกี่ยวกับ **lipid droplets หรือหยดไขมัน** จากพืชทะเลและสาหร่ายขนาดเล็ก โดยมองว่าเป็นทรัพยากรชีวภาพทางทะเลที่มีศักยภาพสูงสำหรับอาหาร สุขภาพ เวชภัณฑ์ เครื่องสำอาง และพลังงานชีวภาพ

ใจความสำคัญ

Lipid droplet เป็นออร์แกเนลล์ที่ทำหน้าที่สะสมพลังงาน มีแกนกลางเป็นไขมันไม่ชอบน้ำ โดยเฉพาะ **triacylglycerol หรือ TAG** และ sterol ester หุ้มด้วยชั้น phospholipid ชั้นเดียว พร้อมโปรตีนที่ฝังอยู่บนผิว เช่น **oleosin, caleosin และ steroleosin** โปรตีนเหล่านี้ช่วยให้หยดไขมันคงตัว ไม่รวมตัวกันง่าย และมีบทบาทต่อการสร้าง การยึดเกาะ และการนำไปใช้ของหยดไขมันภายในเซลล์

บทความเน้นว่า lipid droplets พบได้ใน **seagrass, diatom, Symbiodiniaceae, Chlorella, Nannochloropsis และ microalgae อื่น ๆ** โดยเฉพาะในสาหร่ายขนาดเล็ก การสะสมไขมันมักเพิ่มขึ้นเมื่อเซลล์อยู่ภายใต้ภาวะเครียด เช่น ขาดไนโตรเจน เปลี่ยนความเค็ม หรือแสงเปลี่ยนแปลง

องค์ประกอบและกลไกการเกิด

การสร้าง lipid droplet เกิดสัมพันธ์กับเยื่อเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม โดยเริ่มจากการสังเคราะห์ TAG จาก glycerol-3-phosphate ผ่านเอนไซม์หลายชนิด เช่น GPAT, LPAT, PAP และ DGAT แล้ว TAG สะสมจนเกิดโครงสร้างคล้ายเลนส์ ก่อนแยกออกเป็น lipid droplet ในไซโทซอล ภาพในบทความแสดงโครงสร้างของ lipid droplet ที่มี TAG อยู่ตรงกลาง มี phospholipid หุ้ม และมีโปรตีน oleosin, caleosin, steroleosin ฝังอยู่บนผิว

การประยุกต์ใช้ที่สำคัญ

1. อาหารและโภชนาการ

Lipid droplets จาก microalgae เป็นแหล่งไขมันที่มีคุณค่า เช่น EPA, DHA, กรดไขมันไม่อิ่มตัว และสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น astaxanthin จึงมีศักยภาพใช้ในอาหารเสริมและอาหารสุขภาพ

2. ผลิตภัณฑ์เลียนแบบนมและอาหารจากพืช

เนื่องจาก lipid droplets มีคุณสมบัติเป็นอิมัลชันตามธรรมชาติ จึงอาจใช้แทน milk fat globules ในโยเกิร์ต นมพืช หรือผลิตภัณฑ์ dairy alternative ช่วยเพิ่มเนื้อสัมผัส ความคงตัว และคุณค่าทางโภชนาการ

3. ระบบนำส่งยาและสารออกฤทธิ์ชีวภาพ

โครงสร้างของ lipid droplets เหมาะกับการห่อหุ้มสารไม่ชอบน้ำ เช่น ยาบางชนิดหรือสารออกฤทธิ์ในอาหาร ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลาย ความคงตัว การดูดซึม และ bioavailability ตัวอย่างที่กล่าวถึงคือการใช้ lipid droplet จัดแปลงเพื่อส่ง camptothecin สำหรับการรักษามะเร็งแบบจำเพาะเป้าหมาย

4. เครื่องสำอางและครีมบำรุงผิว

Lipid droplets สามารถใช้เป็นตัวพาในครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด และระบบปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น sphingolipid หรือ growth factor โดยช่วยเพิ่มความชุ่มชื้น การคงตัวของสูตร และอาจช่วยในการสมานแผล

5. hydrogel และ oleogel

การฝัง lipid droplets ในโครงข่าย hydrogel เช่น cellulose nanofiber หรือ hydrocolloid ทำให้เกิดวัสดุที่มีความคงตัวทางความร้อนและคุณสมบัติการปลดปล่อยสารแบบควบคุม เหมาะกับอาหาร เวชภัณฑ์ และวัสดุชีวภาพ

6. พลังงานชีวภาพ

เนื่องจาก microalgae หลายชนิดสะสม TAG ได้สูง จึงมีศักยภาพเป็นวัตถุดิบผลิต biodiesel โดยเฉพาะ Chlorella, Nannochloropsis และ Phaeodactylum tricornutum

ข้อดีของ lipid droplets

มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพดี มี bioavailability สูง สามารถห่อหุ้มสารไม่ชอบน้ำได้ดี เกิดเป็นโครงสร้างได้เองโดยไม่ต้องดัดแปลงทางเคมีมาก ทนต่อความร้อนและ pH ต่ำ และช่วยเพิ่มความคงตัวของอิมัลชันในอาหาร

ข้อจำกัดและความท้าทาย

ยังมีข้อมูลจำกัดเกี่ยวกับโปรตีนของ lipid droplets จากพืชทะเลและ microalgae การแยกและทำให้บริสุทธิ์ยังทำได้ยากในบางชนิด เช่น seagrass นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องการรั่วของสารที่ห่อหุ้ม การรวมตัวของหยดไขมัน กลิ่นไม่พึงประสงค์ ความเสี่ยงจากสารก่อภูมิแพ้ในแหล่งพืชบางชนิด และความจำเป็นต้องประเมินความปลอดภัย ความเป็นพิษ ความคงตัว และการผลิตระดับอุตสาหกรรม

สรุปสุดท้าย

บทความเสนอว่า lipid droplets จากพืชทะเลและสาหร่ายขนาดเล็กเป็นแพลตฟอร์มชีวภาพที่น่าสนใจมากสำหรับ “blue bioeconomy” เพราะใช้ได้ทั้งในอาหารสุขภาพ ระบบนำส่งยา เครื่องสำอาง วัสดุชีวภาพ และพลังงานชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ก่อนนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรม จำเป็นต้องศึกษากลไกเชิงโมเลกุล ความปลอดภัย ความคงตัว และการผลิตในระดับขยายให้ชัดเจนมากขึ้น.