

1997 15  
FAT METABOLISM

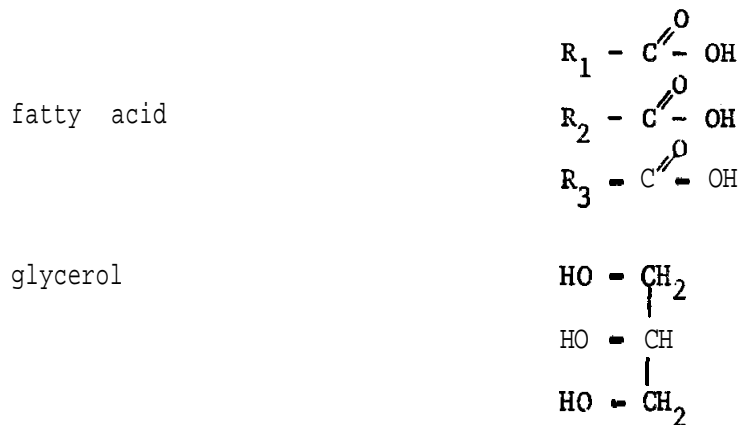
# FAT METABOLISM

## 1. บทนำ

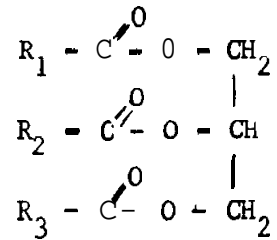
ในพืชมีสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญอีกจำนวนหนึ่งคือไลปิด (lipid) สารจำพวกนี้พบในส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยทั่วไป เช่น endosperm, membrane, glyoxysome, mitochondria และ cytoplasm ในเมล็ดพืชบางชนิดและในละอองเกสรมักจะพบสารไลปิดในปริมาณมาก สารไลปิดเป็นสารประกอบประเภท ester ประกอบด้วยกรดไขมัน (fatty acid) กับแอลกอฮอล์ (alcohol) ถ้าแอลกอฮอล์เป็น glycerol และมีกรดไขมันเกาะอยู่ 3 โมเลกุล ไลปิดนั้นเรียกว่า fat หรือ oil. Fat กับ oil จะแตกต่างกันในด้านโครงสร้างโมเลกุล fat จะมีกรดไขมันโมเลกุลยาวกว่า oil ดังนั้น fat จึงเป็นสารประกอบที่อยู่ในสภาพของแข็ง ณ อุณหภูมิปกติ แต่ oil จะอยู่ในสภาพของเหลว ที่อุณหภูมิปกติ ถ้าแอลกอฮอล์ของไลปิดเป็น monohydric alcohol, ไลปิดนั้นเราเรียกว่า waxes. Waxes ที่พบในพืชจะมีกรดไขมันโมเลกุลยาวมาก

## 2. Fatty Acid in Plants

เนื่องจาก fat และ oil ที่อยู่ในพืชประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุล และ glycerol 1 โมเลกุล จึงอาจจัด fat หรือ oil เป็นสารประเภท triglycerides โครงสร้างของกรดไขมัน glycerol และ triglyceride มีดังรูปที่ 1



triglyceride  
(fat or oil)



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของ fatty acid, glycerol and triglyceride

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า fat และ oil ชนิดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน ในพืชมีกรดไขมันอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมจำนวนคู่ อาจมีตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป คาร์บอนอะตอมในกรดไขมันมีการเรียงตัวแบบ zigzag กรดไขมันที่พบในพืชอาจอยู่อย่างอิสระหรืออาจจะเกาะติดกับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ เช่น เกาะกับสารโปรตีนหรือสารฟอสเฟต เป็นต้น

โดยทั่วไปเราแบ่งกรดไขมันออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

(1) Saturated fatty acids กรดไขมันประเภทนี้ไม่มี double bond ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ตัวอย่างกรดไขมันประเภทนี้ได้แก่ lauric acid, myristic acid, palmitic acid, stearic acid และ arachidic acid etc.

Lauric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Myristic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmitic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Stearic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Arachidic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$

รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันอิ่มตัวชนิดต่าง ๆ

(2) Unsaturated fatty-acid กรดไขมันประเภทนี้มี double bond(s) ตั้งแต่ 1 อัน ระหว่างคาร์บอนอะตอมกับคาร์บอนอะตอม กรดไขมันประเภทนี้มีความสำคัญทางโภชนาการของมนุษย์และสัตว์ เพราะสามารถย่อยได้ง่ายกว่ากรดไขมันอิ่มตัว ตัวอย่างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้แก่ oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, palmitoleic acid, and tartaric acid etc.

Oleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolenic acid	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Palmitoleic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Tartaric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{C}=\text{C}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดต่าง ๆ

(3) Cyclic fatty acid กรดไขมันบางชนิดมีโครงสร้างที่เป็นวงแหวนเป็นองค์ประกอบ กรดไขมันประเภทนี้เรียกว่ากรดไขมันวงแหวน (cyclic fatty acid) ตัวอย่าง กรดไขมันประเภทนี้ได้แก่ chaulmoogric acid, sterculic acid, vemolic acid etc.

Chaulmoogric acid	$\begin{array}{c} \text{CH} = \text{CH} \\   \quad \backslash \\ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \quad \text{CH}(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH} \end{array}$
Sterculic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{C} = \begin{array}{c} \text{C}(\text{CH}_2)_7\text{COOH} \\   \\ \text{CH}_2 \end{array}$

รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันวงแหวนบางชนิด

### 3. Synthesis of Saturated Fatty Acids

การสร้างกรดไขมันในพืชประกอบด้วยปฏิกิริยาหลัก 4 ขั้นตอนคือ formations of acetyl CoA and malonyl CoA, initiation reaction, chain elongation,

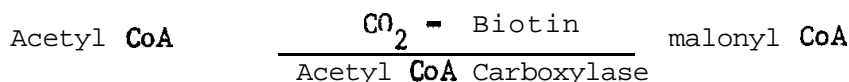
and termination reaction

3.1 Formations of Acetyl CoA and Malonyl CoA ในการสร้างกรดไขมันจะต้องใช้สาร acetyl CoA และ malonyl CoA เข้าทำปฏิกิริยากับ multi-enzyme สารทั้งสองชนิดได้มาจากปฏิกิริยาต่าง ๆ กันดังนี้

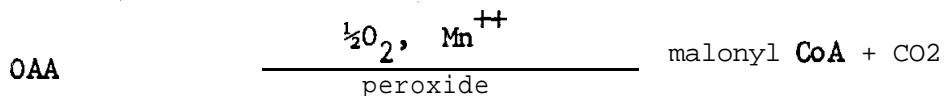
(1) Acetyl CoA เป็นสารที่ได้มาจากการแตกตัวของน้ำตาลกลูโคสในขบวนการไกลโคไลซิส จนได้สารกรดไพรูวิก และมีการแตกตัวของ carboxyl group ในกรดไพรูวิกได้สาร acetyl CoA ออกมา Acetyl CoA อาจได้มาจากการแตกตัวของกรดไขมันใน B-oxidation ได้เช่นเดียวกัน

(2) Malonyl CoA สารชนิดนี้เกิดได้ทั้งในส่วนของพืชที่อยู่บนดินและส่วนที่อยู่ใต้ดิน ปฏิกิริยาการสร้าง malonyl CoA ในส่วนที่อยู่บนดินแตกต่างกับส่วนที่อยู่ใต้ดินดังนี้

(ก) ปฏิกิริยาการสร้าง malonyl CoA ในส่วนของพืชที่อยู่บนดินเริ่มจาก acetyl CoA ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีเอ็นไซม์เข้าช่วยดังสมการ

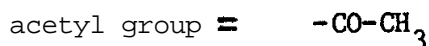


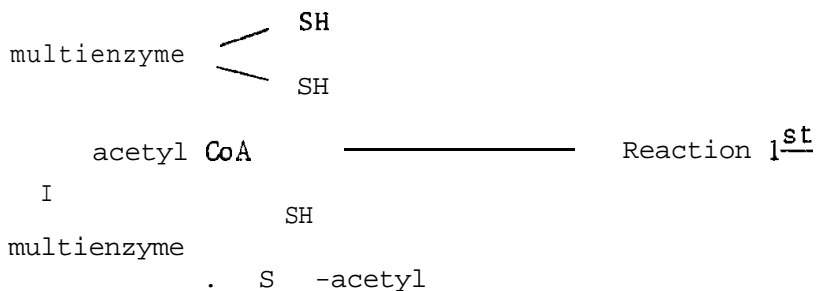
(ข) ปฏิกิริยาการสร้าง malonyl CoA ในรากพืช เกิดจากการแตกตัวของสาร OAA โดยมีออกซิเจนเป็นตัวออกซิไดส์ ดังสมการ



### 3.2 Initiation Reaction

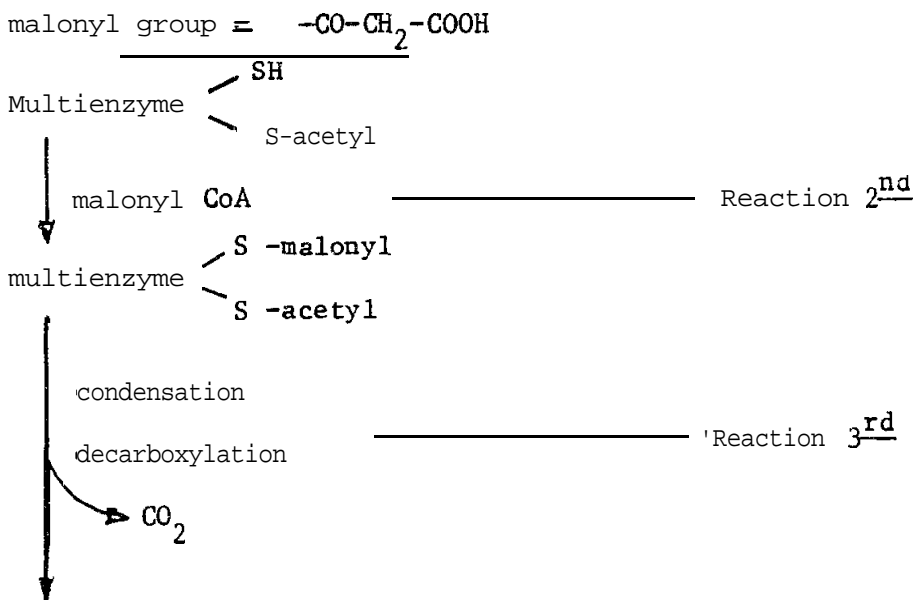
ปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมันเริ่มต้นด้วย acetyl CoA ถ่าย acetyl group ให้กับ I-IS-group (sulphydryl group) ของ multienzyme complex เช่น fatty acid synthetase ดังปฏิกิริยาที่ 1

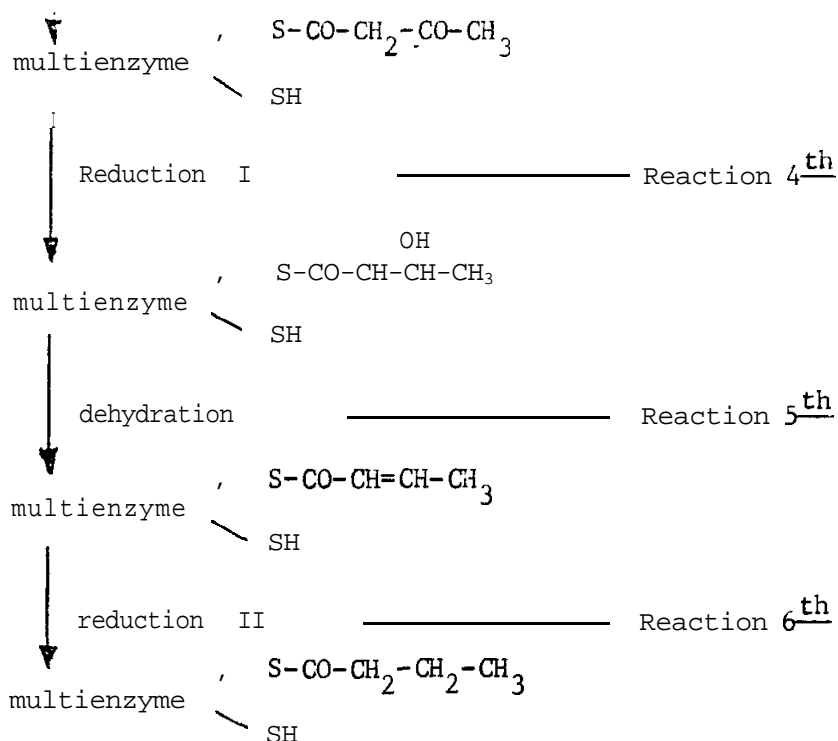




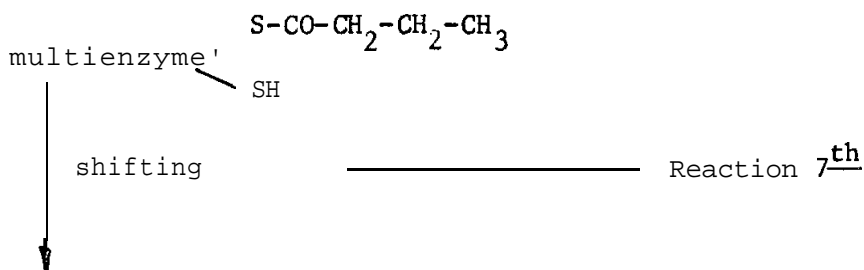
### 3.3 Chain Elongation

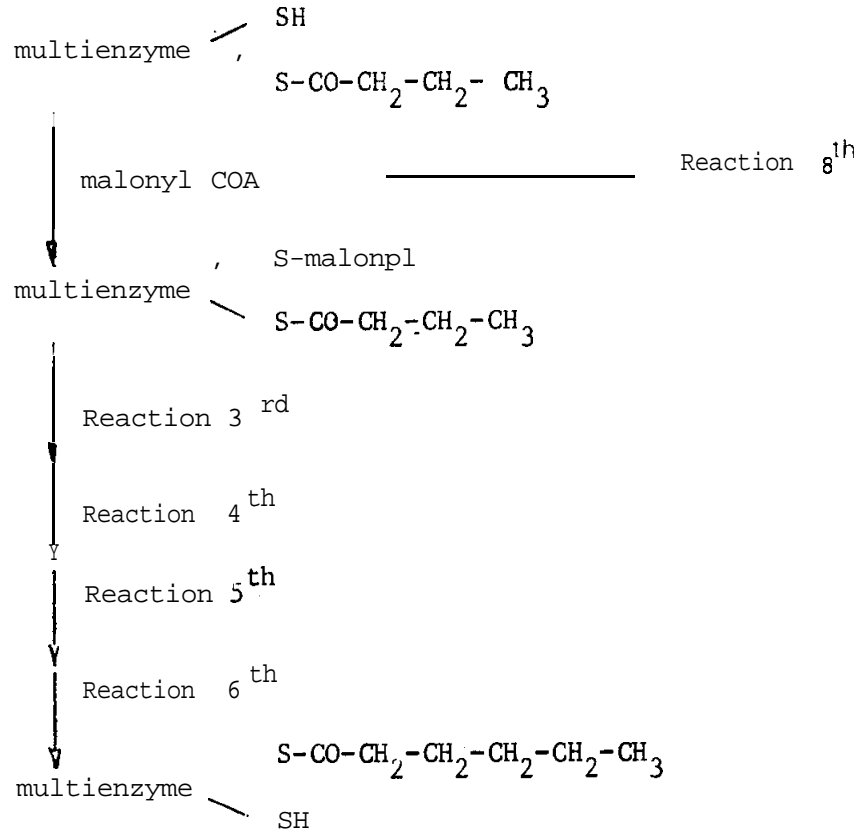
ปฏิกิริยาสร้างความยาวของโมเลกุลเริ่มด้วย malonyl CoA ถ่าย malonyl group ให้กับ HS-group ที่สองของ multienzyme complex (ปฏิกิริยาที่ 2) ต่อไปมีการย้าย acetyl group ไปรวมกับ malonyl group (ปฏิกิริยาที่ 3) ในเวลาเดียวกัน carboxyl group ของ malonyl group แตกตัวได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (ปฏิกิริยาที่ 3) ทำให้ multienzyme complex มี side chain ประกอบด้วยคาร์บอน 4 อะตอม side chain ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันในเวลาต่อไป ต่อจากนั้นจะมีปฏิกิริยารีดักชันครั้งที่ 1 (ปฏิกิริยาที่ 4) ทีไฮเดรชัน (ปฏิกิริยาที่ 5) และรีดักชันครั้งที่สอง (ปฏิกิริยาที่ 6) ชั้นที่ side chain จนได้ acyl group ที่มีคาร์บอน 4 อะตอมเป็นองค์ประกอบ





Acyl group ที่มีคาร์บอน 4 อะตอม ( $-COCH_2-CH_2-CH_3$ ) จะถูกไฮโดรไลสต่อไปเป็น butyric acid ถ้าเป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาวขึ้น จะมีการถ่าย acyl group มาที่ HS-group ที่ว่างอยู่ (ปฏิกิริยาที่ 7) แล้ว malonyl CoA ก็จะทำ malonyl group เข้าแทนที่ acyl group ปฏิกิริยาก็จะเริ่มตั้งแต่ปฏิกิริยาที่ 3 ถึงปฏิกิริยาที่ 6 ใหม่ หลังจากเกิดการไฮโดรไลสขึ้นก็จะได้กรดไขมันที่มีคาร์บอนมากขึ้นอีก 2 อะตอม ดังนี้





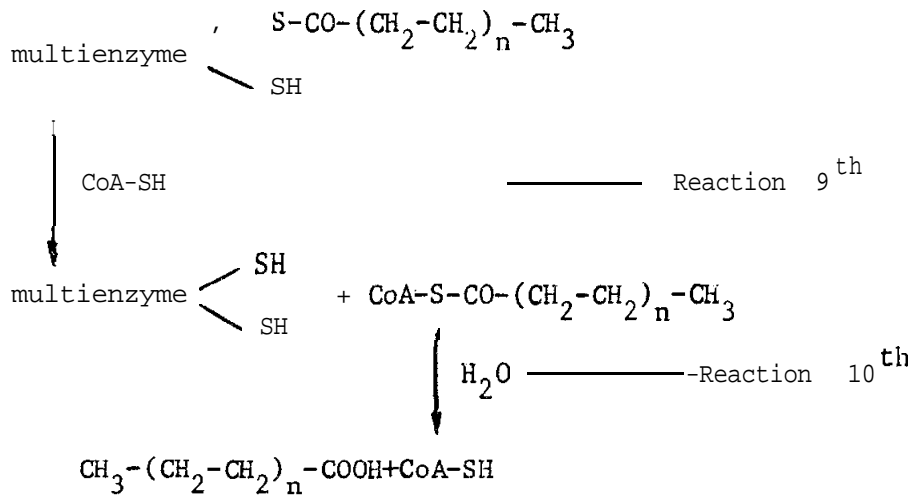
จะเห็นได้ว่าถ้า malonyl CoA เข้าทำปฏิกิริยา 1 ครั้ง แล้วเกิดปฏิกิริยาที่ 3 ถึงปฏิกิริยาที่ 6 จะได้ acyl group ที่คาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ 4 อะตอม ถ้า malonyl CoA เข้าทำปฏิกิริยาครั้งที่ 2 จะได้ acyl group ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ 6 อะตอม เช่นนี้เรื่อย ๆ ถ้า malonyl group เข้าทำปฏิกิริยา N ครั้ง แล้วปฏิกิริยาดำเนินไปถึงปฏิกิริยาที่ 6 ทุกครั้ง ก็จะได้ acylgroup ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่  $2(N+1)$  อะตอม

### 3.4 Termination Reaction

เมื่อ multienzyme complex มี acyl group ได้ความยาวระดับหนึ่งแล้ว acyl group จะถูกถ่ายทอดไปยัง HS-group ของ coenzyme A (HS-CoA) ต่อมา



coenzyme A จะปล่อย acyl group เพื่อสร้างกรดไขมัน ดังสมการ



4. Synthesis of Unsaturated Fatty Acid

ปฏิกิริยาที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นการสร้างกรดไขมันอิ่มตัว สำหรับการสร้างกรดไขมันไม่อิ่มตัวในพืชยังไม่มียปฏิกิริยาสรุปที่แน่ชัด แต่มีผู้ให้ความเห็นว่า double bond คู่แรกเกิดขึ้นระหว่างคาร์บอนอะตอมที่ 9 และคาร์บอนอะตอมที่ 10 ซึ่งอาจเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

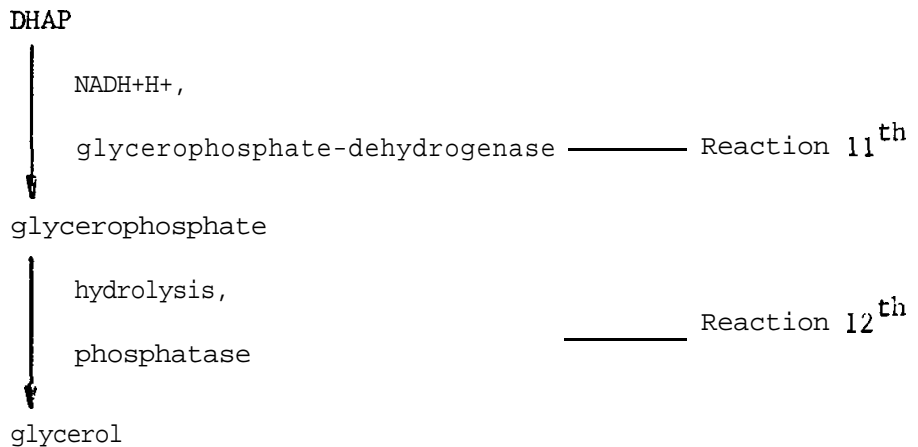
(1) หลังจากที่ multienzyme complex มี acyl group ที่มีคาร์บอนจำนวน 10 อะตอม หรือ 12 อะตอม เกิดขึ้นแล้วจะมีการสร้าง double bond ขึ้นระหว่างคาร์บอนอะตอมที่ 9 และอะตอมที่ 10 โดยปฏิกิริยา dehydrogenation

(2) double bond อาจเกิดขึ้นหลังจากการสร้างกรดไขมันอิ่มตัวแล้ว โดยปฏิกิริยา dehydrogenation ขึ้นระหว่างคาร์บอนอะตอมที่ 9 และคาร์บอนอะตอมที่ 10 เช่น stearic acid ถูก dehydrogenated เป็น oleic acid เป็นต้น

สำหรับการเกิด double bond อันต้อ ๆ ไปนั้นอาจได้มาจากปฏิกิริยา dehydrogenation ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (มี double bond อยู่แล้ว)

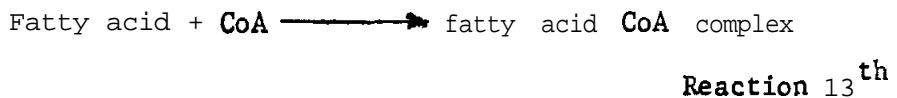
5. Synthesis of Glycerol

glycerol ได้จากสาร dihydroxyacetonephosphate (DHAP) ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาในไกลโคไลซิส มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นสองขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนแรก DHAP เปลี่ยนเป็น glycerophosphate โดยใช้  $\text{NADH}+\text{H}^+$  และ glycerophosphate dehydrogenase เข้าช่วย (ปฏิกิริยาที่ 11) และขั้นตอนที่สอง glycerophosphate จะเปลี่ยนไปเป็น glycerol โดยปฏิกิริยา enzyme hydrolysis (ปฏิกิริยาที่ 12)



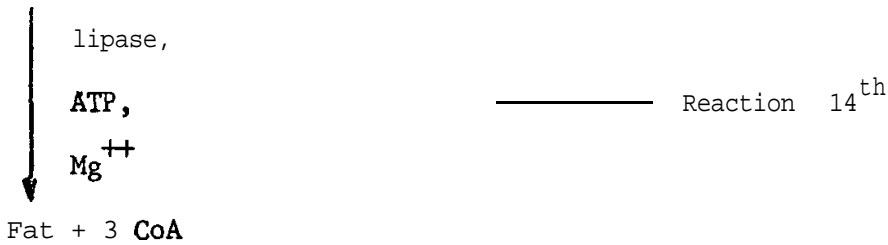
#### 6. Condensation of Fatty Acid and Glycerol

การสร้าง fats หรือ oil แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้ คือ ขั้นตอนแรกกรดไขมันเข้าทำปฏิกิริยา Coenzyme A ได้สารประกอบ fatty acid CoA complex ดังปฏิกิริยา 13



ขั้นตอนที่สอง fatty acid CoA Complex จะทำปฏิกิริยากับ glycerol โดยใช้เอนไซม์ lipase, สาร ATP และ  $\text{Mg}^{++}$  เข้าช่วย ได้ fats หรือ oil และได้ coenzyme A กลับคืนมา ดังปฏิกิริยาที่ 14

3Fatty acid CoA complex + glycerol

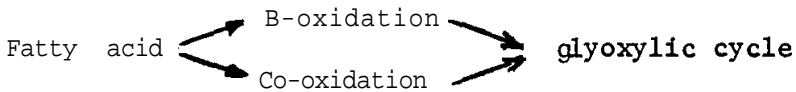


7. Degradation or Catabolism of Fat

พืชสะสม fats (oils) ไว้ในส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดและ  
 ละอองเกสร พืชไม่สามารถนำ fats หรือ oils ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้โดยตรง และ  
 ไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารเริ่มต้นสร้างสารอื่นได้ดี พืชจะเปลี่ยน fats หรือ oils ให้glycerol  
 และ fatty acid ก่อน โดยผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลเซชัน ปฏิกิริยานี้เรียกว่า saponi-  
 fication ซึ่งเกิดขึ้นดังปฏิกิริยาที่ 15



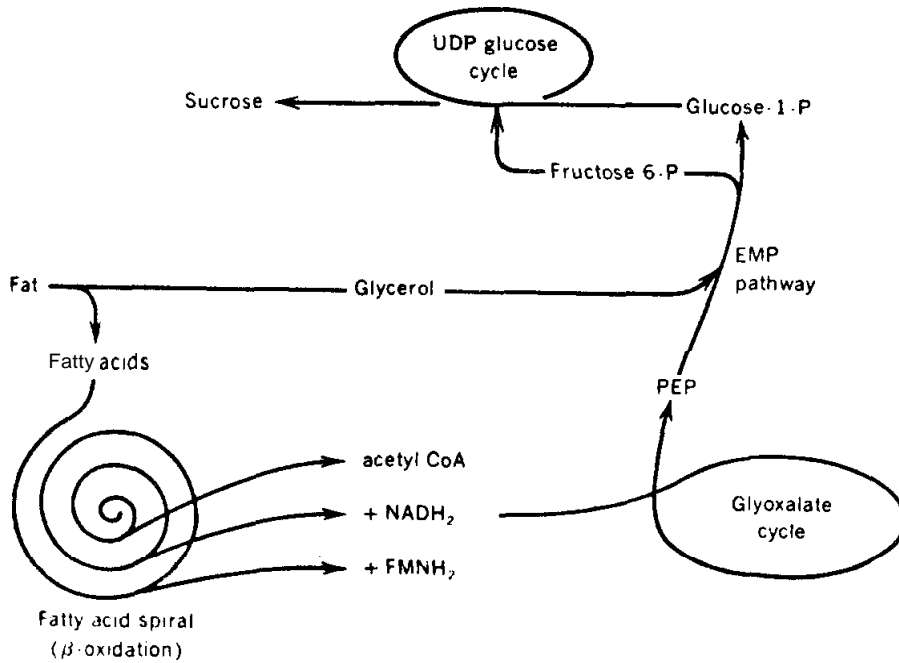
ต่อมา fatty acidอาจถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยา B-oxidation หรือ α -  
 oxidation และสารที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ใน glyoxylic acid cycle or TCA cycle  
 เพื่อสร้างพลังงานและสารอื่น ๆ ต่อไป



สำหรับ glycerol จะถูกเปลี่ยนเป็น triose phosphate ซึ่งต่อมาจะ  
 ถูกนำไปใช้ในการสร้างน้ำตาล hexoses ต่อไป (รูปที่ 5)

7.1 B-Oxidation

B-Oxidation เป็นปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดไขมันที่มีจะพบได้ง่ายใน  
 เมล็ดที่กำลังงอกและในละอองเกสรที่กำลังแทงท่อลงใน style, จากการศึกษาเรื่องเอ็นไซม์



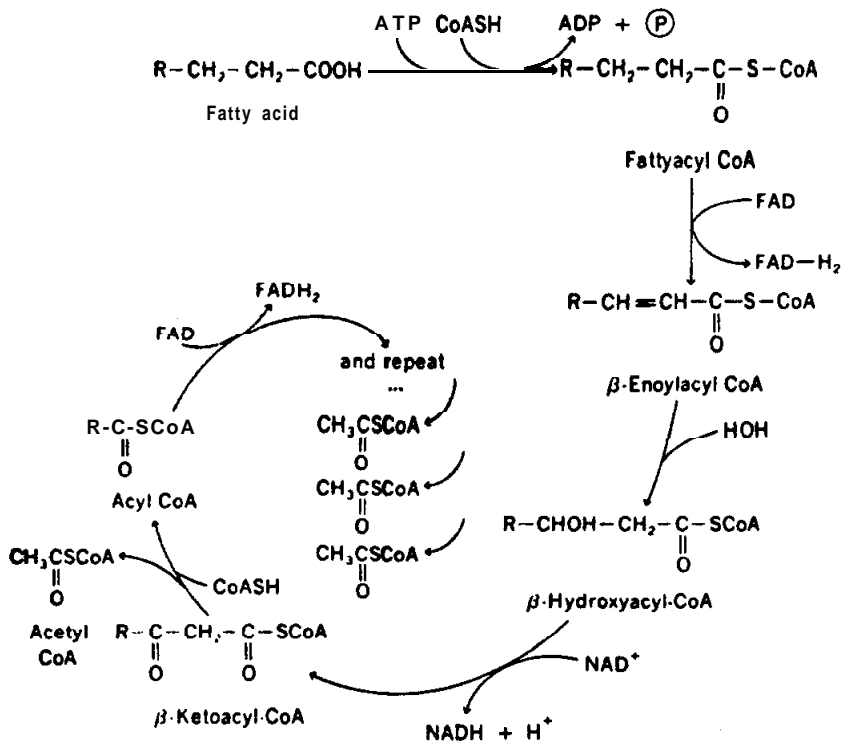
รูปที่ 5 แสดงการใช้ glycerol ไปสร้างน้ำตาลกลูโคสตามแนวคิดของ 3eevers (EMP pathway = glycolysis, UDP glucose cycle = uridine diphosphate glucose cycle, FMNH<sub>2</sub> = flavin mononucleotide)

แสดงให้เห็นว่า B-oxidation จะเกิดใน mitochondria

ปฏิกิริยา B-oxidation เริ่มจากกรดไขมันจะทำปฏิกิริยากับ coenzyme A โดยใช้สาร ATP เข้าช่วยได้สาร acyl CoA, และตามด้วยปฏิกิริยา dehydrogenation โดยมี FAD เป็นตัวรับไฮโดรเจน, มีการเพิ่มน้ำ, และมีปฏิกิริยาคีไฮโดรยีนเนชันครั้งที่ 2 โดยมี NAD<sup>+</sup> เป็นตัวรับไฮโดรเจน, ได้สาร B-ketoacyl-CoA, ต่อจากนั้น B-ketoacyl-CoA จะทำปฏิกิริยากับ coenzyme A อีกตัวหนึ่ง, แล้วแตกตัวเป็น acetyl CoA และ acyl CoA

สาร acyl CoA ตัวใหม่ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมน้อยกว่าเดิม 2 อะตอม

(ให้ไปกับ acetyl CoA), และเริ่มทำปฏิกิริยาใหม่ต่อ ๆ ไป (แต่แต่ละครั้งจะเสียคาร์บอนไปครั้งละ 2 ตัว), จนกระทั่ง acyl CoA เปลี่ยนไปเป็น acetyl CoA ทั้งหมด (ดูรูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงแผนภาพการเกิดปฏิกิริยา  $\beta$ -oxidation

จากปฏิกิริยา B-oxidation 1 ครั้ง, จะได้ acetyl CoA ออกมา 1 โมเลกุล (ยกเว้นครั้งสุดท้ายจะได้ acetyl CoA ออกมา 1 โมเลกุล), และจะได้  $\text{FADH}_2$  และ  $\text{NADH} + \text{H}^+$  ออกมาอย่างละ 1 โมเลกุล ถ้า  $\text{FADH}_2$  ผ่านเข้า oxidative phosphorylation จะได้สาร ATP 2 โมเลกุล ในทำนองเดียวกัน  $\text{NADH} + \text{H}^+$  จะให้สาร ATP 3 โมเลกุล, ฉะนั้นการแตกตัวของกรดไขมันผ่าน  $\beta$ -oxidation 1 ครั้ง, จะเสียคาร์บอนไป 2 อะตอมและจะได้ acetyl CoA 1 โมเลกุล และได้สาร ATP เท่ากับ 5 โมเลกุล

ปฏิกิริยา B-oxidation มิใช่เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาการสร้างกรดไขมัน เพราะ

(1) การสร้างกรดไขมันต้องใช้ malonyl CoA อย่างน้อย 1 โมเลกุล แต่การออกซิไดส์กรดไขมันไม่มี malonyl CoA เข้าเกี่ยวข้อง

(2) ในการสร้างกรดไขมันมีสาร  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  เป็นตัวให้อิเล็กตรอนแก่ side chain ของ multienzyme แต่ใน  $\beta$ -oxidation มีสาร FAD และสาร  $\text{NAD}^+$  เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ฉะนั้นตัวให้-รับอิเล็กตรอนจึงเป็นสารคนละชนิดกัน

(3) Acetyl CoA ที่ได้จาก  $\beta$ -oxidation ไม่สามารถคืนกลับสู่กรดไขมันโดยปฏิกิริยาย้อนกลับได้ แต่จะนำไปใช้สร้างกรดไขมันโดยมี multienzyme เข้าช่วย

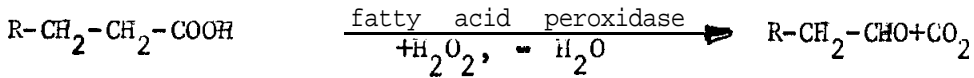
## 7.2 $\alpha$ -Oxidation

ในพืชชั้นสูง กรดไขมันมีการแตกตัวได้อีกแบบหนึ่ง ซึ่งเรา เรียกว่า  $\alpha$ -oxidation ปฏิกิริยานี้จะไม่พบในสัตว์  $\alpha$ -oxidation เกิดกับกรดไขมันที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 13 อะตอมถึง 18 อะตอม, กรดไขมันที่มีคาร์บอนน้อยกว่า 13 อะตอมจะไม่เกิดปฏิกิริยา  $\alpha$ -oxidation ขึ้น แต่เกิดปฏิกิริยา  $\beta$ -oxidation ปฏิกิริยา  $\alpha$ -oxidation อาจแบ่งเป็นสองตอนดังนี้

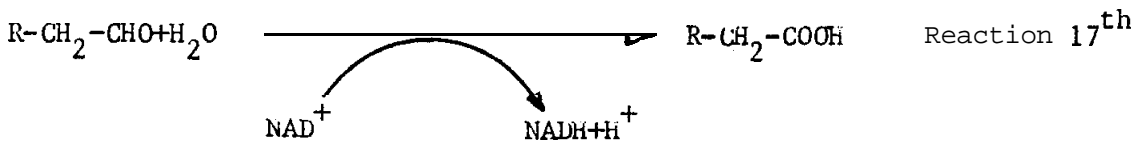
(1) Decarboxylation of fatty acid ในขั้นแรก carboxyl group

ของกรดไขมันจะแตกตัวให้คาร์บอนไดออกไซด์, และกรดไขมันจะเปลี่ยนเป็น aldehyde ที่ มีคาร์บอนน้อยกว่ากรดไขมันเดิมอยู่ 1 อะตอม ปฏิกิริยาในขั้นนี้มีเอ็นไซม์ fatty acid peroxidase เข้าช่วย (ดูปฏิกิริยาที่ 16)

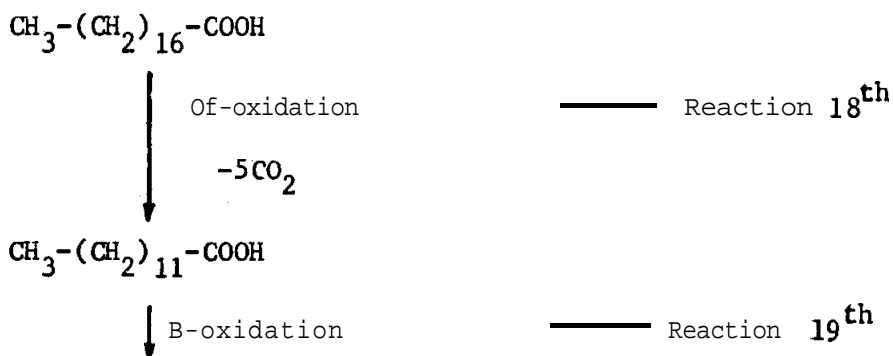
Reaction 16<sup>th</sup>

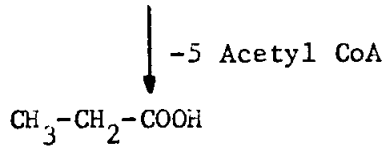


(2) Hydration and dehydrogenation Aldehyde ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยน เป็น fatty acid ตัวใหม่ ซึ่งมีคาร์บอนจำนวนเท่ากับคาร์บอนของ aldehyde ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย hydration และ dehydrogenation ดังปฏิกิริยาที่ 17



ปฏิกิริยาการออกซิไดส์กรดไขมันจะเกิดขึ้นซ้ำในขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่สองเรื่อย ๆ ไปจนกระทั่งกรดไขมันมีคาร์บอนอะตอมจำนวน 13 อะตอม ปฏิกิริยา  $\alpha$ -oxidation ก็จะหยุด ต่อจากนั้นปฏิกิริยา B-oxidation ก็ จะเกิดขึ้น จนกระทั่งได้กรดไขมันที่มีคาร์บอน 3 อะตอม (propionic acid) ตัวอย่างเช่น การแตกตัวของกรดสเตียริก (มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ จำนวน 18 อะตอม) จะเป็นดังนี้





ในการแตกตัว carboxyl group เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ของกรดไขมัน โดยผ่านปฏิกิริยา  $\alpha$ -oxidation แต่ละครั้งนั้นจะได้  $\text{NADH} + \text{H}^+$  1 โมเลกุล ฉะนั้น ถ้ากรดไขมันสูญเสียคาร์บอนไป 1 อะตอมโดยผ่าน  $\alpha$ -oxidation จะได้สาร ATP เท่ากับ 3 โมเลกุล

เมื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จาก  $\alpha$ -oxidation กับพลังงานที่ได้จาก B-oxidation เราจะได้ดังนี้

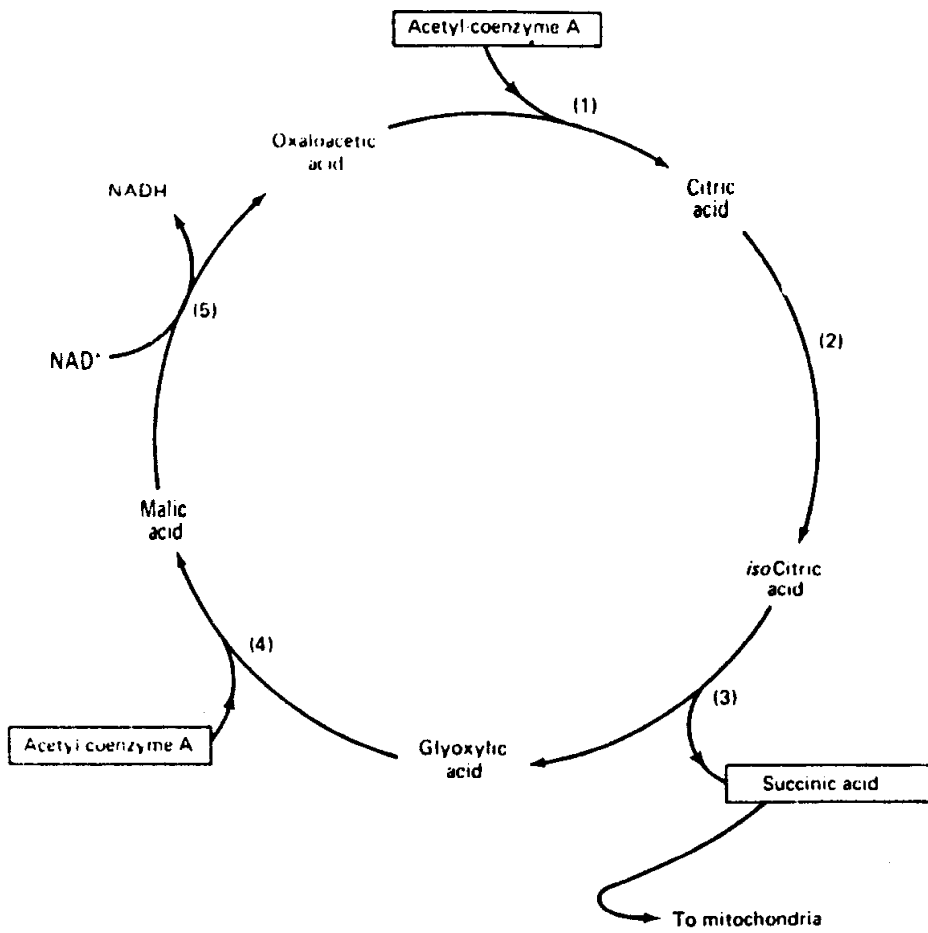
M-oxidation	B-oxidation
(1) ได้พลังงาน 3 ATP จากการสูญเสียคาร์บอนไป 1 อะตอม	(1) ได้พลังงาน 5 ATP จากการสูญเสียคาร์บอนไป 2 อะตอม
(2) ได้กรดไขมันที่มีคาร์บอนอย่างน้อย 13 อะตอม ซึ่งยังมีพลังงานสะสมอยู่	(2) ได้ acetyl CoA สามารถนำไปใช้ใน TCA cycle ได้อีก

Acetyl CoA ที่ได้จากปฏิกิริยา B-oxidation อาจถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทางดังนี้

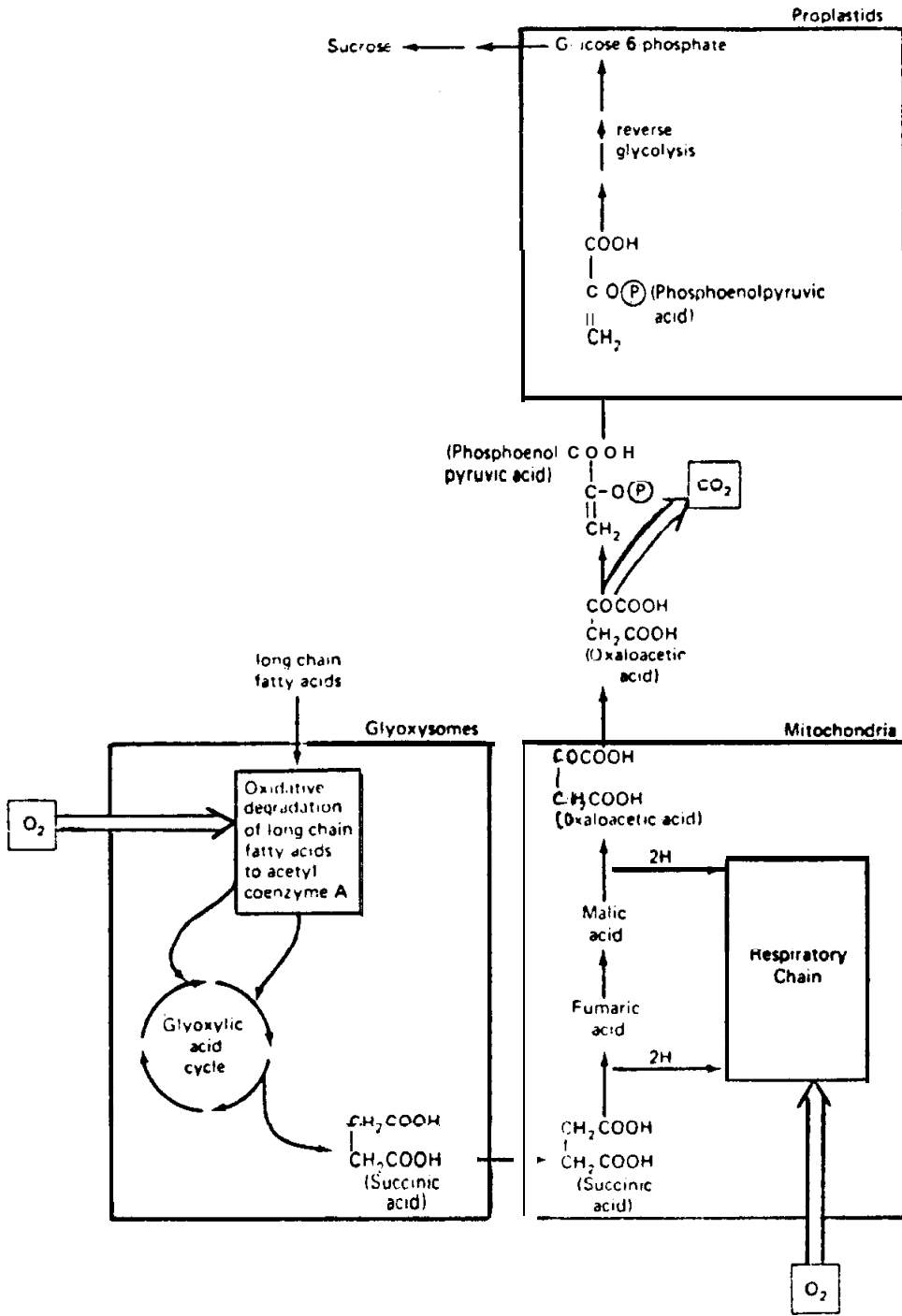
(1) เคลื่อนที่ออกจาก glyoxysome เข้าสู่ mitochondria และนำไปใช้ใน TCA cycle (ดูเรื่อง respiration)

(2) เข้าสู่ปฏิกิริยา glyoxylic acid cycle เพื่อใช้สร้างน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ต่อไป





รูปที่ 7 แสดงแผนภาพ glyoxylic acid cycle



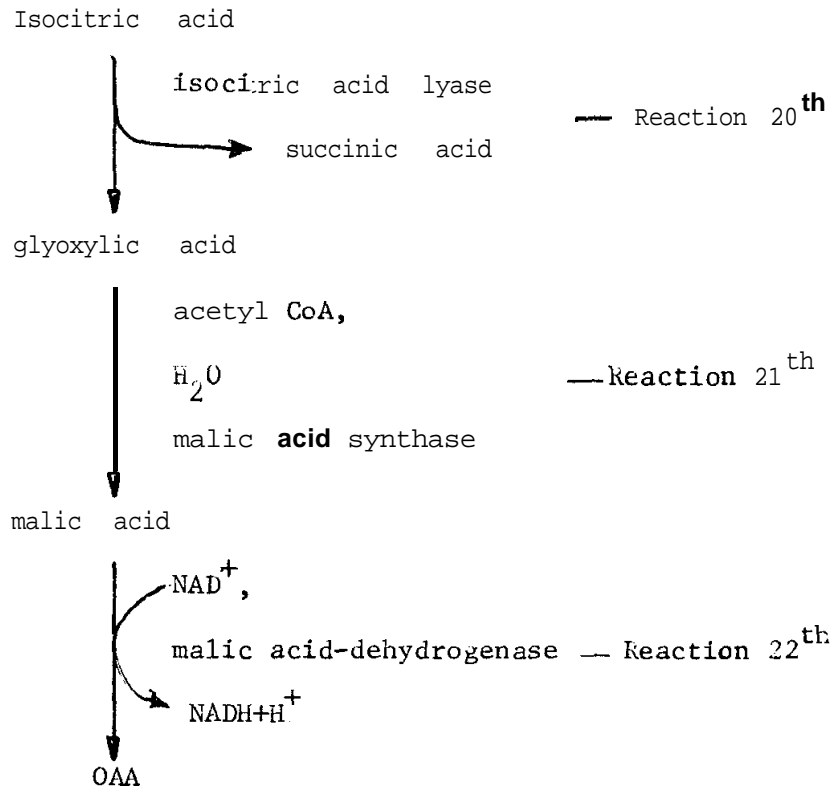
รูปที่ 8

แสดงแผนภาพการใช้ acetyl CoA จากการแตกตัวของ fatty acid ไปใช้ใน glyoxylic acid และการใช้ succinic acid ไปใช้ในการสร้างน้ำตาล

๒-

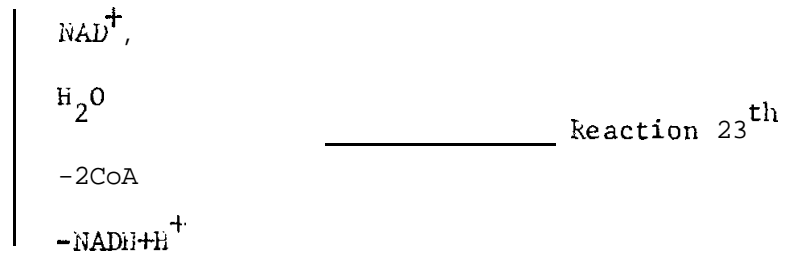
7.3 Glyoxylic Acid Cycle

ปฏิกิริยา glyoxylic acid cycle (รูปที่ 7) เริ่มต้นด้วย acetyl CoA เข้าทำปฏิกิริยากับ oxaloacetic acid (OAA) และได้สาร citric acid ต่อมา citric acid ถูกเปลี่ยนเป็น isocitric acid สาร isocitric acid จะแตกตัวให้ glyoxylic acid และ succinic acid ดังปฏิกิริยาที่ 20 glyoxylic acid จะทำปฏิกิริยากับ acetyl CoA และได้ malic acid ดังปฏิกิริยาที่ 21 malic acid ที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็น oxaloacetic acid (ดังปฏิกิริยาที่ 22), และพร้อมที่จะทำปฏิกิริยากับ acetyl CoA ในรอบต่อไป



จะ เห็นได้ว่าจากปฏิกิริยา glyoxylic acid cycle จะให้ succinic acid ออกมา 1 โมเลกุล และจะต้องใช้ acetyl CoA ไป 2 โมเลกุล ดังปฏิกิริยาที่ 23

2 Acetyl CoA



Succinic acid

Succinic acid ที่ได้จาก glyoxylic acid cycle จะถูกนำไปใช้สร้างน้ำตาล (รูปที่ 8) ซึ่งปฏิกิริยา เริ่มต้นจาก succinic acid ออกจาก glyoxysome เข้าสู่ mitochondria ต่อมา succinic acid ถูกเปลี่ยนเป็น fumaric acid, malic acid and oxaloacetic acid ตามลำดับ (ปฏิกิริยาการ เปลี่ยน succinic acid เป็น oxaloacetic acid เป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยาใน TCA cycle)

Oxaloacetic acid ที่ได้จะเคลื่อนที่ออกจาก mitochondria เข้าสู่ cytoplasm และต่อมา oxaloacetic acid จะเสีย carboxyl group ไปหมู่หนึ่ง ได้สาร PEP และคาร์บอนไดออกไซด์ (ปฏิกิริยาในช่วงนี้เป็นส่วนหนึ่งของปฏิกิริยา glycolic acid pathway)

PEP ที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนเข้าสู่ proplastid (ในขณะที่เมล็ดกำลังงอก มี proplastid อยู่ใน cytoplasm จำนวนมาก) ต่อมา PEP จะถูกเปลี่ยนเป็น glucose-6-phosphate (ปฏิกิริยานี้มีหลายตอนเป็น reverse glycolysis) และจะมีการสร้างคาร์โบไฮเดรตชนิดต่าง ๆ เช่นน้ำตาลกลูโคสจาก glucose-6-phosphate ในเวลาต่อมา