فسيولوجى نبات خاص

أيض الليبيدات والأحماض الدهنية

أ.د/ أحمد لطفى ونس

استاذ النبات وعميد الكلية

شاهد المحاضرة فيديو على الروابط التالية:

https://youtu.be/MD_7-3jAHxA

https://youtu.be/FcZHW5JXWL4

https://youtu.be/1UYe45ImmsM

Prof. Ahmed Lotfy Wanas

العمليات الحيوية المتعلقة بأيض الليبيدات والأحماض الدهنية

الليبيدات هى مجموعة من المواد العضوية تتألف من أحماض دهنية مرتبطة مع كحول وقد يرتبط معها مواد أخرى مثل الفوسفور والنيتروجين (الفوسفوليبيدات) – بروتينات (البروتينات الدهنية) – سكريات (الجليكوليبيدات). هناك ليبيدات لا تحتوى على أحماض دهنية مثل الستيرويدات **Steroids** ومنها الكوليسترول والهرمونات الجنسية (الإستروجين **Estrogen** والتستوستيرون **Testosterone**).

التركيب الكيميائى للدهون يتضمن عناصر الكربون **C** والهيدروجين **H** والأكسجين **O** وهى نفس العناصر المكونة للكربوهيدرات إلا أن الهيدروجين والأكسجين لا يوجدان بنسبة وجودهما فى الماء كما فى الكربوهيدرات بل تكون نسبة الهيدروجين إلى الأكسجين كبيرة فى الدهون أى أن الدهون يكون مستوى إختزالها أعلى من الكربوهيدرات وهذا يفسر كون:

١ جم من الدهون يعطى طاقة قدرها ٩ كيلو كالورى (٩ سعرات) بينما يعطى ١ جم من الكربوهيدرات ٤ كيلو كالورى (٤ سعرات) فقط.

والدهون هى عبارة عن مواد عضوية غير قطبية لا تذوب فى الماء ويتم إستخلاصها من الخلايا والأنسجة بواسطة مذيبات عضوية لا قطبية مثل الكلوروفورم والإيثر والبنزين.

❖أهمية الدهون:

١.صورة من صور الطاقة المخزنة، وهى مصدر مركز للطاقة حيث تعطى أكثر من ضعف الطاقة التى تعطيها الكربوهيدرات أو البروتينات.

٢.تدخل كعناصر تركيبية فى تركيب الأغشية الخلوية.

٣.غطاء واقى للسطح الخارجى فى العديد من الكائنات الحية مثل مادة الكيوتين التى تكون طبقة الكيوتيكل على بشرة الاجزاء الهوائية للنبات مثل السيقان الحديثة والأوراق.

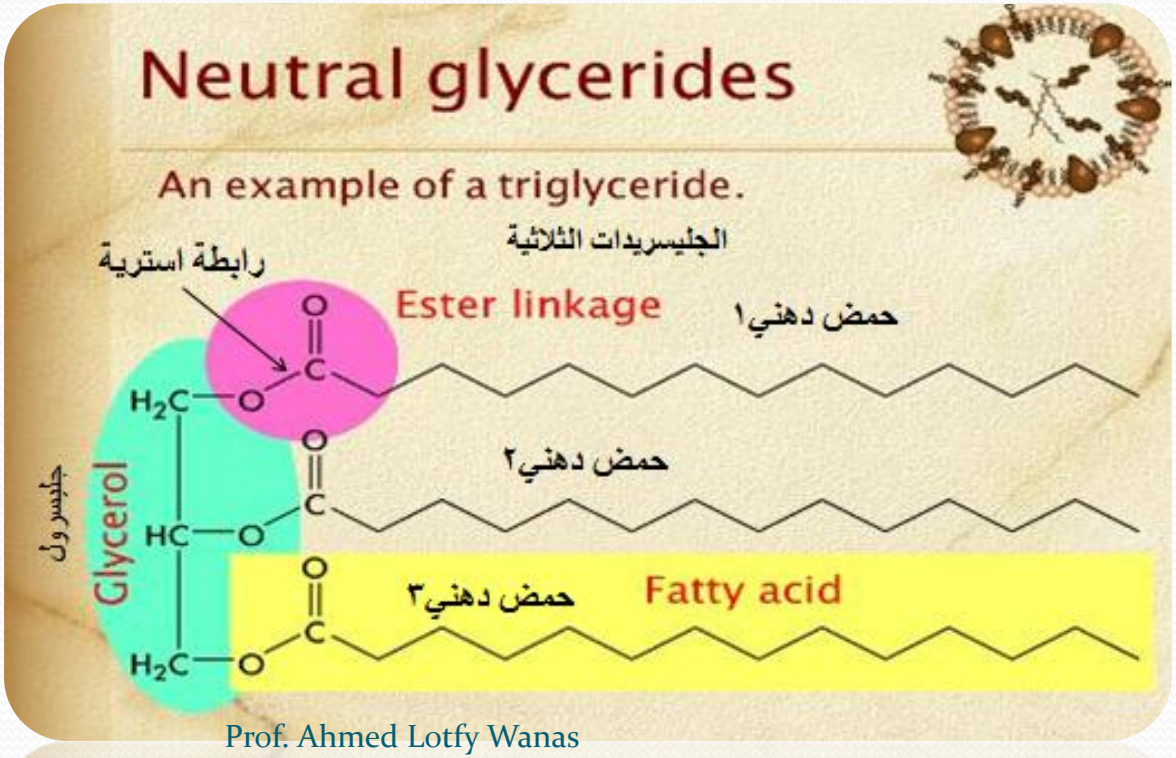
٤.ذات أهمية بيولوجية مثل بعض الهرمونات الفيتامينات والصبغات التى تدخل ضمن تقسيم الدهون.

تقسيم الليبيدات

يمكن تقسيم الدهون حسب تركيبها الكيميائى إلى:

أ- الليبيدات البسيطة **Simple Lipids** هى إسترات لأحماض الدهنية مع كحولات وتقسم إلى:

١) ليبيدات متعادلة **Neutral lipids** وتسمى ثلاثى أسيل الجليسرول أو ثلاثى الجلسرايد وتشمل الدهون والزيوت **Fats & Oils** وهى عبارة عن إسترات لثلاث أحماض الدهنية مع كحول الجليسرول.



٢) الشموع **Waxes** : هى إسترات لأحماض الدهنية مع كحولات أخرى أعلى من الجليسرول.

ب- الليبيدات المركبة **Lipids Compound** وهى دهون تربط مع مركبات أخرى مثل:

١) الفوسفوليبيدات **Phospholipids** وهى من مشتقات الليبيدات المتعادلة حيث يستبدل أحد الأحماض الدهنية المرتبطة بالجليسرول بحمض فوسفوريك مرتبط بمركبات أزوتية ومن أمثلتها **Lecithin**

٢) الجليكوليبيدات **Glycolipids** وهى مركبات تحتوى على الدهون مرتبطة مع الكربوهيدرات ولم يتأكد من وجودها فى النبات.

٣) الكيوتين والسوبرين: التركيب الكيماوى لها غير معروف على وجه الدقة، والكيوتين عبارة عن مخلوط من أحماض دهنية حرة وناتجات تكاثف الأحماض الدهنية مع كحول عالى والفارق الكيميائى بين الكيوتين والسوبرين هو الإختلاف فى أنواع الأحماض الدهنية التى تكون كل منهما.

الجليسرول

كحول ثلاثى الهيدروكسيل لا لون له ولا رائحة، سائل حلو المذاق، يمتزج بالماء ولا يذوب فى المذيبات الدهون. وحيث أنه كحول ثلاثى الهيدروكسيل فيمكن له أن يتأستر مع ثلاثة أحماض دهنية أو أقل ليعطى:

- ✓ أحادى الجليسرايد (يحتوى على حمض دهنى واحد).
- ✓ ثنائى الجليسرايد (يحتوى على حمضين دهنيين).
- ✓ ثلاثى الجليسرايد (يحتوى على ٣ أحماض دهنية).

الأحماض الدهنية

❖ خصائص الأحماض الدهنية:

١. تعتبر اللبنة الأساسية لبناء الدهون وتمنحها الطبيعة الدهنية (الصلبة) أو الزيتية (السائلة).

٢. لا توجد حرة فى السيتوبلازم عادة نظراً لسرعة دخولها فى بناء الدهون بمجرد تكوينها، ويمكن الحصول عليها بواسطة التحليل المائى للدهون.

٣. الأحماض الدهنية عبارة عن أحماض أليفاتية طويلة السلسلة وتحتوى على مجموعة كربوكسيل حمضية واحدة.

٤. تختلف الأحماض الدهنية عن بعضها فى طول السلسلة الهيدروكربونية وفى عدد ومواقع الروابط الزوجية، الأحماض الدهنية التى لا تحتوى على روابط زوجية تسمى الأحماض الدهنية المشبعة أما التى تحتوى على روابط زوجية فتسمى أحماض دهنية غير مشبعة.

٥. تحتوى جميع الأحماض الدهنية الموجودة فى الطبيعة تقريبا على عدد زوجى من ذرات الكربون ولها سلاسل تتراوح بين ٤ : ٣٤ ذرات الكربون، وأكثر الأحماض الدهنية إنتشارا هى المحتوية على ١٦ : ١٨ ذرة كربون.

الأحماض الدهنية

الأحماض الدهنية تتكون من سلسلة هيدروكربونية طويلة تنتهى من طرف بمجموعة الكربوكسيل (الطرف دلتا) ومن الطرف الأخر بمجموعة ميثيل (الطرف أوميجا) بينهما سلسلة متكررة من الكربون المرتبط بالهيدروجين

حمض الأوليك

الطرف دلتا $CH_3 - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$ الطرف أوميجا

تقسيم الأحماض الدهنية:

- أولاً: تقسيم الأحماض الدهنية تبعا لتصنيعها فى الجسم:

١) أحماض دهنية أساسية: وهى أحماض دهنية لا يصنعها الجسم ويتم الحصول عليها من الغذاء مثل حمض الأراشيدونك **Arachidonic acid (C=20)**.

٢) أحماض دهنية غير أساسية: وهى الأحماض الدهنية التى يصنعها الجسم مثل حمض الأوليك **Oleic acid (C= 18)**.

الأحماض الدهنية

ثانيا: تقسيم الأحماض الدهنية تبعا لدرجة تشبعها:

١) أحماض دهنية مشبعة Saturated fatty acid: هى أحماض دهنية مختزلة تماماً ولا تحتوى على روابط زوجية مثل حمض البالمتيك $CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$ (C =16) والصيغة الجزيئية له هى $C_{16}H_{32}O_2$ وحمض الإستياريك $C_{18}H_{36}O_2$ (C=18) والذيول الهيدروكربونية للأحماض المشبعة خاملة كيميائيا.

٢) أحماض دهنية غير مشبعة Unsaturated fatty acid: وهى أحماض دهنية تحتوى على رابطة زوجية واحدة أو أكثر وهذه تقسم تبعا لعدد الروابط الزوجية إلى:

أحماض دهنية تحتوى على رابطة زوجية واحدة مثل حمض الأوليك.

$$CH_3 - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$$

أحماض دهنية تحتوى على رابطتين زوجيتين مثل حمض اللينوليك **Lionoleic acid**.

أحماض دهنية تحتوى على ثلاث روابط زوجية مثل حمض اللينولنيك **Lionolenic acid**.

أحماض دهنية تحتوى على أربع روابط زوجية مثل حمض الأراشيدونيك **Arachidonic acid**.

والذيول الهيدروكربونية للأحماض الدهنية غير المشبعة تكون فعالة لوجود الروابط الزوجية.

الأحماض الدهنية

حمض الأوليك (١٨ذرة كربون ورابطة واحدة زوجية هى دلتا ٩ أو أوميجا ٩)

الطرف دلتا $CH_3 - (CH_2)_7 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$ الطرف أوميجا

به رابطة واحدة زرجية بين ذرة الكربون رقم ٩ وذرة الكربون رقم ١٠ تسمى دلتا ٩ وهى فى نفس الوقت أوميجا ٩.

حمض اللينوليك (١٨ ذرة كربون ورابطتان زوجيتان هما دلتا ٩ ، ١٢ أو أوميجا ٦)

الطرف دلتا $CH_3 - (CH_2)_4 - CH = CH - CH_2 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$ الطرف أوميجا

به ورابطتان زوجيتان هما دلتا ٩(بين ذرتى الكربون رقم ٩ ، ١٠ من ناحية الطرف دلتا) ، دلتا ١٢بين ذرتى الكربون رقم (١٢ ، ١٣ من الطرف دلتا) والتى هى فى نفس الوقت أوميجا ٦ عند العد من الطرف أوميجا.

حمض اللينولنيك (١٨ ذرة كربون وثلاثة روابط زوجية هى دلتا ٩ ، ١٢ ، ١٥ أو أوميجا ٣)

$$CH_3 - CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH = CH - CH_2 - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH$$

به ٣ روابط زوجية هى دلتا ٩(بين ذرتى الكربون رقم ٩ ، ١٠ من ناحية الطرف دلتا) ، دلتا ١٢بين ذرتى الكربون رقم (١٢ ، ١٣ من الطرف دلتا) دلتا ١٥ (بين ذرتى الكربون رفم ١٥ ورقم ١٦) والتى هى فى نفس الوقت أوميجا ٣ عند العد من الطرف أوميجا.

أولاً: الليبيدات البسيطة

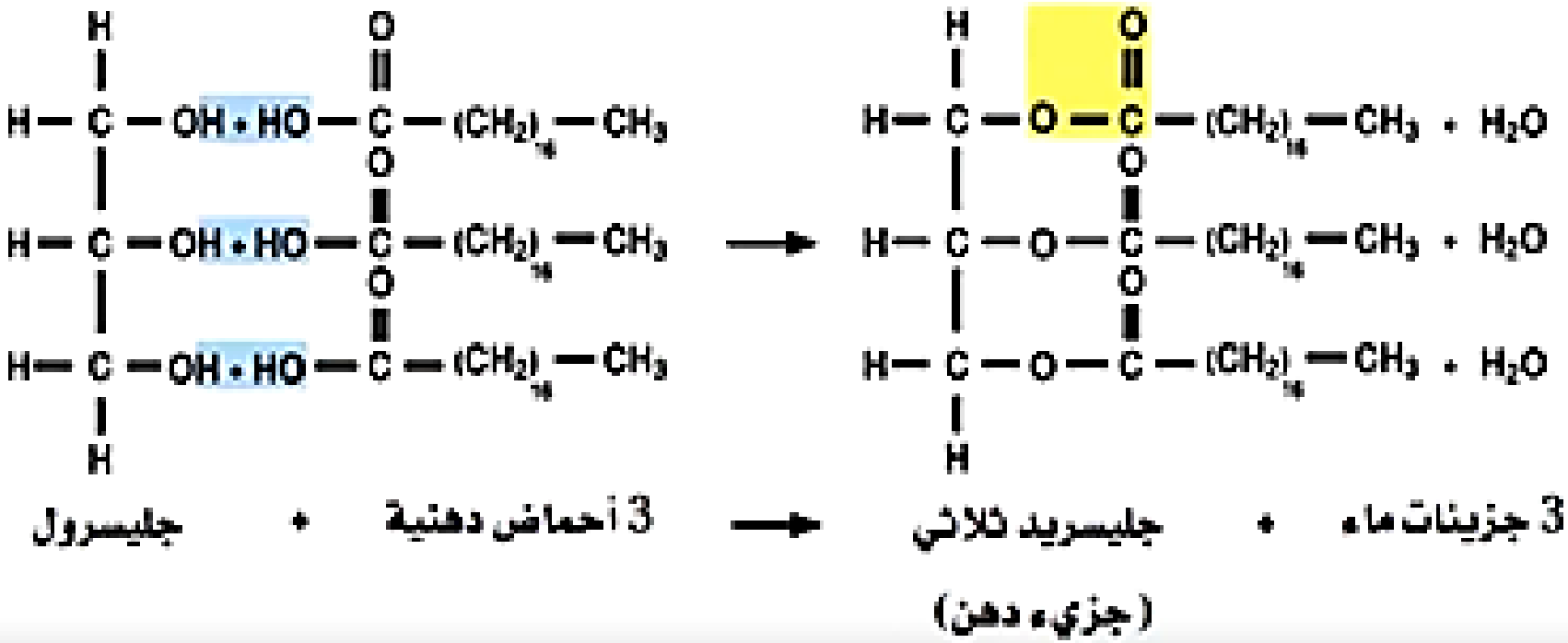
١) الليبيدات المتعادلة:

هى أبسط الليبيدات وأكثرها وفرة، سميت بالليبيدات أو الدهون المتعادلة لأنها لا تحمل شحنات كهربائية، وتتكون من إرتباط ثلاثة أحماض دهنية مع كحول الجليسرول بروابط أستر، لذلك تسمى بثلاثى الجلسرايد وهى تشمل الدهون والزيوت.

تتشابه الدهون والزيوت من الناحية الكيمائية ولكن تختلف فى خواصها الطبيعية فالأولى تكون صلبة فى درجات الحرارة العادية بينما تكون الزيوت سائلة ويعزى ذلك إلى أن الدهون تحتوى على نسبة عالية من الأحماض الدهنية المشبعة بينما تحتوى الزيوت على نسبة عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة. ويشكل ثلاثى الجلسرايد الصورة التى تخزن عليها الدهون فى خلايا النبات والحيوان.

أولاً: الليبيدات البسيطة

تفاعل التكثيف



أولاً: الليبيدات البسيطة

يوجد ثلاثى الجلسرايد (الدهون والزيوت المتعادلة) على هيئة أنواع كثيرة تختلف عن بعضها تبعاً لـ:

- ✓ نوع الأحماض الدهنية المرتبطة بالجليسرول.
- ✓ موقع الأحماض الدهنية الثلاثة المرتبطة بالجليسرول.

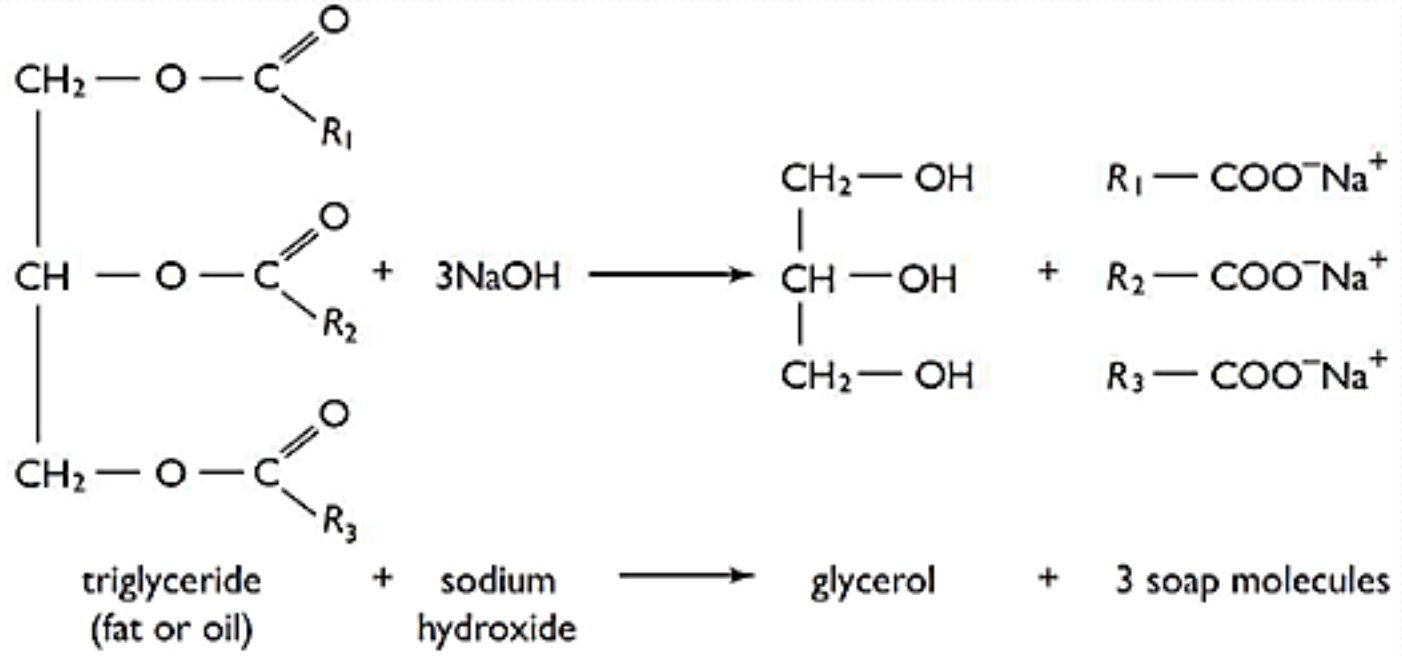
الليبيدات التى تحتوى على نوع واحد من الأحماض الدهنية فى مواقع الإرتباط الثلاثة مع الجليسرول تسمى باللبيدات البسيطة المتجانسة أو ثلاثى أسيل الجليسرول المتجانس كما تسمى أيضا نسبة إلى الحمض الدهنى الداخل فى تركيبها مثل ثلاثى بالميتول الجليسرول أو ثلاثى البالمتين إذا كان الحمض الدهنى الموجود على المواقع الثلاثة هو حمض البالمتيك.

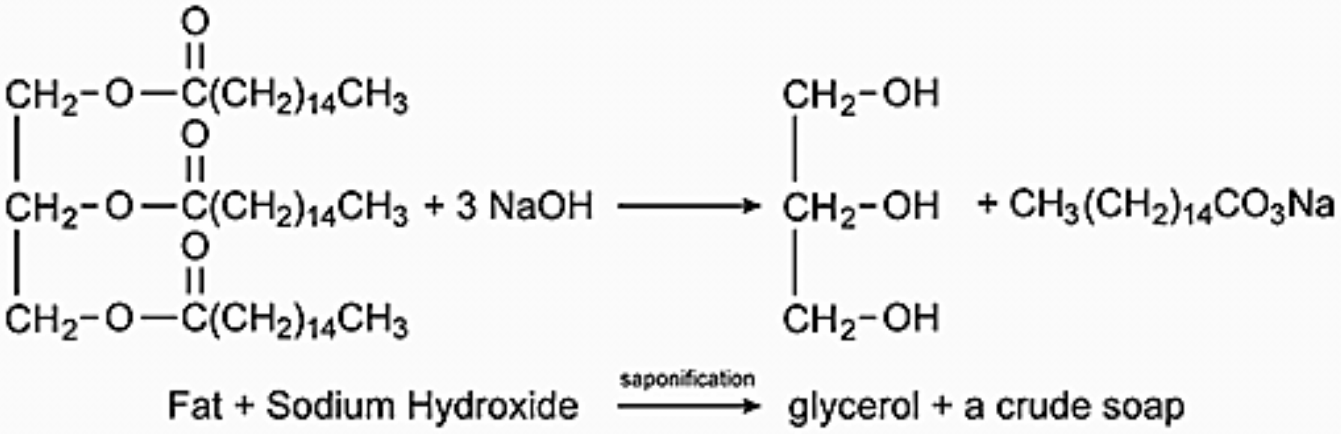
الليبيدات التى تحتوى على أكثر من نوع واحد من الأحماض الدهنية (٢ أو ٣) تسمى ثلاثى أسيل الجليسرول المختلط.

والدهون الموجودة فى الطبيعة معظمها خليط من ثلاثى أسيل الجليسرول المتجانس والمختلط.

يتحلل ثلاثى أسيل الجليسرول مائيا بواسطة إنزيم اللايبيز أو عند غليانه مع أحماض أو قواعد، والتحلل المائى لثلاثى أسيل الجليسرول (الدهون والزيوت) فى وجود مادة قلوية يسمى بالتصبن **Saponification**.

أولاً: الليبيدات البسيطة



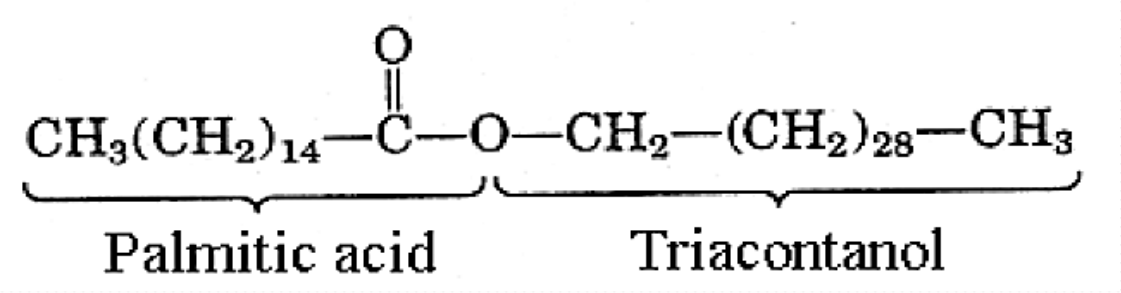


أولاً: الليبيدات البسيطة

٢) الشموع Waxes:

عبارة عن إسترات لأحماض دهنية طويلة السلسلة ذات عدد زوجى من ذرات الكربون مع كحولات طويلة السلسلة وذات عدد زوجى من ذرات الكربون وأحادية الهيدروكسيل أى يكون هناك رابطة إستر واحدة فى كل جزى دهن شمعى.

شمع العسل يتكون من أستر حمض البالمتيك ($C_{16}H_{32}O_2$) مع كحول دهنى طويل السلسلة هو كحول ($C_{30}H_{62}O$) **Triacontanol**.



ثانياً: الليبيدات المعقدة

الليبيدات المعقدة عبارة عن إسترات لأحماض دهنية مع كحول (ثلاثى جلسرايد) متحد معها عناصر أخرى غير دهنية، فبالإضافة إلى الكربون والهيدروجين والأكسجين المكونين للحمض الدهنى والكحول نجد أن هناك عناصر أخرى تدخل فى تركيب هذه الدهون كالفوسفور والنيتروجين والسكريات والبروتين. وتقسم الليبيدات المركبة حسب نوع المادة غير الدهنية المرتبطة بها إلى:

١. الدهون المفسفرة (الفوسفوليبيدات) Phospholipids:

تستخدم بصفة أساسية كعناصر تركيبية تدخل فى تركيب الأغشية الخلوية ولا تخزن مطلقا بهدف إنتاج الطاقة. وتحتوى الدهون المفسفرة التى توجد فى الأغشية الخلوية على:

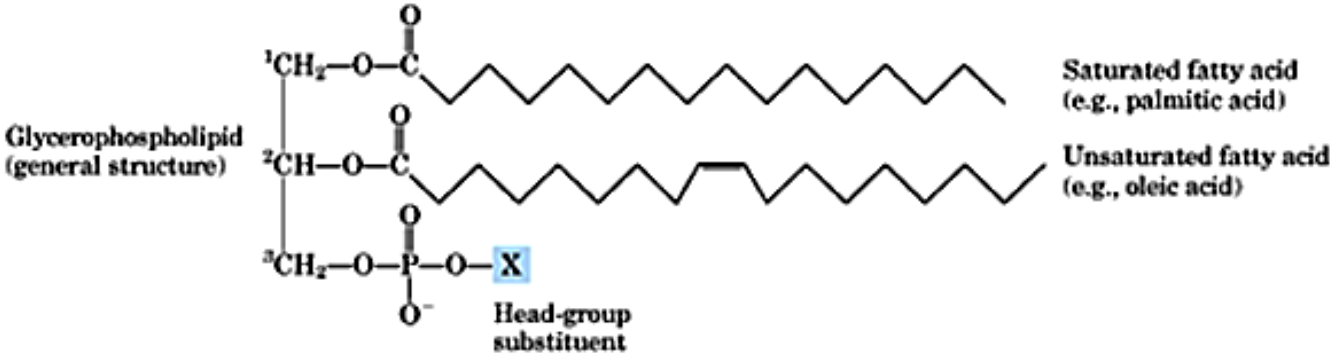
- ✓ حمضين دهنيين (أحدهما مشبع والأخر غير مشبع عادة) تتأستر مع مجموعة الهيدروكسيل الأولى والثانية فى الجليسرول.
- ✓ حمض فوسفوريك يتأستر مع مجموعة الهيدروكسيل الثالثة فى الجليسرول.

وهذا هو التركيب العام للدهون المفسفرة ويسمى حمض الفوسفاتيديك والذى تشتق منها جميع أنواع الفوسفوليبيدات الأخرى ومنها:

ثانياً: الليبيدات المعقدة

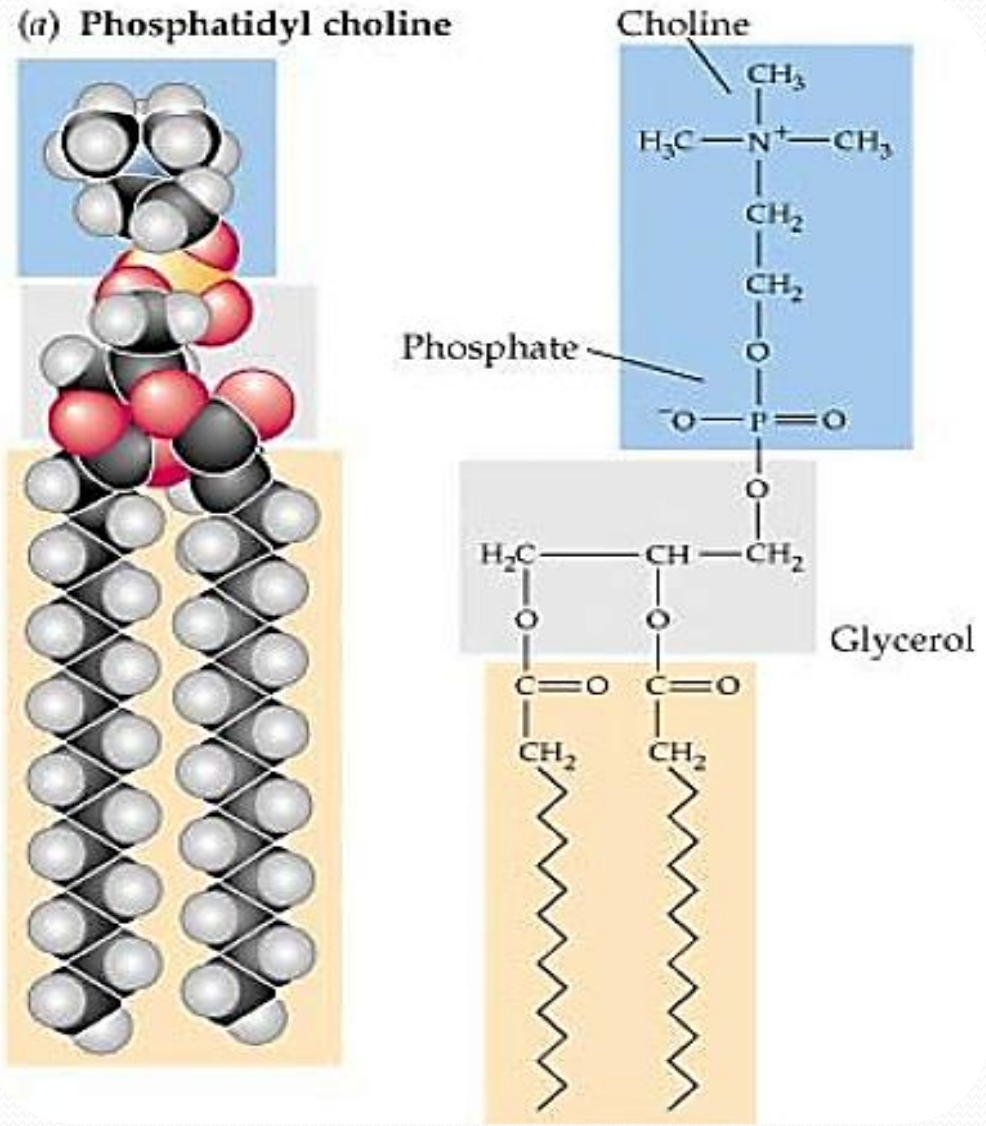
١) الليثيسين وفيه يتحد حمض الفوسفاتيديك مع القاعدة النيتروجينية كولين ويسمى أيضا فوسفوتيدايل كولين أمين

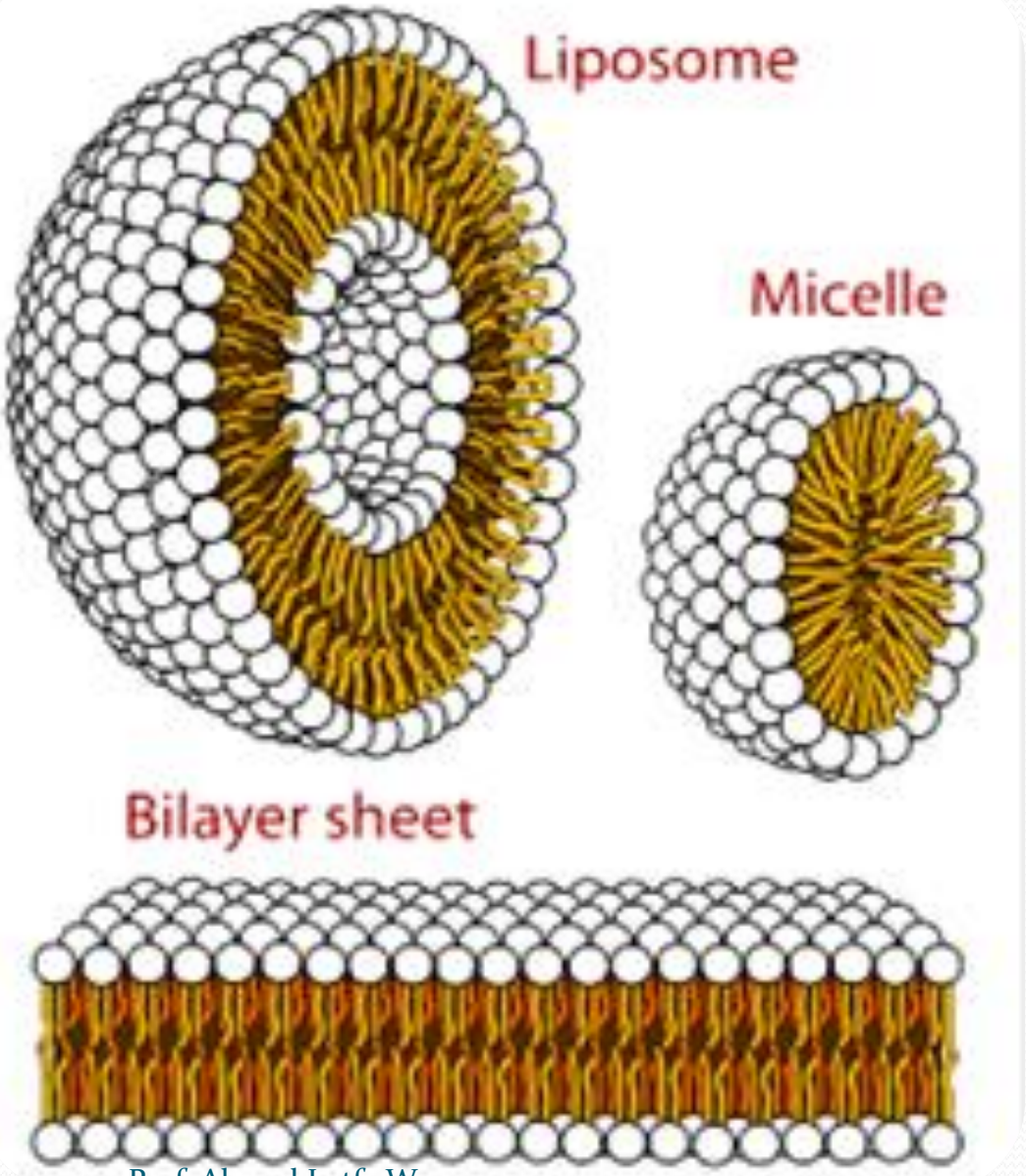
٢) السيفالين وفيه يتحد حمض الفوسفاتيديك مع قاعدة مثل الإيثانول أمين ويسمى فوسفوتيدايل إيثانول أمين أو مع السيرين ويسمى فوسفوتيدايل سيرين أو مع الإنيستول ويسمى فوسفوتيدايل إنيستول.



Name of glycerophospholipid	Name of X	Formula of X	Net charge (at pH 7)
Phosphatidic acid	—	—H	−1
Phosphatidylethanolamine	Ethanolamine	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}H_3$	0
Phosphatidylcholine	Choline	$-CH_2-CH_2-\overset{+}{N}(CH_3)_3$	0

ثانياً: الليبيدات المعقدة

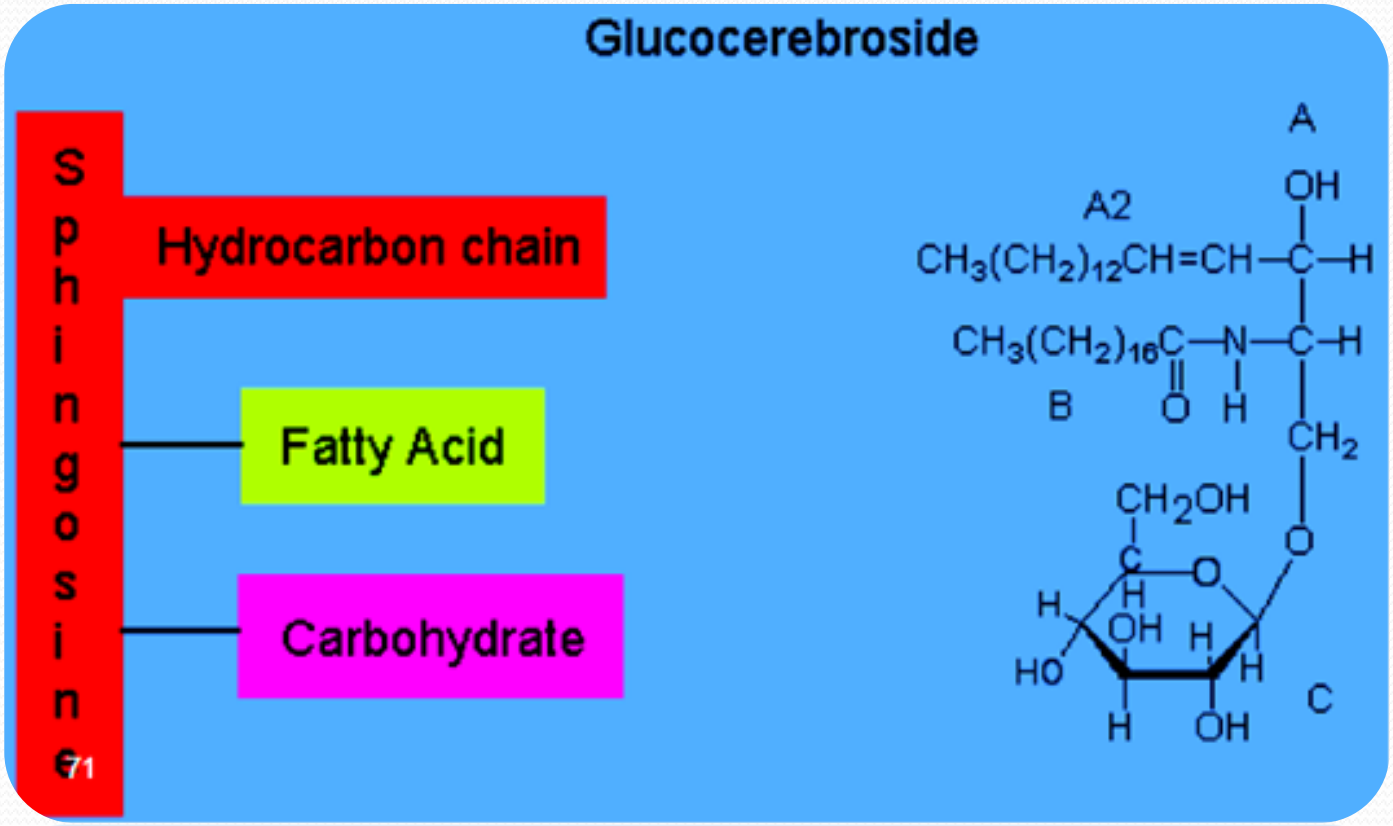



Liposome
Micelle
Bilayer sheet

ثانياً: الليبيدات المعقدة

٢. الجليكوليبيدات (الدهون السكرية) Glycolipids:

تتكون من أحماض دهنية + سكر (جلوكوز أو جلاكتوز) + اسفنجوسين ولا تحتوى على حامض فوسفوريك، ويمكن أن تصنف كدهون سكرية أو دهون أسفنجية وذلك لإحتوائها على كل من السكر والاسفنجوسين ومن أنواعها الجلوكوسيريبروسايد .



ثانياً: الليبيدات المعقدة

٣. الكيوتين والسوبرين:

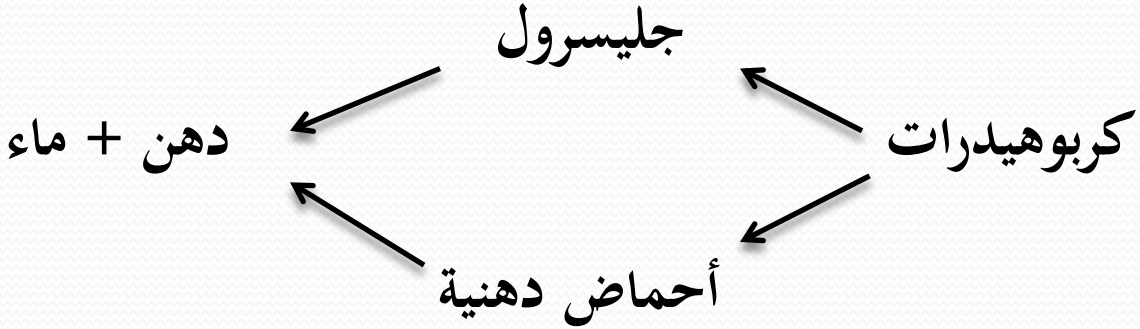
التركيب الكيماوى لها غير معروف على وجه الدقة وهى عبارة عن مخلوط من أحماض دهنية حرة وناتجات تكاثف أحماض دهنية طويلة السلسلة مع كحول طويل السلسلة، وقد يدخل فى هذا التركيب فينولات وعديدات تسكر مثل البكتين لتكون ما يعرف بالكيوتين **Cutin** الذى يكون طبقة الأدمة التى تغطى بشرة الأجزاء الهوائية للنبات (السيقان الحديثة والأوراق والأزهار والثمار والبذور)، وتعمل الأدمة على تقليل الفقد السطحى للماء من الأجزاء الهوائية للنبات وتوفر لها الحماية ضد مسببات الأمراض. أما بالنسبة لمادة السوبرين **Suberin** فهى قريبة الشبه من مادة الكيوتين وتختلف عنها فى نوعية الأحماض الدهنية وزيادة نسبة الفينولات، وتوجد مادة السوبرين فى جدر خلايا الفلين التى تغطى ندب الجروح ومواضع تساقط الأوراق والسطح الخارجى للسيقان المسنة لتوفر لها الحماية كما توجد فى جدر خلايا الإكسوديرمس والإندوديرمس فى الجذور. تعد مادتى الكيوتين والسوبرين متنافرة مع الماء ولذلك لا تسمحان بمرور الماء عبرهما بحرية كافية وهذا ما يجعلهما مناسبتين لأداء هذه الوظيفة فى النبات.

هناك العديد من منتجات النباتات ذات خواص عامة مشابهة للدهون ومن أشهرها مركبات تسمى أشباه التربين **Terpenoids** أو التربينات **Terpens** والتسمية تختلف من مجتهد لأخر، تتكون المركبات التربينية من وحدات صغيرة تحتوى كل وحدة منها على خمس ذرات كربون وتسمى أشباه الأيزوبرين **Isoprenoids** ، فإذا إحتوى المركب على وحدتين أيزوبرين أى ١٠ ذرات كربون سمى تربين وإذا إحتوى على ثلاث وحدات أيزوبرين أى ١٥ ذرت كربون سمى تربين ونصف مثل حمض الأبسيسيك وإذا إحتوى على ٤ وحدات أيزوبرين أى ٢٠ ذرة كربون سمى ثنائى التربين مثل الجبريللين.....وهكذا. تضم هذه المركبات بعض الهرمونات النباتية مثل الجبريللين وحمض الأبسيسيك وبعض المركبات الأخرى مثل الفرنيسول **Farnesol** والإستيرولات **Sterols** والتربنتين **Terpentine** والمطاط وبعض الصبغات مثل الزانثوزين **Xanthoxin** أشباه الكاروتين **Carotenoids** والذيل الفيتولى للكلوروفيل.

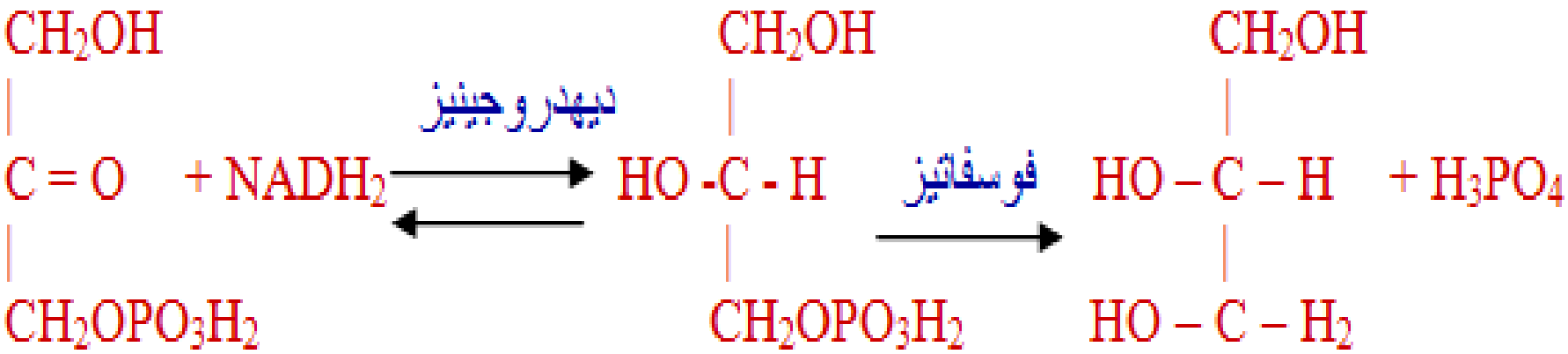
بناء الليبيدات المتعادلة

يتكون الجزىء الواحد من الدهون والزيوت المتعادلة بتكثيف جزى واحد من كحول الجليسرول ثلاثى الهيدروكسيل مع ثلاثة جزيئات من نفس الحمض الدهنى أو أحماض دهنية مختلفة.

تتضمن عملية بناء الدهون المتعادلة جملة من التفاعلات الكيميائية المرتبطة إرتباطا كبيراً بعملية التنفس وهدم جزىء الجلوكوز وذلك لتكوين الجليسرول والأحماض الدهنية أولاً ثم يتكون الدهن بتفاعل الإثنين معاً. ومما يؤيد ذلك أنه أثناء نضج البذور الزيتية تكون الزيادة فى المحتوى الزيتى مرتبطة بنقص كمية الكربوهيدرات مما يدل على أن الكربوهيدرات فى البذور تحولت إلى دهون.

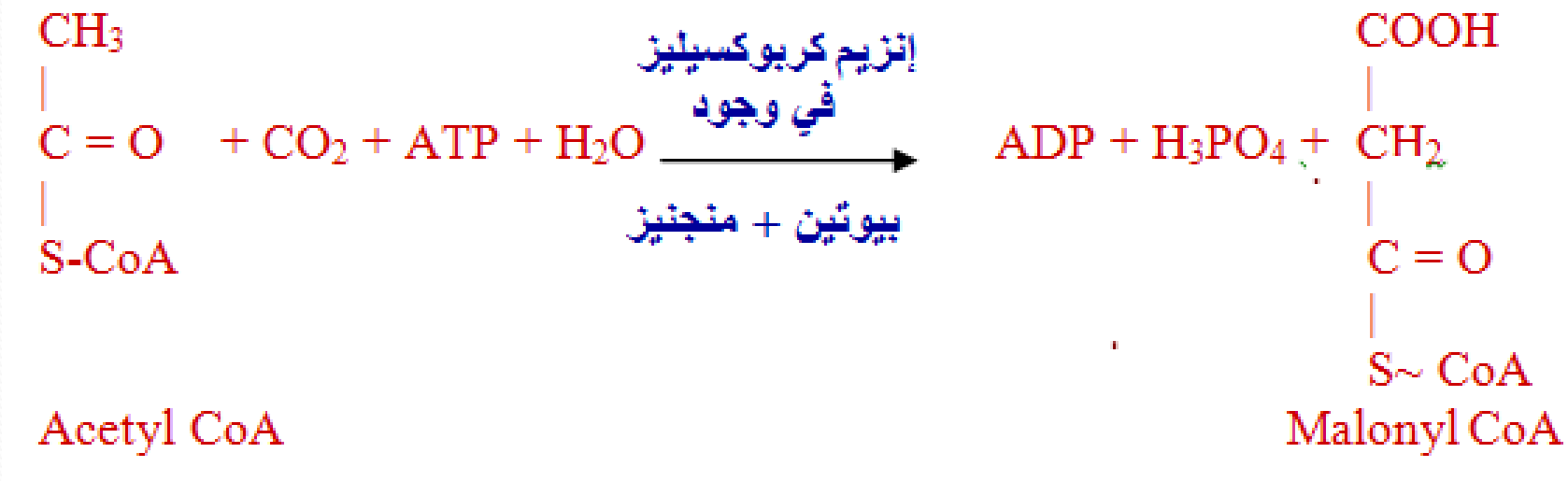


أ- بناء الجليسرول



ب- بناء الحمض الدهنى:

نادراً ما توجد الأحماض الدهنية حرة فى الأنسجة النباتية ويبدو أن ذلك يعزى لسرعة دخولها في بناء الدهن بمجرد بناؤها وتبنى الأحماض الدهنية من مركب خلات المرافق الإنزيمى أ المحتوى على ذرتين كربون (**Acetyl – Coenzyme A**).

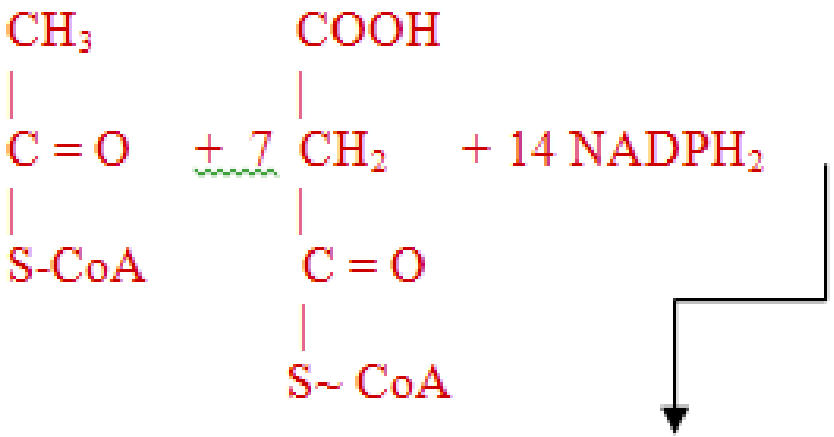


الخطوة التالية لهذا التفاعل هى دمج جزىء من المالونيل كو إنزيم أ مع الأستيل كو إنزيم أ فى وجود القوة الإختزالية $NADPH_2$ ليتكون حمض دهنى ذو ٤ ذرات كربون $COOH-CH_2-CH_2-CH_3$

مرحلة الإستطالة وتتم بإعادة تكوين ودمج جزيئات من المالونيل كو إنزيم أ جزىء يلو الأخر إلى الحمض المتكون فى الخطوة السابقة حتى يتكون فى النهاية الحامض الدهنى المطلوب.

ب- بناء الحمض الدهني:

مثال: تكوين الحامض الدهني حمض البالمتيك Palmitic acid

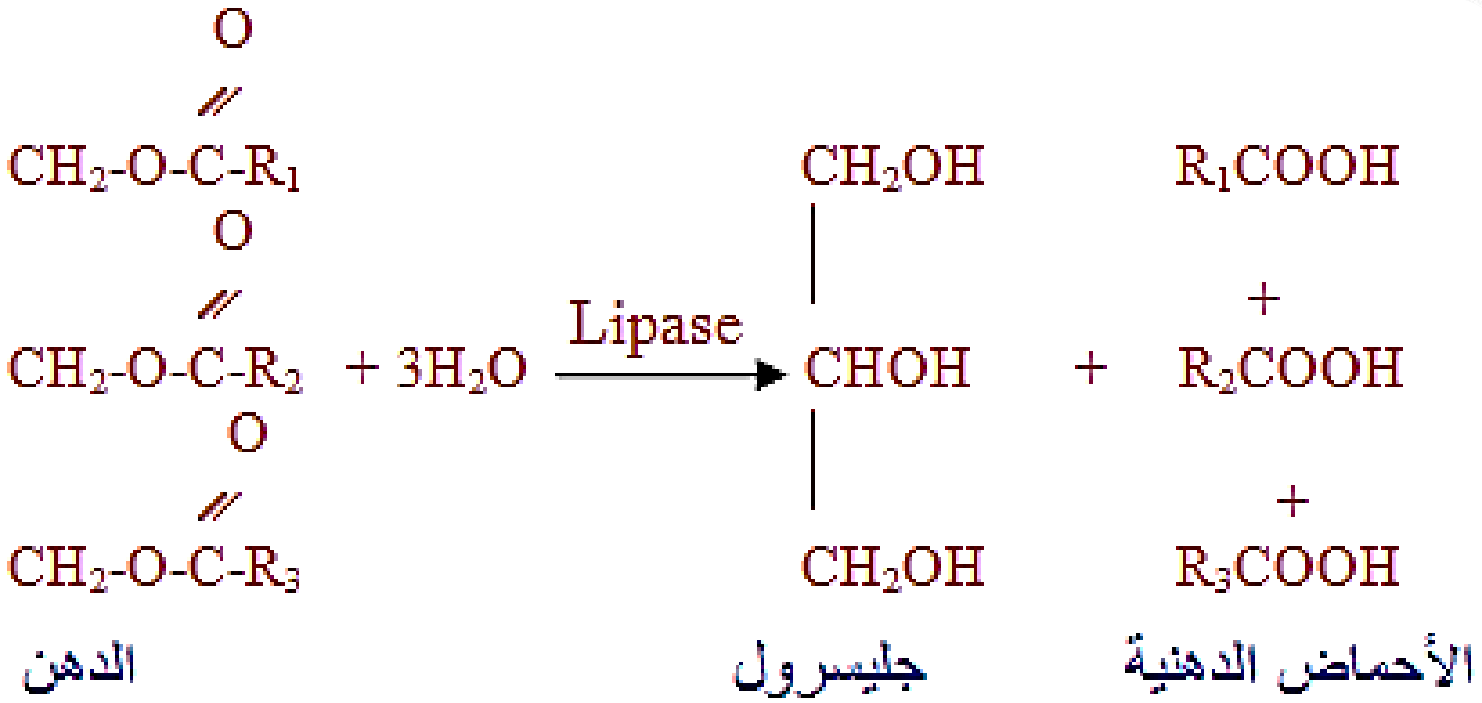


$$CH_3(CH_2)_{14}COOH + 7\,CO_2 + 8\,CoA\text{–}S\text{-}H + 14\,NADP^+ + 6H_2O$$

ويلاحظ أن أربعة عشر ذرة كربون من أصل ستة عشر ذرة موجودة في حمض البالمتيك تأتى أصلاً من (المالونيل كو أ) أما ذرتى الكربون الأخيريين فأصلها من (الأستيل كو أ).

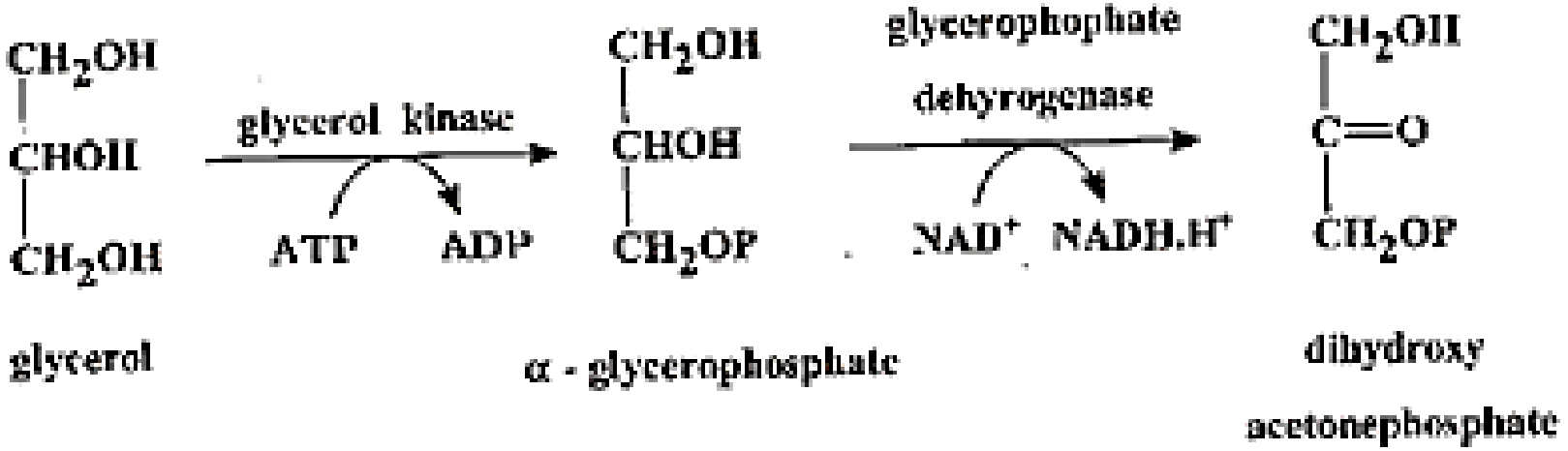
Degradation of the fats تحلل الدهون أو هدم الدهون

توجد الدهون كمادة مخزنة فى النباتات الراقية خاصة فى البذور. ويتم تحلل الدهون للحصول على الطاقة المخزنة فى صورة **ATP** أو تستخدم فى بناء السكريات عن طريق دورة الجليوكسيلات **Glyoxylate cycle** لبناء الجلوكوز. يبدأ تحلل الدهون بتكسير الجزيئات إلى جليسرول وأحماض دهنية بمساعدة انزيمات **Lipase**.



Degradation of the fats تحلل الدهون أو هدم الدهون

بعد ذلك يتأكسد الجليسرول عن طريق المسار الجليكولى بعد فسفرته وتحوله فى وجود ATP وإنزيم جليسرول كينيز إلى فوسفات الجليسرول، وهذه تختزل إلى فوسفات الأسيتون ثنائى الهيدروكسيل طبقا لما يلى:

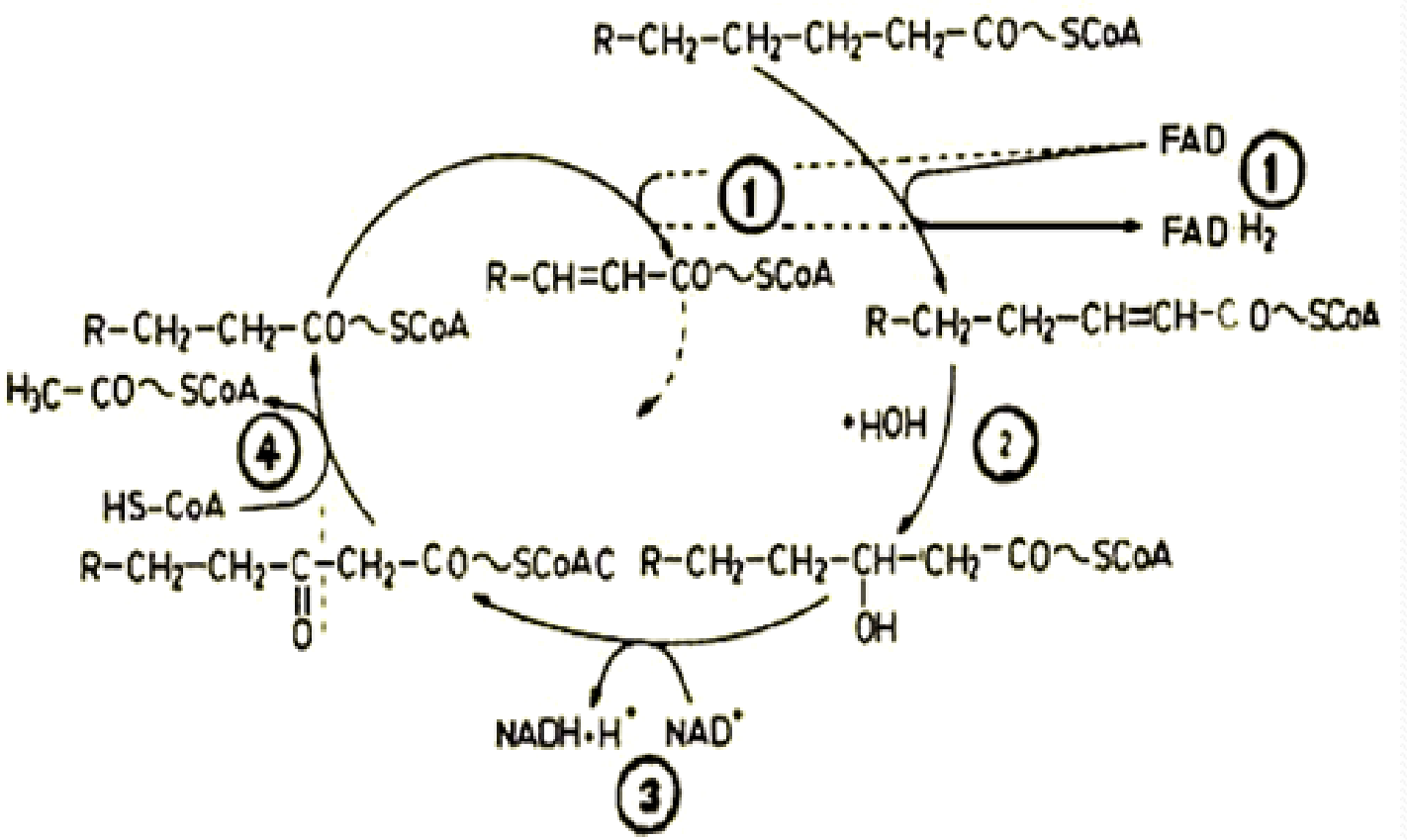


يدخل الجليسرول عن طريق المركب الوسطى نفسه (فوسفات الجليسرول) فى بناء السكريات أو يتم هدمه من خلال مسار الإنحلال الجليكولى ودورة كربس للحصول على الطاقة.

أما الأحماض الدهنية فإنها تتأكسد في الميتوكوندريا إلى $H_2O + CO_2$ ويصحب ذلك إنطلاق الطاقة في صورة المركب (ATP) والقوة الإختزالية ($NADH_2$)ولهذا تعد الدهون المخزونة في البذور مصدراً للطاقة أثناء الإنبات كما أن أكسدة الجليسرول تحرر كميات مناسبة من الطاقة حوالى ٢٠ ATP إلا أن أكثرية الطاقة تتحرر من أكسدة الأحماض الدهنية.

Degradation of the fats تحلل الدهون أو هدم الدهون

يبدأ هدم الأحماض الدهنية باتحاد الحمض الدهنى مع **CoA** ولا يتم ذلك إلا بعد تفاعل **CoA** مع **ATP** لينشط، ثم بعدة تفاعلات كما هو موضح بشكل (٥٧) يتم نزع مجموعة أسيل تحتوى على ذرتى كربون من الحمض الدهنى تخرج فى صورة **Acetyl CoA** ويتكون حمض دهنى أقل فى عدد ذرات الكربون ليدخل الدورة مرة أخرى وهكذا حتى يتم هدمه كلية إلى وحدات من **Acetyl CoA**.



Degradation of the fats تحلل الدهون أو هدم الدهون

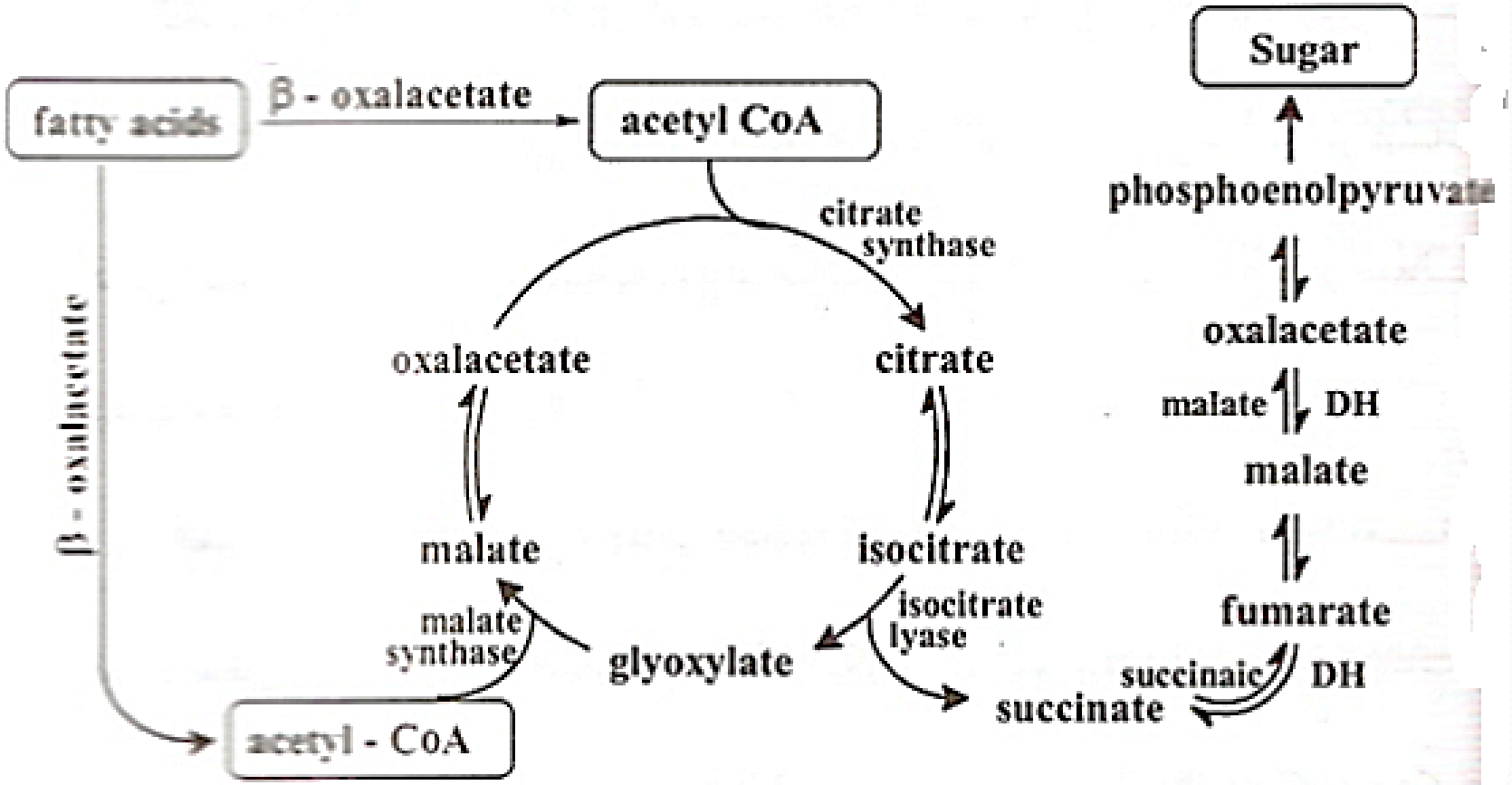
ينتج من كل دورة من دورات هدم الحمض الدهنى جزىء Acetyl CoA وجزىء $FADH_2$ وجزىء $NADH_2$. يتم أكسدة كل من $NADH_2$، $FADH_2$ فى نظام نقل الإلكترون فينتج جزيئين ATP من أكسدة $FADH_2$ وتنتج ٣ جزيئات ATP من أكسدة $NADH_2$ فيكون المجموع خمسة جزيئات ATP.

يدخل Acetyl CoA فى دورة كربس ليتم هدمه كلية، لذلك يقال أن الدهون تحرق على نار الكربوهيدرات، وينتج من هدم جزىء Acetyl CoA إثنى عشر جزىء ATP بالإضافة إلى الخمسة السابق ذكرها فيكون المجموع هو ١٧ جزئ ATP، وبطرح ١ جزىء ATP يستهلك فى تنشيط الـ CoA فى بداية كل دورة يصبح صافى الطاقة الناتجة من دورة واحدة لهدم الحمض الدهنى (نزع ذرتين كربون من الحمض تخرج فى صورة Acetyl CoA) هو ١٦ جزىء ATP. فإذا علمنا أن حمض البالمتيك يحتوى على ١٦ ذرة كربون فإنه لكى يتم هدمه كلية يحتاج إلى ٨ دورات يتم فى كل منها نزع ذرتى كربون فى صورة Acetyl CoA، وحيث أن نواتج كل دورة تعطى ١٦ جزىء ATP فتصبح محصلة الطاقة الناتجة عن تحلله التام هى ١٢٨ جزئ ATP وعليه نجد أن الطاقة الناتجة من هدم الدهون تكون أكبر مقارنة بالطاقة الناتجة من هدم الكربوهيدرات.

تحول الدهون الى كربوهيدرات – دورة الجليوكسيلات

Conversion of fats to carbohydrates – The glyoxylate cycle

في بعض الأنسجة النباتية وفى البكتريا والفطريات، يمكن أن تتحول الدهون المخزونة بها سريعاً إلى سكروز وغيره من الكربوهيدرات أو إلى بروتينات أو مركبات أخرى عن طريق دورة الجليوكسيلات والتي تعتبر تعديلاً لدورة كربس ينطوى أساساً على تخطى تفاعلات إنتاج CO_2. فدورة كربس هى بصفة أساسية، آلية لهدم الخلات إلى ماء وثانى اكسيد الكربون. أما دورة الجليوكسيلات، فتحتفظ بكربون الخلات حيث يتم تحويل مجموعتى أسيتايل إلى حمض رباعي الكربون (Succinate) بحيث يصبح متاحا لعمليات بنائية مختلفة. وفيما يلى مخطط لتفاعلات الدورة والتي توضح كيفية تحول الدهون الى سكريات.


fatty acids
β - oxalacetate
acetyl CoA
citrate synthase
oxalacetate
citrate
malate
isocitrate
malate synthase
glyoxylate
isocitrate lyase
succinate
succinaic DH
fumarate
malate
malate DH
oxalacetate
phosphoenolpyruvate
Sugar
β - oxalacetate
acetyl - CoA