الدهون

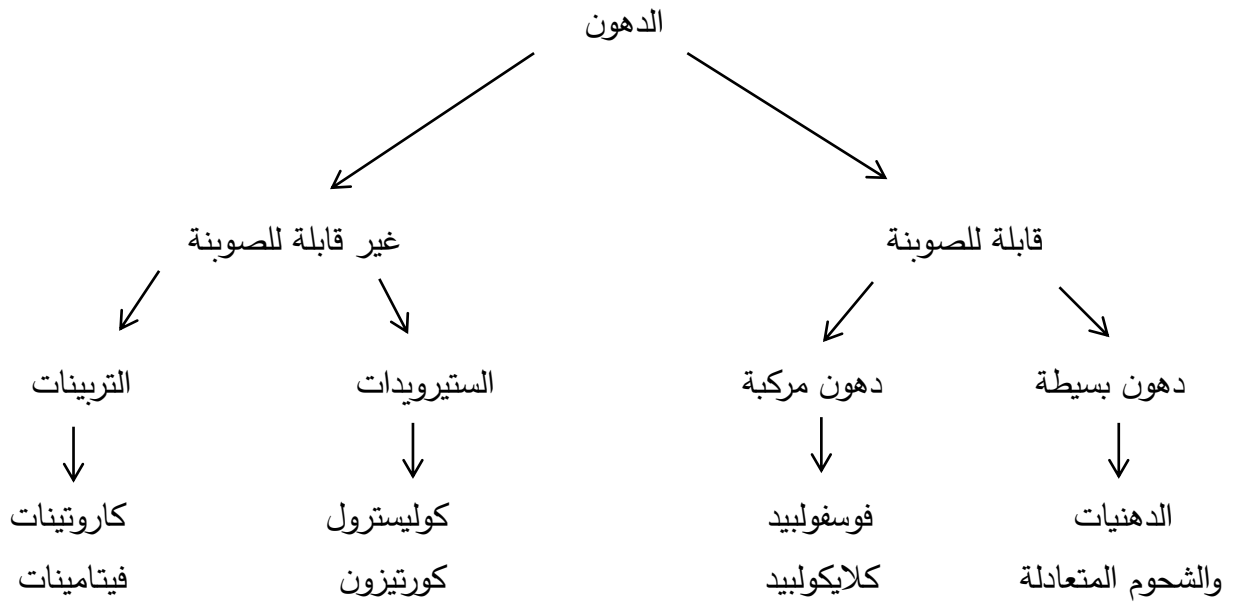
أهمية – ايض

الدهون Lipids: مركبات عضوية غير متجانسة ذات جزيئات كبيرة تتكون من C، H، O وغير قابلة للذوبان في الماء وتذوب في المذيبات غير القطبية مثل الايثر، الايثر النفطي، الهكسان، الكلوروفورم والبنزين.

وتعرف ايضاً بانها استرات الأحماض الدهنية مع الجليسيرول.

أهمية الدهون:

1- تعد احدى صور الطاقة المخزنة، إذ تعطي أكثر من ضعف الطاقة التي تعطيها الكربوهيدرات أو البروتينات.
2- تدخل في تركيب الاغشية الخلوية.
3- خزن الطاقة (في العمليات الايضية) واحد اشكال الوقود الايضي المنقول.
4- مصدر للأحماض الدهنية.
5- تكون غطاء واقي للسطح الخارجي لساق وأوراق النبات مثل طبقة الكيوتيكل على بشرة الاجزاء الهوائية للنبات.
6- ذات اهمية بيولوجية كونها تساهم في بناء وتخليق بعض الهرمونات الفيتامينات والصبغات.



ا.د. ثامر عبد الله زهوان
ا.م.د. طه شهاب احمد

** الصوبنة تعني تحلل الإستر في محيط قاعدي إلى ملح قاعدي وكحول.

أنواع اللبيدات بشكل عام:

1- اللبيدات المتعادلة Neutral lipids: مركبات استر الاحماض الدهنية مع الجليسيرول.

2- اللبيدات المفسفرة Phospholipids: عبارة عن استر فوسفات الجليسيريدات ثنائية (قد تحتوي على نيتروجين).

3- اللبيدات الاسفنجية Sphingolipids: سميت هكذا لاحتوائها على مركب سفنجوسين مع الحامض الدهني وتحتوي (احياناً) على فوسفات ونيتروجين.

4- اللبيدات السكرية Glycolipids: تحتوي على سكر مع الاحماض الدهنية والكحولات.

5- اللبيدات البروتينية Lipoproteins: تحتوي على دهون وبروتينات.

6- الشموع Waxes: استرات الاحماض الدهنية وكحولات أحادية الهيدروكسيل.

7- الستيرويدات Steroids: مشتقات الكحولات الحلقية.

8- مركبات التربين Terpene: مشتقات لمركبات مكونة من وحدات Isoprene.

الاحماض الدهنية: عبارة عن احماض كاربوكسيلية طويلة السلسلة وتحتوي على مجموعة كربوكسيل حامضية واحدة ولا توجد حرة في السايتوبلازم عادة نظراً لسرعة دخولها في بناء الدهون بمجرد تكوينها ولكن يمكن الحصول عليها بواسطة التحلل المائي للدهون، وتحتوي على عدد زوجي من ذرات الكاربون كونها تخلص من Acetyl CoA الذي يضيف ذرتين من كاربون الى الهيكل، تنقسم الاحماض الدهنية حسب درجة تشبعها الى:

1- الاحماض الدهنية المشبعة Saturated fatty acids: وهي الاحماض الدهنية التي لا تحتوي على روابط زوجية، وفيها تكون جميع ذرات الكاربون مختزلة تماماً، مثل حامض البالمتيك، والستياريك.

2- الاحماض الدهنية غير المشبعة Unsaturated fatty acids: وهي الاحماض الدهنية التي تحتوي على روابط زوجية، ومثل حامض الاوليبك، وحامض اللينولينك، هناك احماض دهنية أساسية مثل Linoleic acid سميت أساسية لأهميتها وعدم تكوينا داخل الجسم، وأخرى غير أساسية (التركيب الكيميائي للأحماض الدهنية يمكن ان يعبر عن عدد ذرات الكاربون وعدد ومواقع الروابط الزوجية بالرمز $18:2^{\Delta 9,12}$ هذا لـ Linoleic acid ويعني انه يحتوي على 18 ذرة كاربون وآصرتين مزدوجة عند ذرتي كاربون 9 و12).

**الاحماض الدهنية المشبعة تكون صلبة اما غير المشبعة فإنها سائلة عند درجة حرارة الغرفة.

تنقسم الاحماض الدهنية غير المشبعة الى:

أ- احماض تحتوي على رابطة زوجية واحدة مثل Oleic acid.

ب-احماض تحتوي رابطتين مزدوجتين مثل Linoleic acid.

ت- احماض تحتوي على ثلاث روابط زوجية مثل Linolenic acid.

ث- احماض متعددة الروابط الزوجية مثل Arachidonic acid

بناء الزيوت والدهون:

بناء الدهون يحتاج الى ثلاث مراحل وهي:

1- بناء الاحماض الدهنية.

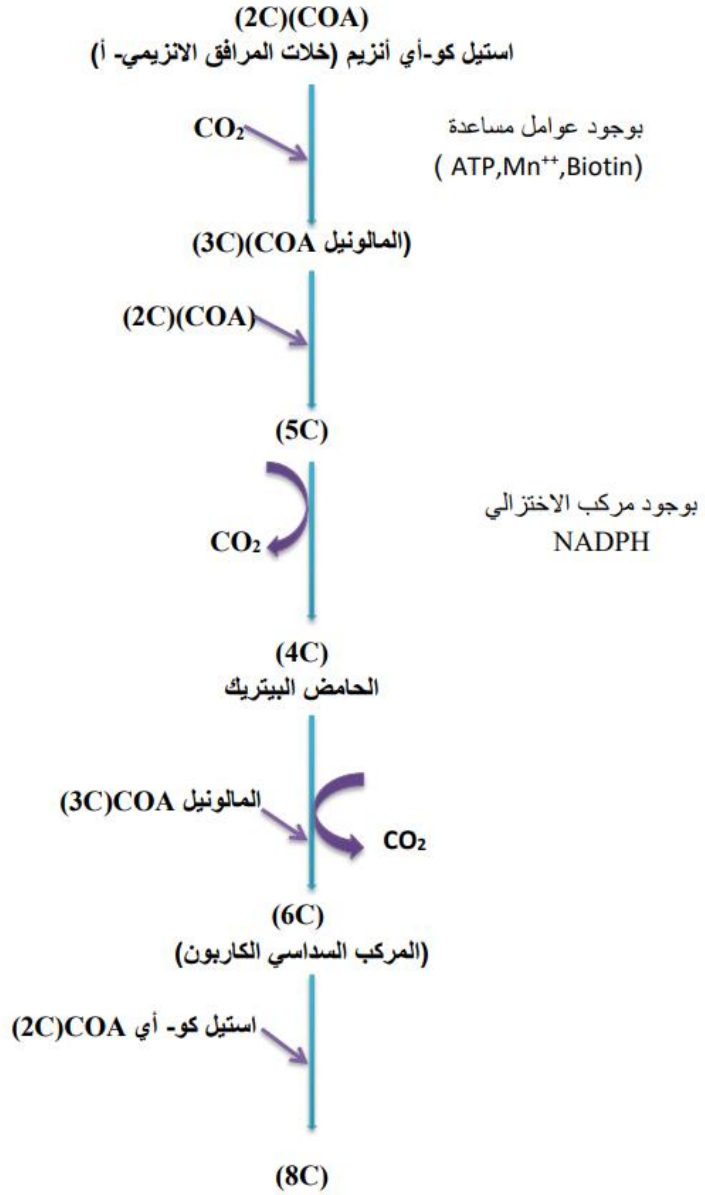
2- بناء الجليسيرول.

3- ارتباط الاحماض الدهنية والجليسيرول وتكون الدهون.

أولاً: بناء الاحماض الدهنية:

بناء الحامض الدهني يحتاج الى خلات المرافق الانزيمي Acetyl CoA وانزيمين وخمسة عوامل مساعدة هيATP، Mn^{++} ، biotin، $NADPH_2$، CO_2 وذلك لتكوين السلسلة الطويلة من اي حامض دهني، يبدأ البناء من مركب ثنائي الكربون 2C هو Acetyl CoA يضاف اليه ثاني اكسيد الكربون ويتكون مركب ثلاثي الكربون مالونيل المرافق الانزيمي أ (3C)، (يحتاج هذا التفاعل الى العوامل المساعدة وهي ATP وكذلك ايون المنغنيز Mn^{++} والبيوتين). في الخطوة الثانية تضاف جزيئه أخرى من خلات المرافق الانزيمي Acetyl CoA الى المالونيل ويتكون مركب خماسي الكربون 5C ثم يفقد ثاني اكسيد الكربون في وجود المركب الاختزالي NADPH وينتج مركب رباعي الكربون 4C (حامض البيتريك). ثم بعد هذه المرحلة تتحد جزيئة من المالونيل مع جزيئه من حامض البيوترك ليتحول الى مركب سداسي الكربون 6C بعد فقد ثنائي اكسيد الكربون. بعد ذلك يحدث اضافة مركب خلات المرافق الانزيمي أ للسلسلة (المركب السداسي) الكربونية وتزداد طول السلسلة الكربونية وتصبح 8 ذرات كربون 8C تكرر هذه الخطوة. وهكذا تبدأ السلسلة في الاستطالة وتتكون الاحماض الدهنية المختلفة، ويتم تنشيط الاحماض الدهنية في السايتوسول.

مخطط بناء الاحماض الدهنية



الاحماض الدهنية القصيرة (اقل من6 ذرات كاربون) والمتوسط الطول (اقل من 10 ذرات كاربون) ممكن ان تنزلق مجاميع الاسيل الفعالة لها الى داخل المايتوكوندريا، الا ان الاحماض الدهنية الطويلة السلسلة (أكثر من 12 ذرة كاربون) فأنها تحتاج الى الحامل وهو الكارنتين (مركب الامونيوم الرباعي الذي يتكون من اللايسين والميثونين).

ثانياً: بناء الجليسيرول:

عملية بناء الجليسيرول تتم بعدة ميكانيكيات، منها من خلال مركب ثنائى هيدروكسى اسيتون الذي ينتج في تفاعلات مرحلة التحلل السكري للتنفس(glycolysis). يختزل هذا المركب في البداية الى فوسفات الجليسيرول في وجود مركب $NADH_2$، وفي الخطوة الثانية تنزع مجموعة الفوسفات من فوسفات الجليسيرول بواسطة انزيم الفوسفاتيز وبذلك يتكون الجليسيرول.

مخطط بناء الجليسيرول

ثالثاً: ارتباط الاحماض الدهنية والجليسيرول:

تتحد ثلاثة احماض دهنية مع جزى واحد من الجليسيرول لتكوين الدهن. تتم هذه العملية على خطوتين:

الخطوة الأولى: تتحد جزيئات الحامض الدهني مع المرافق الانزيمي (CoA)

كما هو مبين بالمعادلة التالية:

$$\text{Fatty acids} + \text{CoA} \rightarrow \text{Fatty acids CoA complex}$$

الخطوة الثانية: يتحد الجليسيرول مع الاحماض الدهنية وتفقد الأخيرة المرافق الانزيمي ويتطلب هذا التفاعل طاقة ATP ومحفز Mg^{++}

$$\text{Glycerol} + 3 \text{ fatty acid complex} \xrightarrow{ATP، Mg++} \text{lipid} + 3\text{CoA}$$

** الاحماض الدهنية هي سلسلة طويلة من الكربون اذا كانت مشبعة فتعطي عند اتحادها مع الجليسيرول دهن، واذا كانت غير مشبعة فتعطى الزيت.

هـدم الدهون:

تهدم الدهون في النبات بعدة مسارات:

1- بواسطة انزيم الليبيز lipase يعمل هذا الانزيم في اتجاهين

$$\text{Triglyceride} \leftrightarrow \text{Diglyceride+fatty acid} \leftrightarrow \text{monoglyceride+fatty acid} \longrightarrow \text{glycerol+fatty acids}$$

المرحلة الاولى والثانية مراحل عكسية بينما المرحلة الثالثة غير عكسية دور هذا الانزيم في عملية الهدم هو فصل الجليسيرول عن الاحماض الدهنية (أكسدة الجليسيرول) من خلال دورة الجليكوليتك بينما تتأكسد الاحماض الدهنية من خلال:

1- اكسدة الفا α - oxidation

2- اكسدة بيتا β – oxidation

- اكسدة ألفا α - oxidation: هنا تفقد سلسلة الحامض الدهني ذرة كربون في هيئة ثاني اكسيد الكربون لكل دورة. يشارك في هذه العملية انزيمين هما:

1- Peroxidase Fatty acid.

2- Aldehyde dehydrogenase.

- اكسدة بيتا β - oxidation:

في اكسدة بيتا يتم فصل ذرتي كاربون في هيئة خلات المرافق الانزيمي في كل دورة وتتحول السلسلة كلها الى خلات المرافق الانزيمي الذي يدخل بعد ذلك في دورة كربس، يشارك في هذه العملية خمسة انزيمات ومركب الطاقة وايون المغنسيوم والمرافق الانزيمي.

تنتج في كل دورة جزى من كل من $NADH_2$ و$FADH_2$.

ايض الدهون داخل النبات:

توجد الدهون في النباتات الراقية كمادة مخزنة خاصة في البذور. ويتم تحلل الدهون للحصول على الطاقة المخزنة في صورة ATP أو تستخدم في بناء السكريات عن طريق دورة الجليوكسيلات Glyoxylate

cycle لبناء الجلوكوز. يبدأ تحلل الدهون بتكسير الجزيئات إلى جليسيرول وأحماض دهنية بمساعدة انزيمات Lipase.

بعد ذلك يتأكسد الجليسيرول بعد فسفرته وتحوله في وجود ATP وإنزيم جليسيرول كينيز إلى فوسفات الجليسيرول، وهذه تختزل إلى فوسفات الأسيتون ثنائي الهيدروكسيل كما يلي:

يدخل الجليسيرول عن طريق المركب الوسطى نفسه (فوسفات الجليسيرول) في بناء السكريات أو يتم هدمه من خلال مسار التحلل السكري Glycolysis ودورة كربس للحصول على الطاقة. أما الأحماض الدهنية فإنها تتأكسد في الميتوكوندريا إلى $H_2O + CO_2$ ويصحب ذلك انطلاق الطاقة في صورة المركب ATP والقوة الاختزالية $NADH_2$ ولهذا تعد الدهون المخزونة في البذور مصدراً للطاقة أثناء الإنبات كما أن أكسدة الجليسيرول تحرر كميات مناسبة من الطاقة حوالي 22 ATP إلا أن أغلب الطاقة تتحرر من أكسدة الأحماض الدهنية.

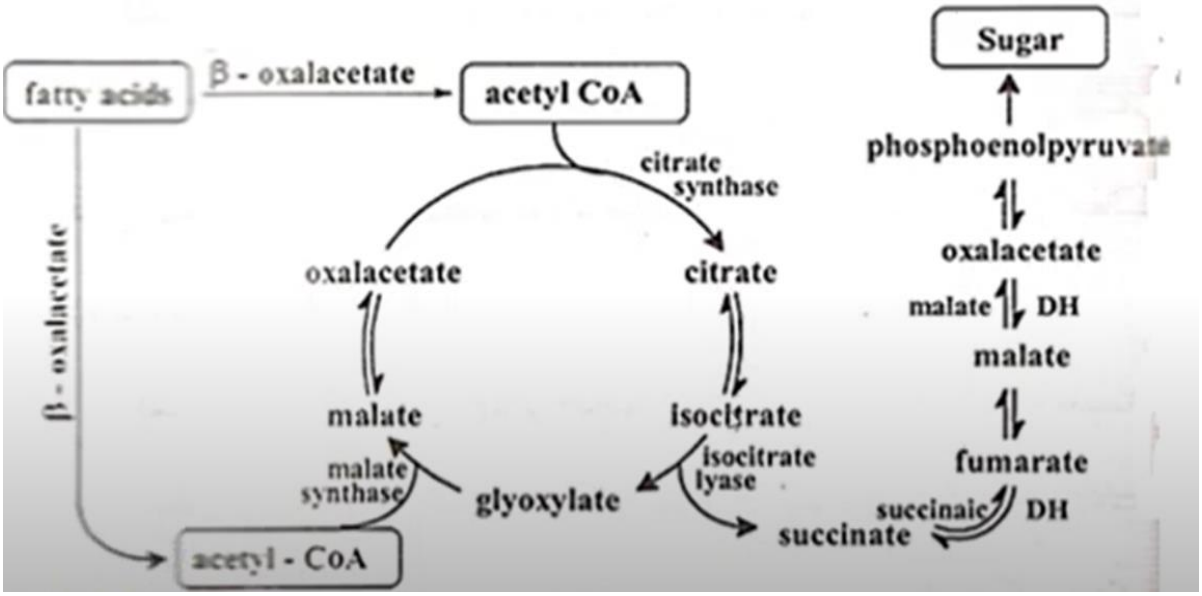
يبدأ هدم الأحماض الدهنية باتحاد الحمض الدهني مع CoA ولا يتم ذلك إلا بعد تفاعل CoA مع ATP لينشط، وبعد عدة تفاعلات يتم نزع مجموعة أسيل تحتوي على ذرتي كربون من الحامض الدهني لتخرج في صورة Acetyl CoA ويتكون حامض دهني أقل في عدد ذرات الكربون ليدخل الدورة مرة أخرى وهكذا حتى يتم هدمه كلياً إلى وحدات من Acetyl CoA.

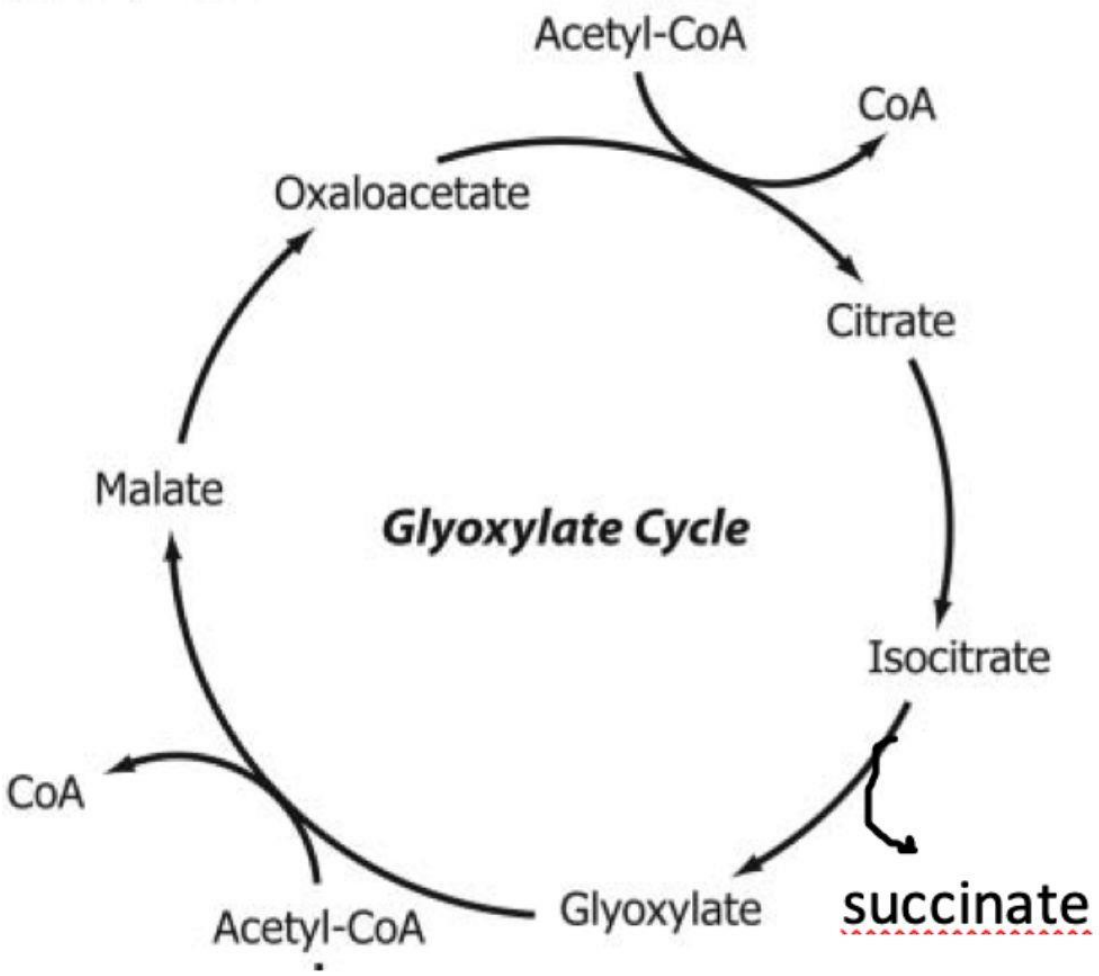
ينتج من كل دورة من دورات هدم الحامض الدهني جزئ Acetyl CoA وجزئ $FADH_2$ ثنائي نيوكليوتيد الفلافين الأدينين مع هيدروجين وجزئ $NADH_2$ ثنائي نيوكليوتيد الادنين ووواميد النيكوتين مع الهيدروجين، يتم أكسدة كل من $FADH_2$ و$NADH_2$ في نظام نقل الإلكترونات فينتج جزيئين ATP من أكسدة $FADH_2$ وتنتج 3 جزيئات ATP من أكسدة $NADH_2$ فيكون المجموع خمسة جزيئات ATP.

يدخل Acetyl CoA في دورة كربس ليتم هدمه كليا، وينتج من هدم جزئ Acetyl CoA اثنتي عشرة جزئ من ATP فضلاً عن خمسة وحدات سبق ذكرها، فيكون المجموع هو 17 جزئ ATP، وطرح جزئ واحد من ATP (يستهلك في تنشيط الـ CoA) في بداية كل دورة يصبح صافي الطاقة الناتجة من دورة واحدة لهدم الحامض الدهني (نزع ذرتين كربون من الحامض تخرج في صورة Acetyl CaA) هو 16 جزئ ATP. فإذا علمنا أن حامض البالمتيك يحتوي على 16 ذرة كربون فإنه لكي يتم هدمه كلية يحتاج إلى 8 دورات يتم في كل منها نزع ذرتي كربون في صورة Acetyl CoA، إذ أن نواتج كل دورة تعطي

16 جزئ ATP فتصبح محصلة الطاقة الناتجة عن تحلله التام هي 128 جزئ ATP وعليه نجد أن الطاقة الناتجة من هدم الدهون تكون أكبر مقارنة بالطاقة الناتجة من هدم الكربوهيدرات.

في بعض الأنسجة النباتية والبكتريا 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 (تخطى تفاعلات إنتاج CO_2)، دورة كربس الية اساسية لهدم الخلات إلى ماء وثنائي اكسيد الكربون. أما دورة الجلايوكسيلات، فتحتفظ بكربون الخلات إذ يتم تحويل مجموعتي أسيتايل إلى حامض رباعي الكربون (Succinate) ويصبح متاحاً لعمليات بنائية مختلفة. وفيما يلي مخطط لتفاعلات الدورة والتي توضح كيفية تحول الدهون الى سكريات.





مخطط دورة الـ Glyoxylate