المحاضرة السادسة .

الأنزيمات Enzymes

لاحظ العالم Bucher 1897 أن مسحوق الخميرة يقوم بفعل الخميرة الحيـــة في تحليل السكر وتخمره بوجود الأوكسجين وقال أن هناك عوامـل في هذا المسحوق تقوم بتنشيـط تفـاعل التحلل العالم Sumner 1926 قام بعزل هذه المحفزات واستطـــاع أن يفصل أنزيم المسؤول عن تفكك البولة وسمي(يوريز) وأثبت ان الأنزيمـات ذات طبيعـــة بروتينيـة وفتح مجال واسع للعلمـاء لمتابعـة التفاعلات الحيوية التي تدخل فيها الأنزيمات كمنشطـــات ومحفزات للتفاعل أو وسطـاء وعرفت بعد ذلك بأنها (الأنزيمات) : وعرفت بأنها مواد كيماويـــةعضويـــة تعمل على تسريع **التفاعلات الحيوية دون أن تدخل بها حيث يبدأ عملها بتخفيض طاقة التنشيط الأولى للتفاعل لتلافي الأضرار الناتجـــة عن هذه التفاعلات في الوسط الغير حي.**

فعلى سبيل المثال :الماء الأوكسجيني H_2O_2 يحتاج إلى ١٨٠٠٠ حريرة لتفكيك جزء منـه لكن عند استعمال أنزيم الكاتالاز يحتاج تفكيكه إلى ١٧٠٠ حريرة فقط

طبيعة الأنزيمات: عوامل مساعدة عضوية تتصف بالآتي:

١- تعمل بتراكيز ضعيفو جداً على مادة التفاعل Substrate وتحولها لنواتج تفاعل بشكل سريع جداً حيث ان الأنزيم يدخل في دورة تفاعلية متكررة قد تصل لعدة ملايين .

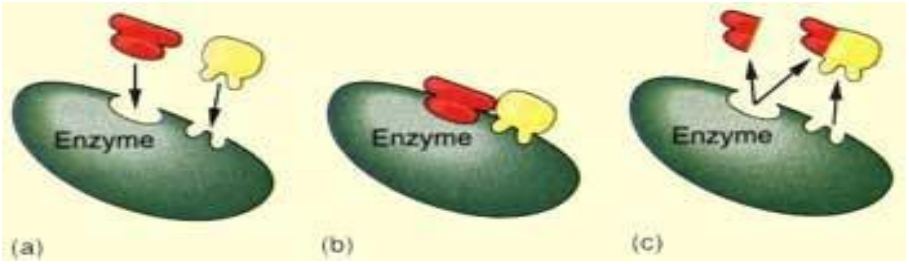
٢- لا يدخل الأنزيم في التفاعل وإنما يحفزه وتعمل الأنزيمـــــات في ظروف محددة من الحرارة و ph وهي حساســة جداً لهذين العاملين .

٣- يدخل الأنزيم في التفاعلات الحيوية بسرعة كبيرة لتحقيق التوازن في الخلية.

٤- الأنزيمات متخصصة جداً .

الفعل التحفيزي للأنزيم (Catalytic action) يرتبط الأنزيم بمادة التفاعل بطريقـــة تؤدي لحدوث تغير في تكوين وتركيب مادة التفاعل فيرتبط الأنزيم بمادة التفاعل ويتكون معقد الانزيم – والمركب الوسيط بطاقة تنشيطية بسيطة ومن الجدير بالذكر أن هذه التفاعلات تكون عكوســة

بحالة الاستقرار



تسمية الأنزيمات: تنتهي الأنزيمات بالنهاية آز ase وتستمد هذه التسمية وفقا للآتي:

١- اسم الركيزة (المادة) التي تعمل عليها الأنزيمات :

Arginase	Arginine
Tyrosinase	Tyrosina
urease	urea
Amylase	Amidon

٢-الى اسم وظيفة الأنزيم :

الأوكسيداز	Oxidases
تحلل الماء	Hydrolases
الكربوهدرات	Carbohydrases
أنزيمات الفسفرة	Phosphorylasese

أنزيمات التحليل المائي: Hydrolases وفق المعادلة

$$RCO{-}OR \xrightarrow[]{HOH} RCOOH + ROH$$

الاستيرايزات esterases ، carboxleses .

تركيب الانزيمات : تتمتع الأنزيمات ببنية بروتينية معقدة تختلف السلاسل الببتيدية من أنزيم لآخر ولعل تأثرها ب ph الوسط ودرجات الحرارة مرتبط بهذه الطبيعة البروتينيـــة واعتماداً على ذلك تقسم الانزيمات لمجموعتين أساسيتين:

١- **انزيمات بسيطة:** تتكون من جزيئات بروتينية فقط مثل Trypsine, epsine وهي من مجموعة ureases أو البولاز .

٢- **أنزيمات مركبة :** وتتألف من قسم بروتيني وقسم غير بروتيني أهمهـا : أنزيمـــات الأكسدة

الإرجاع . وهنا يسمى الجزء البروتيني الداعمة Apoenzyme وهو مجموعـــة من الحموض الأمينية فقط والمرافق ويسمى CO anzyme . وهذه المرافقات تقسم إلى :

أ- مرافقات لا عضوية :

*** قد يكون شاردة معدنية مرتبطة بالداعمة مباشرة مثل cu في الأوكسيداز أو Zn في نازعات الماء الفحميـــة** (Carbonic anhydrase) و Ca في انزيم (Coagulase)

* قد يكون المرافق اللاعضوي **مركب معدني** مثل أنزيمـــات **البيروكسيداز** حيث يكون المرافق مركب **بور فيرين حديدي** وهذه الانزيمـات تتركز في الميتوكوندري وهي مسؤولة عن مناقلـــــة الالكترون .

ب- مرافقات عضوية :

وهي عادة تكون سهلـــة الانفصال تؤدي دورهـــا الحيوي تتحد وفق تسلســـل بنيوي مع الجزء البروتيني لكي تقوم بعملها أهم هذه المرافقات :

١- **التميمان I وII :** ويرمز إليهما (CO I و CO II) ويرمز للأول بـ (NAD) نيكوتين أميـد أده نين داي نيكليوتيد ويرمز للثـاني (NADP) نيكوتين أميد أده نين داي نيكـــــليوتيد الفوسفـــات وكلاهما مشتقـــان من الفيتامين(B1)أو ما يسمى النياسين أو النيكوتيد أميد يعمل كلاهمـا على نزع الهدروجن والالكترونات من الركيزة أي يسميان نازعات هدروجين .

٢- **التميمـــان FMN وFAD: الأول** فلافيـن مونونو كليدتيد **والثاني** فلافيـن آده نيـــن ده نوكليوتيد ويحتوي كلاهمـــا على الريبوفلافين(" فيتامين" B2)ولها دور في نزع الهيدروجـين .

ج- الجملة السيتوكرومية أو الصبيغات :

وهي جملة من المرافقـات تعمل على مناقلـــة الالكترون في الاصطناع الضوئي والتنفس وهي مركبات معدنية بروتينية يدخل الحديد في تركيبها تشبه خضاب الدم .

د- التميم A ويرمز له COA : يحوي على مشتق حامض البانتوتينيك التـــابع لزمرة فيتامين (B Complexe) له دور في اصطناع وتفكيك الدسم وفي دورة كريبس .

هـ - (ADP) والـ (ATP): (آده نوزين دي فسفات) و (آده نوزين تري فسفات) على الترتيب، وهي لا تعتبر من التمائم بل ينحصر عملها في تحويل الفوسفور بين جزيئـــات الركيزة ويساهمان بهذه الروابط في عملية امداد الخلايا بالطاقـة اللازمـة للأفعال الاستقلابية في الخليـة

والجدير بالذكر أن هذه المرافقـــات يمكن أن تدخل مع أكثر من دعامـــة أنزيميـــة لتشكل

أنزيمـــــــات مختلفة تعمل على ركائز مختلفة .

توزيع الأنزيمات في خلايا النبات :

تمكن العلماء من إعطاء صورة واضحة عن توزع وعمل الأنزيمات داخل الخلية النباتيـــة وذلك بدراسة مفصلة لهذه الأنزيمات عند الكائنات وحيدة الخلية كفطريات الخميرة والبكتيريا لأن هذه الكائنات تتميز ببنيتها البسيطة وقد وجد العلماء أن الانزيمـات المشتركة في هذه الوظائف هي واحدة عند كل الكائنات من خلال معرفة الوظائف لكل عضية فالريبوزومات تصنع البروتينـات لذلك تتركز الأنزيمات المسؤولة عن تركيب البروتين على سطح هذه الريبوزومات او قريبة منهـا. وقد وجد أن أعلى تركيز من الانزيمـات يتوضع في الميتوكوندري والكلوروبلاســت حيث توجد جميع انزيمات دورة كريبس التي تؤكسد حمض البايروفيك في الميتوكوندريا وأيضاً أنزيمات مناقلة الالكترون ضمن هذه الدورة إلى O2 وتشكيل الماء إضافـــة إلى تكوين ATP بعد هذه المناقلـــة ، الصانعات الخضراء تحتوي نظم أنزيمية اللازمة لتفاعلات تثبيت CO2وتحديداً في السترومـــا ، كذلك توجد **السايتوكرومات** في الصانعات الخضراء والميتوكوندري سوية ، وتحوي الصانعات الخضراء الأنزيمات اللازمة لتكوين الصبغات، في النواة يوجد أنزيم **دي أوكسي ريبو نيوكليز** هذا الأنزيم يحفز انشقاق لجزيء DNA والسيتوبلاسم تتركز فيها جملـــة من الأنزيمات ففيها انزيمات سلسلة تحلل الغلوكوز وتشكل الهكسوز احادي الفوسفـــــات وأنزيمات التحلل المائي وأنزيمـــات الفسفرة ، كما لوحظ وخاصة عند وحيدات الخلية أنزيمات تفرز خارج هذه الخلايـــا تساعد على هضم المواد المحيطـــة بالخلايا مما يسهل دخولها إلى جسم الخليـــة ، والشبكة الإندوبلازميـــة والأجسام الدقيقة تحوي نسبة كبيرة من الأنزيمات المسؤولة عن الهضم والتحلل المائي .

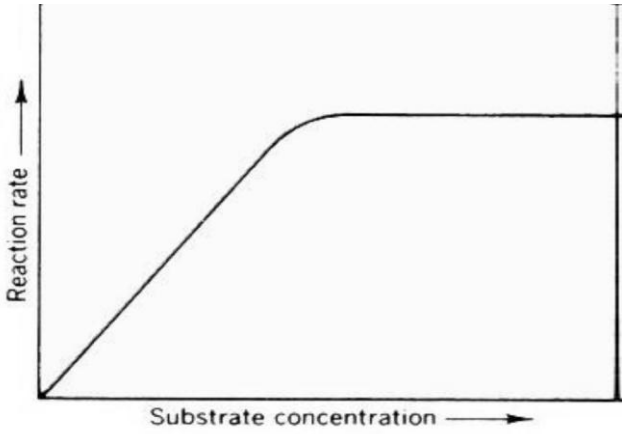
العوامل المؤثرة على النشاط الأنزيمي:

كما هو في كافـــة التفاعلات الكيميائيـــة فإن التفاعلات التي تحفزها الأنزيمات حساسة جداً للظروف الخارجية وذلك بسبب الطبيعة البروتينية لهذه الأنزيمـــات كتركيز مادة التفاعل وتركيز الأنزيم ودرجة الحرارة و ph الوسط .

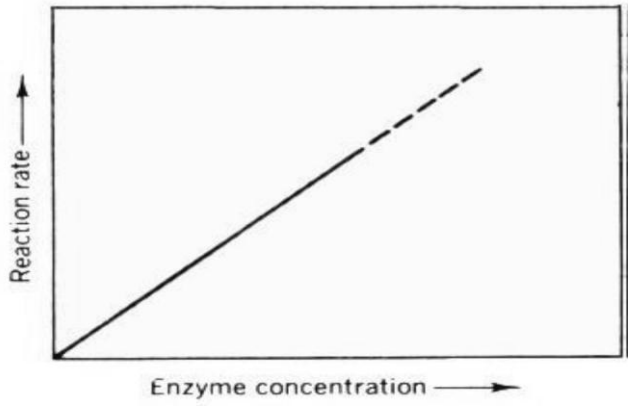
أ- تركيز مادة التفاعل:

لتكوين (أنزيم – مادة تفاعل) " تحولات تسبق التفـــاعل" يتأثر بشكل كبير بمادة التفاعل فعند وجود تراكيز منخفضة من مادة التفاعل فإن المركز النشط الأنزيم على اعتبار أن الأنزيم ذو بنية

عملاقة يبتعد عن مادة التفاعل ولا يعمل بفعالية قصوى لكن عند الزيـــادة في مادة التفاعل تزداد جزيئات مادة التفاعل في المركز النشط ويزداد معدل التحفيز الأنزيمي االتفاعل حتى درجة التشبع بعدها لا يلاحظ أي تأثير للأنزيمات على معدل التفاعل كما في الشكل



ب- تركيز الأنزيم : إن زيادة تركيز الانزيم يتيح زيادة عدد المراكز النشطة وتزداد فرص التفاعل بين الأنزيم ومادة التفاعل وقد لوحظ بأنه بمعدلات منخفضة للأنزيمات تنخفض التفاعلات وتزداد هذه النسبة مع زيادة تركيز الانزيم حتى درجة معينة وبثبات مادة التـــفاعل وزيادة التراكيز ترتفع النسبة وتتناسب طرداً وفق الخط البياني.



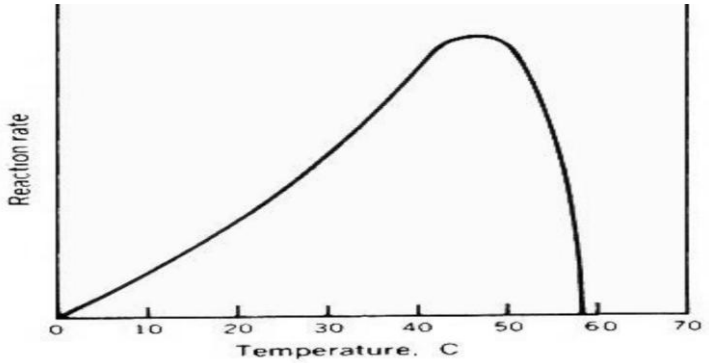
ج- درجة الحرارة: إن التفاعلات الأنزيمية تتأثر بشكل كبير بدرجات الحرارة وذلك يعود للطبيعة البروتينية لها وتتميز درجات النشاط الحراريـــــة لهذه الأنزيمات بمجال محدود جداً من الحرارة مقارنة بالتفاعلات الكيميائية العادية فند درجة ٠ م تكون التفاعلات معدومــة لكن عند زيـــــادة درجات الحرارة بمعدل ثابت ترتفع معدلات التفاعلات الانزيميـــة بسطل مطرد حتى الدرجة ٢٥م فقد لوحظ أن زيادة ١٠ درجات مئوية حتى ٢٥م تضاعف معدل التفاعل بمعدل مرتين ونصف

ويعود ذلك لسببين :

* زيادة الطاقة الحركية للأنزيم ومادة التفاعل

* زيادة فرصة التصادم بين الأنزيم ومادة التفاعل .

لكن عند الاقتراب من الدرجة ٣٠ م فإن هذه الدرجة تؤثر على طبيعة الانزيم ويلاحظ عندهـــا انخفاض شديد في التفاعلات حيث تتفكك بنيـــة الأنزيم وتتوقف كلياً التفاعلات المسؤول عنها الأنزيم كما في الشكل



د- تركيز PH الوسط: يؤثر الوسط من خلال هذه الدرجة على طبيعة الانزيمات وينعكس ذلك على نشاطـــــه التحفيزي وكما هو معلوم فلكل أنزيم PH مناسب فأي خلل باتجاه القلويـــة أو الحامضيـــة عن الحد المثالي للأنزيم يؤدي لتوقف التفاعل ويعود ذلك لتباين تركيب الأنزيمات وتأينها في PH الوسط .

الفائدة التطبيقية للأنزيمات: تعتبر الأنزيمات فرعاً أساسياً من الفيزيولوجيا الحيوية ودخلت مجالات استخداماتها وتطبيقاتها خارج فعلها الحيوي في مجالات عديدة مثل الصناعة والزراعة

أ- صناعة الخبز: الخبز يحتوي على نشاء وسكروز ومالتوز إضافة إلى الأميلاز فعند إضافة الخميرة فإنها تعمل بما تحويه من أنزيمات مثل الأنفرتـــاز ، المالتاز ، الزيماز على تفكيك محتويات الطحين أثناء عمليـــة التخمر حيث يقوم الأنفرتاز على تحليل السكروز إلى غلوكوز وفركتوز ، المالتاز يعمل على إماهة المالتوز لجزئي غلوكوز ، أنزيم الزيماز يقوم بعملية التحلل السكري وإعطـاء الكحول الإيتيلي وغاز CO_2 ، الأميلاز يحلل النشاء إلى دكسترين ومـــالتوز عندها يصبح العجين قابل لصناعة الخبز

ب- صناعة الأجبان: الكازائيناز يحلل مادة الكازائين في اللبن ويحولها إلى جبن ،أما في مجال الصناعة: **دباغة الجلود** : يقوم انزيم الكيراتينـــاز بتحليل مادة الكيراتين الموجودة في الجلود ويحولها لمادة الكولاجين الطريـة ويصبح الجلد أكثر قابليـــــة للتصنيع ويمكن استخدام بعض

الأنزيمات في المعالجات الطبية وخصوصاً أنزيمـــــات مناقلـة الأمين (Transaminase) في أمراض القلب والكبد .

التنفس

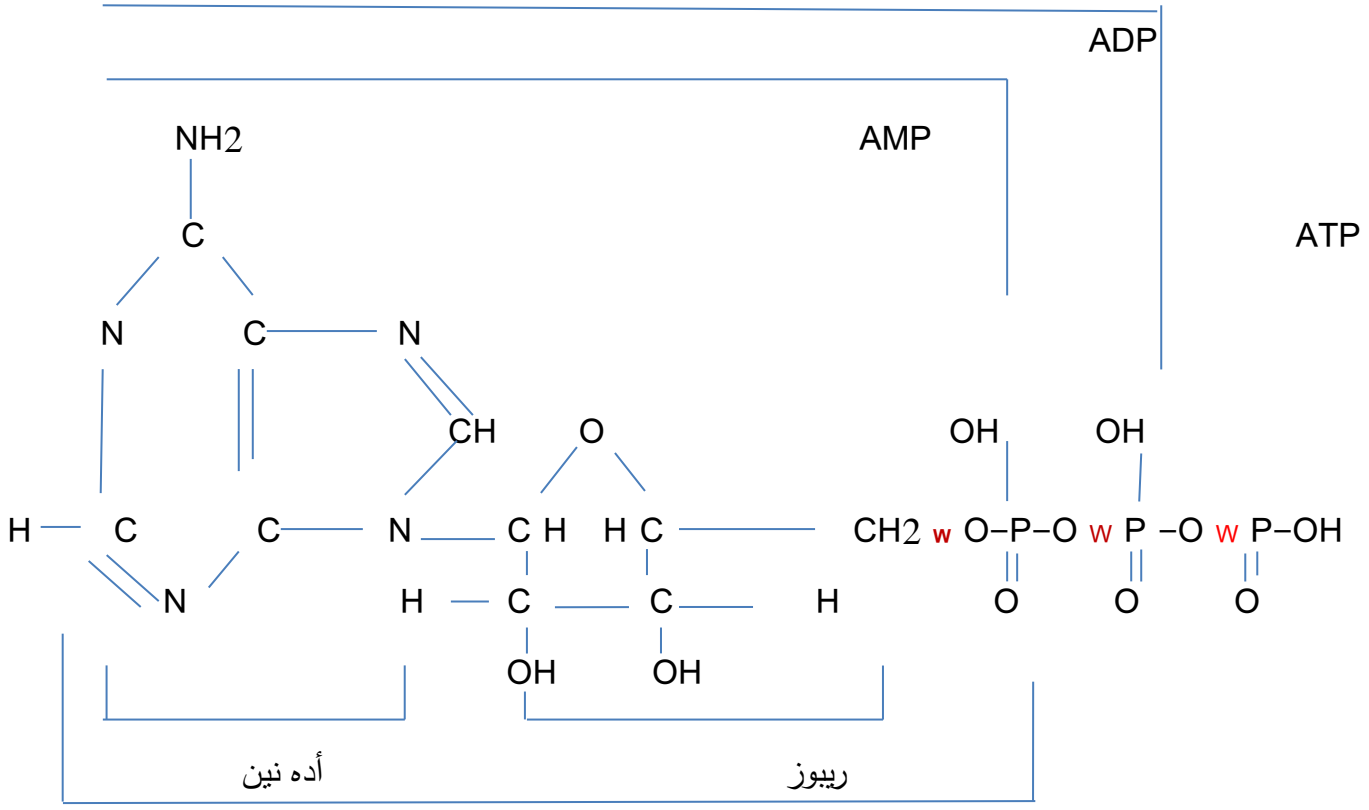
تعود الطاقة الكامنة في الجزيئات العضوية إلى طاقة ضوئية تحولت إلى طاقة كيميائية مخزنة بشكل روابط فعند فك أو تحطيم هذه الروابط فإنها تعطي طاقة

إما فقيرة مثل (C–C) (C–H) (C – O) أوغنية مثل روابط البيروفسفات

فعند اتحاد حمض الفوسفور H3PO4 مع الأده نوزين وحيد الفوسفات ويخزن 3000 كالوري

فسفات الأده نوزين + H3PO4 ⟵ ADP ويخزن 12000

H3PO4 + ADP ⟵ ATP + 13000 كالوري



تعتبر عملية التنفس في الكائنات الحية هي عملية أكسدة للمواد العضوية وليست عمليـة احتراق وفق الآليات الآتية:

أ– الاتحاد بالأوكسجين: أي زيادة نسبـــة الأوكسجين في المـــادة المستخدمـــة كركيزة

ب- فقدان الهدروجينH_2 : وتتطلب هذه الحالة مستقبل للهدروجين أو نازعات هدروجين

ج- فقدان الكترون e: وتتطلب هذه الحالة مستقبل للإلكترونات ويترتب عن هذه الأكسدة تشكل بروتونات على شكل ذرات هدروجين ،وتتحد بروتونات الهدروجين مع الاوكسجين وتشكل الماء أما الالكترونات فتنتقل في حلقة مناقلة الالكترون وتحول الحديد الثنائي لثلاثي وتسمية عملية نزع الالكترون من مادة لأخرى عملية أكسدة أما إضافة إلكترون تعتبر عملية إرجاع إذن عملية الأكسدة في المادة الحية لا تتم بإضافة الأوكسجين للمادة القابلة للأكسدة كالسكريات مثلاً إنما تمم نتيجة لنزع ذرات الهدروجين والالكترونات حيث تستقبل بروتونات الهدروجن من قبل الأوكسجين وتكون الماء والالكترونات المنزوعة من الهدروجين تنقل في سلسلة مناقلة الالكترون والمسؤولة عنها أنزيمات NAD يحول NADH.

أنواع التنفس في الكائنات الحية :

أولاً – التنفس الهوائي: وعنده يكون المستقبل للهدروجن هو الأوكسجين الجزيئي O_2

ثانياً – التنفس اللاهوائي : يكون المستقبل للهدروجن المنزوع مركباًغيرعضوي لكنه ليس الأوكسجين مثل النترات ، الكبريتات ، الكربونات.

ثالثاً – التخمر: ويكون المستقبل للهدروجن هو مركب عضوي .

إذن يمكن تلخيص عمية التنفس بالآتي: " هي خطوات متعاقبة في الاستقلاب بحيث تؤكسد المركبات العضوية وتتحد شاردات الهدروجن الناتجة مع الأوكسجين الجزيئي ، تتحرر نتيجة نزع الهدروجن طاقة تخزن بشكل روابط كيميائية ويكون التنفس مرافقاً لانطلاق CO_2 الناتج عن تحطيم جزيئات الكربوكسيل في الحمو العضوية المتشكلة خلال مرحلة تحلل السكر . عند نقص الأوكسجين فإن أكسدة المواد العضوية يكون ناقصاً ويحصل ما يسمى بالتخمر الكحولي حيث يتشكل الكحول الإيتيلي وينطلق CO_2 لكن الطاقة الناتجة تكون منخفضة "

<u>قياس التنفس :</u> يقاس التنفس بعدة مؤشرات لكن القياس الأمثل يجب أن يراعي حساب كل من مقدار الركيزة التنفسية المستهلكة ، مقدار O_2 المستهلك وجزيئات الماء المتشكلة ، عدد جزيئات ATP ، كمية CO_2 المنطلقة ، النسبة الحجمية بين CO_2 المنطلق / O_2 المستهلك ويسمى معامل التنفس ويختلف هذا المعامل باختلاف الركيزة المؤكسدة (المستهلكة في التنفس) معامل التنفس يرمز له QR بالنسبة للسكريات يكون هذا المعامل(QR=1) ،الدسم(QR < من

١) وكذلك في البروتينات أما الحموض العضويـــــة فيكون المعـــامل(أكبر من ١) ويمكن أن يقاس التنفس بما يسمى معامل الإرجاع وهو مقلوب معامل التنفس ويرمز له RL.

العوامل المؤثرة على سرعة التنفس:

١- **المحتوى البروتوبلازمي في الخلية:** لوحظ أن الخلايا الميرستيمية الغنيـــة بالبروتوبلازم تملك سرعة ومعدل تنفس أكبر من الخلايا المسنة ويفسرذلك باحتوائها على نسبة أعلى من البروتوبلازم

٢- **درجة الحرارة:** إن معدل التنفس وسرعته تزداد مع ازدياد درجـــة الحرارة في حدود معينة حتى الدرجة ٤٥ م ثم ينخفض بشكل حاد وذلك للأسباب:

* تأثير المثبط لهذه الحرارة على الأنزيمات
* عدم قدرة الأوكسجين على الدخول للخلايا
* تراكم CO_2 في الخلايا

٣- **الأوكسجين:** إن تأثير الأوكسجين على معامل التنفس مختلف باختلاف نوع النسيج وتركيز O_2 والزمن ، قد لوحظ من تجارب عديدة على بعض النباتـات أن O_2 يرفع من معدل التنفس حتى وصوله لمعدله الطبيعي في الهواء لكن عند زيادته عن الحد الأعلى لم يلاحظ أي زيادة في التنفس ، فنبات الرز مثلاً يتطلب مقدار من الأوكسجين أقل من القمح وهذا ما يفســـر نموه في البيئات الرطبة ، ويبدو أن العلاقة التي يؤثر بها الأوكسجين على التنفس مرتبط بتركيز CO_2

٤- **CO_2:** لوحظ أنـــــه عند زيادة تركيز CO_2 في الجو المحيط عن معدلـه الطبيعي يؤدي لانخفاض التنفس ويعود ذلك للتـأثير السمي لـ CO_2 وهذا ما يفسر تضرر الجـذور عند نقص الأوكسجين وارتفاع تركيز CO_2.

٥- **الماء :** يعتبر تركيز الماء في النسج النباتية ذو أثر كبير على سرعة التنفس حيث لوحظ أن انخفاض نسبة الماء في النسيج يؤدي لجفافها وموت الأنزيمات وبالتالي انخفاض معدل تنفسهـا .

٦- **الضوء:** يظهر أثره بشكل مباشر أو غير مباشر على التنفس فالتأثير الغير مباشر يتجلى من خلال أكسدة المواد المتشكلة في النبات وتأثيره المباشر على الاصطناع ولعل التأثير الحراري للضوء هو الواضح.

٧- **الجروح:** لوحظ ارتفاع لمعدل في الأنسجة المتضررة أو المجروحـــة خلال الفترة الأولى بعد الجرح بشكل كبير ولعل ذلك يفسر لارتفاع المحتوى السكري في الأنسجة المتضررة .

الآلية الكيمياحيوية لحادثة التحلل السكري Glycolysis

– المرحلة الأولى : تشكل الفركتوز ثنائي الفوسفات

البداية غلوكوز ويتشكل غلوكوز ٦– فوسفات :

سلسلة Embden –Meyerhof and Parnas (E.M.P)

١إذ يتفاعل الغلوكوز +ATP ← ADP + غلوكوز – ٦– فوسفات بوجود أنزيم هكسوكيناز

غلوكوز –٦– فوسفات بوجود أنزيم أيزوميراز ← فركتوز –٦– فوسفات

فركتوز–٦– فوسفات +ATP بوجود أنزيم هكسوكيناز ← فركتوز ١–٦– ثنائي الفوسفات + ADP إذن يرافق هذه التحولات استهلاك جزئين من ATP وتحولهما إلى ADP.**وتشكل فركتوز ١–٦– ثنائي الفوسفات**

٢– **المرحلة الثانية:** انشطار جزيء فركتوز ١–٦– ثنائي الفوسفات إلى جزيئين تريوزفوسفات (ثلاثي الكربون) بفعل أنزيم الألدولاز حيث يتشكل:

ثنائي هدروكسي أسيتون – ٣– فوفسفات + ألدهيد – ٣ – فوسفوغليسرين ويقوم أنزيم أيزوميراز بتحويل ثنائي هدروكسي أسيتون – ٣– فوفسفات إلى ألدهيد – ٣ – فوسفوغليسرين وهو الذي يستخدم في المرحلة اللاحقة

٣– **المرحلة الثالثة:** يتم بهذه المرحلة أكسدة ألدهيد – ٣ – فوسفوغليسرين إلى حامض –٣– فوسفو غليسرين ويقوم التميم الأنزيمي NAD بنزع H2 من الألدهيد وتثبيت جزيء من حمض فوسفوري H3PO4 على الوظيفة الألدهايدية ثم تنتزع هذه الوظيفة بعد أن يصبح لدينا حمض ١–٣– ثنائي فوسفو غليسرين بوجد ADP ويتحول إلى ATP وينتج لدينا حمض ٣– فوسفوغليسرين

٤– **المرحلة الرابعة:** " تشكل حمض الباريروفيك " نتيجـــة لانتزاع H2O وجزيء فوسفوري من حمض ٣– فوسفوغليسرين بوجـــــــود أنزيم الفوسفوغليسرموتيز حيث يحول حمض ٣– فوسفو غليسرين إلى حمض ٢– فوسفوغليسرين الذي يتحول بفعـــل أنزيم الانولاز إلى٢– فوسفو إينول بروفيك بواسطة ADP ووجود الماء فينتج ATP وحمض بيروفيك .

٥-**المرحلة الخامسة** :وهذه المرحلة تختلف باختلاف **مسلك حمض البيروفيك** وتتعدد مساراته:

ا-اما أن يرجع بواسطة (NADH2) ويتشكل حمض اللبن وفق المعادلة التالية:

+ NADH2

$$CH_3-CO-COOH \longrightarrow CH_3-CHOH-COOH$$

_NAD

ب-او يدخل في عملية التخمر الكحولي وهنا ينزع CO2بواسطة بيروفيك كربوكسيلاز اذ يتشكل في البداية الدهيد الخل وبعد ذلك يرجع بواسطة NADH2ويتشكل الكحول وفق المعادلة الآتية:

بيروفيك كربوكسيلاز

$$CH_3-CO-COOH \longrightarrow CH_3- COH+CO_2$$

+ NADH2

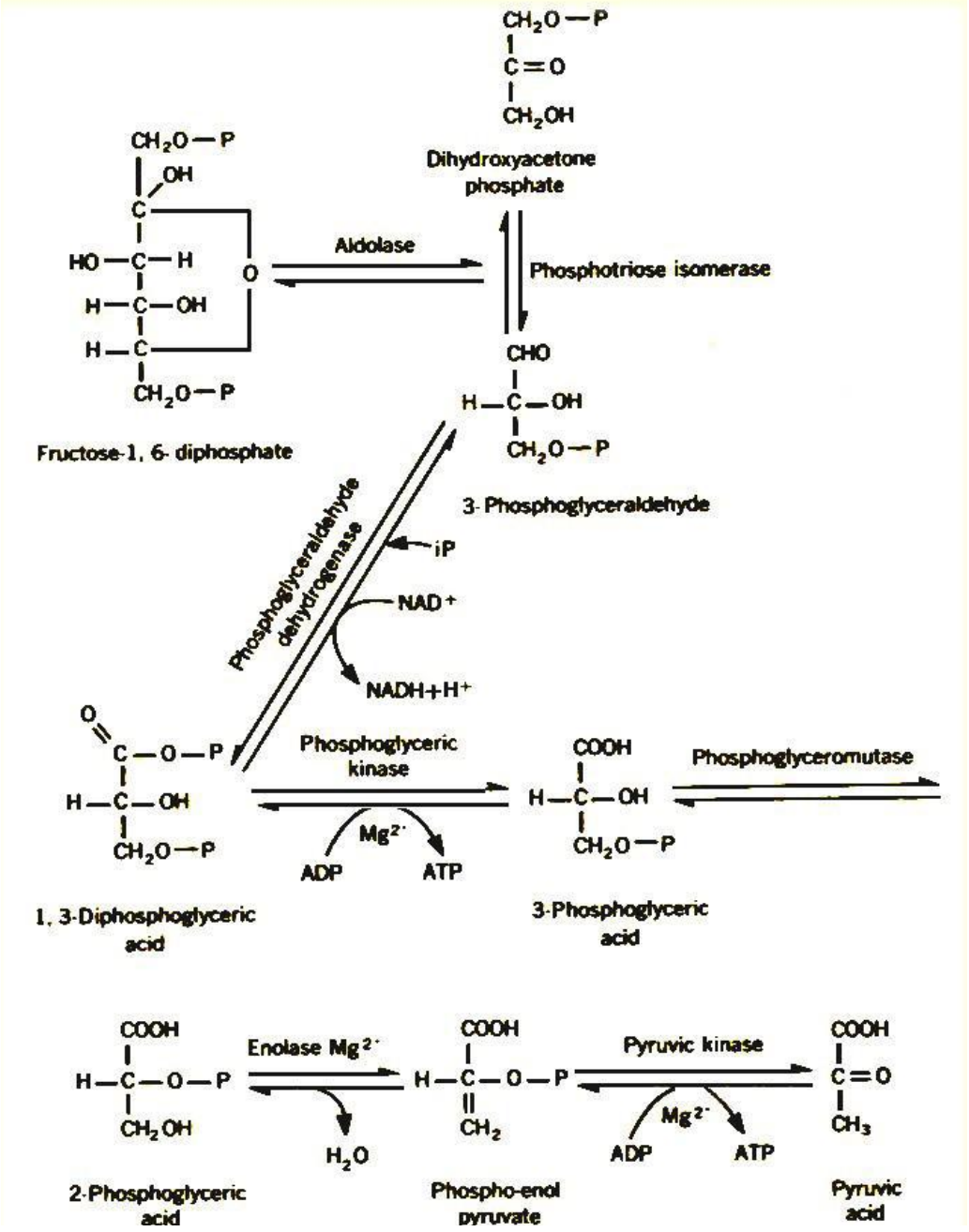
$$CH_3- -COH \longrightarrow CH_3-CH_2-OH$$

_NAD

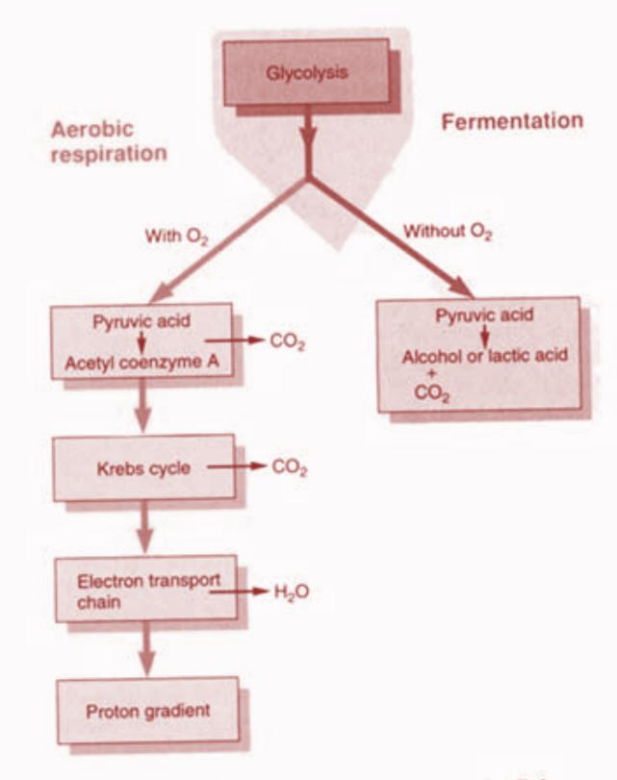
ج-او يتحول الى حمض الآلانين بعد اضافة الامين وهو حمض اميني هام.

د-او يتزع الكربوكســــــيل بوجود الO2 حيث يتحول البيروفيك الى (استيل COA) وانطلاق CO2 وتلعب شوارد Mg ويدخل حلقة كربس.

المخطط يوضح تشكل حمض البيرفيك بدءا من ١-٦ ثنائي فوسفات فركتوز



مخطط يوضح بشكل مختصر تحلل الغلوكوز بشكل مختصر



اما الجزء الأساسي من تحلل الغلوكوز فهو دخول استيل COA في حلقة كربس والتي تلخص بالمراحل التالية:

١- يتكاثف الأستيل COA مع حمض الأوكســـالواسيتيك اسيد وبوجود الماء ويتشكل حمض الليمون(سيتريك اسيد)

٢- مماكبـــة حمض الليمون وتشــكل حمض ايزو سيترك ويتشكل مركب وســـيط هو حمض الأكونيتك

٣- نزع الهيدروجين من حمض ايزوسيتريك وتحولـــه الى حمض الأوكســـالوسوكسنيك بوجود (NAD)و (NADP) ويتم هذا التفاعل داخل الميتوكوندري

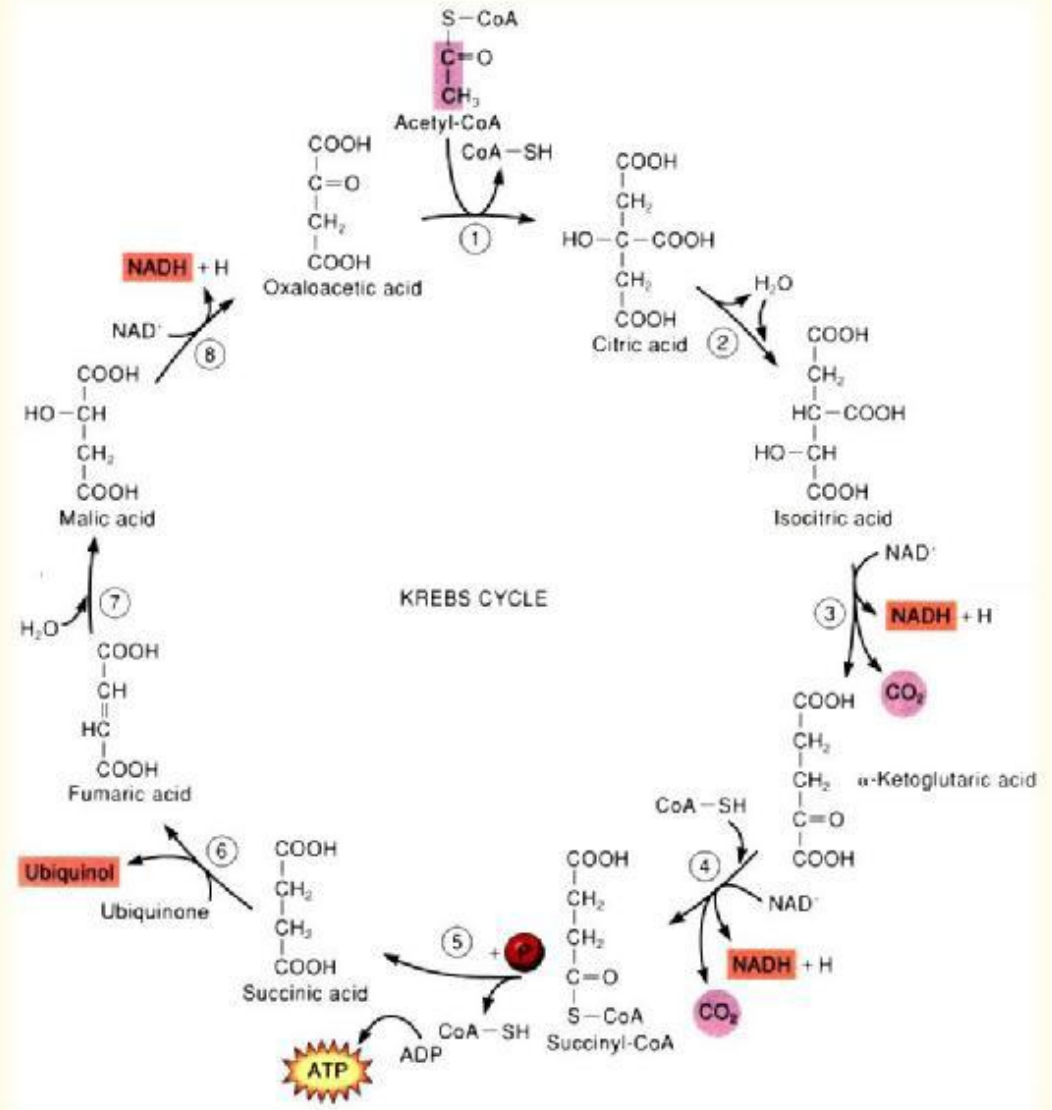
٤- نزع CO2 من الأوكسالوسوكسنيك ويتحول الى حمض كيتوغلوتاري

٥- نزع CO2 من حمض كيتوغلوتاري ويتحول الى حمض السوكسينيك بوجود الاوكســـجين الهوائي

٦- نزع H2 من حمض السوكسينيك بوجود (FAD) ويتحول الى حمض الفومـــاريك

٧- يتحول حمض الفوماريك بالإماهـــة وبتحول الى حمض الماليـك (حمض التفـــاح)

٨- نزع H2 من حمض الماليك ليتحول الى حمض الأوكسالواسيتيك بوجود (NAD) لتعود الدورة من جديد



مخطط يوضح تفاعلات دورة كربس

وفي نهاية عملية التنفس يكون نواتج هذه العملية قد تم تخزنها بشكل روابط غنية بالطاقة تستفيد الكائنات منها حين الحاجة ومحصلة هذه الروابط موضحة في الجدول الآتي

حساب الطاقه

العمليه	الناتج مباشرةATP	العوامل المختزله	حساب الناتج من عوامل الاختزال ATP	المجموع
الجلايكولايسس	٢ATP	2NADH	6 ATP	8
اكسدة البيروفيت		2NADH	6 ATP	6
دورة كربس	٢ATP	6NADH 2FADH2	18 ATP 4 ATP	24
				38

التركيب الضوئي

عملية تقوم بها النباتات الخضراء دون غيرها من الأحياء وتشمل على امتصاص الطاقة الضوئية بواسطة اليخضور (الكلوروفيل) وتحويلها إلى طاقة كيميائية تخزن في ماءات الفحم اعتباراً من الماء وثاني أوكسيد الكربونCO_2 وينطلق الأوكسجين وفق المعادلة الإجمالية البسيطة:

ضوء

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2$$

كلوروبلاست

سؤال كيف يتم تحويل هذه الطاقة؟

يعتبر التركيب الضوئي هو عكس التنفس وبالتالي تحدد نقاط التفاعل وفقاً لما يلي:

* O_2هو ناتج عن تفكك الماء وليس من غاز CO_2

* CO_2 يرجع بالهدروجين الباقي من تحلل H_2O ضوئياً ويدخل في تكوين المادة العضوية على طريق تكوين الكاربوكسيل

والحقيقة العلمية الأساسية هي تحلل الماء ضوئياًويعتمد استمرار ووجود الكائنات الحية النباتية على مقدرتها في اقتناص الطاقة من ضوء لشمس وتحويلها غلى روابط كيميائية غنية بالطاقة مثل : أدونوزين ثنائي الفوسفات ATP وإلى مرافقات أنزيمية مثل نيكوتين اميد أدنين داي نيكلوتيد فوسفات $NADPH_2$ هذان المركبان يؤديان من خلال التفاعلات التي يدخلان بها إلى تحويل ثنائي أكسيد الكربون إلى مواد كربوهدراتية وتشكيل اللبنات الاساسية العضوية لتكويم المواد الاخرى مثل البروتينات والدهون والهرمونات..... تتم هذه العملية ضمن جهاز التمثيل الضوئي (البلاستيدات الخضراء) وهي عضية ذات بنية معقدة من الاغشية والصبغات تقتنص الفوتونات وتحولها إلى طاقة كيميائية .

تركيب الصانعات: تتركب الصانعات من ٨٠ % ماء + ٢٠% مواد جافة (٨٠% منها أصبغة معظمها أصبغة اليخضور و ١٠– ١٥ % حديد ونحاس وفوسفور ومغنيزيوم) رسم

أهم الصبغات التي تقوم بعملية التركيب الضوئي :

أ– **صبغة الكلوروفيل:** تعتبر الكلوروفيلات أهم الصبغات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي وهي تسعة أنواع مرقمة.....A,b,C لكن الكلوروفيل A,b هو الأكثر سيادة في الكائنات ذاتية التغذية ، لون الكلوروفيل A اخضر مزرق بينما الكلوروفيل b فلونه أخضر مصفر: الصيغة

العامة للكلوروفيل A هي $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

اما الكلوروفيل b هي: $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

ويتكون جزيء اليخضور بنوعيه من أربع حلقات بيرول تتوسطها ذرة المغنيزيوم ، أما الفرق بين النوعين A و b فيظهر في جذر الميتل (CH_3) في الكلورفيل A أما في الكلورفيل B فيحل محله مجموعة ألدهيد(COH) .

ب- صبغات الكاروتينات: هي صبغات ذات ألوان مختلفة من الأصفر حتى الارجواني وهي مواد ذوابة في مذيبات الدهون . أهم هذه المركبات:

الليكوبين الذي يعطي الصبغة الحمراء في ثمار البندورة وصيغته الكيميائية **$C_{40}H_{51}$**

الكاروتين يعطي اللون البرتقالي وصيغته **$C_{40}H_{56}$** ، الكزانتوفيل $C_{40}H_{56}O_2$

نواتج الاصطناع الضوئي:

الكربوهدرات + الأوكسجين

ودلت الأبحاث على أن الكربوهدرات الناتجة عن التركيب الضوئي هي الغلوكوز D- الفركتوز D – السكروز والنشاء.

والسؤال المطروح أيهما الأول : وهذا ما سيوضح خلال الدراسة الكيمياحيوية لعملية التصنيع الضوئي ، لوحظ أن تتابع عملية تشكل الكربوهدرات وتعقيدها يتناسب طرداً مع تعرضها للضوء وأكدت تجارب عديدة أن السكروز ($C_{11}H_{22}O_{11}$) هو الذي يتكون ولوحظ أن النشاء والسكروز هما مترافقان معاً . وأن مواد أخرى غير الكربوهدرات تترافق مع تكون الكربوهدرات مثل البروتينات . إدخال الأمين في حمض البيروفيك يؤدي إلى تشكل حمض الأميني الآلانين .

- قياس معدل الاصطناع الضوئي:

يقاس معدل الاصطناع بقياس نواتج الاصطناع مثل تقدير معدل الأوكسجين المنطلق أو CO_2 المستخدم .

العوامل البيئة المؤثرة على الاصطناع الضوئي:

(الضوء – CO_2- الحرارة) أساسية (الماء – التغذية المعدنية والأوكسجين) ثانوية

أولاً- الضوء: يتحدد ضوء الشمس المرئي بموجات طولها يتراوح بين ٣٨٠٠ إلى ٧٦٠٠ A (أنغسنتروم) ووجد أن منطقة الامتصاص الفعالة بالنسبة التركيب الضوئي محصورة بين ٤٧٠٠- ٦٦٦٥ A وهذه المنطقة محصورة مابين الأخضر والأزرق من ألوان الطيف الضوئي ، الأمواج القصيرة التحت حمراء فعلها حراري والموجات الفوق البنفسيجية أثرها تخريبي وليس لها دور في التركيب الضوئي . ويؤثر الضوء على التركيب الضوئي من خلال الشدة الضوئية (طول الموجات) والمدة فاعتماداً على شدة الضوء تقسم النباتات :

أ- **نباتات الظل** : تنجح هذه النباتات في الغابات احتياجها للضوء قليل وفي المناطق القطبيـــة
ب- **نباتات النصف ظليلة** : تحتاج إلى شدة ضوئية أكثر من النباتات السابقة وتمثلها (الخضار الشتوية)
ج- **نباتات محبة للضوء** : تحتاج لشدة إضاءة عاليــة وهي تمثل (الخضار الصيفية والأشجــار والمثمرة والنباتات الاستوائية)
د- **نباتات محايدة** : تنجح في مجالات متباينة من الشدة الضوئية مثل نبات (البطاطــا) الذي يزرع في عدة عروات.
وحسب المدة الضوئية تقسم النباتات إلى :
* نباتات نهار قصير * نباتات نهار طويل * نباتات محايدة
ثانياً – غاز CO_2 : يصل تركيز CO_2 في الغلاف الجوي إلى حوالي (٠,٣ %) ويلعب دوراً أساسياً في عملية التركيب الضوئي وقد لاحظ العديد من العلماء أن زيادة تركيز غاز CO_2 في الجو المحيط بالنباتات يزيد من معدل الاصطناع الضوئي حيث أخذت هذه الزيـــادة منحنى طردي مع زيادة تركيز CO_2 إلى أن وصل إلى تركيز(٠,٥ %) كحد أعظمي
ثالثاً – الحرارة :تعتبر الحرارة من العوامل الهامة في زيادة معدل الاصطناع الضوئي وقد قسمت النباتات حسب حاجتها :
* نباتــات تنمو في مجال حراري منخفض ٨-١٦ م وهي تمثل (نباتات المحاصيل الشتويــة)
* نباتات تحتاج لمجال حراري من ١٦- ٢٥ م مثل (الخضار الصيفيـــة والأشجـــار المثمرة)
لكن الفـعل الحقيقي للحـرارة يتجلى بـأن الدرجــة المثاليــة للـــــتركيب الضوئي محصور ما بين (٢٥-٣٠ م) يقل معدل الاصطنــاع عند ارتفاع وانخفاض درجـــة الحرارة عن ذلك ويفسر ذلك نتيجـــة لتأثير الحرارة على الأنزيمات وتفاعلاتها خلال عملية التركيب الضوئي .
رابعاً – الماء: يعتبر الماء من العناصر الأساسية في عملية التركيب الضوئي لكن ما يستهلك من الماء الممتص من قبل النبات لا يتجــاوز ١% ، ويتجلى أثره الأساسي من خلال تأثيره على فتح وإغلاق الثغور التنفسية المسؤولــة عن عمليـــة التبادل الغازي الضروريــة للتركيب الضوئي وخاصة CO_2 .
خامساً – التغذية المعدنية : تعتبر أيضاً من العوامل الاساسيــة لعملية التركيب الضوئي من خلال دور العناصر المعدنية في انتباج الخلايـــا وحركة النسغ الناقص تجاه الأوراق إلى دخولها المباشر في المركبات العضوية اللازمة للخلايا وللأعضاء النباتية .
سادساً – الأوكسجين: يعتقد الكثير من العلمـــاء أن عملية التنفس والاصطناع الضوئي مترافقتان لكن لوحظ عند ارتفــاع تركيز CO_2 يثبط عمليـــة التركيب الضوئي ويعود ذلك ليس

لزيـــادة معدل التنفس بزيادة الاوكسجين وإنما للمنافســـة بين غاز CO_2 وبروتونـات الهدروجن الناتجة في سلسلة مناقلة الالكترون مع غاز CO_2 .

ودراسة هذه العوامل فيما بينها مشاب بكثير من التعقيد فجميعها مرتبط مع بعضها البعض ومن الصعوبة فصل أي عامل عن العوامل الأخرى . فالعلاقة متداخلة ويعتبر التركيب الضوئي مظهراً استقلابياً في الخلية وهنا لا بد من فهم العامل المحدد وفق نظريـــة بلاك مان (١٩٠٥) وقد ميز بين ما يسمى (الحد الأدنى – الحد الأنسب – الحد الأقصى) لكل عامل من هذه العوامل وتأثيره على الاصطناع الضوئي ،ونظرية بلاك مان تقول : إذا ما توقفت مسيرة عملية حيوية على عدد من العوامل فإن سرعة هذه العملية تتحدد من حيث الأهمية بالعامل الأكثر ضعفاً .

مثال : ورقة تحتاج إلى ساعـة لتحليل ٥/سم ٣ من CO_2 وإذا ما تعرضت خلال ساعة اعتباراً من ١ سم ٣ نلاحظ زيادة معدل الاصطناع مع زيادة تركيز CO_2.حتى تصل إلى ٥ سم ٣/ساعة ومهما زاد بعد ذلك تركيز CO_2 فإن معامل الاصطـناع لا يزداد لكن عند زيادة المدة الضوئيـــة أكثر من ساعة نلاحظ ارتفاع في معدل الاصطناع .

والمنتقدين لهذه النظرية قالوا بعد ملاحظتهم :

*أن قيمة CO_2الأنسب تتغير مع الشدة الضوئيـــــة العليـا وكذا فإن الحرارة المثلى تتغير بتغير الشدة الضوئية كذلك تبعاً لإمداها بالماء .

* إن تعرض أجزاء النبات وخاصـة الأوراق والصانعـــات تحديداً فيها ضمن النسيج الميزوفيل ليس واحداً لكافة هذه العوامل وذلك يعود لاختلاف توضعها داخل الورقـــة وتوضع الاوراق على مختلف الافرع .

العوامل الداخلية والاصطناع الضوئي:

١- **تشريح الورقـة** : يتأثر معامل الاصطناع الضوئي بالمسافـات البينيـــة في نسيج الميزوفيل للورقة وتوزع الخلايا التي تضم هذه الصانعات وبعدد طبقـــات النسيج الحباكي والفراغي وبحجم المسام وتركيبها

٢- **الـــعوامل البروتوبلازميـــــة**: وأهمهـــا الجـزء الأنزيمي للبروتوبلازمـــا والذي يتجلـــى من خلال الجسيمات الحالـــة والأنزيمات الموجودة فيها ، وعلى عدد الصانعات المتوزعة في الخليـة.

٣- **المحتوى اليخضوري ورقم الاصطنـــاع الضوئي** : رقم الاصطناع هو عدد الغرامـــات من CO_2 التي يمتصها ١ غ كلوروفيل خلال ١ ساعة .

٤- **تراكم نواتج الإصطناع** : فقد لوحظ تضاؤل الاصطناع الضوئي مع ارتفاع نسبـــة النشاء في خلايا النسيج المصنع (كلورانشيم) .

الدراسة الكيماحيوية للاصطناع الضوئي

مصدر الأوكسجين الناتج: حاول العديد من العلماء معرفة مصدر الأوكسجين الناتج من عمليـة التركيب الضوئي . لقد قاموا بتجارب على بعض الأشنيات ومنها أشنة الكلوريلا فأمدوها بماء يحوي نظير الأوكسجين O18 فلاحظوا : أن الأوكسجين المنطلق كان النظير O18 نفسه وأدكوا من خلال ذلك أنه خلال عملية التركيب الضوئي يتم تحليل الماء المستخدم وكان على رأسهم العالم روبن ووضح ذلك بالمعادلة التالية :

Ruben (1940-1943)

$$CO_2 + 2H_2{}^{16}O^{18} \longrightarrow H-C-OH + H_2{}^{16}O + {}^{18}O_2$$

$$CO_2 + 2H_2{}^{18}O^{16} \longrightarrow H-C-OH + H_2{}^{18}O + {}^{16}O_2$$

وبعد دراسات عديدة توصل العلماء إلى مفهوم أن عملية التركيب الضوئي عملية حيوية معقدة تقوم بها النباتات الخضراء لذلك قسموها لمرحلتين أساسيتين:

أ- أكسدة الماء وتحرير الأوكسجين : مرحلة كيميائية ضوئية لا تتأثر بالحرارة .

$$H_2O \longrightarrow 1\backslash 2\ O_2 + H_2$$

ب- مرحلة إرجاع (CO_2) إلى غليكوزيدات: وهي مرحلة كيميائية لا تحتاج للنور وتتأثر سرعتها بالحرارة

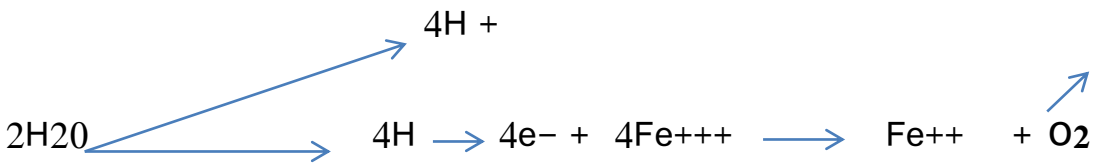
$$2H_2O \longrightarrow H_2 + O_2$$

$$H_2 + CO_2 \longrightarrow (CH_2O)$$

وتتم هذه المرحلــة بعد أن يستقبل NADP الـ +H من تحلل الماء ويتحول NADPH يقوم هذا المركب بارجاع CO2 في مرحلة الظلام ويكون مركب كربوهدراتي أولي .

أولاً – مرحلة الكيمياضوئية:

أكد العالم هيل بعد أن عزل الصانعات وجود السكروز بكميــة كبيرة واستطاع هذا العالم أن يحقق عملية الاصطناع الضوئي في صانعـات خضراء معزولـــة حيث لاحظ انطلاق الأوكسجين عند عدم وجودCO2 شرط توفر مـــادة قابلـــة للإرجاع لاستقبـال الهدروجن النـــاتج من تفكك الماء كمركب الحديد الثلاثي Fe+++ وحدد ذلك بمعادلة سميت باسمه معادلة هيل :



ضوء + يخضور

وتتم هذه العملية بمشاركة العديد من الأنزيمـات وعلى رأسها التميم الأنزيميNADP والذي يرجع باستقبال ذرات الهدرجين الناتج عن تفكك الماء إلى (NADPH. H +)

. ثانياً– مرحلة الظلمة :

يتم في هذه المرحلـــــة إرجاع CO2 وبوجود ATP + (NADPH H+) ويكون هذا ATP ناتج عن الصانعـــات التي تقتنص الطاقـة من أشعـة الشمس حيث يتفاعل P + ADP معدني ولذلك سميت هذه العمليــة بالفسفرة الضوئيــة على عكس الفسفرة التأكسديـة.وفي الطور المظلم الذي لا يحتاج إلى ضوء يتثبت غاز CO2 على حمض البايروفيك ويعطي حمض أوكزالوأستيك وفق المعادلة:

$$CO2+ CH2-CO-COOH \longrightarrow COOH-CH2-CO-COOH$$

ثم لا يلبث هذا المركب إلى أن يتحول إلى حمض الفوسفوغليسرول وقد أكــد ذلك العالم كالـــفن باستخدام الكربون النظير وشرح آلية إرجاع CO2 فقد استعمل أشنة الكلوريلا وعرضـــها للضوء لبضع ثوان فوجدأن الكربون المشع C14 قد لوحظ بكليته في حمض بالفوسفوغليسريك وبالتـــالي اعتبر هذا الحمض أول منتجـــات التركيب الضوئي وهو حمض ثلاثي الكربون وقد تثبت غاز ثنائي لأكسيد الكربون الحـاوي على النظير المشع في الجذر الكربوكسيلي لهذا الحمض COOH

ويتطلب ذلك وجود التميم الأنزيمي NADPH2 ويتحول إلى NADP . بعد هذه المرحلة تتشكل لدينا سكريات الخماسيـــة وعلى رأسها المركب فركتوز ١-٦ ثنائي الفوسفات وسمي هذا التفاعل بتفاعل **هاردن ويونغ** . بعد ذلك يتشكل لدينا السكريـــات الحرة كالسكروز والغلوكوز نتيجة اتحاد فوسفوغليسر ألدهيد مع بعضها .

ملخص الاصطناع الضوئي:

١- **تحليل الماء** .

٢ - **تثبيت CO_2 بالريبلوز** ثنائي الفوسفات الذي يعطي **حمض الفوسفوغليسريك**.

٣- **تكثف حمض الفوسفوغليسريك** ليعطي سكريـــــات **خماسيـــة وسداسية** يعود جزء من السكريات الخماسية للدخول في دورة الاصطنـاع الضوئي أما الجزء المتبقي منها مع السداسيـــة فيدخلان في تشكيل السكروز والنشاء والمواد الأخرى.

٤- خزن الطاقة خلال عمليـــة الاصطناع الضوئي في روابط المواد الناتجة المخزنة لهذه الطاقة وتقدر بحوالي ٦٩٦ كيلوكالوري.

لمحة عن (استقلاب الكربون) في النبات

تجري جملة من التحولات المستمرة والسريعة لكل من السكريـــات والدسم والشحوم حيث يكون الانتقال من نوع إلى آخر عملية حيوية تقوم بها الخلايا النشطة وظيفياً ويستفاد منها في تكوين البروتينات وغيرها من المواد الوظيفية . أهم هذه التفاعلات داخل الخلية:

١ – **تكون الاسترات المفسفرة:** وتعتبر هذه التفاعلات وخاصـــة في دورة التنفس حيث يتم فيها تشكل مركب هام حيوياً هو غلوكوز –٦– فوسفات بوجود الغلوكوز و ATP .

٢– **تكون وتحلل سكر القصب (السكروز) :** يلاحظ هذا السكر كما لاحظنا خلال عمليـــــة الاصطناع الضوئي

أنزيم السكراز

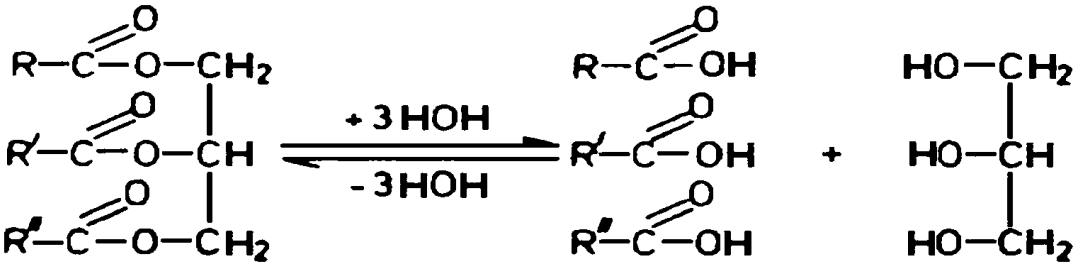
ويتكون من غلوكوز–١ فوسفات + فركتوز ⟵ سكروز + فوسفات

٣– **تكون وتحلل النشاء:** يتكون النشـــــاء من غلوكوز– ١– فوسفات بفعل أنزيم ألفاغلوكوزان فوسفوريلاز حيث تتحد مئات من جزيئـــات غلوكوز –١– فوسفات لتكوين النشاء ويتحلل النشاء إلى دكسترينات ومالتوز بواسطة أنزيم الأميلاز .

استقلاب الحموض الدسمة

تشكل المواد الدسمة ما نسبته ٥٠% من الوزن الجاف وهي مواد غنيـــة بالطاقـــة وتتشكل في النباتات مجموعة من الحموض الهامة كحمض البايروفيك وحمض الغليسريك والحموض في حلقة كريبس(الثلاثية الكربوكسيل) فحمض الخل يدخل بشكل فعال على شكلـــه أستيل COA ينتقل من الحموض الثلاثية الفحم إلى حموض دسمة ذات سلاسل طويلة

وتعتبر الدهون والزيوت مواد غنية بالطاقـة لذلك تدخر في البذور والثمار و ١غ من الدهن يحرر ٩ كالوري في حين أن ١غ سكر يحرر ٤ كالوري . والفرق بين الدهون والزيـوت يكون من حيث القوام والصلابة وما تحتويه من روابط غير مشبعـة فالزيوت عبارة عن أسترات لحموض دسمـــة مترابطة مع بعضها وينشأ الدسم من الغليسرين والحموض الدسمـة خلال عملية التنفس كمـا في المعادلة التاليـــة حيث R هو حمض دسم مرتبط مع الغليسرين والغليسرين ينشأ في دورة تحلل الغلوكوز على حساب مركب ثنائي هدروكسي أسيتون بعد نزع الهدروجن منه وإماهته ويقوم بذلك أنزيم الفوسفاتاز .



استقلاب الآزوت : إن استقلاب الآزوت يعني تكوين البروتينات ومصدر الآزوت الرئيسي للنبات هو النترات وأملاح الأمونيوم أولى خطوات استقلاب النترات وتصنيع البروتينـــات إرجاع النتـــرات إلى نتريت وتتم هذه العمليـــة إما في الجذور أو في الأعضاء الخضراء وخاصـــة في نسيج الميزوفيل ويتشـــكل بعد ذلك حمض أميني هو ألفـاغيتوغلوتـامين على حســاب حمض ألفاغيتوغلوتارين **وفق المعادلة الأتية:**

$$COOH-COCH_2-CH_2COOH+NH_3+NADH_2 \longrightarrow$$

$$NAD+COOH-CONH_2-CH_2-CH_2-COOH+H_2O$$

تتكاثف الحموض الأمينية مع بعضها عن طريق زمرة الأمين مع زمرة الكربوكسيل بالتسلسل ليتشكل لدينا بروتينات في سلاسل عديدة جداً تملك وزن جزيئي كبير .

النمو والتطور في النبات

النمو: الزيادة الذي يطرأ على أقسام النبات المختلفـــة كنمو الســـاق والجذور والأفرع تكون هذه العملية مسبوقة بالتكاثر والانقســـام .

التطور: هو التحول الذي يطرأ على الأعضاء النباتية وانتقالها من مرحلـــة لأخرى كانتقـــال النباتـــات من الطور الخضري إلى الطـور الزهري ويعتبر كل من النمـو والتـطور مرحـلتين مترافقتين فمظـاهر النمو تتجلى بزيـادة الحجم وزيادة الوزن أما التمايز فهي مرحلـة لاحقـة بعد النمو حيث تتخصص الخلايا لتشكل أنسجـة تؤدي وظيفـة معينة ويعتبر النمو تغيرات كيفية في النبات أما التطور فهو تشكل اعضـاء جديدة تغاير السابقـة فتشكل الأزهـار هو تغير داخلي في المرستيم المشكل لها دون زيادة في الحجم

مناطق النمو ومراحله: تتميز النباتات الراقية بأن :

١- مناطق النمو تنحصر في نقاط محددة مثل اطراف الجذور وقمم السوق ومناطق الكـــامبيوم

٢- يستمر النمو طوال حياة النبات

مراحل النمو: هي ثلاث مراحل : الانقسام – الازدياد في الحجم – التمايز

أ- **مرحلة الانقسام** : يحصل في المرستيمات الأولية وتعطي بنيات ابتدائية أو **<u>أولية</u>**

آلية النمو الابتدائي: تتجلى في الجذور وقمم السوق حيث يحصل انقســـام للمرستيم ليعطي البروكامبيوم الذي يشكل النسج الناقلة وخلايا المرستيم لها ميزات:

* صغر الحجم * رقة الجدران * متساوية الأبعاد * ندرة الفجوات أوصغرها * كبيرة النوى * ليس بينها مسافات بينية * تنقسم باستمرار

تتواجد في قمم الجذور يلي هذه المنطقة منطقة الاستطالـة وهي المسؤولـة بتطاولها عن تمايز النسج الناقلة مشكلـة الأنسجـــة الغربالية والخشبية الأولية، حيث يتشكل الخشب في منطقة الاستطالة بينما يتشكل **الغربال في منطقة الانقسام قبل الخشب** اما النمو الابتدائي في السوق فهو يشمل إضافة لازدياد طول الساق تشكل الاوراق والاعضاء الجانبيـة الاخرى فقمم السوق حيث الميرستيم الأولي لا يتجاوز طولها بضعة ميكرونات يتحول جزء منـــه إلى بروكامبيوم مباشرة يعطي النسج الوعائيـة الابتدائيـــة وهذه المنطقة(القمم النامية) تملك نفس مواصفات قمم

الجذور وتتميز أيضاً منطقة الانقسام في قمة الساق بأنها مسؤولة عن النمو العرضي من خلايا بدائية تعطي الكامبيوم المسؤول عن النمو الثانوي ويزداد حجم الخلايا أثناء الانقسام نتيجة استطالة الخلايا المنقسمة والخلايا الأصلية في قمة السوق هي خلايا كامنة تتحول مباشرة إلى مرستيم انتظار أما منطقة الانقسام المتوضعة في مركز القمة النامية فهي الحلقة المولدة للأوراق ويوجد في المركز مرستيم شعاعي يشكل الكامبيوم الداخلي ويعطي البداءات الورقية التي تشكل الأوراق وجميع هذه الأنسجة تتوضع في البراعم المحاطة بأوراق حرشفية .

ب- مرحلة الازدياد في الحجم : عند انبات البذرة اول ما يظهر الجذر الابتدائي ويمتد على المحور السفلي للنبات يستطيل نتيجة لتطاول ويزداد في القطر وتظهر الفروع الجانبية عليه لتشكل الجذور الثانوية وتسمى هذه الاعضاء المجموع الجذري الابتدائي ، وتنشأ الجذور الجانبية من نسج تختلف عن النسج التي تنشأ منها الافرع الجانبية حيث تتشكل الجذور الثانوية من نسيج داخلي بينما الأفرع تنشأ من نسيج سطحي يتحكم بها هرمونات تفرزها النباتات أو تكون موجودة أصلاً في البذرة . تتوضع البراعم المنشئة للأفرع في آباط الأوراق حيث يكون البرعم مكون من صفين من الخلايا المرستيمية على جانبه بداءات الاوراق وفي الوسط مرستيم مسؤول عن النمو .

النمو الثانوي في معرات البذور وثنائيات الفلقة : تتميز هذه النباتات بنمو جانبي أو عرضاني (ازدياد في قطر النباتات) ويتحكم بذلك المرستيمات الثانوية وهي المرستيم الذي يعطي الخشب والغربال الثانويين **وهو كامبيوم ما بين الحزم** ، يتركب عادة من طبقة سمكها خلية واحدة بين اللحاء والخشب وخلايا هذه الطبقة نموذجان : خلايا متساوية الأبعاد تشكل الأشعة الوعائية وهي قليلة العدد ،خلايا مغزلية تشكل النسبة العليا من هذا الكامبيوم وتعطي الغربال والخشب الثانويين ينقسم الكامبيوم الثانوي في اتجاه عمودي على القطر ليعطي غربال للخارج وخشب للداخل . ويستمر هذا الكامبيوم طوال حياة النبات ويزداد قطر السوق نتيجة إضافة طبقات جديدة فالغربال المسن ينسلخ مع القلف وبالتالي فإن كتلة الساق أو الجذر المسن تتكون من الخشب الثانوي فحسب ويلاحظ أن كمية الخشب التي ينتجها هذا الكامبيوم عدة اضعاف مما ينتجه من عناصر الغربال مما يؤدي لدفع الكامبيوم نحو الخارج وتتسع حلقة الكامبيوم عندها وتستطيل خلايا هذه

الطبقـــة أما المرستيم الثانوي الآخر فهو المرستيم **الفليني** ينشأ إما من بشرة أو من خلايا تحت البشرة يعطي الفلين نحو الخارج والفلوجين نحو الداخل والفلين عبارة عن طبقة خلايا ميتة تحمي النسج الحية أما الفلوجين : هو خلايا حيـــة يبقى مستمراً طـوال حياة النبـــــات وأهم مميزات المرستيمات الثانويـــة بأن خلايا متمايزة أكثر من المرستيمات الابتدائيـــة وفجواتها أكبر وأنويتها تتركز في جوانب الخلايا

قياس النمو

تستخدم عدة طرق لقياس النمو أهمها : قياس أطوال الأعضاء النباتية كالأفرع والجذور – حساب اقطارها وحجمها – حساب مساحـــة المسطح الورقي – حساب الوزن الجاف والرطب ، وتستخدم هذه المؤشرات ومدلولات من الناحيـــة الاقتصاديـــة وذلك بغية معرفـــة الطاقة الانتاجية للنباتات المدروســـــة وتعتبر معرفـــة الوزن الجاف ومعرفة المسطح الورقي دليل أساسي في حساب كفاءة التركيب الضوئي حيث يتم حســاب الوزن الجاف لجميع أعضاء النبات (أوراق ، جذور ، أفرع ، ثمار...) كل على حده.