التنفس الاهوائي Anaerobic respiration

هو عملية اكسدة يكون المستلم النهائي فيها للالكترونات مركب لاعضويا غير الاوكسجين ان الاحياء المجهرية التي تنمو تحت ظروف هوائية غالبا تستطيع النمو تحت ظروف لاهوائية ايضا مستخدمة بذلك جذرالنترات كمستلم نهائي لالكترونات كما*في* ***Micrococcus denitrificans*** او جذر الكبريتات كما في ***Desulfovibrio*** او حتى ثاني اوكسيد الكاربون كما *في* ***Clostidium aceticum*** ففي الإحياء المجهرية العضوية التغذية يتأكسد المركب العضوي بفقدان الالكترونات التي تمرر الى مستلم الالكترونات ويتم خلال هذه العملية تحرر طاقة وتخزينها اما المركب العضوي الذي تاكسد فتختلف معاملته حسب نوع المادة العضوية التي تأكسدت بالأصل ان نواتج التنفس اللاهوائي سواء اكانت في عضوية التغذية ام في ذاتيتها فهي مختلفة ايضا فاذا كانت النترات هي المستلم النهائي للالكترونات فان نواتج اختزالها تكون النيتروز او الامونيا ام في حالة الكبريتات فيكون كبريتيد الهايدروجين كناتج اختزال هذا الجذر ام في حالة ثاني اوكسيد الكاربون كمستلم نهائي للاكترونات فان ناتج اختزال هذا الغاز هو غاز الميثان

ان معضم التفاعلات التي تحصل فيها الاحياء على طاقة من مركبات عضوية وحيدة الكاربون هو غاز الميثان والكحول الميثيلي والفورميت وان معظمها يؤكسد الى ثاني اوكسيد الكاربون وان الالكترونات المتحررة تمرر قي سلسلة من التفاعلات لتخليق ATP فمثلا تتم اكسدة غاز الميثان بواسطة البكتيريا ليس الى الكحول المثيلي مباشرة ولكن الطريقة الاكثر احتمالا لاكسدة هذا الغاز والحصول على الطاقة هو كما يلي

CH_4_____CH_2_O_CH_2_____CH_3_O_CH_2OH

ميثوكسيمثيانول داي مثيل ايثر

ان اختزال الفورميت (حامض الفورميك) الى ثاني اوكسيد الاكاربون وماء يتم بمساعدة انزيم متخصص من النوع dehydroginase وان هذا التفاعل يحرر الالكترونات التي يتم توصيلها الى NAD لتكوين NADH

CH_2-O-CHO___CH_2OH_____HCHO_____H-COOH_____$CO_2 + H_2O$

حامض الفورميك فورمالديهايد ميثانول مثيل فورميت

التخمر Fermintation

التخمر : التفاعلات الكيمياوية المصاحبة للاكسدة والاختزال والتي تقوم بها الاحياء المجهرية او الانزيمات المايكروبية والتي تكون فيها المركبات العضوية اما واهبة او مستقبلة لايونات الهيدروجين . والمركبات المستقبلة لايونات الهيدروجين هي التي ستتراكم لتكون نواتج التخمر . ويمكن الاستفادة من نواتج التخمر هذه في تشخيص وتصنيف البكتريا ومثال على ذلك تصنيف

سلالات جنس Lactobacillus حيث يمكن تشخيص الانواع التابعة لها او تقسيمها الى مجموعتين هما -:

1-Homo fermentation lactobacilli

2- Hetero fermentation lactobacilli

Homo fermentation lactobacilli والتي تستخدم في انتاج حامض اللاكتيك من تخمر الكلوكوز وبنسب عالية قد تصل في بعض السلالات الى ١٠٠% من خلال دورة الكلاكوليسز glycolysis , وعادة ما تمتلك هذه السلالات انزيم (aldolase) بشكل فعال و الذي يعمل على شطر مركبِ Fructose bisphosphate الى جزئين من السكريات الثلاثية المفسفرة.

Hetero fermentation lactobacilli :- تنتج هذه الانواع عدة انواع من النواتج الثانوية مثل الايثانول والكليسرول وحامض الخليك وغاز CO2 بالاضافة الى حامض اللاكتيك ، وبسبب عدم احتواءها على انزيم aldolase فان عملية تحطيم الكلوكوز تتم من خلال دورة pentose phosphate pathway وتكوين سكر خماسي مفسفر هو: Ribulose-p

تخمر الإيثانول Ethanol fermentation (والذي تنفذه الخميرة وأنواعٍ أخرى من البكتريا) على تكسير حامض البيروفك pyruvic acid إلى الإيثانول وثاني أكسيد الكربون. وهو يلعب دوراهاما في صناعة الخبز، تخمر المعجنات ، وكذلك في صناعة الخل. و تلخص المعادلة الكيميائية التالية عملية تخمر الكلوكوز. حيث يتحول جزيء واحد من الكلوكوز إلى جزيئين من الإيثانول وجزيئين آخرين من ثاني أوكسيد الكربون:

$$C6H12O6 __ 2C2H5OH + 2CO2$$

Lactic fermentation تخمر حامض اللاكتيك

تعبر عملية تخمر حامض اللاكتيك أو حمض اللبن عن أبسط صور التخمر. حيث أنها أساساً عبارة عن صورة من صور تفاعلات الأكسدة- الاختزال وهي تحدث في ظروف لا هوائيه ولكن الاكسده تحدث في ظروف هوائيه. ففي ظل الأجواء اللاهوائية، تتمثل الآلية الأساسية لإنتاج أدينوسين ثلاثي الفوسفات في عملية التحلل السكري. حيث تقلص- تحول عملية التحلل السكري الإلكترونات إلى +NAD ، مما يؤدي الى تكوين .NADH على الرغم من ذلك، لا يتوافر سوى موردٍ محدودٍ للـ +NAD في الخلية. ومن أجل استمرار عملية التحلل السكري، يجب أن يتم أكسدة – NADH أي يتم أخذ الإلكترونات بعيداً عنها – بهدف إعادة إنتاج .+NAD وغالباً ما تقع تلك العملية من خلال سلسلة نقل الإلكترون ضمن عمليةٍ يطلق عليها الفسفرة التأكسدية؛ على الرغم من ذلك، بدون توفير الأكسجين لا يمكن إتمام تلك العملية. وبدلاً من ذلك، يمنح NADH الإلكترونات الإضافية الزائدة لجزيئات حامض البيروفك والتي

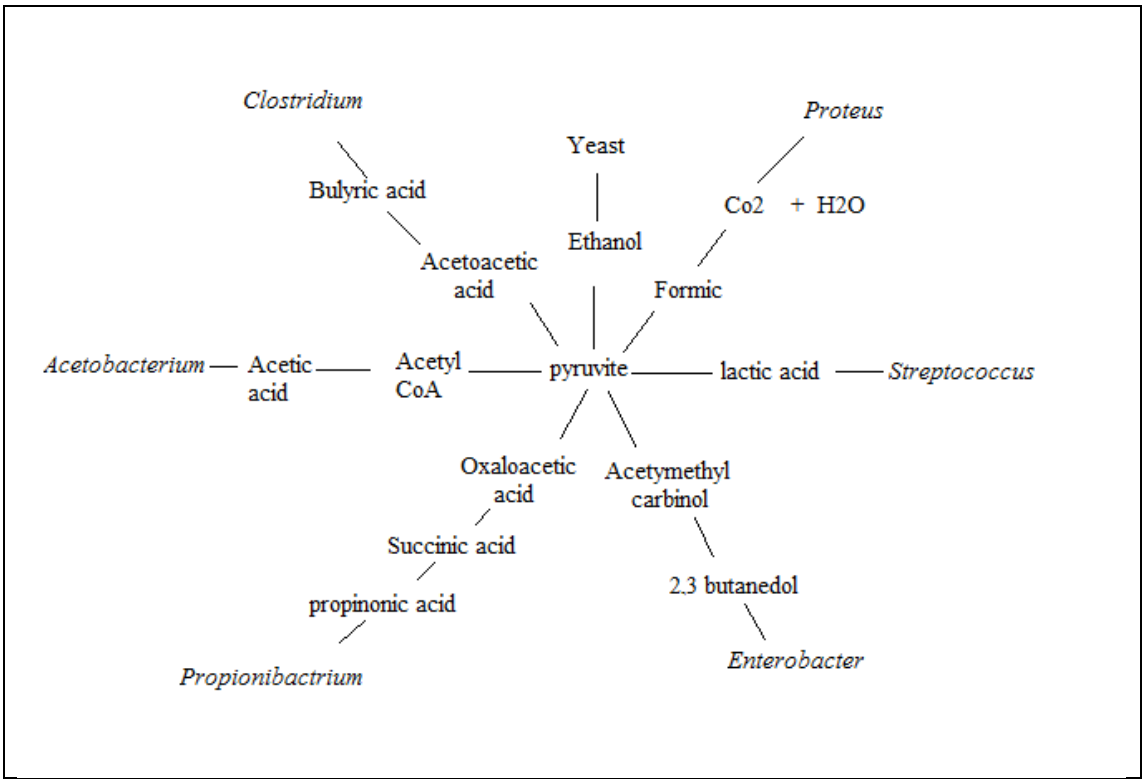
تكونت خلال عملية التحلل السكري. وبما أن NADH يفقد إلكتروناته، يعاد إنتاج +NAD والذي يصبح متاحاً مرةً أخرى لعملية التحلل السكري. وهنا يتكون حامض اللاكتيك، والذي سميت تلك العملية باسمه، من خلال تقليل أو تقلص حامض البايروفك. ولا يتحول سوى جزيء واحد لحامض البيروفك إلى لاكتات lactate في عملية تخمر حامض اللاكتيك المغايرheterolactic acid ؛ في حين يتحول الجزيء الآخر إلى إيثانول وثاني أكسيد الكربون. أما في عملية تخمر حامض اللاكتيك المماثل homolactic acid ، فإن كلا جزئي حامض البايروفك تتحول إلى لاكتات. مما يجعل من عملية تخمر حامض اللاكتيك الصرف عمليةً فريدةً بسبب أنها واحدةٌ من عمليات التنفس والتي لا تنتج غازاً كمنتجٍ ثانويٍ. تُكَسِّر عملية تخمر اللاكتيك الصرف حامض البيروفك إلى اللاكتات .(lactate) وتحصل في عضلات الحيوانات عندما تحتاج إلى طاقةٍ أسرع من الدم الذي يمدها بالأوكسجين. كما أنها قد تحصل كذلك في بعض أنواع البكتريا (مثل بكتريا العصيات اللبنية ((lactobacilli) وبعض أنواع الفطريات. فهي تعبر عن ذلك النوع من البكتريا الذي يقوم بتحويل اللاكتوز إلى حامض اللاكتيك في اللبن الرائب، والذي يُكْسِبَه نكهته ومذاقه الحامضين. ويمكن تصنيف بكتريا الحامض اللاكتيكي تلك كبكتريا تخمرية صرفة، حيث يكون المنتج النهائي في أغلب الأحيان اللاكتات، أو كبكتريا تخمرية مغايرة، حيث يستقلب أو يتمثل بعضاً من اللاكتات أبعد من ذلك، وينتج عن ذلك إنتاج ثاني أكسيد الكربون واملاح الخلات وبعض المنتجات المؤيضة الأخرى. تتلخص عملية تخمر حامض اللاكتيك باستخدام الكلوكوز، حيث يتحول جزيء واحد فقط للكلوكوز، في عملية التخمر اللبني الصرف، إلى جزيء واحد فقط من حامض اللاكتيك و جزيء واحد فقط من الإيثانول، وجزيء واحد آخر من ثاني أكسيد الكربون، كما يلي:

$$C6H12O6 \quad ____ \quad CH3CHOHCOOH + C2H5OH + CO2$$

و التنفس الخلوي الذي تلجأ إليه الكائنات الحية وخلاياها عند نقص أو انعدام الأوكسجين ، حيث تكون نهاية سلسلة تفاعلات تحلل سكر الكلوكوز تحول البايروفيت إلى لاكتيت بدلا من دخول البايروفيت إلى دورة كريبس لينتهي إلى انتاج طاقة وماء وثاني أوكسد الكاربون.

خطوات عملية التنفس اللاهوائي –

١) يتفكك الكلوكوز المحتوي على ٦ ذرات كربون إلى جزيئين من حامض البيروفيك المحتوي على ٣ ذرات كربون .
٢) النتيجة النهائية تكون ثاني أكسيد الكربون والإثانول أو تكوين حامض اللبن (اللاكتيك)
٣) الناتج الصافي للطاقة في أثناء عملية التنفس اللاهوائي للجلوكوز هو فقط جزيئات من 2ATP



مخطط يوضح عملية التخمر المركب Mixed fermentation في عائلة Enterobactetiaceae