جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم / قسم علوم الحياة

اسم المادة: فسلجة الاحياء المجهرية

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالث

عنوان المحاضرة: الايض الهدمي - الكربون

مدرس المادة

ا.م.د .عمر محمد حسن

ا.م.د .جمال عبد الرحمن ابراهيم

الايض الهدمي Catabolism

هو مجموعة من التفاعلات التي تؤدي إلى تفكيك المركبات العضوية المتكونة بالايض البنائي أو المقدمة كغذاء إلى أبسط منها من حيث التركيب، وغالباً ما يحدث على مرحلتين: تتضمن الأولى منهما التحلل المائي للجزيئات الكبيرة إلى جزيئات صغيرة، كما هي الحال في تحويل عديدات السكر إلى سكريات بسيطة، وتتضمن الثانية تحول الجزيئات الصغيرة إلى جزيئات أكثر بساطة، كما هي الحال في تحول جزيئات السكريات البسيطة إلى الماء وغاز CO_2.

تترافق عمليات الايض الهدمي بانطلاق الطاقة الموجودة في الأغذية، وتتناسب كمية الطاقة المنطلقة من بعض الأغذية، كالغلوكوز مثلاً، مع نوعية حياة الخلية، ففي الظروف الهوائية يكون التفكك كاملاً والطاقة المتحررة كبيرة وهي حالة **التنفس**، وفي الظروف اللاهوائية يكون التفكك ناقصاً ولا يتحرر سوى جزء من الطاقة وهي حالة **التخمر Fermentation**.

تستخدم الطاقة المتحررة عن العمليتين السابقتين في الحفاظ على حياة الخلية أو في بعض التفاعلات التركيبية، كما قد يضيع قسم منها في صورة حرارة.

تتعرض المواد الغذائية داخل الخلايا الميكروبية إلى عدد من التحولات، مما يتيح للخلية الحصول على الطاقة أو استخدام هذه المواد لتركيب موادها البنائية والوظيفية، وتقوم الأنزيمات كما أسلفنا وبطرائق خاصة ومختلفة بمهمة العامل المساعد لتنشيط هذه التحولات. تقوم الميكروبات بتنفيذ جميع التفاعلات الايضية الأساسية التي تحدث عند الأحياء الأخرى، ولذلك سوف نركز الاهتمام على ايض العناصر الغذائية الأساسية ومركباتها.

أولا: ايض الكربون

يتضمن جميع العمليات الحيوية الكيميائية المتتابعة المؤدية إلى التحولات الايضية المختلفة للسكريات، والتي تمد الخلية الميكروبية بالطاقة اللازمة لنموها واستمرار حياتها، وذلك إما من خلال عمليات الأكسدة التي تحدث أثناء التنفس الهوائي Aerobic Respiration، أو عمليات التخمر Fermentation التي تحدث أثناء التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration، ونوضح فيما يلي هذه العمليات على سكر الغلوكوز لأنه من أكثر السكريات التي أجريت عليها التجارب هوائياً ولا هوائيا.

التنفس الهوائي

تقوم الكثير من الميكروبات باستخدام الأكسجين الجوي لأكسدة المواد العضوية أكسدة كاملة فتحصل على أكبر قدر من الطاقة أو أكسدة جزيئة ينتج عنها مواد عضوية مؤكسدة جزئياً وتحصل البكتريا على قدر أقل من الطاقة:

$$C_6H_{12}O_6 + 9.5O_2 \xrightarrow{\text{enzymes}} 3(COOH)2 + 3H2O + \square 39K.cal \text{ or } 25ATP$$

يتم التنفس الهوائي عند بدائيات النوى على ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى: هي مرحلة التحلل السكري Glycolysis اللاهوائية ويتأكسد فيها الغلوكوز إلى حمض البيروفيك $CH_3–CO–COOH$ **والمرحلة الثانية** هي حلقة كريبس Krebs cycle **والمرحلة الثالثة** هي سلسلة نقل الالكترونات، حيث تتأكسد المواد العضوية إلى CO_2 ويتحد الهيدروجين المتحرر مع مستقبل ما خلال سلسلة من التفاعلات تدعى حلقة حمض الليمون The Citrice acid cycle أو حلقة كربيس، بينما تتأكسد ذرات الهيدروجين المتحررة بأوكسجين الهواء وتنتج الطاقة في صورة ATP في المرحلتين الثانية والثالثة. ومن الجدير بالذكر أن تأكسد الغلوكوز يتم عن طريق تحوله أولاً إلى حمض البيروفيك $CH_3–CO–COOH$ الذي لا يلبث أن يتفكك بفعل الأوكسجين والمجموعة الأنزيمية المختلفة إلى CO_2 و H_2O.

يتأكسد الغلوكوز أكسدة كاملة إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون والماء ويتحرر كامل الطاقة (38ATP)، ويتم ذلك على ثلاث مراحل هي التحلل السكري وحلقة كريبس وسلسلة نقل الالكترونات عبر المركبات الوسيطة الناتجة عن المرحلتين الأولى والثانية، حيث يتحد الهيدروجين المتحرر مع مستقبل ما (NAD أو FAD يصبحان NADH أو FADH) وهو ما يسمى عملية الأكسدة الفوسفورية.

التخمر Fermentation

يحصل بعض الميكروبات على الطاقة اللازمة عند أكسدة الأغذية بمعزل عن الأكسجين، فيكون المستقبل النهائي للالكترونات المنزوعة مادة عضوية أخرى وهو ما يسمى بالتخمر، ففي الظروف اللاهوائية يتحول الغلوكوز بعد سلسلة من التفاعلات إلى حمض البيروفيك الذي يتحول بدوره إلى نواتج مختلفة تحددها الأنواع الميكروبية التي تقوم بعملية التخمر، وبذلك يمكن تمييز ستة أنواع من الأحياء الدقيقة تبعاً لهذه النواتج هي:

أ. **ميكروبات التخمر الكحولي** Alcoholic fermentation

حيث يتحول حمض البيروفيك الناتج إلى كحول ايتيلي وغاز ثنائي أكسيد الكربون. ونذكر منها النوع *Klebsiella aerogenes*.

ب. **بكتريا تحدث التخمر اللبني البسيط** Homofermentative bacteria

حيث يتحول حمض البيروفيك الناتج عن تحلل الغلوكوز إلى حمض اللبن (اللاكتيك) وتنطلق طاقة. ونذكر منها العصيات اللبنية *Lactobacillus lactis* والعصيات الجبنية *L. casei* و *Streptococcus lactis*.

ج. بكتريا التخمر اللبني المختلط Heterofermentative

حيث ينتج مع حمض اللبن نواتج أخرى مثل حمض السكسينيك Succinic acid حمض الخل، الكحول الإيتيلي، غاز ثنائي أكسيد الكربون، وأحياناً الغليسيرول وتنطلق طاقة. ونذكر منها بكتريا *Leuconostoc dextranium* و *Streptococcus thermophils* الموجودة في الحليب ومشتقاته.

د. بكتريا التخمر البروبيوني Propionic fermentation:

حيث ينتج إضافة إلى حمض البروبيونيك، كميات ضئيلة من حمض الخل وحمض اللبن وحمض السكسنيك وثنائي أكسيد الكربون، ونذكر منها بعض أنواع الجنس *Propionibacterium* الهوائية واللاهوائية اختيارياً، والموجودة في الحليب ومشتقاته وفي التربة أيضاً.

هـ. بكتريا التخمر الزبدي أو البوتيري Butyric fermentation:

حيث تنتج *Butyric acid* (الزبدة) وغاز ثنائي أكسيد الكربون. كما ينتج بعض أنواعها الهيدروجين وحمض الخل في التفاعل المختلط. ونذكر منها بعض أنواع الجنس Clostridium كما في *C. butyricum* التي تتوسط التفاعل السابق ثم *C. butylicum* التي تحدث التخمر البوتانولي ثم *C. acetobutylicum* التي تحدث التخمر الاسيتوبوتانولي.

و. بكتريا مجموعة القولون من فصيلة Enterobacteriaceae:

التي تحدث تخمرات مميزة يتكون فيها حمض اللبن وحمض النمل Formic acid (فورميك) H–COOH وكحول ايتيلي وبيوتيلين غليكول $CH_3–(COOH)_2–CH_3$ وأحياناً أسيتون.

ولا يتسع المجال هنا لدراسة التفاصيل الدقيقة التي تتم لتكوين المركبات السابقة، ولكن يكفي أن نذكر أن الأحياء الدقيقة تقوم بعملية تفكيك الغلوكوز والحصول على حمض البيروفيك، وذلك بتحول جزيء الغلوكوز بوجود الطاقة في صورة ATP إلى إستر فوسفاتي هو (غلوكوز – 6 – فوسفات) الذي يمكنه أن يتبع إحدى الطرائق الثلاث. ويسمى المسلك الأول انترا– دودوروفا (E.D) Etenra Doudorova ويوجد في البكتريا فقط، والثاني طريق ايمبدن– ميرهوف– بارنسا Embden System Meyerhof Parnsa (E.M.P) ويوجد في الخمائر والعضلات والبكتريا وجميع الكائنات الحية تقريباً، والثالث طريق الهكسوز وحيد الفوسفات Hexose Monophosphate Shunt (H.M.P) ويوجد في النباتات وبعض الأحياء الدقيقة.

ايض عديدات السكر والمواد البكتينية والسليلوز

تمتلك بعض الأحياء الدقيقة القدرة على تفكيك بعض عديدات السكر كالاينولين والمانيتول والنشاء كما هي الحال في ***Clostridium pasteurinum*** وينتج عن هذا التفكك حمض الزبدة وحمض الخل وغاز الهيدروجين وثنائي أكسيد الكربون، كما يمكن لنوع آخر من الجنس نفسه ***C. pectinovorum*** أن يعطي النواتج السابقة بتفكيكه للنشاء والبكتين والغليكوجين والديكستران، ويضاف إلى ما سبق قدرة بكتريا أخرى على تفكيك السليلوز، وحتى الخشبين إلى سكريات بسيطة ثم إلى حموض وكحولات لا تلبث أن تتفكك بوساطة أحد أنواع البكتريا المنتجة للميتان Methanobacterium لنتج غاز الميتان CH_4.

المراجع

السعد، مها رؤوف. مبادئ فسلجة الأحياء المجهرية. دار الكتب للطباعة والنشر. جامعة الموصل، العراق. 1982.

Kim, B.H. and Gadd G.M. Bacterial Physiology and Metabolism. Cambridge University Press, New York, USA. 2008.

Moat, A.G. J.; Foster, W. and Spector M.P. Microbial Physiology, 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., Publications, New York, USA. 2002.

Watson, D. Microbiology and Microbial Physiology. White Word Publications, New York, USA. 2018.