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 الميكروبي - الايض البنائي

مدرس المادة

ا.م.د .عمر محمد حسن

ا.م.د .جمال عبد الرحمن ابراهيم

الايض الميكروبي Microbial Metabolism

يستعمل اصطلاح الايض للدلالة على التحولات الكيميائية التي تطرأ على المواد المختلفة الموجودة في الخلايا الحية. وهناك نوعان من الايض:

الايض البنائي: (Anabolism or Biosynthetic)

هو مجموعة من التفاعلات التي تؤدي إلى تركيب جزيئات عضوية معقدة بدءاً من جزيئات صغيرة مثل NH_3، NO_3، CO_2 .....الخ، كما هي الحال في عملية التركيب الضوئي والتركيب الكيميائي، وتترافق عمليات الايض البنائي غالباً مع امتصاص طاقة، ولذلك فهي تفاعلات حرارية داخلية.

الأنزيمات الميكروبية ودورها في التحولات الغذائية:

تقوم الأنزيمات الميكروبية كما هي الحال بالنسبة للخلايا الحية بدور الوسيط العضوي في التفاعلات الحيوية الكيميائية كلها، التي تقوم بها الخلية الميكروبية حسب التفاعل العام التالي، إذ تستطيع جزيئة أنزيم واحدة تحويل مليون جزيئة ركيزة substrate في الدقيقة الواحدة.

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons P + S$$

تتألف الأنزيمات الميكروبية من سلاسل ببتيدية تتركب على الشيفرة الوراثية DNA، ويرتبط هذا التركيب أحياناً بوجود مادة أو مجموعة من المواد تلعب دور المحرض، لتكوين مجموعة من **الأنزيمات المتكيفة Adaptive أو المحرضة Induced** تسهم في تحويل مادة غذائية ما، كما هي الحال في بكتريا ***E. coli*** التي تستطيع عند نموها في وسط يحوي سكر الحليب اللاكتوز أن تصنع مجموعة من الأنزيمات تقوم بتحويل اللاكتوز إلى سكر غلوكوز وغالاكتوز، بينما لا تصنع هذه الأنزيمات إذا

وضعت في وسط يحوي سكراً آخر. وتدعى هذه الظاهرة بالتحريض الأنزيمي **Enzyme Induction** وهي عكس ظاهرة الكبح الأنزيمي **Enzyme Repression** والمتمثلة في تثبيط تركيب جميع الأنزيمات التي تتدخل في سلسلة التفاعلات البنائية عند وجود النواتج النهائية لهذه التفاعلات في الوسط، وتتم عملية تنظيم تصنيع الأنزيمات عند الأحياء المجهرية بوساطة مجموعة من المورثات المتخصصة بوظائف محددة يمكن إيجازها كما يلي:

أ. مجموعة مورثات بنائية Structural genes:

تساعد في عملية تصنيع الأنزيمات، وتحمل المعلومات الوراثية التي يجب أن تنقل إلى السيتوبلازم بواسطة الحمض الرّيبي النووي المرسال mRNA.

ب. مجموعة مورثات موجهة Operon genes:

تتوضع على الخيط الصبغي بجانب المورثات البنائية وتتحكم بنشاطها، وبخاصة أثناء تركيب mRNA.

ج. مجموعة مورثات منظمة Regulator genes:

تعمل على تركيب كابح سيتوبلازمي نوعي يستطيع أن يثبط نشاط المورثات الموجهة باتحاده معها.

تكون جزيئة ATP:

تستعمل طاقة الأكسدة والاختزال التي تحدث في الخلايا الميكروبية لتكوين جزيئات ATP التي تحمل طاقة كيميائية كبيرة تستعمل في التفاعلات الكيميائية.

التركيب الضوئي والكيميائي في البكتريا

تقوم بعض البكتريا بعملية التركيب الضوئي تماماً كما هي الحال في النباتات الخضراء، بسبب احتوائها على **اليخضور البكتيري Baceriochlorophyll** الذي اكتشفه العالم واسنك Wassink في عام 1939، والذي يتميز عن اليخضور أ باحتوائه $-CO-CH_3$ بدلاً من $-CH=CH_2$ في الحلقة الأولى وزمر هيدروجينية بدلاً من جذر C_6H_5 و CH_3 في الحلقة الثانية. ومن أهم أنواع هذه البكتريا نذكر **البكتريا الكبريتية الحمراء** التي تنتمي إلى **فصيلة Chromataiaceae والبكتريا الكبريتية الخضراء التي تنتمي إلى فصيلة Chlorobacteriaceae** ، والتي لا تختلف عملية التركيب الضوئي فيها عن النباتات الخضراء إلا في نوع المانح الهيدروجيني المستعمل، ففي حين تستخدم النباتات الماء فإن البكتريا تستخدم كبريت الهيدروجين H_2S وعلى ذلك لا ينطلق الأوكسجين بل يتكون بدلا منه عنصر الكبريت الذي يترسب في البكتريا الكبريتية الحمراء داخل الخلايا ويطرح في البكتريا الكبريتية الخضراء إلى الوسط الخارجي حسب التفاعل:

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{كلوروفيل بكتيرى}]{\text{طاقة ضوئية}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12S$$

كبريتيد الهيدروجين — جلوكوز — كبريت يترسب

بينما تقوم أنواع بكتيرية أخرى لا تحتوي اليخضور البكتيري بتثبيت غاز CO_2 واختزاله دون استخدام الطاقة الضوئية، وإنما تستخدم الطاقة الناتجة عن أكسدة بعض المواد اللاعضوية المعدنية، ولما كانت هذه الطاقة هي طاقة كيميائية لذا تدعى **بالتركيب الكيميائي Chemosynthesis**، وبحسب طبيعة تفاعل الأكسدة الناشر للطاقة يمكن أن نميز عدة مجموعات من بكتريا التركيب الكيميائي، ونذكر من أهمها:

1. البكتريا النتروجينية Nitrobacteria:

وهي البكتريا التي درسها بالتفصيل العالم وينوغرادسكي Winogradsky في معهد باستور منذ عام 1890، واكتشف فيها عملية التركيب الكيميائي، فلقد لاحظ وينوغرادسكي أن أكسدة الأمونيوم إلى نترات تتم على مرحلتين:

المرحلة الأولى:

تتضمن أكسدة الأمونيوم إلى نتريت وتدعى العملية النترجة Nitrosofication، ويقوم بها جنس نموذجي هو النتروزوموناس Nitrosomsnas، وأجناس أخرى توجد في التربة، ويمكن تمثيلها بالتفاعل التالي:

$$2NH3 + 3O2 \longrightarrow 2HNO2 + 2H2O + 79K.cal.$$

المرحلة الثانية:

تتضمن أكسدة النتريت إلى نترات وتدعى عملية النترتة Nitratation ويقوم بها جنس نموذجي هو النتروباكتر Nitrobacter، وأجناس أخرى توجد في التربة، ويمكن تمثيلها بالتفاعل التالي:

$$HNO2 + {}^{1}/_{2}\,o2 \longrightarrow HNO3 + 21.6K.cal.$$

وتستخدم الطاقة الناتجة من التفاعلين السابقين لاختزال تماماً CO_2 كالنباتات.

2. البكتريا الكبريتية Thiobacteria:

يعيش معظم هذه البكتريا في المياه الكبريتية، بعضها لا يحتوي أصبغة، ولذلك تسمى البكتريا البيضاء مثل بكتريا الجنس Achromatium، وبعضها الأخر يحتوي أصبغة غير يخضورية مثل بكتريا الجنس Beggiatoa، كذلك فإن القسم الأخر من هذه

البكتريا يعيش في التربة مثل النوع ***Thiobacillus thioparus*** وجميع هذه البكتريا تقوم بأكسدة كبريت الهيدروجين على مرحلتين:

المرحلة الأولى:

تتضمن أكسدة كبريت الهيدروجين وتكوين الكبريت الذي يظهر في صورة حبيبات في بروتوبلازما الخلية البكتيرية، ويمكن تمثيلها بالتفاعل التالي:

$$H_2S + {}^1/_2 O_2 \longrightarrow H_2O + S + 65K.cal.$$

المرحلة الثانية:

تتضمن أكسدة الكبريت الناتج إلى حمض الكبريت وفق التفاعل التالي:

$$2S + 2H_2O + 3O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4 + 283.6K.cal.$$

وتستخدم البكتريا الطاقة الناتجة من الأكسدة في بناء السكريات، بدءاً من CO_2 المذاب في الماء أو الموجود في الجو.

3. البكتريا الحديدية Ferrobacteria:

تؤكسد هذه البكتريا مركبات الحديد الثنائية إلى مركباته الثلاثية وفق التفاعل التالي:

$$4FeCO_3 + O_2 + 6H_2O \longrightarrow 4Fe(OH)_3 + 4CO_2 + 81K.cal.$$

ويقوم بذلك بعض الأجناس مثل Leptothrix الذي تحاط فيه الخلايا بحبيبات الصدأ الغروية التي تفرزها البكتريا، بينما يترسب هيدروكسيد الحديد في صورة أشرطة لولبية في النوع ***Didymohelix ferruginea***.

4. البكتريا الهدروجينية Hydrogen bacteria:

تحصل البكتريا الهدروجينية على الطاقة اللازمة للتركيب الكيميائي للمواد العضوية في خلاياها من تأكسد الهدروجين الذي يمثله التفاعل التالي:

$$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 137K.cal$$

ويقوم بذلك بعض الأجناس مثل Hydrogenomonas ، وقد وجد روهلاند Ruhland أن بعض أنواع البكتريا الهدروجينية تمتص من الهدروجين ضعف ما تمتصه من الأوكسجين تقريباً، وعزا ذلك إلى أن الهدروجين يستخدم إضافة إلى التفاعل السابق في تفاعل اختزال CO_2 وفق ما يلي:

$$2H_2 + CO_2 \longrightarrow (HCOH) + H_2O - 112K.cal$$

ويتلازم هذا التفاعل الأخير الماص للطاقة مع التفاعل الأول المنتج للطاقة.

5. بكتريا الميثان Methanobacteria:

مع أنه لا يمكن عدّ جميع بكتريا الميثان من الكائنات ذاتية التغذية، لأن قسماً منها يعتمد على أكسدة مركب عضوي كما هي الحال في بكتريا ***Bacillus methanicus*** والذي يؤكسد الميثان وفق التفاعل التالي:

$$CH_4 + 2O_2 \dashrightarrow CO_2 + 2H_2O + 212K.cal$$

ثم تستخدم الطاقة الناتجة في اختزال CO_2، وقسم آخر ينتج الميثان ويرجع CO_2 وذلك بدءاً من الطاقة المنطلقة من أكسدة بعض المواد المعدنية (كالهيدروجين مثلاً) الموجود في الوسط، كما هي الحال في جنس Methanococcus الذي ينتشر انتشاراً واسعاً في الطبيعة.

نلاحظ في جميع الحالات السابقة أن بكتريا التركيب الكيميائي والتركيب الضوئي لا تقوم بدور يذكر في إنتاج السكريات إذا ما قورنت بالنباتات الخضراء، إذ لا يزيد مردود هذه العملية على 5% مقارنة مع المردود النظري، وتأتي أهميتها على نحو خاص لإظهار الطبيعة الكيميائية لعملية التركيب الضوئي بصورة عامة.

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.