19

البناء الضوئي

Photosynthesis

تمد الشمس الغالبية العظمى من الحياة على الأرض بالطاقة، والفضل يرجع إلى الكائنات التي تستخدم ثاني أكسيد الكربون وأشعة الشمس في صنع الكربوهيدرات. كما ينبعث الأكسجين من خلايا الكائنات ضوئية التركيب الذي يعتبر ضروريًا لحرق الكربوهيدرات الغنية بالطاقة والتي تعتبر وقودًا لعملية الأيض.

تعتبر ثلاثة بلايين سنة وقتًا جيدًا ومناسبًا لتصبح كائنًا ذا تغذية كيميائية ذاتية chemoautotroph! ويعتبر الغلاف الجوي للكرة الأرضية مكتظًا بالغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون والكائنات ذات التغذية الكيميائية الذاتية التي تصنع غذاءها من خلال التقاط الطاقة المنبعثة في التفاعلات الكيميائية ثم في البداية جاءت الكائنات ذات التغذية الذاتية الضوئية photoautotroph، التي تطفو فوق سطح المحيطات وتسبح في أشعة الشمس، والتي تعتبر من رواد الطاقة الشمسية في تصنيع الكربوهيدرات بعد امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الهواء، لكنها تصدر الأكسجين أيضًا.

الخط الزمني

1771م	1779م	1782م
عرض بريستلي الحيوانات والنباتات التي تعيد تخزين الهواء المُتنفَس.	وضّح إينخنهاوسز أن الأجزاء الخضراء في النبات تنتج الأكسجين في أشعة الشمس.	طرح سينيبيه أن النباتات تمتص المياه وثاني أكسيد الكربون لتنتج مادة عضوية.

ما حدث فيما بعد كان إما واحدًا من أهم الأحداث في تاريخ الحياة أو كارثة طبيعية أسوأ من أي انقراض جماعي - حسب ما يتراءى لك - فمنذ 2.3 بليون سنة وقع حدث الأكسجة الأعظم أو كارثة الأكسجين وتم تدمير كل شيء إلى ميكروبات تعمل بطاقة كيميائية. ويعتبر الأكسجين عنصرًا نشطًا يكوّن روابط سريعة مع الجزيئات الأخرى مما يجعله سامًّا بالنسبة لكائنات التغذية الكيميائية الذاتية. ويحدث تنافس تسممي بين كائنات التغذية الكيميائية الذاتية وكائنات التغذية الضوئية الذاتية،

البناء الضوئي الاصطناعي

كما قال ملفين كلفين ذات مرة «إذا عرفت كيف تصنع طاقة كيميائية أو كهربائية من الطاقة الشمسية كما يصنعها النبات فإنها حتمًا خُدعة». تُصنع الألواح الشمسية التقليدية الزرقاء الداكنة من السيليكون، إلا أن الطبيعة قد ألهمت الكيميائيين لتطوير مصادر جديدة من الطاقة الخضراء (المتجددة). في عام 1988 اخترع جراتزل Gratzel وبريان أوريجان Brain O'regan خلية فولتائية ضوئية من شريحة دقيقة من جزيئات نانو ثاني أكسيد التيتانيوم، تتولد حساسيتها للضوء عن طريق غمسها في صبغة ملونة. تحاكي «الخلية الشمسية مُحَسسة الصبغة» كيف تمتص النباتات الفوتونات مع الكلوروفيل باستخدام أقل المواد تكلفة وتعمل في ظرف غائم لتوليد تيار كهربائي. كما نسخ الكيميائيون القدرة على إنتاج الوقود من الطاقة الضوئية. عكف دانيال نوسيرا Daniel Nocera على ورقة الشجر الاصطناعية التي تفصل جزيء الأكسجين عن الهيدروجين في الماء، في حين سعى نيت لويس Nate Lewis العالم في مركز الولايات المتحدة المشترك للبناء الضوئي الاصطناعي لتصنيع الوقود القائم على الكربون مثل الميثانول وذلك عن طريق تثبيت ثاني أكسيد الكربون في المركبات غير العضوية كما في دورة كلفين. يُنقل هذا الوقود الشمسي إلى العجلات وعناصر أخرى بديلًا عن الوقود الأحفوري كمصدر للطاقة.

1931م

اقترح كورنيلس فان نيل Cornelis van Niel المعادلة الكيميائية لتحلل الضوء وانبعاث الأكسجين.

1943م

وجد إيمرسون Emerson أن التقاط الضوء يتعزز بامتصاص موجتين في آن واحد.

خمسينيات القرن العشرين

كشف كلفين Calvin وزملاؤه عن دورة تركيب الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون.

لكن تبدلت الكائنات ذات التغذية الضوئية الذاتية تدريجيًّا من حيث مركب الهواء حتى أصبحت نسبة الأكسجين الآن 21 ٪. ومن ثمَ غيرت عملية البناء الضوئي العالم.

دورة الكربون

يعد الأكسجين الآن ضروريًّا لأغلب الحياة على الأرض. وقد ظهرت أهميته على يد مكتشفه الكاهن والكيميائي الإنجليزي جوزيف بريستلي Joseph Priestly الذي أثبت في عام 1771 أن غصن نعناع يخزن الهواء في برطمان مقلوب بعد تعرضه للهب الشمع. وفي عام 1779 بيّن الفيزيائي الهولندي يان إينخنهاوسز Jan Ingenhousz أن الأوراق الخضراء والجذوع ينتجان وحدهما الأكسجين في الضوء. وفي عام 1782 طرح الراهب وعالم النبات السويسري جان سينيبييه Jean Senebier أن النباتات تمتص المياه وثاني أكسيد الكربون لتنتج مادة عضوية. تلك كانت استنتاجات القرن الثامن عشر التي وضعت المعادلة الأساسية لعملية البناء الضوئي وهي:

$$light + 2H_2O + CO_2 -> 2O + CH_2O + H_2O$$

جزيئات الكربوهيدرات CH_2O الغنية بالطاقة في هذه المعادلة مثل السكر الذي تستخدمه أغلب الكائنات في عمل الأيض. وتوفر الكائنات ذاتية التغذية الضوئية الكربوهيدرات للكائنات غيرية التغذية Heterotrophs التي لا تستطيع أن تصنع غذاءها بالرغم من أنها جميعًا ـ سواء ذاتية التغذية الضوئية أو غيرية التغذية ـ تخرِج ثاني أكسيد الكربون أثناء عملية التنفس. وتحرك عملية البناء الضوئي مع العمليات البيئية مثل تبادل الغازات عند سطح المحيطات دورة كربون الكرة الأرضية الذي يعد عنصر البناء الدائم ويكسر أيضًا المركبات العضوية.

تحويل ضوء الشمس

تبدأ عملية البناء الضوئي بتحويل الطاقة من خلال عملية تقوم بها النظم الضوئية وهي الأصباغ والبروتينات وجزيئات أخرى، التي تلتقط وتحول الطاقة من الفوتونات. وفي عام 1817، قام عالما الكيمياء الفرنسيان جوزيف بيانيمي كافينتو Joseph Bienaimé Caventou وبيير جوزيف بيليتيه Pierre-Joseph Pelletier بفصل العنصر الأساسي في عملية البناء الضوئي وهو الصبغة الخضراء أو الكلوروفيل chlorophyll. وعندما عرضا الكلوروفيل إلى الفوتونات، امتصت إلكترونات الكلوروفيل الطاقة ومن ثَمَ انفلتت الإلكترونات من جزيئها. مما يحفز التفاعل المتسلسل بحيث تمر الإلكترونات المنشطة بين سلسلة من الجزيئات في سلسلة نقل الإلكترون. حيث تخلق السلسلة جزيئين من مركّب أدينوسين ثلاثي الفوسفات ونيكوتيناميد أدينين ثنائي نوكليوتيد الفوسفات (NADPH) سيبعثان لاحقًا الطاقة المخزنة في روابطهما الكيميائية لتركيب الكربوهيدرات.

لذلك يمكن أن تتكرر النظم الضوئية ويتحول الضوء إلى طاقة كيميائية ويعاد ملء الإلكترونات في الكلوروفيل، يتحقق ذلك من خلال تحلل الضوء (فصل الجزيئات بواسطة ضوء الشمس) ويتم تحفيز هذا التفاعل عن طريق عملية تطوير الأكسجين المعقد. أما بالنسبة للنبات، فيعتبر مصدر الإلكترونات هو H_2O وينتج التحلل الضوئي O_2 أكثر مما تحتاجه عملية التنفس لذا يخرج الباقي كنفايات.

«إن السمات الأساسية للدورة التي توصلنا لها أخيرًا قد ظهرت على تنوع واسع للكائنات ضوئية التركيب بداية من البكتيريا إلى أرقى النباتات».

ملفين كلفين Melvin Calvin

تتضمن التفاعلات التي تعتمد على الضوء في عملية البناء الضوئي اثنين من النظم الضوئية المتصلة كما اتضح ذلك في الطحلب أحادي الخلية كلوريلا Chlorella. وفي عام 1943،

وجد عالم الأحياء والنبات الأمريكي روبرت إيمرسون Robert Emerson أن الخلايا ضوئية التركيب تمتص الضوء على مدى موجتين، توجد نقطة عند نهاية الطيف الأحمر بكفاءة 680 نانومترًا. وفي عام 1957، لاحظ أن معدل البناء الضوئي عند الأحمر 680 نانومتر ويعزز الأبعد عن الأحمر حتى 700 نانومترًا عندما تتعرض الكائنات لكلتا الموجتين. يطرح ذلك نظامين ضوئيين؛ حيث تفقد الإلكترونات طاقة تجاه نهاية واحدة من سلسلة النقل لكن تُعاد الطاقة عند بداية النظام الضوئي الثاني.

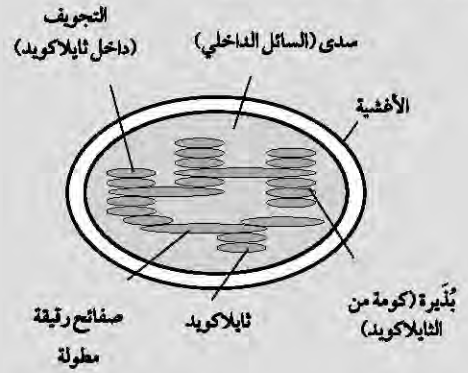
إنتاج الكربوهيدرات

تعرف النظم الضوئية المتضمنة داخل الأغشية بالثايلاكويدات thylakoids التي تُطوى لتكبير مساحة السطح الذي يتعرض للضوء. في البكتيريا، تعتبر الثايلاكويد امتدادًا للغشاء الخارجي بحيث تحتوي خلايا الطحالب والنباتات على عشرات من البلاستيدات الخضراء وهي عبارة عن عُضَيّات تأخذ شكل الكبسولات مخصصة للبناء الضوئي.

يتم تكسير جزيئات مركّب أدينوسين ثلاثي الفوسفات ونيكوتيناميد أدينين ثنائي

البلاستيدات الخضراء

تحتوي الخلايا النباتية على عشرات من البلاستيدات الخضراء؛ مثل العضيات التي تقوم بتنفيذ تفاعلات البناء الضوئي. حيث يُجلب الضوء ويتحول إلى طاقة كيميائية في الأغشية المطوية التي تُسمى ثايلاكويدات، كما تُنتج الكربوهيدرات في سَدَى النسيج.



نوكليوتيد الفوسفات المتتجَة أثناء خطوات العملية المعتمدة على الضوء لتصنيع الكربوهيدرات عـن طريق الطاقة المنبعثة من الروابط الكيميائية. وتحتاج الخلايا ضوئية التركيب لتصنيع غذاء النهار والليل، أي مخزون ثابت من ثاني أكسيد الكربون. ومن أين يأتي هذا المخزون؟ وفي عام 1945، استخدم علماء من جامعة كاليفورنيا في بيركلي بقيادة ملفين كلفين كربون - 14 أحد النظائر المشعة لتتبع مسار الكربون أثناء عملية البناء الضوئي في طحلب الكلوريلا، لكشف المسار الدائري للتفاعلات الكيميائية الحيوية التي تعيد باستمرار توليد نفس المركبات على أساس الكربون وقد عُرفت هذه العملية باسم «دورة كلفين».

تبدأ الدورة باتحاد ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء بسكر بسيط مع خمس ذرات من الكربون، ريبولوز مضاعف الفوسفات (RuBP) التي تنتج ستة جزيئات كربونية تنقسم إلى اثنين من سكر فوسفاتي ثلاثي الكربون. وتنقل الخلايا النباتية جزيء سكر فوسفاتي ثلاثي الكربون من البلاستيدات الخضراء إلى السيتوبلازم الذي يستخدم لتصنيع كربوهيدرات مركب مثل الجلوكوز أما جزيئات سكر فوسفاتي ثلاثي الكربون الأخرى فتمر خلال خطوات عديدة حيث تدفع الإنزيمات مركّب أدينوسين ثلاثي الفوسفات ونيكوتيناميد أدينين ثنائي نوكليوتيد الفوسفات ليمنحا ذرات الهيدروجين والفوسفات التي تعيد توليد ريبولوز مضاعف الفوسفات في النهاية لإعادة بدء الدورة. وأثناء الخطوة الأولى، يُثبت ثاني أكسيد الكربون ـ الغاز المتطاير ـ لجزيء مستقر أو ما يُعرف بتثبيت الكربون. وتُحفز هذه الخطوة عن طريق إنزيم روبيسكو (RuBisCO) الذي يتكون من 30-50 ٪ من البروتين الذائب في أوراق النبات وربما هو أكثر البروتينات وفرة على كوكب الأرض.

الفكرة الرئيسة

تُلتقط الطاقة الشمسية لتصنيع الغذاء