الفصل الثاني عشر

الورقة الخضراء مصنع عجيب للغذاء

ذكرت إحدىٰ الموسوعات العلمية، أن أعظم معمل صنعه الإنسان يبدو تافهاً أمام مصنع الورقة الخضراء، التي تصنع الغذاء العجيب بعملية حيوية هامة جداً تسمى التركيب الضوئي . لقد عبر العالم تميريازف Timiriazef عن أهمية اللون الأخضر للأحياء بمؤلفه (الشمس والحياة واليخضور) ، باعتبار الشمس مصدر الطاقة على سطح الأرض ، والحياة أي حياة الكائنات الحية من إنسان وحيوان ونبات ، وكلمة يخضور Chlorophyll تعني الصبغ الأخضر (الموجود ضمن الصانعات الخضراء في الأوراق) الذي يمتص الضوء من الأشعة الشمسية وغاز ثاني أوكسيد الفحم من الجو الخارجي لصنع الغذاء اعتباراً من المواد البسيطة (الماء) ، فاليخضور ذو اللون الأخضر أساسي من أجل حياة النبات واستمرارية نموه ، ولولا النبات الأخضر لانعدمت الحياة على سطح الأرض لما يوفر من غاز الأوكسجين ويقوم بالتوازن البيئي ،يقول تعالى : ﴿ ٱلَّذِى جَعَلَ لَكُم مِّنَ ٱلشَّجَرِ ٱلْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَآ أَنتُم مِّنْهُ تُوقِدُونَ﴾ [يس : ٨٠] .

وقوله تعالى : ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِىٓ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ نَبَاتَ كُلِّ شَىْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُّخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُّتَرَاكِبًا﴾ [الأنعام : ٩٩] .

الورقة الخضراء مصنع الغذاء :

تقوم الأوراق الخضراء بوجود الصبغ الأخضر المسمى باليخضور Chlorophyll بصنع الغذاء (سكاكر بسيطة) اعتباراً من مواد بسيطة من غاز ثاني أكسيد الكربون والماء ويتم تحرير الأوكسجين بوجود الضوء الذي يحمل

الطاقة ، وتشير دراسات العالم هيل Hill عام ١٩٢٧م ، أن الأوكسجين المنطلق أثناء عملية التركيب الضوئي ناتج عن انشطار جزيئة الماء ، وهذه المعادلة تمثل الشكل العكسي لمعادلة التنفس الهوائي للأحياء وإعطاء غاز ثاني أكسيد الكربون .

فالأشجار الخضراء بالإضافة لصنع الغذاء في الأوراق فهي مصدر الأوكسجين بعملية التركيب الضوئي حيث تعطي الغابات يومياً آلاف الأطنان من الأوكسجين الذي تستفيد منه باقي الكائنات الحية بالتنفس ، ولهذا تعتبر الأشجار والغابات القريبة من المدينة بمثابة رئة للمدينة في إعطاء الأوكسجين وتنقية الجو من غاز ثاني أكسيد الكربون .

أهمية التركيب الضوئي Photosythsis :

وهي عملية أساسية وهامة جداً في نمو واستمرارية حياة النباتات الخضراء ، وتعتبر عملية التركيب الضوئي أعظم عملية إنتاجية على سطح الكرة الأرضية يقوم بها النبات الأخضر، إذ يفوق وزن المواد العضوية المتشكلة كل سنة من عملية التركيب الضوئي كمية المواد الناجمة عن مجموع الإنتاج السنوي لكل المصانع والمناجم والمزارع الموجودة على سطح الكرة الأرضية بعدة مئات المرات . ورغم أن النباتات الخضراء تستهلك حوالي (٨٠) بليون طن من المواد الغذائية التي تستهلكها في عميلة التنفس ليلاً ونهاراً فإن إنتاجها الحقيقي الناجم عن عملية التركيب الضوئي نهاراً فقط يعادل (٥٥٠) بليون طن ، وعملية التركيب الضوئي هي العملية الوحيدة التي تضيف كمية كبيرة من الأوكسجين إلى الهواء ، ولولا عملية التركيب الضوئي لأصبح الهواء خالياً من الاوكسجين والانعدمت الحياة على سطح الأرض ، أما كمية غازثاني أكسيد الكربون التي يستهلكها النبات في عملية التركيب الضوئي والموجودة في الهواء فتتوافر نتيجة عمليات الاحتراق ، وتنفس الكائنات الحية ، ويشكل دوران غاز ثاني أوكسيد الكربون خلال عملية التركيب الضوئي وصنع المركبات العضوية

ومن ثم عودته إلى الهواء بوساطة التنفس نواة حلقة الكربون من كربون معدني إلى كربون عضوي وبالعكس وبذلك تكون ذرات الكربون قد مرت ملايين المرات في دورة الكربون أثناء عمر الحياة على الأرض والذي يقدر ببليوني سنة ودخلت في تركيب عدد لا يحصى من الحيوانات والنباتات المختلفة .

ومن أهمية عملية التركيب الضوئي أنها تأتي في مقدمة جميع الأفعال الحيوية الاستقلابية على الإطلاق، وكميتها تفوق التفاعلات الكيميائية الجارية على سطح الأرض فقد قدر العالم Riley عام ١٩٤٤م أن كمية المواد العضوية المتشكلة سنوياً بوساطة التركيب الضوئي تقارب(٢× ١٠^{١١}) طناً موزعة على الغابات والمناطق المزروعة والسهول والبحار والمحيطات وأن الكائنات الحية تستهلك فقط ٢٠٪ من هذه النواتج في عملية التنفس واستهلاك الطاقة الناجمة عن التركيب الضوئي .

ومن الجدير بالذكر أن الطاقة الحالية التي تُسيّر الصناعة في العالم والتي تصدر عن احتراق الفحم أو البترول أو الغاز تعود في أصلها إلى الطاقة الشمسية التي احتجزتها النباتات الخضراء في الأحقاب الغابرة بفعل عملية التركيب الضوئي .

آلية التركيب الضوئي :

إن آلية التركيب الضوئي ودورها الهام في عالم الأحياء لم يعرفها الإنسان إلا قبل مئتي عام فقط فيما إذا كانت هذه الظاهرة موجودة أم لا ؟ ولكن تقدم دراسات الكيمياء الحيوية أظهر آلية التركيب الضوئي بوضوح على أيدي العلماء منذ عام ١٨٩٨ م . وتبين أن عملية التركيب الضوئي هي منبع الحياة على وجه الأرض .

فالنباتات بشكل عام تقوم بعمليتي التنفس والتركيب الضوئي بآن واحد ، فيتم تنفس النباتات بأخذ الأوكسجين وطرح غاز ثاني أكسيد الكربون ليلاً

ونهاراً وفي جميع أجزاء النباتات (جذر ،ساق ، أوراق ، ثمار ،) أما التركيب الضوئي - وهي عملية معاكسة للتنفس - أي فيتم فيها أخذ غاز ثاني أكسيد الكربون وطرح الأوكسجين ويتم نهاراً فقط بوجود الضوء واليخضور ، وعلى العموم فإن شدة التركيب الضوئي تفوق شدة التنفس بـــ (٥-١٠) مرات تقريباً وأبسط شكل للعمليتين المتعاكستين هي :

تركيب ضوئي

غاز الفحم+الماء ⟵⟶ سكر+الأوكسجين

تنفس

فماذا يحدث أثناء التركيب الضوئي في الأوراق ؟ إن عملية التركيب الضوئي من الناحية الكيميائية عبارة عن تفاعل أكسدة وإرجاع بين غاز ثاني أوكسيد الكربون Co2 والماء H2o فيرجع غاز Co2 ، ويتأكسد الماء نتيجة انتقال ذرات الهيدروجين من الماء إلى غاز Co2 وهذا التفاعل يحتاج إلى طاقة يمتصها النبات من الأشعة الشمسية في المجال المرئي ولا تتم هذه العملية في الخلايا التي لا تحتوي على اليخضور .

يتم التفاعل الكيميائي بنقل الهيدروجين إلى غاز الفحم (الإرجاع) في الظلام ، أما دور الضوء الرئيس فهو انشطار جزيئة الماء وتحرير الأوكسجين ، وباتحاد غاز ثاني أكسيد الكربون مع الهيدروجين يتشكل مركب من السكر السداسي وهو أساسي لإعطاء باقي المركبات العضوية الأخرى في النبات ، فالنشاء والسكاكر المختلفة والبروتينات والمركبات العضوية الأخرى يتم تشكلها نتيجة استقلاب وتفاعلات كيميائية من الناتج الأول عن عملية التركيب الضوئي .

يمر تشكل السكر السداسي بمراحل انتقالية ، حيث يتشكل في البداية مركب يدعى (حمض فوسفوغليسريكPGA) ، وهو مركب ثلاثي الكربون حيث يؤدي ارتباط مركبين منه إلى تشكل سلسلة سداسية الكربون وهذه

التفاعلات الكيميائية بحاجة إلى طاقة ضوئيةQuanta يمتصها النبات من الضوء ويتم ذلك بوجود أصبغة الصانعات الخضراء التي لا بد من وجودها لامتصاص هذه الطاقة .

تأثير الضوء على التركيب الضوئي :

هناك علاقة مباشرة بين نوع الأشعة الضوئية (أي لونها) وشدة التركيب الضوئي ، فمن تجارب العلماء Timiriazef وEngelman وWiesner استنتجوا أن شدة التركيب الضوئي تختلف باختلاف لون الأشعة الضوئية بما تحمله هذه الأشعة من الطاقة Quanta فيها ، والنتيجة التي توصل إليها هؤلاء العلماء أن الأشعة الضوئية الفعالة في العمل اليخضوري هي الأشعة التي يمتصها اليخضور وخاصة الأشعة الحمراء البرتقالية ومن ثم الأشعة الزرقاء والبنفسجية ، وتنخفض شدة التركيب الضوئي في الأشعة الخضراء التي يمتصها اليخضور بل يعكسها .

لقد بين العالم ليبمنكو Lubimenko أن شدة التركيب الضوئي تختلف أيضاً حسب الأنواع النباتية المختلفة ، فالنباتات المحبة للشمس مثل نبات الصنوبر والبتولا بحاجة إلى شدة ضوئية عالية من الأشعة الشمسية بينما النباتات الكارهة للشمس مثل الزان والزيزفون بحاجة لشدة ضوئية أقل ، فيزداد التركيب الضوئي فيها حتى الشدة على النصف من شدة الضوء الطبيعي ثم بزيادة شدة الضوء يتناقص التركيب الضوئي ، وإن النباتات كلها لا تبدأ بالتركيب الضوئي من الشدة (صفر) وإنما هناك حد أدنى لبداية التركيب الضوئي تسمى العتبة الضوئية .

الصانعات الخضراءCloroplasts:

الصانعة الخضراء عبارة عن عضية متخصصة بامتصاص الطاقة الضوئية وتخزينها على شكل طاقة كيميائية ، وهي الحامل الأساسي للطاقة الضرورية

لعملية التركيب الضوئي واصطناع الغذاء ،توجد الصانعات الخضراء ضمن خلايا النباتات الخضراء وخاصة النسيج الورقي حيث تضم كل خلية (٣٠ـ٤٠) صانعة وتكون قليلة العدد في النباتات الدنيا كالطحالب ،شكل الصانعة الخضراء في النباتات الراقية يكون كروياً أو بيضوياً أو قرصياً يتراوح طولها بين (٤ـ٧) ميكرون وعرضها (٢ـ٤) ميكرون ، ولكنها في النباتات الدنيا كالطحالب يمكن أن تكون الصانعة الخضراء شريطية أو حلقية الشكل وتسمى حامل الأصبغةChromatophore .

بنية الصانعات الخضراء :

تشاهد الصانعة الخضراء بالمجهر العادي ولكن البنية التفصيلية الداخلية للصانعات الخضراء لا تظهر إلا بالمجهر الإلكتروني الذي يكبر آلاف المرات حيث تبدو كأقراص مرتصة فوق بعضها على شكل قطع نقود مؤلفة من غشاء خارجي وضمنه المادة الأساسية أو الستروما Stroma وهي مادة صباغية بروتينية تحتوي على صفائح بشكل أكياس مسطحة تسمى التايلوكوئيدThylokoid مرصوفة فوق بعضها البعض بانتظام دقيق . وهي تشكل مجموعات (رزم) كل وحدة منها تسمى الغرانا Grana يبلغ عدد الغرانا ضمن الصانعة الواحدة بين (٤٠ـ٦٠) غرانا وقطر كل منها (٢ , ٠ـ٦ , ٠) ميكرون ،تحتوي هذه الصفائح على صبغ اليخضور الفعال في امتصاص الضوء أو نقل الطاقة .

التركيب الكيميائي للصانعات الخضراء :

تتألف الصانعة الخضراء كيميائياً من المركبات التالية : الماء والبروتينات واللبيدات والسكريات وأصبغة يخضورية (يخضورa,b) وأصبغة شبيهة بالجذرين (كاروتين وكسانتوفيل) وعناصر معدنية ، بالإضافة للمادة الوراثية DNA و RNA .

أصبغة الصانعات الخضراءChlorlplasts Pigments :

تحتوي أصبغة الصانعات الخضراء أو أصبغة التركيب الضوئي على ثلاث مجموعات رئيسة هي :

١ـ الأصبغة اليخضورية .

٢ـ الأصبغة الشبيهة بالجذرين .

٣ـ الأصبغة الفيكوبلينية .

توجد الأصبغة اليخضورية والشبيهة بالجذرين ضمن الصانعات الخضراء في النباتات الراقية ، بينما توجد الأصبغة الفيكوبلينية ضمن حامل الأصبغة في النباتات الدنيا كالطحالب الحمراء والزرقاء .

تختلف أصبغة الصانعات الخضراء فيما بينها بالمعايير التالية :

١ـ بالصيغة الكيميائية .

٢ـ بمقدار انحلالها بالمذيبات العضوية .

٣ـ وفي مجال امتصاصها للطيف الضوئي .

٤ـ وبألوانها المختلفة (خضراء صفراء حمراء زرقاء) .

الأصبغة اليخضورية Chlorophyll :

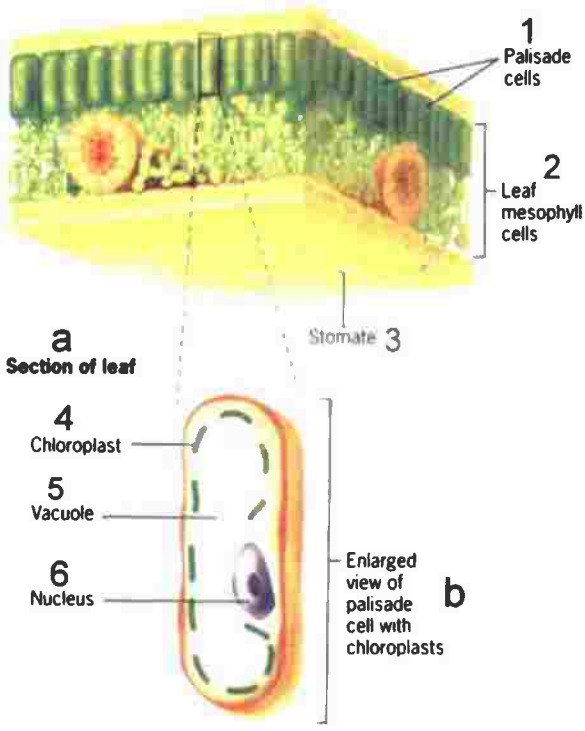
وتدعى أيضاً بالأصبغة الفعالة Active Pigments لدورها الفعال في عملية التركيب الضوئي ، تبدو هذه الأصبغة خضراء اللون في المحاليل وهي التي تكسب الأوراق النباتية ألوانها الخضراء المميزة . توجد أنواع عديدة للأصبغة اليخضورية أهمها يخضورa/b/c/d/e وأشهرها يخضورa ويخضورb وإن وجود اليخضور ضروري جداً لتشكل الصفائح في الصانعات الخضراء ، وتكون نسبة يخضورa أكبر من نسبة يخضورb بـ (٣ـ٤) مرات .

الأصبغة الشبيهة بالجذرين Carotenoids :

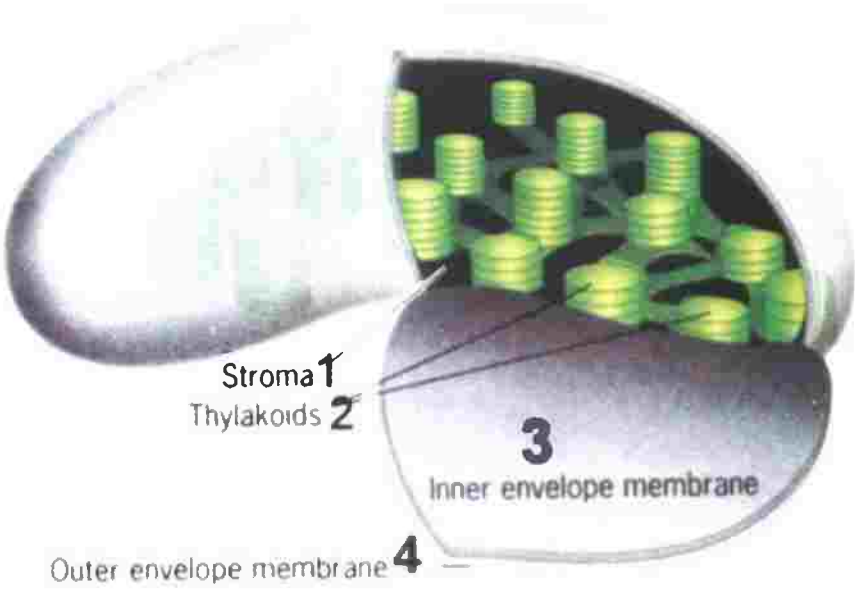
توجد هذه الأصبغة في الصانعات الخضراء مترافقة مع اليخضور وتكون ألوانها صفراء أو برتقالية أو حمراء وغالباً تكون مقنعة باللون الأخضر لليخضور ، ولكن عند زواله يظهر لونها ، وهذا ما يلاحظ في الأوراق في فصل الخريف بعد تحليل اليخضور وهجرته ، تبدو الأوراق بلون أصفر ، كما تظهر الأصبغة الشبيهة بالجذرين في الثمار الناضجة ، تحيط هذه الأصبغة بالأصبغة اليخضورية وتؤمن لها الحماية ومن أشهر هذه الأصبغة :

أ ـ صبغ الكاروتين Caroten ومنه صبغ بيتا كاروتين وهو طليعة فيتامين A .

ب ـ صبغ الكسانتوفيل Xanthophyll ومنه صبغ يدعى الليوتين Lutein .



التعضي الوظيفي للورقة



البنية الداخلية للصانعات الخضراء

الأصبغة الفيكوبلينيةPhycoblinis :

وتسمى أيضاً الآحيات الصفراوية Biliproteins ، ينعدم وجود هذه الأصبغة في النباتات الراقية ولكنها توجد في النباتات الدنيا كالطحالب مثال :

أـ صبغ فيكوارترين الأحمر Phycoeryhrin الذي يوجد في الطحالب الحمراء.

ب ـ صبغ فيكوسيانين الأزرق Phycocyanin الذي يوجد في الطحالب الزرقاء.

وهذه الأصبغة تمثل أصبغة ملحقة تقوم بتحويل الطاقة الممتصة عبرها إلى اليخضور . وبإمكانها امتصاص الأشعة الخضراء من الطيف الضوئي وتعكس الأشعة الحمراء والزرقاء فتبدو بلون أحمر أو أزرق .

أنواع الغذاء المصنع

يقول تعالى : ﴿ فَلْيَنظُرِ ٱلْإِنسَٰنُ إِلَىٰ طَعَامِهِۦٓ ﴾ [عبس : ٢٤] .

مما تقدم نجد أن النبات الأخضر يصنع الغذاء بوساطة عملية التركيب الضوئي اعتباراً من مواد بسيطة (ماء وأملاح معدنية) في التربة ويأخذ غاز ثاني أكسيد الكربون والضوء من الجو الخارجي ويصنع الغذاء من سكاكر بسيطة ثم تتحول إلى مركبات غذائية متنوعة أهمها :

ـ **المواد السكرية والنشوية** : التي تقدم الوقود اللازم لبناء الجسم ويصنعها النبات بعمليات الاستقلاب مثال نبات البطاطا والحبوب (القمح والذرة) فنجد أن ٨٥٪ من وزن حبة القمح يتكون من النشاء ويستخرج من القمح الطحين ويصنع منه الخبز والكعك والمعجنات ومن القمح القاسي تصنع المعكرونة والبسكويت يقول تعالى : ﴿ وَءَايَةٌ لَّهُمُ ٱلْأَرْضُ ٱلْمَيْتَةُ أَحْيَيْنَٰهَا وَأَخْرَجْنَا مِنْهَا حَبًّا فَمِنْهُ يَأْكُلُونَ ﴾ [يس : ٣٣] .

ـ **البروتينات** : التي تعمل على بناء أنسجة الجسم وتجدد خلاياه ، ومن النباتات الغنية جداً بالبروتينات ، البقوليات كالفول والحمص والعدس وغيرها فهي ضرورية لنمو جسم الإنسان وصحته .

يقول تعالى : ﴿ فَٱدْعُ لَنَا رَبَّكَ يُخْرِجْ لَنَا مِمَّا تُنۢبِتُ ٱلْأَرْضُ مِنۢ بَقْلِهَا وَقِثَّآئِهَا وَفُومِهَا وَعَدَسِهَا وَبَصَلِهَا ﴾ [البقرة : ٦١] .

المواد الدسمة (الزيوت) : التي تمد الجسم بالطاقة اللازمة وخاصة زيت الزيتون وهو من أغنى الزيوت النباتية وأفضلها حيث يقدم الحرارة والطاقة العالية في غذاء الإنسان ويشمل على حموض عضوية غير مشبعة مفيدة جداً للإنسان ، يقول تعالى : ﴿ وَشَجَرَةً تَخْرُجُ مِن طُورِ سَيْنَآءَ تَنۢبُتُ بِٱلدُّهْنِ وَصِبْغٍ لِّلْءَاكِلِينَ ﴾ [المؤمنون : ٢٠]

الفيتامينات والمعادن : الفيتامينات سر العافية ودوام الصحة ، والمعادن

غذاء ضروري لا يمكن لجسم الإنسان الاستغناء عنها ، يكثر وجود الفيتامينات والمعادن في العالم النباتي وخاصة الفاكهة فهي الدواء والشفاء والوقاية والغذاء وتحتوي على الألياف النباتية الهامة في عملية هضم الغذاء مثال التين والعنب والتفاح والبرتقال والموز والتمر والرمان وغيرها .

يقول تعالى : و﴿ لَهُمْ فِيهَا فَٰكِهَةٌ وَلَهُم مَّا يَدَّعُونَ ﴾ [يس : ٢٧] .

وقوله تعالى : ﴿ وَفَٰكِهَةٍ كَثِيرَةٍ ۝٣٢ لَّا مَقْطُوعَةٍ وَلَا مَمْنُوعَةٍ ﴾ [الواقعة : ٣٢-٣٣] .

وهكذا نجد أن النباتات الخضراء تعطينا الكثير ولا تأخذ منها سوى القليل ولها فوائد لا تعد ولا تحصى ، والأوراق هي المصنع العجيب للغذاء بوساطة عملية التركيب الضوئي . فالنباتات تقدم الغذاء والدواء والكساء ويستخرج منها الزيوت والعطور والأصبغة والألياف والأخشاب والمطاط والراتنج والصمغ والفلين ومواد عديدة لا حصر لها تصديقاً لقوله تعالى : ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِىٓ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ نَبَاتَ كُلِّ شَىْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُّخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُّتَرَاكِبًا وَمِنَ ٱلنَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّٰتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَٱلزَّيْتُونَ وَٱلرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَٰبِهٍ ۗ ٱنظُرُوٓا۟ إِلَىٰ ثَمَرِهِۦٓ إِذَآ أَثْمَرَ وَيَنْعِهِۦٓ ۚ إِنَّ فِى ذَٰلِكُمْ لَءَايَٰتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴾ [الأنعام : ٩٩] .

* * *