وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت

كلية التربية للعلوم الصرفة

المرحلة الاولى (صباحي , مسائي)

((محاضرات علم الخلية النظري))

م.د. شذى حازم شاكر

٢٠٢٣ م

١٤٤٥ هـ

الفصل الثامن

البلاستيدات
Plastids

يعد وجود البلاستيدات احد الصفات المميزة الثابتة لاغلب الخلايا النباتية. لكن قسماً من الاحياء الوحيدة الخلية وبالاخص الطحالب والابتدائيات قد سببت مشكلة في التصنيف بسبب شذوذها عن هذه الظاهرة.

تتغير البلاستيدات في الشكل والوظيفة نسبة الى سلوكها ووظيفتها الخلوية، ويشمل هذا التغاير حجم وعدد المحتويات الصبغية أو الحبيبية. ومثل هذا التغاير عادةً يمثل صفات خاصة للـ ... التي توجد فيها البلاستيدات.

وجد ان البلاستيدات الناضجة تتكون من البلاستيدات الاولية غير المتميزة التي توجد في الخلايا المرستيمية meristematic cells أو في خلايا الجنين النامي. وبصورة عامة تظهر البلاستيدات انها مركز بناء الكاربوهيدرات والافعال الايضية.

تصنيف البلاستيدات : Plastid Classification

يمكن ان تصنف البلاستيدات بصورة عامة اعتماداً على اللون (أي وجود أو عدم وجود الحبيبات) ومثل هذا التصنيف ليس له علاقة بالوظيفة.

١- البلاستيدات غير ملونة : Leucoplasts
٢- البلاستيدات الخضراء : Chloroplasts
٣- البلاستيدات الملونة : Chromoplasts

١- البلاستيدات غير الملونة : Leucoplasts

وهي بلاستيدات تفتقر او تكون خالية من الحبيبات والتراكيب الغشائية التي تميزها عن النوع الاخر . أما وظيفتها الاولية فهي خزن النشأ والدهونات والبروتينات. وقد تعطي البلاستيدات غير الملونة انواعاً مختلفة من البلاستيدات الملونة وتسمى بذلك البلاستيدات الاولية proplast وعلى هذا الاساس يكون التصنيف سطحياً وليس ذا قيمة.

٢- البلاستيدات الخضراء : Chloroplasts

وهي التي تعد اكثر الانواع المعروفة من البلاستيدات وتحتوي على حبيبات الكلوروفيل chlorophyll التي تعد اداة في تحفيز عملية البناء الضوئي Photosynthesis.

٣- البلاستيدات الملونة : Chromoplasts

إن البلاستيدات التي تحتوي على كل من الكلوروفيل ومجموعة من حبيبات الاصباغ الحمراء والصفراء (أشباه الكاروتين) في النبات تكون فعالة في عملية التركيب الضوئي . بينما تلك التي تحتوي على الحبيبات الصبغية فقط وتفتقر الى الكلوروفيل تكون غير فعّالة في عملية التركيب الضوئي . ويعزى لون الازهار والاثمار الى البلاستيدات الملونة الحاوية على صبغات اشباه الكاروتين .

توجد البلاستيدات الخضراء في جميع النباتات الخضراء وتكون وافرة بالاخص في الخلايا التي تكون مشتركة بصورة فعالة في عملية التركيب الضوئي . وقد تبين بأنه ليست جميع الكائنات الحية التي لها القابلية على اجراء عملية التركيب الضوئي تكون محتوية على بلاستيدة منتظمة ، ومثال ذلك الطحالب الخضراء - الزرقاء ، والبكتريا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي .

لقد وجد ان بعض الحبيبات غير الكلوروفيل لها القابلية على امتصاص الضوء لاجراء عملية التركيب الضوئي. ففي الطحالب البنية وجد ان الفيوكوزانثين fucoxanthin تمتص الضوء وتنقل الطاقة الى الكلوروفيل أ ويسمى هذا النوع بال

٣- كروموسوم نهائي التمركز : Telocentric

حيث تقع القطعة المركزية في إحدى نهايتي الكروموسوم.

٤- الكروموسوم تحت نهائي التمركز :

Sub-telocentric (or acrocentric)

وتكون القطعة المركزية قرب إحدى نهايات الكروموسوم مكونة ذراعاً طويلاً والآخر قصير.

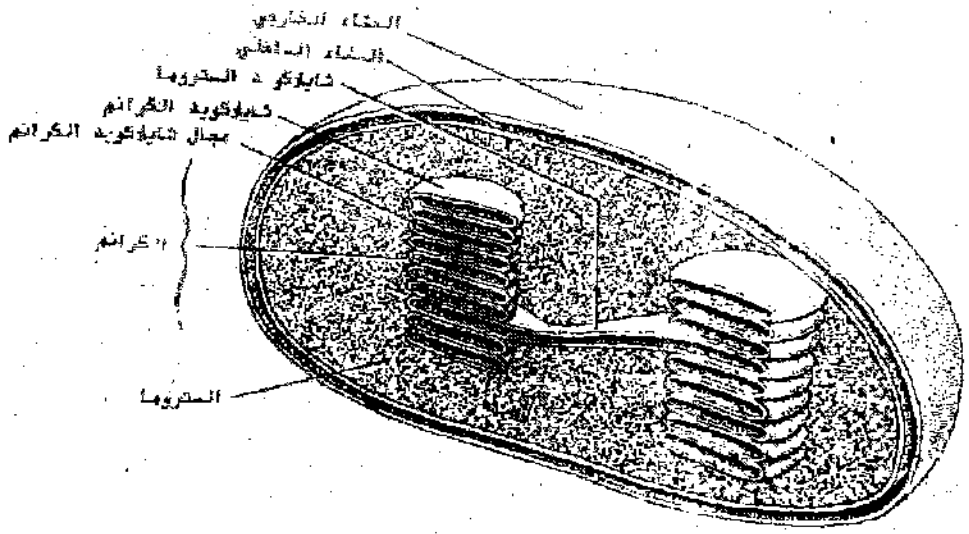
إن نوع الكروموسوم قد يكون ثابتاً في الأنواع وحتى في الأجناس genus لذلك فإن أشكالها يُعد ذا أهمية كبيرة جداً في تصنيف الكائنات الحية وكذلك في دراسة الطرز الكروموسومية karyotype.

التخصر الأولي : Primary constriction

وهو من الصفات الشكلية الأخرى للكروموسوم (شكل ١٠ - ١١) ويسمى أيضاً بالقطعة المركزية centromer أو الكاينيتوكور، ويلعب دوراً مهماً في حركة الكروموسومات أثناء عملية الانقسام الخلوي، لذلك فالكروموسومات التي تفتقر الى القطعة المركزية تخفق في توجيه نفسها أو تحركها أثناء الانقسام الخلوي.

التخصر الثانوي: Secondary constriction

ويوجد في كروموسومات خلايا اللبائن (مثال على ذلك خلايا رئة الجنين والجلد) وتُعد ذات أهمية عالية في المساعدة على تمييز كروموسومات معينة بين المجموعة الكروموسومية، كما له دور في عملية تكوين النوية في بعض الحالات ويسمى على هذا الأساس بمنطقة تنظيم النوية nucleolar organizing region. تحتوي مناطق تنظيم النوية على جينات تشفر لوحدات ثانوية من الـ rRNA وهما S ١٨ و S ٢٨ اللتان تحفزان على تكوين النوية. ويوجد في النواة الواحدة كروموسومين عادة يحتويان على مثل هذه المنطقة ويسميان بكروموسومي النوية. في الانسان يكون موقع تنظيم النوية في التخصر الثانوي للكروموسومات ١٣ ، ١٤ ، ١٥ ، ٢١ ، ٢٢ وجميعها من كروموسومات نهائية التمركز وتمتلك توابع satellites.



الشكل ٨ – ١ : (أ) رسم توضيحي للتركيب الداخلي للبلاستيدة الخضراء .
(ب) صورة بالمجهر الالكتروني لبلاستيدة خضراء توضح تركيبها الدقيق (قوة التكبير ٤٦,٠٠٠ X) .

في الستروما هناك تراكيب قرصية الشكل [illegible] من غشاء مزدوج يطلق عليها بالصفائح lamellae (مفرد صفيحة lamella) او بالثايليكويد Thylakoid منتظمة كمجاميع مكونة مايسمى بالكرانم granum. وتكون الصفائح متعددة في الكرانا الواحدة ومرصوفة بصورة قريبة من بعضها البعض. وتحوي الصفائح على الكلوروفيل وبهذا تزيد من السعة العملية وتضاعف كمية الكلوروفيل في الخلية كما يتراوح حجم الكرانا الواحدة بين ٠ر٣ – ١ر٧ مايكروميتر في الانواع المختلفة.

هنالك تغاير ملحوظ في عدد الكرانا في البلاستيدة الواحدة معتمدة على نوع النباتات. فأكثر انواعها تأخراً تحوي على عدد قليل من الكرانا اقل من تلك الارقى. فمثلاً في اليوغلينا وجد انها تحوي على كرانا واحدة فقط لكل بلاستيدة بينما وجد بين ٤٠ – ٦٠ كرانا لكل بلاستيدة في نبات السبانخ spinach.

تكون الكرانا للبلاستيدة الخضراء متصلة داخلياً بواسطة شبكة من الاغشية الانبوبية بأتجاه الستروما وقد سميت بصفيحة الثاليكويد thylakoid lamella أو بصفيحة الستروما Stroma lamella.

التركيب الكيميائي : Chemical Composition

بينت التحليلات الكيميائية للبلاستيدات انها تحتوي على مكونات كيميائية متعددة والموضحة بالجدول رقم ٨ – ١ . وبذا تكون البروتينات والليبيدات نسبة عالية من الوزن الجاف للبلاستيدة وتكون الليبيدات من نوع الليبيدات الفسفورية.

الحامض النووي الرايبوزي اللاأوكسجيني للبلاستيدة الخضراء Chloroplast DNA (ct DNA)

هنالك عدة اثباتات تبرهن على استقلالية الـ ctDNA عن DNA النواة ، ومنها دراسة بناء الـ DNA في بلاستيدة خضراء معزولة لنبات السبانخ ، حيث اثبت تضاعف DNA البلاستيدة الخضراء بكمية متميزة في داخل البلاستيدة الخضراء المعزولة وبأستقلالية عن النواة . إن DNA البلاستيدة الخضراء قريبة الشبه بـ DNA البكتريا وجزيئته ذات قطر يبلغ ٢٥ انكستروم . أما الحامض النووي

الرايبوزي RNA فقد وجد ايضاً في رايبوسومات البلاستيدة. يكون الـ RNAs من نوع الحامض النووي الرايبوزي الرايبوسومي rRNA. وفي البلاستيدة الخضراء وجد كذلك كل من aminoacyl-tRNAs و aminoacyl-tRNA synthetases و methinoyl-tRNA .

الجدول (٨ - ١)

النسب المئوية للمكونات الكيميائية للبلاستيدة للوزن الجاف.

المكونات Constituent	النسبة المئوية للوزن الجاف Percentage of dry weight	المحتويات Components
البروتينات	٣٣ - ٣٥ ٪	حوالي ٨٠ ٪ غير مذاب
الليبيدات	٢٠ - ٣٠ ٪	الدهن ٥٠ ٪
		الستيرول ٢٠ ٪
		الشمع ١٦ ٪
		phosphatids ٢ - ٧ ٪
الكاربوهيدرات	متغاير	النشأ ، الفوسفات السكرية ٣ - ٧ ٪
الكلوروفيل	٩٠ ٪	كلوروفيل أ ٧٥ ٪
		كلوروفيل ب ٢٥ ٪
الكاروتينويد	٤ - ٥ ٪	زانثوفيل ٧٥ ٪
		كاروتين ٢٥ ٪
RNA	٢ - ٣ ٪	
DNA	٠ر٥ ٪	
معادن أخرى	٠ر٢ ٪	Fe, Cu, Mn & Zn

الوظيفة :

البناء الضوئي : Photosynthesis

تعد عملية البناء الضوئي الوظيفة الرئيسة للبلاستيدات الخضر في النباتات الزهرية . وتحتاج هذه العملية الى العديد من الانزيمات الخاصة بها. وتتضمن العملية انشطار الماء بواسطة امتصاص الطاقة الضوئية بصبغ البناء الضوئي الموجودة في البلاستيدات الخضر ، وأختزال ثاني أوكسيد الكربون الى مستوى الكربوهيدرات.

تحدث عملية البناء الضوئي في اغشية الثايليكويد التي توجد داخل البلاستيدة . وتحوي اغشية الثايليكويد على صبغة الكلوروفيل التي تأخذ الطاقة الضوئية . كما يحوي الغشاء كذلك على بروتينات متعددة تشترك في اكتساب الطاقة الضوئية وخزنها ونقل الالكترونات وضخ البروتونات وفعاليات انزيمية اخرى.

في البناء الضوئي تؤخذ الطاقة الضوئية بواسطة الكلوروفيل وتستخدم لتوليد تدرج وجهد الاكسدة والاختزال التي تستخدم بعد ذلك لبناء ATP من ADP وكما هو موضح في معادلات البناء الضوئي التالية :

$$ADP + H \xrightarrow[\text{chloroplast}]{\text{ضوء}} ATP$$

$$H_2O \xrightarrow{\text{ضوء}} H^+ + OH^-$$

$$4OH^- \longrightarrow 2H_2 + O_2 + 4e^-$$

$$NADP^+ + H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH$$

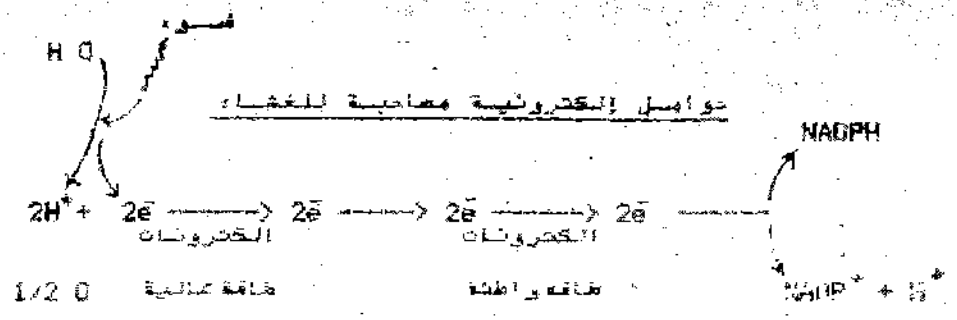
يستخدم الـ ATP والـ NADPH الناتجة من التفاعلات الضوئية اعلاه لبناء الكلوكوز في اختزال الـ CO_2 الى مستوى الكربوهيدرات.

$$6CO_2 + 18ATP + 12\,NADPH + 12\,H_2O \longrightarrow$$

$$(CH_2O)_n + 18ADP + 12NADP + 6O_2 + 6H_2O$$

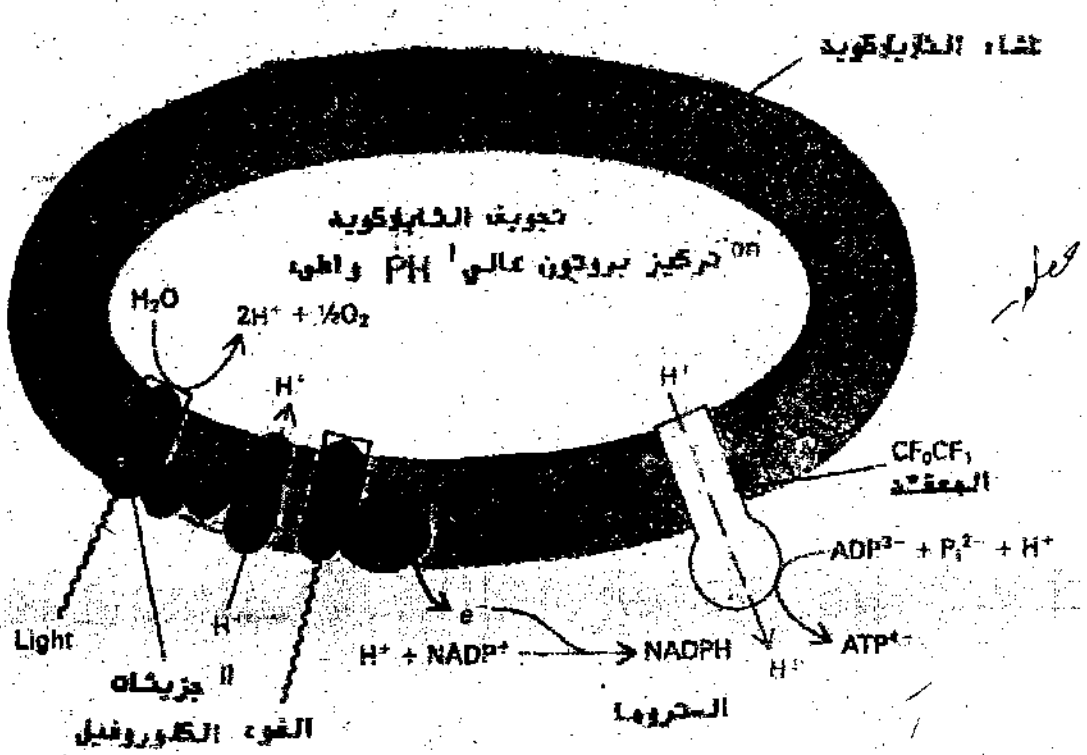
هذا من ناحية ومن ناحية أخرى فإن الانزيمات المسؤولة عن اختزال الـ CO_2 الى مستوى الكربوهيدرات من دون الحاجة الى وجود الطاقة الضوئية فيقتصر وجودها على مواقع معينة من ستروما البلاستيدات الخضراء وبشكل ذائب. في حين يعتمد بناء الـ ATP و NADPH في اغشية الثايليكويد على الطاقة الضوئية. وتحتوي اغشية الثايليكويد على كلوروفيل وأنزيمات وتكون حويصلات مغلقة closed vesicles التي تسمح لتكوين تدرج جهد الاكسدة والاختزال للحوامل الالكترونية electron acceptors لبناء ATP.

والطاقة الضوئية الممتصة بواسطة الكلوروفيل تستخدم لاطلاق الكترونات عالية الطاقة وهذه الالكترونات لها طاقة عالية جداً وتتحرك خلال سلسلة من حوامل الالكترون الموجودة داخل غشاء الثايليكويد.



في كل خطوة ، تفقد هذه الالكترونات قليل من طاقتها الحرة اعتماداً على الفرق في جهد الاكسدة والاختزال للحوامل الالكترونية ، والمستقبل النهائي للالكترونين في نهاية المسار هو $NADP^+$ الذي يختزل الى NADPH. تدرج حركة الالكترونات خلال بعض الحوامل مع ضخ البروتونات عبر غشاء الثايليكويد. وتؤدي هذه العملية الى تجمع البروتونات داخل تجويف الثايليكويد مكونة تدرجاً كيموسموزياني electrochemical potential عبر غشاء الثايليكويد (شكل ٨ – ٢). والتوزيع غير

التساوي لـ H^+ يعد المصدر المباشر لطاقة بناء الـ ATP، كما تزدوج حركة H^+ خلال بروتينات الغشاء المتخصصة بإنحدار تدرجها الكيموسموزي، مع بناء الـ ATP من ADP و Pi (شكل ٨ - ٢).



الشكل ٨ - ٢ : مخطط لعملية التكوين الـ ADP والـ $NADPH_2$

وعلى ضوء ذلك يمكن تقسيم عملية البناء الضوئي الى [illegible] احدة منها تحدث في مساحة معينة في البلاستيدة الخضراء.

المرحلة الاولى :

امتصاص الضوء بواسطة الكلوروفيل واستخدام الضوء الممتص لازالة H^+ من الماء (مكونة الاوكسجين) ثم نقل لاحق للالكترونات خلال غشاء الثايليكويد الى مستقبل الالكترون النهائي $NADP^+$، مكونة مركباً مختزلاً، NADPH، في الستروما. كما تزدوج حركة الالكترونات مع نقل H^+ عبر الغشاء من الستروما الى تجويف الثايليكويد. تحفز جميع هذه التفاعلات بواسطة بروتينات داخل غشاء الثايليكويد.

المرحلة الثانية :

وتشمل على حركة H^+ بانحدار تدرجها التركيزي من تجويف الثايلاكويد الى الستروما خلال بروتين متخصص في غشاء الثايلاكويد التي تقرن هذه الحركة مع بناء الـ ATP من ADP و Pi .

المرحلة الثالثة :

استخدام الـ ATP والـ NADPH لاختزال CO_2 واخيراً لتوليد الكلوكوز. وتدعى تفاعلات المرحلة الثالثة بتفاعلات الظلام dark reactions للبناء الضوئي ، والسبب في ذلك هو ان تكوين الكلوكوز يحدث في الظلام ، مستفيدة من مخزون الـ ATP والـ NADPH المولدة بواسطة الطاقة الضوئية.

ادناه الفروقات بين الفسفرة التأكسدية (التي تحدث في المايتوكوندريا) والبناء الضوئي (التي يحدث في البلاستيدة الخضراء).

١- تتمكن المايتوكوندريا من الاستفادة ونقل الطاقة الموجودة في الغذاء بواسطة الفسفرة التأكسدية oxidative phosphorylation بينما يكون البناء الضوئي عكس ذلك.

٢- يحدث البناء الضوئي فقط في الضوء بينما الفسفرة التأكسدية فهي لاتعتمد على الضوء.

٣- وبما أن الضوء يعد شيئاً مهماً في البناء الضوئي فمعنى ذلك انها عملية زمنية بينما الفسفرة التأكسدية تكون مستمرة دائماً.

٤- يستعمل التركيب الضوئي جزيئة ماء مع جزيئة ثاني اوكسيد الكاربون بينما في الفسفرة التأكسدية تستعمل الاوكسجين.

٥- في البناء الضوئي ينتج اوكسجين بينما في الفسفرة التأكسدية ينتج ثاني اوكسيد الكاربون.

٦- البناء الضوئي يطلق الماء بينما الفسفرة التأكسدية تكون الماء.

٧- في البناء الضوئي تمتص الحرارة بينما الفسفرة التأكسدية تنتج حرارة.

منشأ وتكوين البلاستيدات :

Origin and Development of Plastids

وكما هو الحال في المايتوكندريا فإنه ليس من المعروف أن البلاستيدات تتكون من جديد في الخلية او بواسطة نوع من انواع الاستنساخ بطريقة مماثلة لبعض الكروموسومات. هنالك بعض المعلومات غير مباشرة تثبت فكرة الاستنساخ. وقد جاءت هذه المعلومات من ملاحظة الاستمرار الوراثي وبقائه في ذرية البلاستيدة. فعلى سبيل المثال البلاستيدة التي لسبب ما تفقد قابليتها على انتاج الكلوروفيل تنتج بلاستيدة تعاني من نفس النقص.

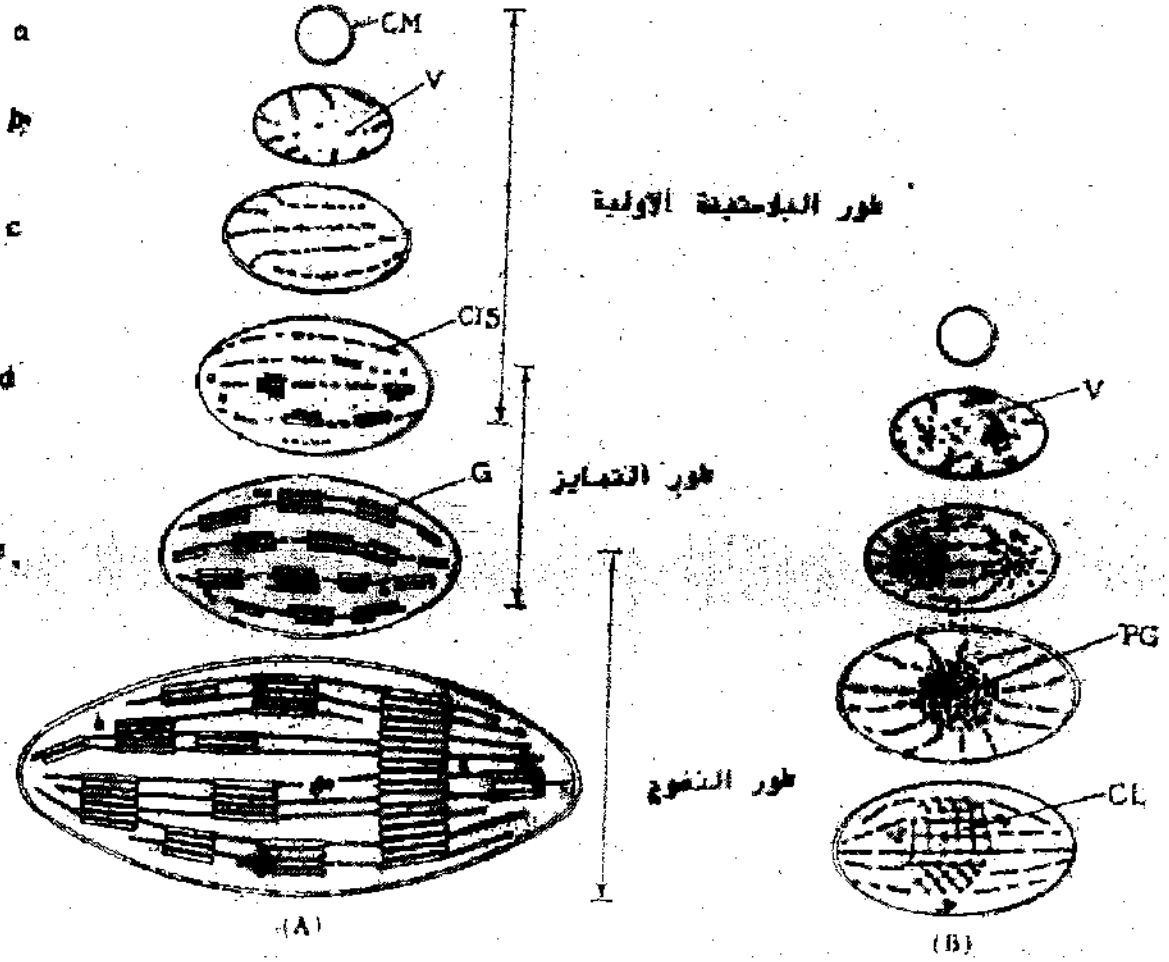
قد تتكون البلاستيدة دائماً من بلاستيدة موجودة اولاً تسمى بالبلاستيدة الاولية proplastid (وهي اجسام كروية ذات قطر ٥٠. مايكرون محاطة بغشاء مزدوج محتوية داخلها على ستروما كثيفة).

وفي عام ١٩٥٩ درس فون وتيستيرون Von Wettsterin تكوين البلاستيدات الخضراء في النباتات الخضراء واقترح عدد من الخطوات التي يمكن ان تشترك في نشوء البلاستيدة الخضراء وهي :

١- بناء حويصلات داخل البلاستيدة الاولية proplastid تمتد من الغشاء الداخلي.
٢- تتجمع هذه الحويصلات وترتصف بصورة متوازية في الستروما لتكون سلاسل مفردة.
٣- ثم تتم اعادة ترتيب واندماج هذه السلاسل لتكوين الغشية او صفيحات مزدوجة متوازية ثم يتم تكاثرها.
٤- تنمو بعد ذلك وتحور الى صفيحات الكرانا او السيتروما. يبقى قليل من الثايليكويد متصلاً مع بعض بواسطة صفائح انبوبية او الستروما.

تتم العمليات المذكورة اعلاه في وجود الضوء ، أما عند وجود الضوء فتعطي البلاستيدات الاولية بلاستيدات غير فعّالة وتكون على شكل اقراص او سلسلة من حلقات متحدة المركز او بلورية ، (شكل ٨ – ٣).

تكون كل خطوة من خطوات نمو البلاستيدة تحت سيطرة جين خاص. وقد لوحظ تأثير الطفرات الوراثية في اعاقة هذه العملية في مواقع كثيرة ، وفي معظم الحالات تكون المحصلة النهائية في النمط الظاهري هي نفسها ولكن البلاستيدات الخضراء الناتجة تكون غير فعّالة.



CM = غشاء البلاستيدة الخضراء المزدوج V = الحويصلة CIs = الحويصلات السطحية

G = الكرانم PG = الكرانم الأولي GL = البلورية

الشكل ٨ – ٣ : مخطط يوضح مراحل نشوء الكرانا في البلاستيدة الخضراء .

(a) في الضوء (b) في الظلام .