كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : تركيب ضوئي

المحاضرة : الثانية/نظري/

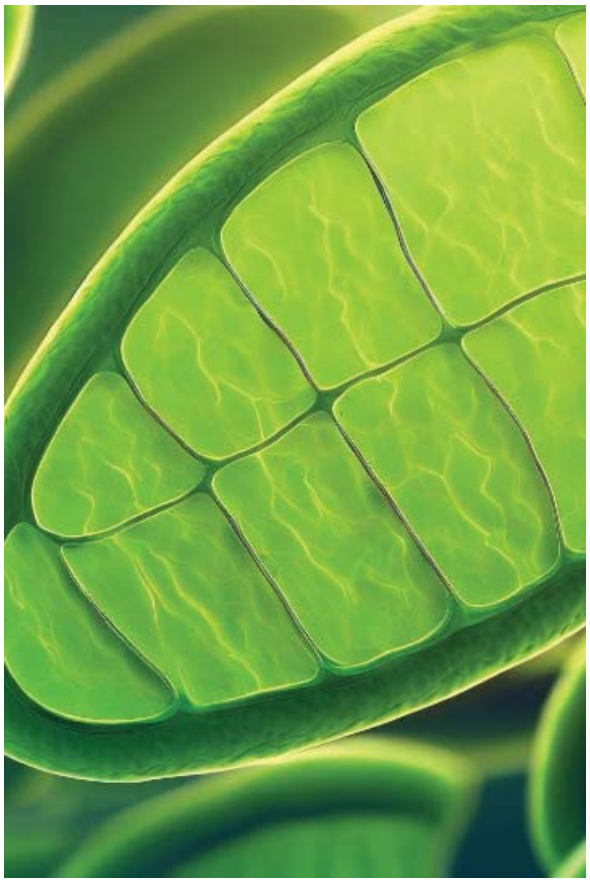
{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960



التركيب الضوئي: الاصطناع الحيوي للصبغات وأطياقها الامتصاصية

المحاضرة الثانية — رحلة علمية في عالم اليخضور والصبغات النباتية، من الاصطناع الحيوي إلى الطيف الامتصاصي، ودور الصبغات الملحقة في اقتناص الطاقة الضوئية.

علم النبات | كيمياء حيوية | تركيب ضوئي

Made with GAMMA

الاصطناع الحيوي لليخضور:

نظرة عامة

- تجربة على طحلب الكلوريلا بتعريضه لجرعات من الأشعة فوق البنفسجية
- إيقاف الاصطناع في مراحل مختلفة
- تحليل المركبات المرحلية والتعرف عليها

كيف تمت دراسته؟

أين يتم؟

في البلاستيدات الخضراء عند النباتات الراقية، وفي حوامل الصبغات لدى الخلايا الطحلبية.

أول من حصل على اليخضور مخبريا R.B. Woodward عام 1965م، ونال جائزة نوبل على هذا العمل.

يتشارك اصطناع اليخضور في مراحله الأولى مع اصطناع الهيموغلوبين والسيتوكرومات وإنزيمات البيروكسيداز، إذ يتم في المرحلة **الأولى اصطناع الحلقات** البايرولية المشكّلة للهيكل البورفيريني. ويُعتقد أن **الغلوتامات** أو **α-كيتوغلوتارات** هو المصدر الرئيسي للهيكل البورفيريني **لليخضور، بينما الغلايسين + سكسينيل كوإنزيم A** ركيزة اصطناع البيروكسيدازات والسيتوكرومات في البكتيريا وسيتوبلاسم النباتات الراقية.

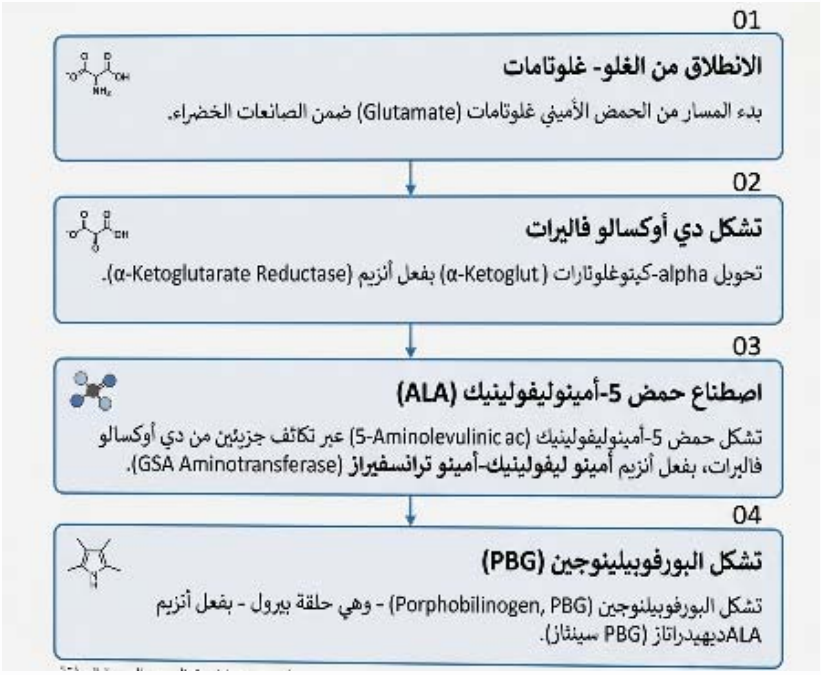
Made with GAMMA

الخطوات الرئيسية في اصطناع اليخضور

غلوتامات → α-كيتوغلوتارات

ضم زمرة أمينية بفعل أنزيم أمينو ليفولينيك - أمينو ترانسفراز.

حلقة شبيهة بالبايرول بفعل أنزيم البورفوبيلينوجين سنتيتاز.

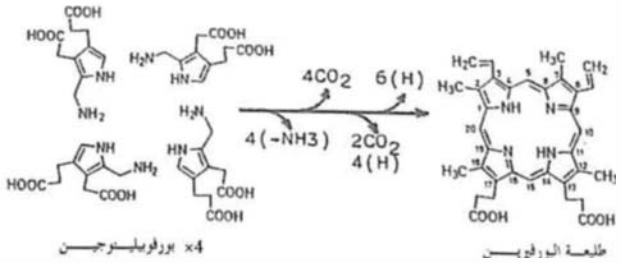


Made with GAMMA

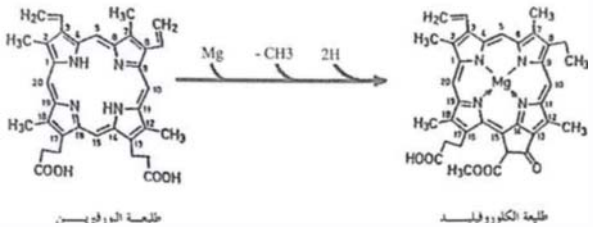
من البورفوبيلينوجين إلى طليعة اليخضور

تتحد أربع جزيئات من البورفوبيلينوجين لتكوين طليعة البورفيرين عبر:

- اقتطاع الزمر النتروجينية الجانبية NH_2
- نزع كربوكسيلية للجذور الأستيلية وتحولها إلى جذور ميثيلية
- نزع كربوكسيلية للجذور البروبيونيلية (الحلقتان A وB) وأكسدتها إلى جذور فينيلية



يتمخلب **الهيكل** البورفيريني مع أيون **المغنزيوم** في الصانعات الخضراء بفعل أنزيم Mg-catalase، بينما يضم في السيتوكرومات أيون الحديد أو الكوبالت.



ثم يحدث إرجاع للجذر الفينيلي في الموقع 8، وتتشكل الحلقة الخامسة لتنضم **إلى الحلقة البايرولية C**، فنحصل على **طليعة الكلوروفيليد Protochlorophyllid**.

Made with GAMMA

المراحل النهائية وتشكّل اليخضور الوظيفي

ارتباط البروتوكلوروفيليد بالأغشية الثايلاكويدية

يُرجَع بإضافة ذرتي هيدروجين على الرابطة (17-18).

التحويل الضوئي

عند تعريضه للضوء يتحول إلى كلوروفيليد (a) هولوكروم، أو يتحد مع الجذر الفيتولي معطياً طليعة اليخضور.

اليخضور (a)

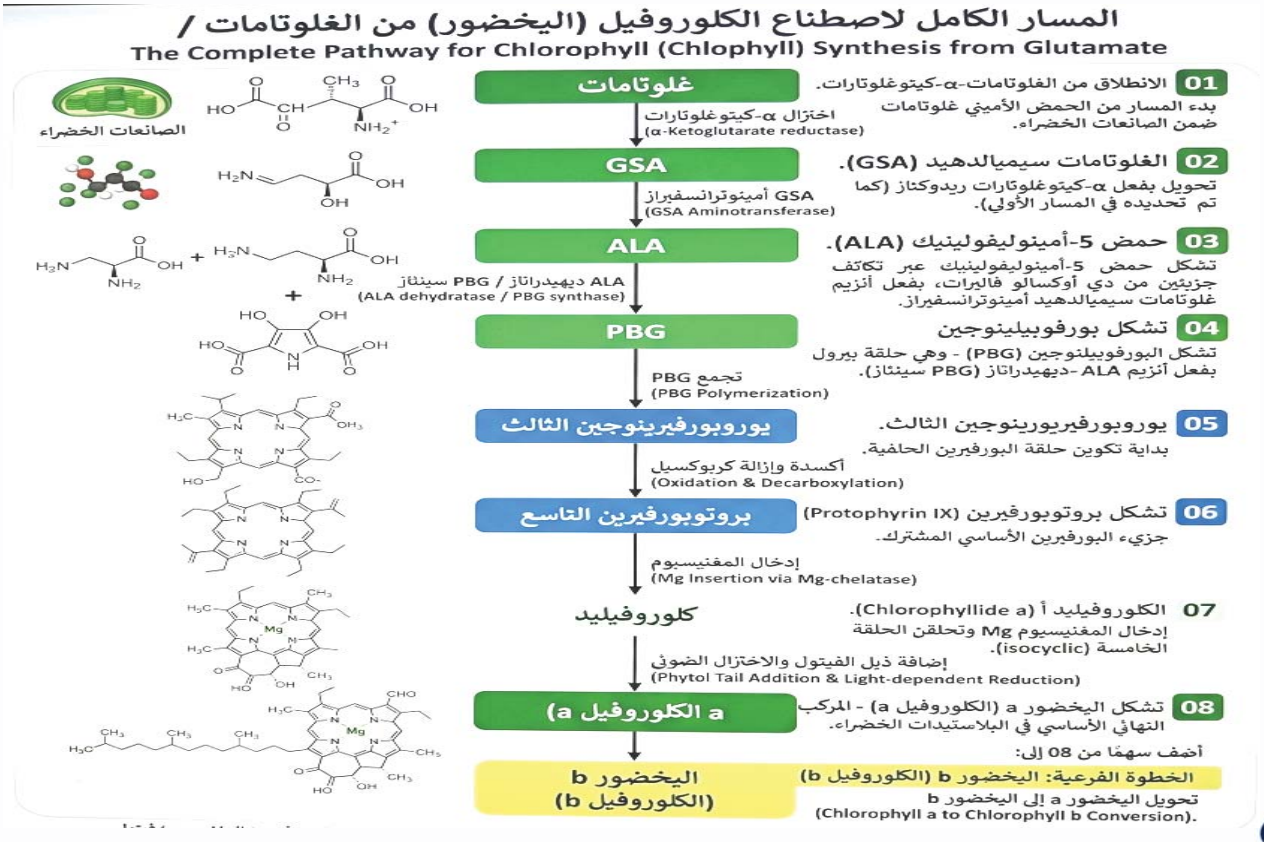
ارتباط الجذر الفيتولي بواسطة أنزيم كلوروفيل-سينتيتاز ضمن الطبقة الليبيدية للأغشية الثايلاكويدية.

اليخضور (b, c, d) واليخضور البكتيري

يتشكل (b) من (a)، ويبدأ اليخضور البكتيري من الغلايسين + سكسينيل CoA.

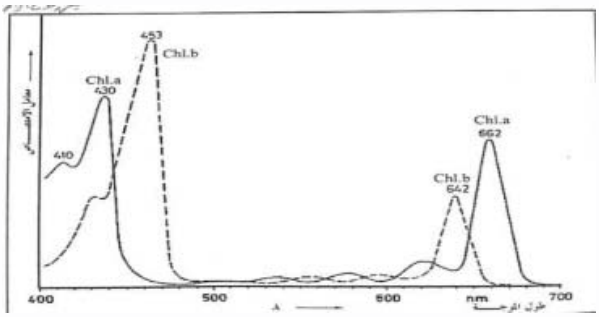
⚠ غياب **المغنزيوم** يوقف اصطناع اليخضور. ونقص **الحديد** يثبّط اصطناع حمض **الليفولينيك** ويضطرب التركيب البروتيني للصانعات. يتخرّب اليخضور بفعل أنزيم الكلوروفيلاز مُعْطياً الفيوفيتين، كما يتأثر بالشدات الضوئية العالية وتراكيز الأوكسجين المرتفعة.

Made with GAMMA



Made with GAMMA

الطيف الامتصاصي لليخضور (a) و(b)



الشكل (15): طيف الامتصاص لليخضور (Chl.a) و(Chl.b)

الأشعة الزرقاء

امتصاص شديد عند λ = 470–430 nm

الأشعة الحمراء الفاتحة

امتصاص شديد عند λ = 675–640 nm

الفجوة الخضراء

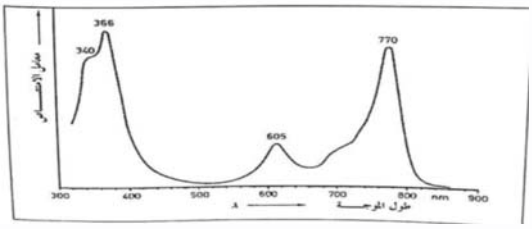
انعدام الامتصاص عند)Green gap(λ = 470–560 nm

Chl.a أخضر مزرق(:430 و662 nm. قمتان عند
Chl.b أخضر مصفر(:453 و642 nm. قمتان عند

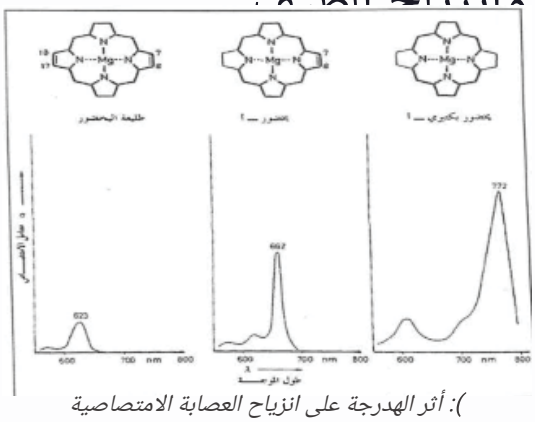
تختلف قمم الامتصاص بحسب المذيب: 662 nm في الإيتر، 663 nm في 80% أسيتون، 683 nm في الوسط المائي.

Made with GAMMA

اليخضور البكتيري وانزياح الطيف



طيف امتصاص B.Chl.a في الميثانول



): أثر الهدرجة على انزياح العصابة الامتصاصية

623
طليعة اليخضور
قمة الامتصاص (نانومتر)

772
اليخضور البكتيري
قمة الامتصاص (نانومتر)

662
اليخضور (Chl.a)
قمة الامتصاص (نانومتر)

1000
B.Chl (b)
الأمواج تحت الحمراء الطويلة

كلما زادت ذرات الهيدروجين المحملة على الحلقات البايرولية، ازدادت شدة الامتصاص وانزاح المجال الامتصاصي باتجاه الأشعة تحت الحمراء الطويلة، مما يُمكّن البكتيريا ذات التركيب الضوئي من استثمار أشعة غير فعّالة عند النباتات الراقية.

Made with GAMMA

ثانياً: الصبغات الكاروتينويدية

توجد عند جميع النباتات تقريباً، وتتميز بلونها التركيب الضوئي، مترافقة مع اليخضور ومقنّعة بلونه الأخضر. تظهر ألوانها الصفراء والبرتقالية في أوراق الخريف والثمار الناضجة.

نقل الطاقة

صبغات ملحقة تحوّل الأشعة الضوئية الممتصة إلى جزيئة اليخضور الفعّالة.

الحماية من الأكسدة

تمنع تخرّب اليخضور بفعل الضوء الشديد والأوكسجين عبر حادثة الأكسدة الضوئية.

تبديد الحرارة

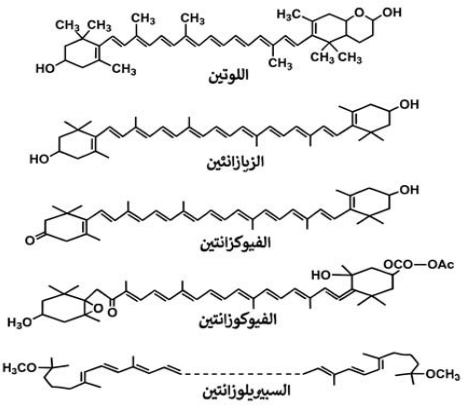
تعيد الفائض من الطاقة الضوئية إلى الوسط على شكل حرارة.

مركبات كربونية مهدرجة، **تحتوي** غالباً على **40 ذرة كربون**، تنتج عن **بلمرة** ثماني وحدات من الأيزوبرين. تنقسم إلى: **الكاروتينات (بدون أوكسجين)** و**الزانثوفيلات** (تحتوي أوكسجين).

Made with GAMMA

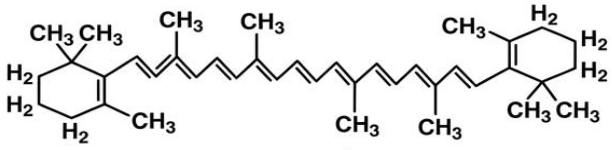
الكاروتينات والزانثوفيلات: تنوع بنيوي ووظيفي

الزانثوفيلات (تفوق 20 نوعاً)



- **اللوتين:** ثاني هيدروكسي-α-كاروتين، صبغة صفراء في الأزهار والرياش.
- **الزيازانثين:** موجود في حبوب الذرة الصفراء.
- **الفيوكوزانتين:** موجود عند الطحالب البنية (طحلب الفوكاس)
- **السيريلوزانتين:** موجود في البكتيريا الأرجوانية الكبريتية.
- **خصائص الامتصاص:** تمتص الضوء في النطاق الأوسع (380-550 نانومتر)

الكاروتينات ($C_{40}H_{56}$)



β-كاروتين

β-كاروتين

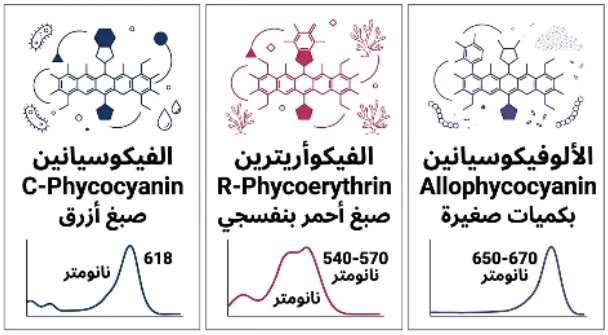
1. **كاروتين-α:** يختلف موضع الرابطة المزدوجة في الحلقة الطرفية الأولى.
2. **كاروتين-β:** سلف ثلف فيتامين A (موجود بكثرة في الجزر).
3. علق **الليكوبين:** سلسلة هيدروكربونية طويلة مفتوحة (لا توجد حلقات طرفية)- موجود في البندورة.

- **خصائص الامتصاص:** تمتص الضوء في النطاق الأزرق البنفسجي (400-500 نانومتر)

Made with GAMMA

ثالثاً: الصبغات الفيكوبيلينية

تغيب عند **النباتات الراقية، وتوجد عند الطحالب الحمراء** و**البكتيريا المزرقة**. تتألف من أربع حلقات بايرولية مرتبطة بسلسلة بروتينية (Phycobilisomes)، ولا تحتوي على المغنزيوم أو الجذر الفيتولي، وتنحلّ في الماء.



التأقلم الضوئي

- الضوء الأخضر → إنتاج مزيد من الفيكوأريترين
- الضوء الأحمر → إنتاج مزيد من الفيكوسيانين
- أعماق البحار → ارتفاع نسبة الفيكوبيلينات لاقتناص الضوء المتوفر

الفجوة الخضراء تشدّ

تمتص الفيكوبيلينات الأشعة الخضراء التي لا تستفيد منها النباتات الراقية، فتضيق الفجوة الخضراء أو تنعدم في الطيف الامتصاصي للبكتيريا المزرقة.

الهدف المشترك لجميع الصبغات الملحقة: **اقتناص أكبر كمية ممكنة من الطاقة الضوئية** من مجمل الطيف المرئي ونقلها إلى اليخضور الفعّال.

Made with GAMMA

مكتبة A to Z