اليخضـــور

* أنواع اليخضور ومشتقاتها:

تمثل اليخضورات طائفة من طوائف الصبغات النباتية التى توجد فى أجهزة التشييد الضوئى لجميع النباتات الحية. بما فيها قبيلة الطحالب وبعض أنواع البكتريا التى لها جهاز تشييد ضوئى. وجود أو غياب اليخضور يعتبر مؤشراً حساساً على أن الكائن الحى بصحة جيدة، وكذلك دليّل على النضج فى الفاكهة والخضراوات وكذلك نضارة المحصودات. واليخضور كدليل على الإنضاج يمكن أن يكون مفهوما. ولكنه قد يكون مضللا فى حالة النضارة (الحالة الطازجة) بمجرد حصاد النبات فإن اليخضور يبدأ فى التعرض للتحلل ـ أحيانا خلال ساعات أو فى عدة أسابيع فى بعض الأنواع.

إن الرغبة فى تعديل أو تحوير الأطعمة للحفاظ على لون المحاصيل حديثة الحصاد أمر مفهوم ـ الأمر الذى نتج عنه منذ سنوات طويلة عملية إضافة صبغات طبيعية أو مواد غير عضوية (أملاح معادن). وفى السنوات الأخيرة إضافة صبغات تشييدية.

واليخضور هو الصبغة الطبيعية الوحيدة التى توجد بكميات وفيرة تزيد عن الحاجة إليها ـ ومع ذلك فإن خاصية عدم الثبات المتأصلة inherent فيه الملازمة له عند عزله تمثل عائقا فى عدم استعماله على نطاق واسع فى تلوين الأغذية. وظاهرة عدم الثبات أو الانحلال فى اليخضور عملية طبيعية تشاهد فى ظاهرة تساقط الأوراق أو فى نضج الفاكهة ـ قد يتصور المرء ملايين الأطنان من اليخضور التى يمكن أن تتراكم

كل سنة فى الأرض والمحيطات إذا لم يحدث هذا التحلل فى اليخضور وتأثير ذلك فى مايترتب من مشاكل بيئية.

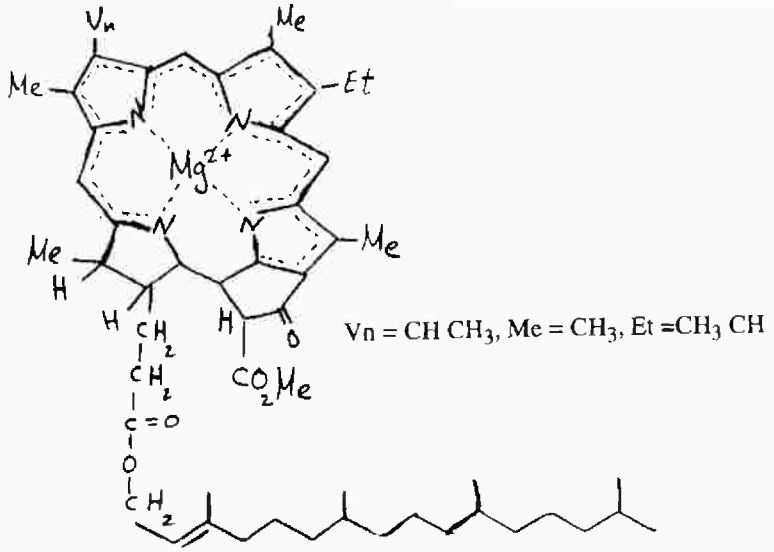
على مدى التاريخ الطويل لاعتماد الانسان والحيوان فى غذائهما على اليخضور أو على نواتج تحلله الطبيعية فإنه من العسير وجود دليل مايفرض أن هذه الطائفة من الصبغات الطبيعية تحت اى ظرف لها ضرر من تناولها أو هضمها ولو على الأقل فى أكلات العشب ذات الحالة الصحية الجيدة والآثار العكسية القليلة التى أمكن تسجيلها لليخضور المهضوم نابعة من الحيوانات المريضة أصلا أو بها خلل فى العوامل الوراثية مثل ظاهرة المهق albinism وإذا قارن المرء استعمال اليخضور فى تلوين الأطعمة بغيره من الصبغات الأخرى الطبيعية مثل الكاروتينويدات ذات اللون الأحمر والأصفر أو تلك التى تذوب فى الماء مثل الانثوسيانينات فإن مساهمة اليخضور فى هذه الصناعة تأتى فى آخر القائمة نسبيا.

*** وظائف اليخضور:**

توجد مجموعات مختلفة من اليخضورات فى البلاستيدات فى النبات السليم الصحى قريبة من حيث البناء الكيماوى فى احتوائها على أنواع معينة من البروتينات وعديدة البيتيدات polypeptides مغمورة فى وسط غير محب للماء فى الأغشية الدهنية للبلاستيدات (الثايلكويدات). واليخضور لايذوب فى الماء ولكنه يذوب فى الدهون حيث أنه يوجد فى الخلية النباتية فى وسط دهنى.

*** البناء الكيماوى اليخضور:**

يتكون جزئ اليخضور من حامل لونى مختزل (porphyrin) بورفيرين مع مركب ببتيدى عديم اللون يحتوى على ٢٠ ذرة كربون (الفيتول phytol) فى سلسلة جانبية (شكل ٢٣) والتركيب الالكترونى لعنصر المغنسيوم يؤهله للاتحاد مع جزئ اليخضور. يوجد اليخضور فى البلاستيده متحدا مع البروتين معقد عديد الببتيد poly-peptide) فى اتحاد متين. وهذا البروتين يتحد مع عدة أنواع من الكاروتينويدات والزانثوفيل حسب نوعية الكائن الحى. كذلك ترتبط هذه البروتينات مع مجموعة من



شكل ٢٣ : يخضور ـ أ ـ

الجزيئات الغير محبه للماء تسمى توكوفيرولات Tocopherol (فيتامين هـ (E) المعروف فى الوجبات الغذائية للإنسان. وتعمل الكاروتينويدات على كبح جماع طاقة التهيج الزائد فى جزئ اليخضور فى عملية التشييد الضوئى، كما أنها تعمل كعامل اقتناص (أو عامل مانع للأكسدة) لعنصر (O_2) فى شقة الفعال. وتقوم التوكوفيرولات (quinon أو tocophenyl) باستبعاد الشق الوحيد لعنصر singlet (O_2)وبذا تعمل كمصيدة نهائية لعديد من الشقاق radicals الهدامة وكذلك لبيروكسيدات الدهون.

وفى الحقيقة فإن التوكوفيرولات تعمل على الحيلولة دون أن يصبح وسط الدهون غير المشبعة لليخضور بيروكسيدى أو مزنخ rancid وشق (O_2) والصور ذات الكفاءة العالية فى الطاقة لهذا الغاز عبارة عن نواتج جانبية لاغنى عنها فى عملية التشييد الضوئى نابعه لحد ما من التحلل الضوئى للماء. وهذه الشقاق لها القدرة على أكسدة أو اتلاف (إزالة اللون) فى تفاعل غير عكسى أو مايطلق عليه قصر اللون الضوئى أو الأكسدة الضوئية.

وفى الخلية الحيه الصحية فإن هذه العملية محكومة للغاية القصوى والتلف الذى يحدث بسببها إنما يحدث فى النباتات المتقدمة فى العمر أو فى تلك التى تكون واقعة تحت ضغوط بيئية أو فى النباتات المتوعكه. وليس من المستغرب أنه عندما يستخلص جزئ نشط ضوئيا مثل جزئ اليخضور من النباتات ويصبح معزولا من شقه الملازم له (وهو singlet O_2) أو المانع للأكسدة فإن الصبغة تصبح غير ثابتة وسرعان مايعتريها التلف إذا تعرضت للهواء.

إن التطور الذى حدث منذ مئات الملايين من السنوات فى التشييد الحيوى لصبغة اليخضور ليست مستغربة عليها فى أن يجد المرء بعض التحورات العرضية ـ مثال ذلك إذا حل عنصر الكوبلت بدلا من الحديد أو المغنسيوم فى نظام مخلبى مع البورفيرين المعين فإن الناتج النهائى يصبح كوبالامين cobalamin وهو المجموعة الإضافية فى فيتامين B_{12}- (prosthetic) ـ وهذه المركبات تشيدها فقط بعض أنواع البكتريا المعينة غير الهوائية ـ ويوجد بورفيرين الزنك فى كثير من فصائل الطيور ويكون التصبغ الأزرق الباهت فى قشر البيض. والأكثر غرابة وجود بورفيرين النحاس الطبيعى ـ وبصفه خاصة اللون الأرجوانى البنى فى ريش بعض الطيور الاستوائية. وتوجد أنواع من البورفين غير شائعة ـ عبارة عن هيم مستبدل فيه عنصر الفاناديوم vanadiam فى بعض الطحالب البنية. وأهم نواتج التشييد الحيوى فى البورفيرين توجد فى نطاق ضيق فى الصبغات الهامة لبعض العمليات مثل نقل (O_2) فى اليحمور ونقل الالكترونات فى السيتركووم. هدم شق (O_2)وعملية التشييد الضوئى ـ كل هذه النواتج النهائية ذات ألوان عالية تتراوح مابين الأرجوانى الأزرق (طيور) إلى الأحمر والموف mouve فى صبغات اليحمور إلى الأخضر والأخضر والأزرق فى اليخضورات.

*** أنواع اليخضور الطبيعية:**

تحتوى جميع النباتات الأرضية (ابتداء من الموس moss حتى النباتات الزهرية) على يخضور أ ، ب ـ بالإضافة إلى بكتريا التشييد الضوئى prochlorophyta (ربما يكون جنس بكتريا prochloron ـ ذو علاقة تطورية بمنشأ البلاستيدات الخضراء فى

النباتات الراقية ويوجد يخضور حـ، د، هـ ـ فى الطحالب والأعشاب البحرية البنية والحمراء، وكذلك الطحالب وحيدة الخلية التى تمثلها العوالق النباتية planktons فى المحيطات، وكذلك بكتريا التشييد الضوئى ـ الزرقاء الخضراء cyanophyta (جدول رقم ٩).

جدول رقم (٩) انتشار اليخضورات ويخضورات البكتريا الطبيعية

اليخضور/ اليخضور البكتيرى	الكائـــــن
يخضـــــور أ	جميع الكائنات التى تنتج الاكسجين وتشيد ضوئيا وتشمل النباتات الراقية وجميع الطحالب والبكتريا التى تشيد ضوئيا وتشمل سيانوفيتا وبروكلوروفيتا.
ب	النباتات الراقية، طحالب الكلورفيتا، ايجلينوفيتا والبروكلوروفيتا البكتيريه.
جـ	الطحالب الفيوفيتيه (طحالب بنيه) وبيروفيتا (دينوفلاجيلات) باسيلاريوفيتا (دياتومس) كريسوفيتا، برازينوفيتا ـ كربتوفيتا.
د	فى بعض رودوفيتا (طحالب حمراء وكريسوفيتا).
هـ	عرفت فى الطحالب الكسانتوفيتا.
اليخضور البكتيرى	
أ، ب	بكتريا الأرجوانية تشمل كروماتياسى وورود وسبربليسى.
جـ، د، هـ	البكتريا الكبريتيه/ وتشمل الكلوروبيسى الخضراء والبنية وكلوروفلكبيسى.

*** التحلل البيولوجى لليخضور:**

على الرغم مما يكاد يكون مقرراً عن ثبات اليخضور النسبى فى الأنسجة الصحية فإنه لايزال معرضا إلى تحول طبيعى شاملا عملية الهدم والبناء المتعاقبة غالباً طول فترة حياة النبات الحى ـ ونسبة الهدم ـ التحلل ـ تكون أسرع فى الأطوار الأولى للإخضرار فى البادرات، وكذلك فى أواخر عمر النبات أثناء ظاهرة سقوط الأوراق

ونضج الثمار ـ وهذه العمليات التى تشمل ضياع اليخضور تكون طبيعية محسوسة فى الوسط الذى توجد فيه الصبغات، وهذه التغييرات تشمل تغير فى سيولة غشاء الثايلكويد ـ وتبدأ عملية فوق الأكسدة peroxidation فى بروتينات اغشية الثايلكويد غالباً ما تكون نتيجة زيادة نشاط (O_2) النشط.

وبقدر الدور الذى يلعبه اليخضور فى عملية التشييد الضوئى للصبغة يكون أيضا قدر دوره فى هدمه ولاتزال معلوماتنا عن سير هذا التحلل ناقصة ـ وكذلك ـ بل أكثر نقصانا ـ معلوماتنا عن الآلية التى يتحول فيها من مركب ثابت أخضر إلى مركب عديم اللون وغالبا خلال ساعات قليلة أو حتى أيام قليلة.

والمراحل التى يتم فيها الهدم عادة ما تكون أقصر عن مدة التشييد فمثلا فى المناطق المعتدلة الشمالية يتم تكوين الأوراق فى الأشجار المتساقطة الأوراق خلال فترة عدة أيام بل ربما أسابيع ـ وقد تحمل هذه الأشجار أوراقها الخضراء لمدة خمسة شهور يتم خلالها تحول اليخضور ببطء ولكن فى شهر أكتوبر المبكر فإن معظم اليخضور ـ إن لم يكن جميعه يهدم بسرعة خلال بضعة أيام.

إن طبيعة النواتج النهائية عديمة اللون غير واضحة حتى الآن فى الأنظمة المائية. وتحت ظروف نقص (O_2) فإن اختفاء اليخضور يكون ببطء بدرجة ملحوظة. ولكن أحيانا يمكن تحديد هذه النواتج ـ غالباً ـ فيوفيتين بكميات كبيرة.

*** مشتقات اليخضور الطبيعية وبعض الغير طبيعية:**

على الرغم من سرعة تحلل اليخضور فى ظاهرة تساقط الأوراق ونضج الثمار فإن نواتج الهدم التى تحدث طبيعيا بخلاف تلك التى تحدث عرضا أثناء الصناعة يمكن الكشف عنها أحيانا فى ظروف معينة ـ فمثلا عند تحول الحشيش إلى تبن فإنه سرعان ما يتحول إلى اللون الأزرق الرمادى الخاص بمركب فيوفيتين ـ والكائنات التى ترعى على الطحالب المحتوية على يخضور فى المحيطات تنتج مركبات تسمى فيوفوربيدات phyophorbides التى يمكن الكشف عنها فى غائط الحيوان الراعى.

بعض هذه المركبات تبقى مدة طويلة حيث أنها تغور إلى قاع المحيطات وبمضى الوقت تساهم فى زيادة تراكمات المحيطات من مشتقات اليخضور التى تشاهد فى أنواع البورفيرينات الجيولوجية والبترولية والفحم التى تكونت منذ أماد سحيقة. فى التجارب المعملية إذا أضيف حامض ضعيف إلى اليخضور يخرج عنصر المغنسيوم ويتكون فيوفيتين phaeophytin ـ أما فى الطبيعة فقد يكون للنشاط الأنزيمى دخل فى استبعاد المغنسيوم من جزئ اليخضور مثل أنزيم الكلورفيليز الذى يعمل على انشطار استر الفينول مكونا كلوروفيليد chlorophyllid وهو المادة الأولى فى كثير من ملونات اليخضور المستعمل فى تلوين الأغذية. معظم الإنتاج العالمى من اليخضور يتم استغلاله عن طريق الرعى وتمر خلال الأمعاء فى الحيوان ـ بينما فى المحيطات ينتج عن الرعى مركبات فيوفوربيدات ولو أن المنتج النهائى الأساسى فيما يبدو قد يكون مركبا غير معروف عديم اللون.

عندما ترعى آكلات العشب الأرضية (التى تعيش فى البر) التى تتغذى على الحشائش الخضراء يوجد من بينها من يفرز اليخضور مثل الذى تأكله فى صورة مشتقات بورفيرين نباتى plant porphyrin (وهو مركب منزوع منه مجموعة الكربوكسيل) فى صورة لجنايت lignite (فحم ـ زيت ـ بيتومين) إذا توفرت لها الشروط المناسبة. وتحل بعض العناصر مثل النيكل محل المغنسيوم مكونا مركبا مخلبيا مع البورفيرين ـ ويمكن أن يوجد الفيوفوربيد نفسه فى صورة صبغة خالية من المغنسيوم فى زيت حيث يمكن أن يستعمل فى الأغذية. وعند إضافة حامض فى وجود خلات النحاس أو أى أملاح أخرى ينتج مركب نحاسى فيوفوربيد النحاس يمكن إذابته فى الزيت. وتوجد مركبات أخرى عديدة تتبع البورفيرين (Cu- phaeo-phorbides) يمكن تعريفها على أنها di (de) hydrorhodochlorins وهذا المخلوط إذا عومل بالأحماض تنتج أملاح صوديوم وبوتاسيوم أو مركبات نحاس cu-rhodochlorines.

* **مشتقات اليخضور المستعملة فى التلوين:**

معظم اليخضورات المستعملة فى تلوين الأغذية مصدرها البرسيم ونبات الحريق أو الحشائش. فى اليابان أمكن استغلال غائط دودة الحرير للحصول على يخضور بجانب صبغات أخرى.

ويتوقف استعمال أى مصدر نباتى لليخضور أو اختياره على عدة عوامل ـ منها سهولة الحصول عليه (وقت الحصاد) وسهولة الاستخلاص وكذلك فوائد استعمالات مشتقاتها. وقيمة الفضلات (المتبقى) كنواتج ثانوية واستعمالها علفا للحيوان. فى المناطق المعتدلة المناخ فإن إمداد المصنع بالمواد الخام محدود لفترة أسابيع فى العام فقط ـ فيما عدا فترة الصيف. على النقيض من ذلك فإن تشييد اليخضورات فى المحيطات أفضل ـ خاصة فى العوالق والطحالب وحيدة الخلية ـ وقد يكون ذلك معظم العام.

* **التقديرات التى تمت لمعرفة الانتاج العالمى من اليخضور** (جدول ١٠)

جدول (١٠) : التقديرات العالمية لانتاج اليخضور فى العام

البيئـــــة	طـــن x ٨١٠
أرضـــى مائـــى	٢,٩٢ ٨,٦٣
المجمـــوع	١١,٥٥

تبلغ كمية اليخضور المنتج سنويا ـ فى العالم ـ فى الأوساط المائية ـ على الأخص البحار ٧٥٪ من المجموع الكلى لليخضور الناتج وتبلغ هذه الكمية ١١X٨١٥ طن مقارنة بكمية الكاروتينويدات التى تبلغ ١X٨١٠ (تتكون الكاروتينويدات بمقدار ١٠٠ مليون طن فى السنة بواقع ٣,٥ طن / ثانية وتبلغ النسبة بين كل من اليخضور وكاروتينويدات النبات (مقدره بالوزن) ١ :٥ ـ وهذا يعنى كمية من

الكاروتينويدات الطبيعية على المستوى العالمى مقدارها ٢X٨١٠ طن سنويا والجزء الأكبر لكل من اليخضور والكاروتينويدات الذى يبلغ ٩٩٪ يتحلل خلال أيام من موت العضو الحى.

والكمية الضئيلة للآثار المتبقية التى يمكن استغلالها فى الرواسب الجيولوجية ـ تعتبر جزءا بسيطا ـ فى ازدياد من المجموع الكلى لها. أما فيما يتعلق بإنتاج الصبغات فى النباتات الحية فتوجد زيادة مفرطه فى كل من اليخضور والكاروتينويدات. إن الموارد سواء كانت بحرية أ. أرضية المصدر فإنها تتجدد من تلقاء نفسها وبلغة قيمتها الاقتصادية فإنها بالكاد تكون قد استغلت.

بدائل يخضور أ أن النصيب الأكبر من اليخضور المستغلة صناعيا مصدرها يخضور: (أ) وهذا المنتج الطبيعى يعتبر الصورة الأساسية (إن لم تكن الوحيدة) لجميع اليخضور الموجود فى الأحياء التى تجرى فيها عملية التشييد الضوئى ـ وحوالى ٢٠ ـ ٣٠٪ من ملونات اليخضور مصدرها يخضور. (ب) وقد أمكن تصنيف عدد ١٠ (عشرة) أنواع من اليخضورات ومن بينها يخضور البكتريا bacter-iochlorophyll فى الأنظمة البيولوجية ـ وكل منها له لونه الخاص الذى يميزه عن غيره. وإذا أمكن الوصول إلى طرق مناسبة للعزل والاستخلاص لاستغلال مايمكن أن تمدنا به الطحالب من أنواع اليخضور فإنه يصبح فى الامكان تحضير عديد من اليخضورات ذات ألوان تمتد من الأصفر إلى الأخضر. ويمكن الوصول بمشتقاتها إلى ألوان برتقالية وتحت ظروف قوية حتى إلى اللون الأحمر.

يوجد عدد ٢ (اثنين) صبغة مشيدة ضوئيا ذات لون برتقالى وأزرق قريبة الصلة النباتية لليخضورات. كذلك يوجد بين الطحالب Cryptophyta, Rhodophyta بالإضافة إلى بكتريا التشييد الضوئى Cyanophyta أفراد تنتج كميات كبيرة من مواد شديدة اللون phycobilins وهذه المركبات التى تتبع مجموعة التترابيرولات المستقيمة ليست مشتقة من اليخضور وإنما من بروتوهيم protohaem وتنتمى إلى صبغة

صفراء الثدييات bilirubin ـ وتوجد هذه الفيكوبيلينات بصورة ثابتة للغاية فى الخلايا الحية متحدة مع أنواع معينه من البروتينات ـ وعند انشطارها من البروتينات فإنها تنتج صبغات ارثروبيلينات erythrobilins ذات لون برتقالى أحمر وسيانوبيلين أزرق cya-nobilin ويوجد منها عدة أشكال مختلفة وهى ذات أهمية حيث أنها تذوب فى المـاء ـ وذات ثبات نسبى ويوجد بخلايا الطحالب تركيزات عالية من هذه الصبغات وأكثر من ٢٠٪ من الوزن الجاف يتكون من هذه الفيكوبيلينات بالإضافة إلى البروتينات المتحدة معها.

• الاستخلاص والعزل والاشتقاق:

لاتجرى عمليات استخلاص اليخضورات ـ عادة ـ من النباتات حديثة الحصاد ولكنها تستخلص من أكوام الحصاد التى سبق تجفيفها تجفيفا طبيعيا فى الشمس أو تجفف سريعا صناعيا. ويمكن الاستفادة من طرق التجفيف المختلفة فى المراجع المناسبة ـ وذلك فى درجات حرارة مناسبة لكل مادة نباتية ويتوقف مجموع المتحصل عليه من صبغات النباتات المجففة حسب النوع ويمكن تجهيزها فى صورة أقراص أو مسحوق ـ وحسب مدة ودرجة التجفيف وطول مدة التخزين.

وتؤدى عملية التجفيف عادة إلى تكوين يخضور متحلل أو مايطلق عليه (يخضور محول) ـ ووجدان التسخين على درجة ٧٠°م لمدة ٥ دقائق ينتج عنه على الأقل عدد ٦ مشتقات وبها كميات كبيرة من منتجات انحلاليه بدون لون ـ كذلك تكونت منتجات مختلفة من (pH) وكانت هذه متوقفه على وجود (O_2).

• عملية الاستخلاص:

تجرى بصورة مبدئية تحت شروط فى غاية التعقيد باستعمال مذيبات مائية مثل الاسيتون أو الهيدروكربونات الكلورية chloronated hydrocrbons يعقبها غسيل ثم تركيز ثم استعادة المذيب. ويلاحظ أن نسبة المذيب المستعمل إلى المادة الخضراء من العوامل الأساسية الحساسة أثناء الاستخلاص الصناعى.

كما أن وجود الأنزيمات يعتبر عاملا هاما فى نوعية وكمية المركبات المحوله. وجد أن مجموع المتحصل عليه من اليخضور والمشتقات الخضراء الأخرى قد لاتتعدى ٢٠ ٪ ويلاحظ أثناء عملية الاستخلاص وجود مواد أخرى مثل الراتنجات والشموع والدهون التى يمكن التخلص منها بالطرق المألوفة فى المعامل. (يلى ذلك عملية التقنين بالطرق المألوفة) بالإضافة إلى ذلك يمكن تحضير مشتقات اليخضور النحاسية التى تذوب فى الزيوت أو فى الماء مع ملاحظة سعر التكلفة للعملية والغرض من استعمال المنتج لعملية معينة.

ويمكن تحضير مشتقات تذوب فى الماء بإجراء عملية التصبن للمادة الخام المحتوية على كثير من المواد المختلفة الناتجة من تحلل اليخضور والفيوفيتينات بما يسمح بإحلال كل من عنصرى البوتاسيوم والصوديوم محل مجموعة الفيتيل phytyl الطاردة للماء.

ويجدر بنا أن نذكر أن المنتجات التى تباع فى الأسواق تحت اسم كلوروفيلينات عبارة عن أملاح مشتقة تذوب فى الماء ناتجة من كل من فيوفوربيد يخضور أ، ب أو من يخضور أ، ب بعد نزع عنصر المغنسيوم منهما.

*** ثبات اليخضور ومشتقاته:**

إن الحاجة إلى صبغة خضراء من مصدر طبيعى لاتختلف كثيراً عن عينه من يخضور حقيقة authentic ولكنها بالضرورة محورة التركيب لتكوين صبغة ثابتة عند عزلها وهذه الحاجة هى السبب فى الحصول على معظم مشتقات اليخضور المطلوبة للصناعة ـ وهذا الثبات أمكن الوصول إليه بالإبقاء على عنصر النحاس وليس المغنسيوم فى الصبغة الحالية من المعدن. أن المشتقات ذات النحاس المستعاض لاتستجيب نسبيا للضوء ومرجع ذلك إلى التركيب الالكترونى لأيون النحاس ـ كما أنها لاتتحلل بسهولة بالأحماض المعدنية. وعلى النقيض من ذلك فإن مشتقات عنصر المغنسيوم المخلبية النقية المعزولة تكون عرضة للتحلل وغير ثابتة ـ حتى

المشتقات الخالية من المعادن مثل الفيوفيتين والفيوفوربيد ـ بسبب تركيبها الكيماوى تميل للأكسدة ـ خاصة عندما تتعرض للضوء. وقد يكون من المرغوب فيه (ولو من وجهة نظر تعليمات الألوان الغذائية) إمكانية الحصول على عينة حقيقية -autheu tic من يخضورات طبيعية ذات مغنسيوم مخلبى.

وهذه الصبغات بطبيعتها غير ثابتة وتكتسب درجة ثبات قصيرة المدى ولكن بشرطان ان تكون PH أكثر من ـ ٧ ـ وتحت ظروف نقص (O_2) وعدم وجود ضوء. ومع ذلك يتوقع المرء حدوث هدم حتى مستوى الفيوفيتين فى وجود (O_2) الذى يسرع الهدم.

• اقتصاديات مشتقات اليخضور:

تختلف قيمة تقديرات الإنتاج العالمى لملونات الأطعمة ـ فقد قدرت عام ١٩٨٥ بمقدار ١٥٠ ـ ٣٥٠ مليون دولار أمريكى بزيادة سنوية قدرها ١٠٪ بعض التقديرات تقترح ان ١٠ ـ ٢٠٪ تذهب إلى السوق من الألوان الطبيعية ـ وهذا يعادل ـ باحتراس ـ ٤٠ ـ ٥٠ مليون دولار حسب أسعار ١٩٩١. وهذه القيمة تشمل الكاروتينويدات التى تعتبر من أهم الملونات الطبيعية والانثوسيانينات والبيتالينات بالإضافة إلى اليخضور. وتبلغ مبيعات مشتقات اليخضور (١٩٩١) ١٥ مليون دولار. وهذا يشمل ملونات الأطعمة والصيدلانيات والمجملات. وأهم مايحتاجه السوق من المشتقات الذائبة فى الماء ولحد ما ـ بصفة خاصة ـ المنتجات الذائبة فى الزيت (أسعارها أعلا) وتستعمل ٧٥٪ من هذه المشتقات ملونات طبيعية للأغذية والمشروبات ومنتجات الألبان والزيوت النباتية والحساء واللبان (لعك) والحلويات السكرية. وحوالى ٢٠٪ على الأقل فى أوروبا من الإنتاج الصناعى يستعمل فى مواد التجميل ومستحضرات التواليت والحمامات الشعبية والصابون ومحاليل غسيل الشعر ومعجون الأسنان وغسول الفم وأحواض السباحة. وعلاج سقوط الشعر ومزيل العرق والضمادات الجراحية.

* **ملحوظة:**

إذا أردنا أن نلخص هذا فى أى وجهة ما ـ فإنه إذا فرضنا أن مبلغ ١٥ مليون دولار يعتبر تقديرا لقيمة ملونات اليخضور فما هو مدى مقارنة هذا الرقم مع مدخل آخر من اقتصاديات اليخضور؟ ففى سنة من السنوات فى مستهل شهر أكتوبر فى بعض ولايات أمريكا تسبب هدم اليخضور فى أوراق الشجرَ فى مشكلة سياحية ـ على سبيل المثال فى ولاية هامبيشر Hampshire كان تقدير هذه الخسارة السياحية بما يعادل ٣٥٠ مليون دولار (١٩٩٠). إن على صناعة اليخضور أن تبادر باللحاق بالسوق قبل تلون أوراق الخريف.

نظرة مستقبلية

هناك عدة ـ اعتبارات (منظورات) يمكن ذكرها.

* **المنظور الأول:**

إن التطور السريع الذى حدث فى علم بيولوجيا الجزيئات ـ خاصة الهندسة الوراثية ـ أدى إلى تعريف وعزل مورثات (جينات) يمكن استغلالها ـ ففيما يختص بتحلل وهدم اليخضور يوجد مورث أمكن التعرف عليه يتحكم فى إحدى الخطوات المبكرة لهدم اليخضور فى النبات الحى ـ هذا المورث أمكن تعريفه جزئياً فى (حشيشة) نبات Festuca pratens التى تحتوى على طفرة تنقصها القدرة على إظهار هذا المورث (جين خاص يحفز هدم الأوراق) ـ وكانت النتيجة إن هذه الطفرة تظل خضراء عند موتها ـ بمعنى أنها تحتفظ بخضرتها عقب هرمها (تساقطها) الطبيعى ـ فبينما يتحول النبات البرى إلى لون أصفر أثناء تساقط الأوراق ـ بما يشير إلى هدم اليخضور فإن هذه الطفرة تظل خضراء داكنة ـ وهذا أمر هام للعاملين بالمسطحات الخضراء والحدائق. وإذا أمكن نقل هذا الجين إلى نبات مثل الحريق أو أى نبات علف آخر يمكن استغلاله للحصول على يخضور بعد موت النبات طول العام مما يجعلنا نستغنى عن عمليات التجفيف وما يتبع ذلك من فقدان الصبغة.

* **المنظور الثانى:**

مستقبلى: العمل على كيفية تثبيت اليخضور الطبيعى المحتوى على عنصر المغنسيوم ـ هذا يقتضى إجراء دراسة بيوكيميائية فى تغليف جزئ اليخضور فى

وسط يمكنه التغلب على الأثر المدمر للصور الفعالة لغاز (O_2) هناك عدة طرق يمكن أن يسلكها المرء. قد يكون من أهمها هو استغلال بكتريا التشييد الضوئى. ويجب أن يكون معروفا أن الغرض من هذا المنظور هو الحصول على مركب ثابت فى وجود (O_2) والضوء والحموضة ومما يطمئن على تبنى هذا المنظور هو أن الثيلاكويد المعروفه فى البلاسبتدات الخضراء تظل خضراء فى وجود الضوء والهواء عدة أيام بعد أن يكون اليخضور قد تم تحلله تماما (ذلك فى التجارب المعملية فى المذيبات العضوية).

* **المنظور الثالث:**

هو إمكانية استغلال أنواع أخرى من اليخضور خلاف يخضور (أ) خاصة عندما يوجد احتمال تحسين الثبات فمثلا من المعروف أن يخضور (حـ) له ثبات نسبى فى الأنظمة البيولوجية وحتى فى العوالق الحيوانية ويخضور (حـ) منتج موجود فى صناعة الالجينات من الطحالب البنية brown - sea - weeds ولكنه منتج مهمل ـ وتستطيع الصناعة استغلال هذا المنتج على نطاق واسع مستمر ـ من البحار والمحيطات ويخضور (حـ) على النقيض من غيره من الصبغات لايحدث فيه عملية استرة esterefication فى الموقع رقم (٧) فى الجزئ ودون اللجوء إلى تحورات خاصة فإن هذه الصبغة تذوب فى كحول الميثانول أو أى مذيبات بولارية polar أخرى مشابهة. وكبديل آخر ليخضور (حـ) هى العوالق النباتية ذات الخلية الواحدة (جدول رقم ـ ٩ ـ) التى تكون مصدرا مستمرا على نطاق واسع لمزارع اليخضور ـ أما من وجهة استعمال يخضور (حـ) فى الأغذية تذكر أن شعوب آسيا وأقوام بحرية أخرى ذات عادات بحرية يدخل فى غذائها هذا المركب. إن إنتاج واستعمال اليخضورات كملونات للأغذية ـ آخذ فى الازدياد وعلى الكيميائى والبيولوجى تحدى طرق هذا الباب.

إضافات تطبيقية

يحتوى اليخضور على عدة مواقع قابلة للتفاعل والذى يهمنا من حيث صناعة تلوين الأغذية هو مايحدث من تفاعلات فى هذا الصدد:

١ ـ تكوين الفيوفيتين : phaeophytin

فى هذا التفاعل تحل ذرتا هيدروجين محل عنصر المغنسيوم ـ وهو تفاعل غير عكسى chlorophyll+ $2H_2$ ⟶ phaeophytin + mg ـ لذا فإن اليخضور المستخلص إذا بقى مع الزمن فإنه يتأثر بفعل أى حامض ضعيف مثل حامض الكربونيك (من الجو أو الوسط المحيط) والفيوفيتين مركب ناتج تالى الحدوث post -mortam ولايوجد فى الأنسجة الحية ـ فمثلا نبات الاسفناخ (السبانخ) المحفوظ فى علب فى درجةpH ـ ٦,٢ ـ فإن الأحماض الطليقة تكون كافية فى درجة حرارة المعمل لكى تؤثر كلية على اليخضور وتحوله إلى فيوفيتين ـ ويلاحظ أن هذا التحول يمر بألوان مختلفة من الأخضر الزيتونى إلى البنى الزيتونى حسب كمية الفيوفيتين الناتجة.

كذلك بعض الخضراوات المجمدة عندما تسيل (تذوب ـ تسيح) ثم تطهى ينتج عنها تغيير فى اللون والرائحة والنكهة إذا كانت عملية السلق السابقة للتجميد لم تتم بصورة مرضية. لذا فإن المدى المتاح لتكوين الفيوفيتين يعتبر عاملا أساسيا فى تقييم عملية التصنيع وكذلك فى الرقابة أثناء التخزين.

٢ ـ تكوين الكلورفيليد : chlorophyllid

يحتوى الرمز الكيماوى لليخضور على سلسلة جانبية لحامض بروبيونيك propionic مكونا استر مع كحول الفيتول. وهذا الكحول هو المتسبب فى صعوبة وجود اليخضور فى صورة متبلورة وكذلك يضفى عليه خواص شبه شمعيه وخواص عدم الذوبان فى

المذيبات شديدة التأين. ويعمل انزيم الكلورفيليز على التحلل المائى للاستر حيث ينطلق الحامض أثناء التصنيع.

٣ ـ تغير لون اليخضور:

يتغير لون محاليل اليخضور مثلا إذا تعرضت للضوء فيما يعرف بالأكسدة الضوئية. وهذه ظاهرة كثيرا ما نشاهد فى الطبيعة. فمثلا عند تحول الحشائش إلى تبن فأثناء التجفيف نجد أن البلاستيدات المحتوية على الأصباغ تفقد مرونتها turgidity ـ وكذلك أغشيتها الواقية ـ وعموما فإن هذا التغيير فى لون اليخضور غير ذى موضوع فى مجال الأغذية المعلبة أو المجمدة أو حتى الأغذية الطازجة التى لايمكن تسويقها فى حالة ذبول ـ ولكن فى حالة ـ مثل ـ استعمال أوراق البقدونس المجففة التى تنثر على الأطباق أو الحساء (للتزيين) فمن الواجب العمل على أن تكون هذه الأوراق ذات لون أخضر فاتح.

ومثل هذه الأوراق المحفوظة فى أكياس سلوفين وتوضع تحت إضاءة كثيفة فى المتاجر فإن لونها عرضة لأن ينطفئ. لذا يفضل سرعة التخلص من هذه المنتجات أو حفظها فى أكياس معتمة.

٤ ـ المحافظة على اللون الأخضر:

يستحسن سلق المواد الغذائية فى محلول مخفف من هيدروكسيد الكالسيوم ـ والصوديوم. وهذه أفضل من إضافة بيكربونات الصوديوم للأغذية للحصول على اليخضور بعد التخلص من الكاروتين والزانثوفيل والفيوفيتينات فقد استعمل لهذا الغرض مع أوراق السبانخ التى تم سلقها ثم أضيف إليها فى خلاط iso - propanol ثم عزلت فى محلول مائى لمادة ديوكسان dioxan ـ وبعد مضى ساعة على درجة ٤٠°م أمكن ترسيب معقد اليخضور ـ ديوكسان ـ وباستعمال الطرد المركزى والترسيب أضيف مخلوط من isopropanol - dioxan ثم رسب مرة أخرى.

• تنقية اليخضور:

يمرر مستخلص الصبغة على عمود فصل لونى يحتوى على مواد ممتصة مثل أكسيد المغنسيوم أوجيل السلكا ثم الغسيل بالميثانول ـ ويفضل المواد الخاملة مثل السليلور أو مسحوق بولى ايثيلين polyethylene.