



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي
ميدان: علوم الطبيعة وحياة
شعبة: علوم بيولوجية
تخصص: التنوع الحيوي وفزيولوجيا النبات

الموضوع :

المساهمة في تقدير صبغات البيتاين عند البنجر الأحمر *Beta vulgaris* (مقارنة بين المسحوق الخام والمستخلص بالمذيبات)

إعداد الطالبتين :
علوان نوره
سليمة شلالة
أعضاء لجنة المناقشة:

الاسم واللقب	الرتبة	الصفة	الجامعة
بوصبيع إبراهيم عايدة	أستاذ محاضر ب	رئيس اللجنة	جامعة الوادي
عبد الحميد بن الحبيب	أستاذ مساعد أ	رئيس اللجنة	جامعة الوادي
حمادة سمرة	أستاذ مساعد أ	رئيس اللجنة	جامعة الوادي

الموسم الجامعي: 2025/2024

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتمّ الصالحات، والصلاة والسلام على خير الأنام سيدنا محمد، وعلى آله وصحبه أجمعين.

يسرّنا أن نتوجه ببالح الشكر وعظيم الامتنان إلى الله تعالى الذي وقّنا وأعانا على إتمام هذا البحث، سائلين المولى أن يجعله خالصًا لوجهه الكريم، وأن ينفعنا به وينفع به غيرنا.

ولا يفوتنا أن نتقدم بخالص الشكر وأسمى عبارات التقدير والعرفان لأستاذنا الفاضل د. بن الحبيب عبد الحميد، الذي كان لنا نعم المرشد والموجه، بما بذله من جهد صادق، وتوجيهات سديدة، ونصائح ثمينة، طيلة مراحل إعداد هذا البحث.

نتقدم بشكرنا للأساتذة أعضاء لجنة المناقشة كل باسمه ومقامه لاثرائهم لعملنا

كما نخص بالشكر أساتذتنا الكرام المشرفين على تدريس دفعة ماستر "التنوع الحيوي - فيسيولوجيا النبات" للسنة الجامعية 2024-2025، لما قدّموه من علمٍ ومعرفة، وما أبدوه من حرصٍ على دعمنا وتطوير مهارتنا.

ولا يسعنا في هذا المقام إلا أن نعرب عن امتناننا العميق لكل من ساندنا وساهم في إنجاز هذا العمل، من إداريي وموظفي كلية العلوم الطبيعية، وكل من مدّ لنا يد العون، سواء بكلمة طيبة أو بتوجيه نافع أو بتشجيع محفز.

إلى كل من كان شعاع أمل في طريقنا، إلى من آمن بقدراتنا، ودعمنا في لحظات التحدي، نقدم أسمى آيات الشكر والامتنان. جزاكم الله عنا خير الجزاء، وجعل ذلك في ميزان حسناتكم.

إهداء

إلى والديّ العزيزين، أركان حياتي، اللذين قدّما لي الحب والدعم بلا حدود، ووقفوا إلى جانبي في كل مراحل دراستي، دعاؤكما كان زادي، وصبركما كان دافعي، فلكما مني كل الشكر والتقدير، وكل حرف في هذا العمل هو ثمرة من ثمار عطائكما.

إلى إخوتي وأخواتي، الذين كانوا دومًا مصدرًا للتشجيع والابتسامة في أوقات التعب،

وإلى أساتذتي الأفاضل، ومشرفي الكريم، الذين لم يبخلوا عليّ بعلمهم وتوجيههم، فكنتم خير منارة في هذا الطريق.

وإلى أصدقائي ورفاق الدرب، الذين تقاسمت معهم لحظات الجهد والفرح، وكانوا عونًا وسندًا،

أهدي إليكم هذا العمل، عربون شكر وامتنان لكل ما قدمتموه من دعم ورفقة.

إهداء سليمة

إهداء

إلى نفسي...

إلى من أمنت بالحلم رغم العثرات، وسارت بخطى واثقة نحو الأمل،
أهديك هذا الإنجاز تقديراً لكل لحظة صبر، وكل دقيقة جهد، وكل مرة
قاومت فيها
الانكسار وواصلت.

وإلى أمي وأبي...

إلى من كان دعاؤهما زادي، وصبرهما سندي، ومحبتهما نوري في كل
طريق،

أهديكما هذا العمل، امتناناً لما قدمتماه من حب ودعم لا يُقاس، ولما
غرستمه في قلبي
من قوة وإيمان.

وإلى إخوتي الأعزاء...

إلى شركاء الرحلة، وسند القلب، وفرح الأيام...

أهديكم هذا النجاح، فأنتم الدفاء الذي رافقني، والدعم الذي رفعني
حين تعثرت.

لكم جميعاً... كل الشكر، وكل الحب، وكل ما في قلبي من عرفان

إهداء نورة

الملخص:

تتناول هذه المذكرة دراسة أصباغ البيتاين المستخلصة من البنجر الأحمر (*Beta vulgaris*) المزروع في منطقة وادي سوف. يبدأ العمل بمقدمة نظرية حول الأصباغ النباتية مثل الكلوروفيل، الكاروتينات، الأنثوسيانين والبتالين، من حيث تركيبها الكيميائية، بالإضافة إلى مسارات تخليقها الحيوي.

شملت هذه الدراسة إجراء سلسلة من التجارب على عينات من البنجر المحلي من منطقة وادي سوف، باستخدام طرق مختلفة للاستخلاص (مثل الاستخلاص الخام والاستخلاص بالمذيبات)، مع تحليل محتوى البيتاين (البيتاسيانين والبيتاكرانثين) باستخدام قياسات المطيافية الضوئية.

وأظهرت النتائج أن الجذور التخزينية للبنجر الاحمرتحتوي على نسبة رطوبة مرتفعة ($85.06 \pm 1.60\%$) وتقدير كثافة الكتلة الحيوية (0.33 ± 1.16 g/ml) وهي خصائص تعكس بنيته الغنية بالماء وذات أهمية في التخزين والمعالجة الصناعية.

من خلال الدراسة تبين أن درجة حرارة 50°C كانت المثلى لاستخلاص كل من البيتاسيانين *Betacyanins* البيتاكرانثين *Betaxanthin*، سواء بالماء أو بالإيثانول، حيث تم تسجيل أعلى التراكيز عند هذه الدرجة، بينما تراجع الاستخلاص عند 70°C بسبب التحلل الحراري للصبغات. كما أظهر الإيثانول (20%) كفاءة أعلى نسبياً لاستخلاص البيتاسيانين *Betacyanins* مقارنة بالماء، في حين تباينت كفاءة استخلاص البيتاكرانثين حسب درجة الحرارة ونوع المذيب.

الكلمات المفتاحية: البنجر الأحمر، البيتاسيانين والبيتاكرانثين، المستخلصات، الأصباغ النباتية

Résumé :

Dans cette étude, les pigments bétalaïnes extraites de la betterave rouge (*Beta vulgaris*) cultivée dans la région d'Oued Souf ont été quantifiés. Le travail débute par une introduction théorique sur les pigments végétaux, tels que les chlorophylles, les caroténoïdes, les anthocyanines et les bétalaïnes, en mettant l'accent sur leur structure chimique et leurs voies biosynthétiques.

Cette étude a consisté en une série d'expériences sur des échantillons de betterave locale de la région d'Oued Souf, en utilisant différentes méthodes d'extraction (extraction brute et extraction par solvant), avec la quantification des bétalaïnes (bétacyanines et bétaxanthines) à l'aide de mesures spectrophotométriques.

Les résultats ont montré que les racines de stockage de la betterave rouge présentent une teneur en eau élevée ($60,85 \pm 1,60$ %) et l'estimation de la densité de la biomasse de $1,16 \pm 0,33$ g/mL, reflétant leur structure riche en eau, importante pour le stockage et le traitement industriel.

L'étude a indiqué qu'une température d'extraction de 50 °C était optimale pour la récupération des bétacyanines et des bétaxanthines, que ce soit avec de l'eau ou de l'éthanol, avec les concentrations les plus élevées enregistrées à cette température. L'efficacité de l'extraction a diminué à 70 °C en raison de la dégradation thermique des pigments. De plus, l'éthanol à 20 % a montré une efficacité relativement plus élevée pour l'extraction des bétacyanines par rapport à l'eau, tandis que l'extraction des bétaxanthines variait selon la température et le type de solvant.

Mots-clés: Betterave rouge, Bétacyanines, Bétaxanthines, extraits, pigments végétaux

Abstract

In this study, the Betalain pigments extracted from red beet (*Beta vulgaris*) cultivated in the Oued Souf region were quantified. The work begins with a theoretical introduction to plant pigments, including chlorophylls, carotenoids, anthocyanins, and betalains, focusing on their chemical structures and biosynthetic pathways.

"This study involved a series of experiments on local beet samples from the Oued Souf region, using different extraction methods, including crude extraction and solvent-based extraction, with the quantification of betalain content (betacyanins and betaxanthins) through spectrophotometric measurements."

The results showed that the storage roots of red beet have a high moisture content ($60.85 \pm 1.60\%$) and the estimation of biomass density of 1.16 ± 0.33 g/mL, reflecting their water-rich structure, which is important for storage and industrial processing.

The study indicated that an extraction temperature of 50°C was optimal for the recovery of both betacyanins and betaxanthins, whether using water or ethanol, with the highest concentrations recorded at this temperature. Extraction efficiency decreased at 70°C due to thermal degradation of the pigments. Furthermore, 20% ethanol showed relatively higher efficiency for betacyanin extraction compared to water, while betaxanthin extraction varied according to temperature and solvent type.

Keywords: Beetroots, betacyanins and betaxanthins, extracts, plant pigments

فهرس المحتويات

فهرس المحتويات.....	
قائمة الأشكال.....	
قائمة الصور.....	
قائمة الجداول.....	
مقدمة.....	1

الجزء النظري

الفصل الأول: الصبغات النباتية

I- الكلوروفيل.....	5
1- تعريف الكلوروفيل:.....	5
2- تركيب الكلوروفيلات:.....	5
3- تخليق الكلوروفيل:.....	6
II- صبغة الكاروتينات:.....	7
1- تعريف الكاروتينات:.....	7
2- التركيب الكيميائي للكاروتينات:.....	7
3- التخليق الحيوي للكاروتينات.....	8
III- صبغة النثوسيانين:.....	11
1- تعريف الانثوسيانين:.....	11
2- التركيب الكيميائي للأنثوسيانين.....	11
3- تخليق الانثوسيانين.....	12
IV- البيتاينات:.....	14
1- تركيب الكيميائي للبيتالين.....	15

الفصل الثاني: فزيولوجيا الصبغات

I- الكلوروفيل.....	17
1- الكلوروفيل في إنتاج الهيدروجين:.....	17
2- الحصاد الضوئي بواسطة الكلوروفيل:.....	17
3- الكلوروفيل كمادة حيوية.....	19
II- الكاروتين:.....	21
1- كمضاد للأكسدة وفي قمع الأمراض.....	21
2- الحصاد الخفيف في عملية التركيب الضوئي:.....	21
3- الحماية من أشعة الشمس.....	22
III- الأنثوسيانين:.....	22

- 22 1- إجهاد الجفاف
- 23 2- الإجهاد الملحي
- 24 3- إجهاد النيتروجين

الجزء التطبيقي

الفصل الأول: الطرق والوسائل

- 29 أولاً: منطقة الدراسة:
- Erreur ! Signet non défini.** 1. الموقع الجغرافي:
- Erreur ! Signet non défini.** 2. محطة الدراسة:
- 30 3. المادة النباتية:
- 30 ثانياً: طرق العمل
- 30 1. إعداد العينات:
- 31 2. قياس الكتلة الحجمية:
- 31 3. تقدير المحتوى المائي:
- 32 4. طرق استخلاص وتقدير الصبغات:
- 32 أ. طريقة تقدير الصبغات من المسحوق (المستخلص الخام):
- 32 ب. الاستخلاص السائل-الصلب (Solid-Liquid Extraction)
- 33 5. قياس الامتصاصية وتقدير محتوى البيتاين:

الفصل الثاني: النتائج والمناقشة

- 37 النتائج والمناقشة:
- 37 1- الخصائص الفيزيائية الحيوية:
- 37 1-1- نسبة المحتوى المائي (Moisture Content)
- 37 1-2- الكتلة الحجمية (Density)
2. تركيز الصبغات: (البيتالين *Betalain* : البيتاسيانين *Betacyanins* والبيتاكزانثين *betaxanthin*):
- 38 1-2- تركيز الصبغات في المذيب المائي:
- 38 2-2- تأثير المذيب على تركيز *Betacyanins* المستخلص
- 41 3-2- تأثير المذيبات على تركيز البيتاكزانثين *betaxanthin*: المستخلص
- 42 4-2- تراكيز الصبغات في المستخلص الإيثانولي:
- 43 المناقشة العامة
- 43 كفاءة استخلاص البيتاين *Betalain*:
- 44 الخاتمة
- 46 قائمة المراجع
- 56 الملاحق

قائمة الأشكال

- الشكل 01: التركيب الكيميائي للكوروفيل..... 6
- الشكل 02: يوضح مسار تخليق الكاروتين 11
- الشكل 03: يوضح التركيب الكيميائي للانثوسيانين..... 12
- الشكل 04: يوضح مسار تخليق الانثوسيانين..... 14
- الشكل 05: يوضح التركيب الكيميائي البيتالين..... 15
- الشكل 06: عملية التمثيل الضوئي..... 19
- الشكل 07: أعمدة بيانية تمثل تركيز مركب البيتاسيانين في المذيب الماء 38
- الشكل 08: أعمدة بيانية تمثل تركيز مركب البيتاكرانثين في المذيب الماء 39
- الشكل 09: أعمدة بيانية تمثل مقارنة بين المذيبات (ماء, إيثانول) عند مركب البيتاسيانين 40
- الشكل 10: أعمدة بيانية تمثل مقارنة بين المذيبات (ماء , إيثانول) عند مركب بيتاكرانثين 41
- الشكل 11: أعمدة بيانية تمثل مقارنة بين المركبات (البيتاسيانين و البيتاكرانثين) في المذيب الإيثانول 42

قائمة الصور

- 30 الصورة رقم (3): صورة ميدانية حقيقية لنبات البنجر المدروس
- 31 الصورة رقم (4): صورة حقيقية لشرائح نبات البنجر قبل التجفيف
- 31 الصورة رقم (5): صورة أصلية للميزان المستعمل في الدراسة
- 32 الصورة رقم (6): صورة أصلية لشرائح نبات البنجر بعد التجفيف
- 32 الصورة رقم (7): صورة أصلية لمهراس هاون
- 33 الصورة رقم (8): صورة حقيقية للمستخلص بعد الترشيح
- 33 الصورة رقم (9): صورة لعملية الترشيح

قائمة الجداول

جدول رقم 1 : المحتوى المائي والكتلة الحجمية للجذر التخزيني لنبات البنجر *Beta vulgaris* 37

مقدمة

الصبغات النباتية هي مواد كيميائية فريدة تمنح الفواكه والخضراوات ألوانها الجذابة. هذه المركبات، التي تُعدّ مركبات نباتية ثانوية، تلعب أدوارًا حيوية في النباتات، من التمثيل الغذائي وجمع الضوء في عملية التمثيل الضوئي، إلى تنظيم النمو والدفاع، وحمايتها من التلف الناتج عن الأكسدة الضوئية. علاوة على ذلك، تُشير الدراسات إلى أن استهلاك هذه الأصباغ يرتبط بانخفاض خطر الإصابة بأمراض مختلفة لدى البشر. (Ghosh, Sarkar, Das et Chakraborty, 2021)

يُعتبر اللون معيارًا أساسيًا لجودة الأطعمة، فهو يُمكن أن يُثير الشهية أو يُثبطها. تُضفي الملونات على الأطعمة جاذبية ويسهل التعرف عليها. على الرغم من أن الملونات الصناعية تُستخدم على نطاق واسع لإضفاء مظهر أكثر إشراقًا وتعزيز الجاذبية الاقتصادية للمنتجات، إلا أن هناك تزايدًا في شعبية الملونات الطبيعية حول العالم. هذا الاهتمام المتزايد يعود إلى تأثيراتها العلاجية والطبية، خاصةً في ظل السمية العالية للألوان الاصطناعية. (Juric et al., 2020 ; Loh et al., 2021)

ومع ذلك، تُواجه الأصباغ الطبيعية تحديات كبيرة مثل عدم ثباتها الكيميائي وصعوبة الحفاظ على فعاليتها البيولوجية، على الرغم من خصائصها التلوينية وتأثيراتها المعززة للصحة. تختلف هذه الأصباغ في تركيبها الكيميائي، مما يستدعي تنوعًا في طرق الاستخلاص للحصول عليها بكفاءة. تشمل هذه الطرق التقليدية استمال المسحوق الخام دون استخلاص أو الاستخلاص بالمذيبات، بالإضافة إلى التقنيات الحديثة الأكثر استدامة وكفاءة مثل الاستخلاص بالسوائل فوق الحرجة، والاستخلاص بالموجات فوق الصوتية، ولكل طريقة مزاياها وعيوبها، من حيث الكفاءة، النقاوة، التكلفة، والأثر البيئي.

نظرًا للأهمية البيولوجية والصحية للأصباغ النباتية، والتحديات المتعلقة بعدم ثباتها وصعوبة الحفاظ على فعاليتها البيولوجية، بالإضافة إلى الحاجة الملحة لتبني بدائل طبيعية آمنة للملونات الاصطناعية، ما هي أنجع طرق الاستخلاص التي يمكن تطبيقها للحصول على الأصباغ النباتية بفعالية عالية مع الحفاظ على خصائصها البيولوجية المفيدة ودرجة ثباتها؟ وكيف يمكن تحسين استقرار هذه الأصباغ؟

الجزء النظري

الفصل الأول: الصبغات النباتية

I- الكلوروفيل

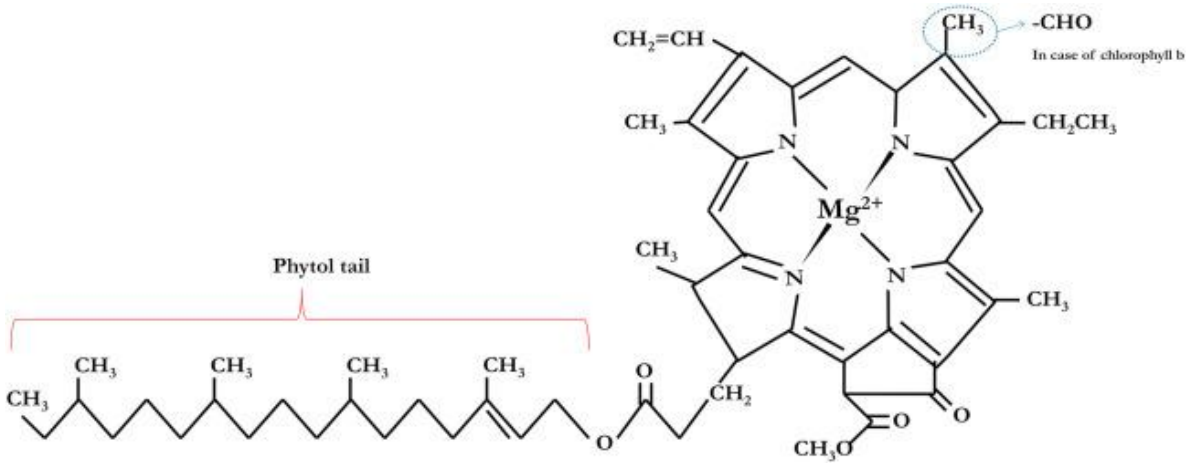
1- تعريف الكلوروفيل:

هي أصباغ خضراء ضوئية شهيرة، توجد في الطحالب والنباتات والبكتيريا الزرقاء التي تنتمي إلى فئة رئيسية من رباعيات البيروول. وهي واحدة من أكثر الأصباغ الطبيعية انتشاراً والتي تعمل كمكون رئيسي في عملية التمثيل الضوئي. يُعد تحلل الكلوروفيل عملية هدم حيوية لشيخوخة الأوراق ونضج الثمار، ومن المحتمل أن يكون قابلاً للتطبيق في مختلف مجالات العلوم والتكنولوجيا الصناعية نظراً لخصائصه الفريدة. يمكن تصنيف الكلوروفيل إلى خمس فئات رئيسية وهي: أ، ب، ج، د، و. يتم توزيع الكلوروفيل على نطاق واسع في المملكة النباتية بما في ذلك الفواكه والخضروات الخضراء

(Jurić et al., 2020).

2- تركيب الكلوروفيلات:

تصنف الكلوروفيلات كيميائياً مع البورفيرينات (*porphyrins*)، حيث تتكون من رباعيات البيروول المعدنية (*metallo-tetrapyrroles*) ترتبط بها حلقة خاصة هي سايكلوبنتانون (*cyclopentanone*). يتكون جزيء البيروول من أربع ذرات من الكربون وذرة نيتروجين مرتبة في حلقة خماسية. تحيط أربع حلقات من البيروول بذرة معدنية في الوسط مثل المغنيسيوم لتكوين الشكل الحلقي، وهو الهيكل البورفيريني (*porphyrin structure*). وترتبط بحلقات البيروول مجموعات كيميائية تميز أنماط الكلوروفيلات. من أكبر هذه المجموعات سلسلة من الهيدروكربون مكونة من (20) ذرة كربون يُطلق عليها الذيل الفيتولي (*phytol tail*)، والمرتبطة برابطة إسترية مع مجموعة البروبينايل (*propionyl group*). والكلوروفيلات جزيئات متنافرة مع الماء (*hydrophobic*). يساهم الذيل الفيتولي في ربط الكلوروفيل بالغشاء الثايلاكويدي في البلاستيدة الخضراء في النباتات. ويُظهر الشكل رقم (21) الصيغ الكيميائية لكلوروفيل أ وكلوروفيل ب، والاختلاف بينهما في مجموعة واحدة؛ هي مجموعة (CH_3) في كلوروفيل أ، ومجموعة (CHO) في كلوروفيل ب. تعرف الكيميائيون على أكثر من 1000 كلوروفيل مختلف وموجود طبيعياً (محمد بن حمد الوهبي، 2023).



الشكل 01: التركيب الكيميائي للكلوروفيل

3- تخليق الكلوروفيل:

تتم عملية تخليق الكلوروفيل بالكامل في الصانعات الخضراء، بحيث يشترك فيها خمسة عشر تفاعلاً إنزيمياً. مجموعة الجينات المشفرة لهذه الإنزيمات تم التعرف عليها منذ بضع سنوات فقط (Beek Eckhard et al., 1999). يمكن تقسيم مسار الكلوروفيل إلى ثلاث مراحل أساسية:

المرحلة الأولى: تتم هذه المرحلة في تسع خطوات، حيث تبدأ بحمض الجلوتامات (*Acide glutamate*) الذي يدخل في سلسلة من التفاعلات المختلفة للحصول على مركب يدعى Protoporphyrine 4، الذي يتكون من أربع وحدات من البيروول بدون اتحاد أي أيون.

المرحلة الثانية: وهي خاصة بتخليق الكلوروفيل، وتبدأ باتحاد أو تمخلب جزيء المغنيسيوم مع Protoporphyrine 4 لإنتاج جزيئة كلوروفيل A، والتي تتكون من أربع وحدات من البيروفرين تتوسطها جزيئة مغنيسيوم غير متأينة.

المرحلة الثالثة: يتم تحويل الكلوروفيل A إلى كلوروفيل B في وجود إنزيم CAO.

II- صبغة الكاروتينات:

1- تعريف الكاروتينات:

هي أصباغ طبيعية منتشرة في كل مكان، قابلة للذوبان في الدهون، وتنتج تصبغاً أصفر وأحمر وبرتقالياً. تشمل المصادر الطبيعية للكاروتينات النباتات، الطحالب الدقيقة، البكتيريا، والفطريات. بناءً على المجموعات الوظيفية، يمكن تقسيم الكاروتينات إلى فئتين:

- كاروتينات تحتوي فقط على سلسلة الهيدروكربون الأم، مثل ألفا-كاروتين، الليكوبين، والبيتا-كاروتين.
- زانثوفيلات تحتوي على الأكسجين كمجموعات وظيفية، مثل اللوتين والزياكسانثين.

تُدمر الأكسدة الكاروتينات، بينما يُعزز التزامر الهندسي نسبة أيزومرات Z. تنتمي الكاروتينات إلى فئة الدهون الإيزوبرينويدية، ويعتمد تكوين اللون على الروابط المزدوجة المترافقة بين ذرات الكربون في بنيتها الكيميائية. يشكل نظام الروابط الثنائية والأحادية المتناوبة نظاماً مترافقاً (Shilpa et al., 2020).

2- التركيب الكيميائي للكاروتينات:

يُلاحظ في الكائنات التي تبني الكاروتينات وجود عدد كبير من صبغات الكاروتين أو المركبات البادئة لها، وتُذكر ضمن الكاروتينات مثل زيتا كاروتين، البادئ لبيتاكاروتين. وقد يعود ذلك إلى أن التركيب الكيميائي عبارة عن سلسلة من الهيدروكربونات الأليفاتية غير المشبعة تنتهي في طرف بالحلقة المسماة بيتا (β -ring)، والطرف الآخر بالحلقة إبسيلون (ϵ -ring).

ويسمح مثل هذا التركيب الكيميائي بتكوين أيزومرات - أي أشكال مختلفة للمركب تتميز بالتماثل في نوع الذرات وعددها، والاختلاف من حيث الترتيب والخصائص - ومنها:

- ألفا كاروتين (α -carotene): يسمى حسب الحلقات β, ϵ -carotene.
- بيتا كاروتين (β -carotene): يحتوي على حلقتي بيتا (β, β -carotene).
- جاما كاروتين (γ -carotene): يحتوي على حلقة بيتا والطرف الآخر غير حلقي، ويُسمى β, ψ -carotene.
- دلتا كاروتين (δ -carotene): يحتوي على حلقة إبسيلون والطرف الآخر غير حلقي، ويُسمى ϵ, ψ -carotene.
- إبسيلون كاروتين (ϵ -carotene): يحتوي على حلقتين من نوع إبسيلون (ϵ, ϵ -carotene).

ومن أشهر الكاروتينات والمساهم كصبغة مساعدة في البناء الضوئي هو مركب بيتا كاروتين (β -carotene) (محمد بن حمد الوهبي, 2023).

3- التخليق الحيوي للكاروتينات

يحدث التخليق الجديد للكاروتينات في النباتات، وهي أصباغ أساسية للتمثيل الضوئي ومكونات مهمة للنظام الغذائي الصحي الروتيني كمصدر لمضادات الأكسدة والفيتامينات . تتراكم الكاروتينات في النباتات تحت ضغوط حيوية (بكتيرية وفطرية) وغير حيوية مختلفة مثل الملوحة العالية، والجفاف، وتقلبات درجات الحرارة، وندرة المعادن والعناصر الغذائية. تلعب المستقلبات الثانوية أدوارًا وقائية تساعد النباتات على مواجهة هذه الضغوط الحيوية وغير الحيوية في النباتات، يتم تصنيع الكاروتينات وتتراكم في البلاستيدات (Othman,R.,2009)، والتي تتميز بعد ذلك إلى البلاستيدات الخضراء، والبلاستيدات الكروموسومية. قام بعض المؤلفين بتصنيف البلاستيدات إلى: البلاستيدات البروبلاستيدية، والبلاستيدات النشوية، والبلاستيدات الخضراء، والبلاستيدات الكروموبلاستية , باستثناء بلاستيدات البروبلاستيدات، جميع الفئات البلاستيدات القادرة على إنتاج الكاروتينات (Li et al.,2016) يحدث تخليق الكاروتينات في النباتات والعديد من الكائنات الحية الدقيقة ، وهي ضرورية لعملية التمثيل الضوئي وإنتاج العديد من المركبات المهمة (Couso et al.,2012). تُشتق الكاروتينات من اثنين من متزامرات الإيزوبرين: ثنائي فوسفات إيزوبنتينيل (IPP) ومتماثله ثنائي ميثيل أليل ثنائي الفوسفات DMAPP (Lihtenthaler,2004)

بالنسبة لتخليق IPP، يوجد مساران موجودان في النباتات:

- مسار حمض الميفالونيك (MVA): يحدث في السيتوزول.
- مسار ميثيل إريثريتول 4-فوسفات (MEP): يحدث في البلاستيد .
- تتبع البكتيريا القديمة، والفطريات، والحيوانات أيضا مسار MVA السيتوبلازمي . في الخطوة الأولى من مسار MVA، تقوم جزيئين من أسيتيل CoA (سلائف حمض الميفالونيك) في وجود إنزيم HMG-CoA synthase لتخليق HMG-CoA (β -hydroxy- β -methylglutaryl-CoA) . بعد اختزاله بواسطة NADPH وبعد الإختزال HMG-CoA، فإنه يشكل حمض الميفالونيك ، باستخدام جزيئين من ATP، يتم تحويل حمض الميفالونيك إلى ميفالونات 5-فوسفات، ثم إلى ميفالونات 5-ثنائي الفوسفات بواسطة ميفالونات كيناز وفوسفو ميفالونات كيناز، على التوالي. علاوة

على ذلك تمت معالجة نزع الكربوكسيل بواسطة ميفالونات ثنائي فوسفات كربوكسيلاز لتكوين IPP [9]. وإزمرة IPP إلى تخليق DMAPP، وهو مستقبل لبقايا إيزوبنتينيل (Lihtenthaler, 2004).

علاوة على ذلك، تم تصنيع جيرانييل-PP (GPP, C10) عن طريق تكثيف كل من IPP و DMAPP بواسطة جيرانييل-PP سينثاز (ثنائي ميثيل أليل ترانسفيراز). يستمر التكثيف لجرانييل PP لتكوين جيرانييل جيرانييل ثنائي الفوسفات (GGPP, C20)، وهو السلف المباشر للترينينات والكاروتينات (Iriti et Faoro, 2009).

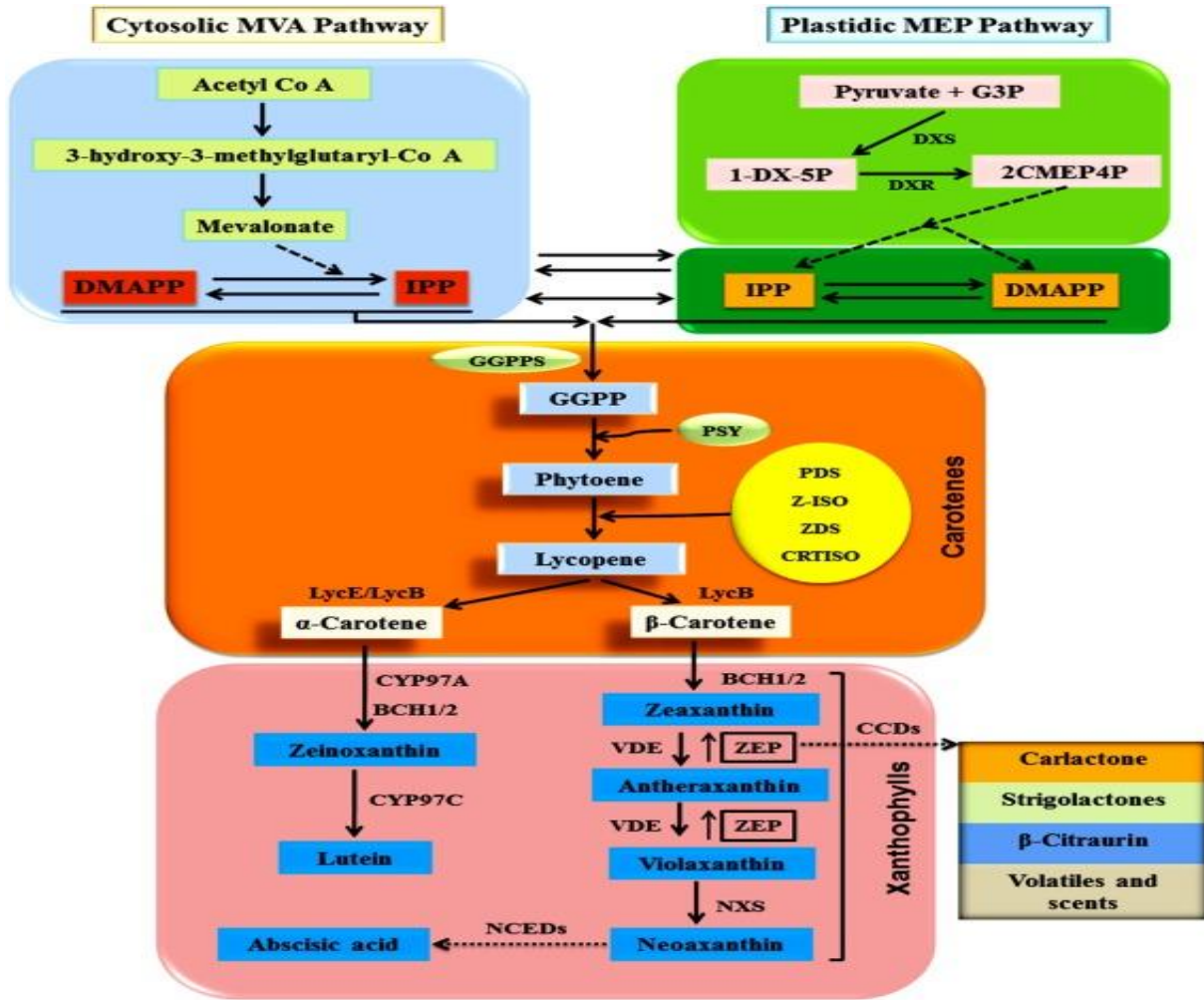
تم الإبلاغ عن مسار MEP في البكتيريا الحقيقية، والبكتيريا الضوئية، والبكتيريا الزرقاء، والطحالب الدقيقة، وطفيلي الملاريا المتصورة المنجلية وتمت تسميته حسب أول سلف له MEP (Rodriguez-Concepcion et Boronat, 2002). من خلال مسار MEP، يخضع كل من IPP و DMAPP للتخليق الحيوي للكاروتينات (في مسار MEP، يُستخدم 3-فوسفات غليسرالدهيد والبيروفات كركائز أولية لتكوين ديوكسي-د-زيلولوز 5-فوسفات (DXP) والذي يحفز إنزيم DXP سينثاز (DXS). يقوم إنزيم DXP ريدوكتوزوميراز (DXR) باختزال DXP إلى MEP. يمكن تعزيز إنتاج الكاروتينات عن طريق الإفراط في التعبير عن الإنزيمات التي تحدد المعدل. في التخليق الحيوي للأيزوبرينويدات المشتقة من MEP، تشارك بعض بروتينات الصدمة الحرارية مثل Hsp70 والمرافقين وبروتينين (J (J20)) في التعديل اللاحق للنسخ لنشاط DXS (Pulido et al., 2013).

بعد عدة خطوات، يتم تكوين IPP و DMAPP اللذين يخضعان لتفاعل تكثيف متسلسل لإنتاج GGPP. تتبع جزيئين من GGPP التكثيف المتسلسل وتتحول إلي فيتوين كمتزامر 15-سيس بواسطة فيتوين سينثاز (PSY) فيتوين هو كاروتين عديم اللون بسبب احتوائه على ثلاث روابط مزدوجة في قلب مركزي مترافق لسلسلة الهيدروكربون الخاصة به (Ruiz-Sola et Rodriguez-Concepcion, 2012). يعتبر PSY بمثابة الانزيم المحدد لسرعة في مسار تخليق الكاروتينويد. يحفز الفيتوين 15-سيس إلى رباعي سيس - ليكوبين بمساعدة الانزيمات التحفيزية فيتوين ديتاتريز (ZDS) عن طريق إدخال أربع روابط مزدوجة من خلال عملية إزالة الهيدروجين المتماثلة

يقوم الكاروتينويد بمزامرة (CRTISO) روابط سيس في المواقع 7 و 9 و 7 و 9' لتحويل رباعي سيس-ليكوبين إلى أول ترانس-ليكوبين. إن تحويل الليكوبين إلى شكل حلقي بواسطة بيتا سيكليز

الليكوبين (β -LCY) و ϵ سيكليز الليكوبين (ϵ -LCY) هو خطوة حيوية في أيض الكاروتينات وتتنوعها، والذي يتميز بالمجموعات النهائية الحلقية: مثل إضافة حلقة بيتا (β) أو حلقة إيسيلون (ϵ). يتم إنشاء حلقات بيتا وإيسيلون بواسطة بيتا و ϵ -LCY (Cunningham *et al.*, 1993).

يتم هيدروكسيل ألفا وبيتا كاروتين البرتقالي اللون في الفرع b,b بواسطة $\text{CHY}\epsilon$ و $\text{CHY}\beta$ ، على التوالي، لإنتاج الزياكسانثين الأصفر واللوتين الأصفر. يتم إيبوكسيديز الزياكسانثين لإنتاج فيولاكسانثين (Caliandro *et al.*, 2013)، ويمكن تحويله مرة أخرى إلى زياكسانثين بواسطة فيولاكسانثين دي-إيبوكسيديز من خلال تفاعل عكسي. دورات تحويل الزياكسانثين إلى فيولاكسانثين والعكس بالعكس ضرورية للغاية لتكيف النباتات مع ظروف الإضاءة المختلفة. الخطوة الأخيرة في التخليق الحيوي للكاروتينات هي تخليق النيوكسانثين بواسطة فيولاكسانثين بمساعدة نيوكسانثين سينثيز. يشق NCED (9-سيس-إيبوكسي كاروتينويد ديوكسيجيناز) 9-سيس-فيولاكسانثين و 9-سيس-نيوكسانثين إلى زانثوكسين، والذي يتم تعديله بعد ذلك إلى ABA (Neuman *et al.*, 2014).



الشكل 02: يوضح مسار تخليق الكاروتين

III- صبغة الأنثوسيانين:

1- تعريف الأنثوسيانين:

الأنثوسيانينات هي أصباغ قابلة للذوبان في الماء ضمن مجموعة الفلافونويدات، تُبرز ألوان النباتات الحمراء والأرجوانية والزرقاء، وتلعب دورًا محوريًا في تكاثر النباتات وآليات دفاعها. الأنثوسيانينات هي مشتقات مُغلّكة، أو متعددة الهيدروكسيل، أو متعددة الميثوكسي، من كاتيون الفلافيليوم^(4- C^{-}). يعتمد تكوين النباتات الملونة باللون الأحمر والأزرق والأرجواني على الروابط المترافقة للأنثوسيانين (Eker et al., 2020).

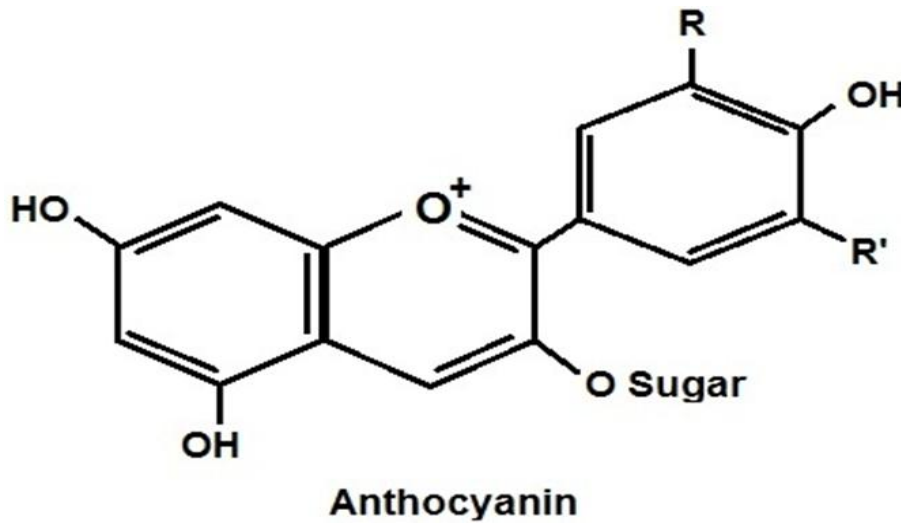
2- التركيب الكيميائي للأنثوسيانين

تنتمي الأنثوسيانينات إلى مجموعة الفلافونويدات من المركبات الفينولية. البنية الأساسية لنواتها الأم هي كاتيون 2-فينيل بنزوبيران مترافق للغاية. تتصل حلقتا البنزين بثلاث ذرات كربون لتشكيل هيكل

C6-C3-C6، وهو هيكل الأنثوسيانين. يؤدي وجود بدائل متبادلة على مواقع الكربون في حلقتي البنزين إلى تكوين أنثوسيانيدينات ذات هياكل متنوعة؛ الأنواع الستة الأكثر شيوعًا هي: السيانيدين، والبيلاجونين، والدلفينيدين، والفيونيدين، والبيتونيدين، والمالفيدين.

الأنثوسيانيدين الحر نادر في الظروف الطبيعية، وغالبًا ما يوجد على شكل جليكوسيدات في الفواكه. عادةً ما يُدمج الأنثوسيانيدين مع جزء واحد أو أكثر من الجلوكوز، أو الجالاكتوز، أو الأرابينوز، أو الرامنوز لتكوين الأنثوسيانين من خلال الروابط الجليكوسيدية. علاوة على ذلك، يمكن للروابط الجليكوسيدية في الأنثوسيانين أيضًا تكوين أنثوسيانين مؤكسد مع حمض عضوي لجزء واحد أو أكثر من خلال الروابط الإسترية. تُستَر مشتقات الجليكوزيل بالأحماض العطرية أو الدهنية.

تُعدُّ اختلافات أعداد الاستبدالات، ومواقع الهيدروكسيل على الحلقات المختلفة، وأنماط الميثيل، وعدد مواقع الجليكوزيل، هي الاختلافات الرئيسية المسؤولة عن اختلاف التركيبات الكيميائية وألوان الأنثوسيانيدين الموجودة في الطبيعة.



الشكل 03: يوضح التركيب الكيميائي للأنثوسيانين

3- تخليق الأنثوسيانين

❖ المرحلة الأولى:

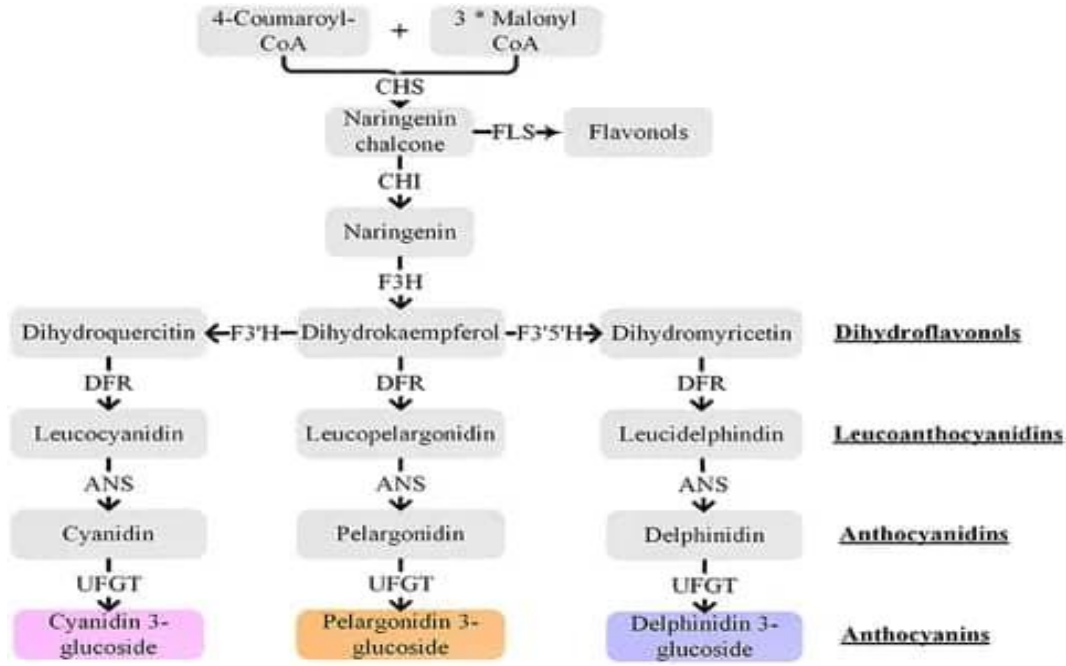
يُحفَّز فينيل ألانين بواسطة فينيل ألانين أمونيا لياز (PAL)، وسينامات 4-هيدروكسيلاز (C4H)، و4-كوماريل-CoA ليغاز (CL4) لإنتاج (كوماريل-CoA) CoA. هذه المرحلة شائعة في أيض الفلافونويد (Hichri *et al.*, 2011).

❖ المرحلة الثانية:

يتم تحفيز Coumaryl CoA بواسطة (Chalcone synthase CHS) لإنتاج malonyl CoA وChalcone، يليه تفاعل إنزيمي يحفزه CHI (Chalcone isomerase) لتكوين trihydroxyflavanones، والتي يتم هيدروكسيليها بعد ذلك بواسطة flavanone-3-hydroxylase (F3H) لتكوين dihydroflavanol. يتم تحفيز ثنائي هيدرو فلافونول بواسطة إنزيمات مختلفة لإنتاج مواد مختلفة، بعضها يقوم بهيدروكسيل موقع 3' من الحلقة B إلى ثنائي هيدروكيرسيتين، وهو المادة السابقة للسيانيدين، من خلال الفلافونويد 3'-هيدروكسيلاز (F3'H)، وبعضها يقوم بهيدروكسيل موقع 3' من خلال الفلافونويد 3، 5'-هيدروكسيلاز (F3'5'H) الذي يقوم بهيدروكسيل موقع 3، 5' من الحلقة B لإنتاج ثنائي هيدروميريسيفلافون، المادة السابقة للدلفينين (Holton et Cornish, 1995).

❖ المرحلة الثالثة:

يُحفَّز ثنائي هيدرو فلافونول، وثنائي هيدروكيرسيتين، وثنائي هيدروميريسيتين بواسطة إنزيم اختزال ثنائي هيدرو فلافونول (DFR) لإنتاج جيرانين عديم اللون، وستنافيرين عديم اللون، ودلفينين عديم اللون. ثم تُحفَّز جليكوسيدات الأنثوسيانين عديمة اللون بواسطة إنزيم سينتاز الأنثوسيانين (ANS) لإنتاج دلفينيدين، وبيلاجونين، وسيانيدين ملونين. بعد ذلك، ويتأثر جلوكوزيد UDP: يتكون إنزيم جلوكوزيل ترانسفيراز الفلافونويد (UFGT)، ودلفينيدين-3-جلوكوزيد، وبيلاجونين-3-جلوكوزيد، وسيانيدين-3-جلوكوزيد. يخضع كل من السيانيدين والدلفينيدين لدرجات مختلفة من الميثوكسيلة لتكوين بايونيفلورين، والبتونيا، والمالفاسين. وأخيراً، يتم نقل الأنثوسيانين إلى فجوات الخلايا النباتية لتخزينها بواسطة GST (Al Sane et Hesham, 2015).

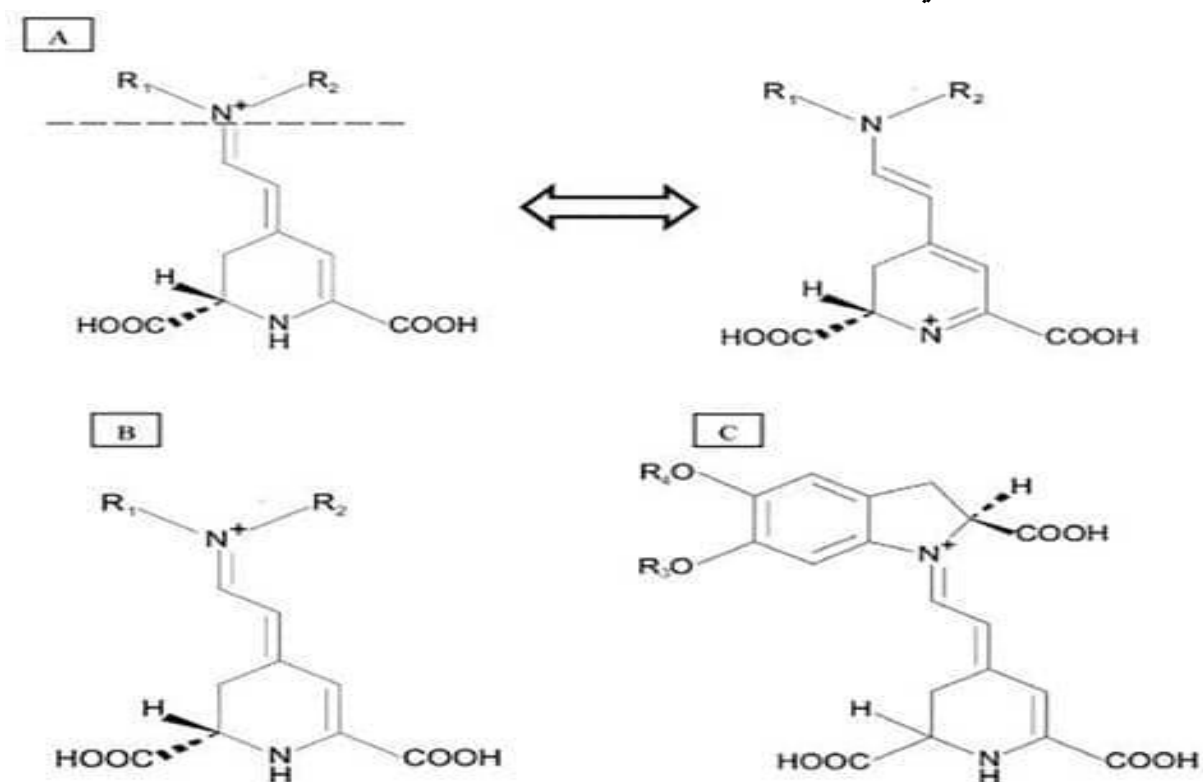


الشكل 04: يوضح مسار تخليق الانثوسيانين

IV- البيتاينات:

البيتاينات هي أصباغ نباتية نيتروجينية قابلة للذوبان في الماء، مشتقة من التيروزين، وتتكون من حمض بيتالاميك [4-(2-أوكسوثيلايدين)-1،2،3،4-رباعي هيدروبيريدين-6،2-ثنائي الكربوكسيل]. يمكن تصنيف البيتاينات إلى فئتين رئيسيتين: بيتاكسانثين أصفر-برتقالي وبيتاسيانين أحمر-بنفسجي. توجد البيتاينات في الأجزاء الصالحة للأكل من النباتات، وفي الأوراق والأزهار والسيقان. يُعد البيتاين البيتاسيانين الأكثر انتشارًا بين النباتات، ويُعدّ البنجر الأحمر المصدر الأكثر شيوعًا له. يوجد الفولجاكسانثين والإنديكاكسانثين في البنجر الأصفر ونبات الصبار. بناءً على نسبة الصبغة، يُنتج وجود البيتاكسانثين والبيتاسيانين معًا في أجزاء متشابهة من النبات لونًا برتقاليًا إلى أحمر. تُظهر البيتاينات والبيتاكسانثينات أقصى امتصاصية متمركزة عند أطوال موجية $\lambda m = 536$ نانومتر و $\lambda m = 480$ نانومتر على التوالي. في البيتاينات، سُجّلت حالات جليكوزيلية وأسيلية لمجموعات الهيدروكسيل، بينما لم يُلاحظ أي جليكوزيلية في البيتاكسانثينات (Hussain et al., 2018).

1- تركيب الكميائي للبيتالين



الشكل 05: يوضح التركيب الكميائي للبيتالين

(Francisco et al.,2003)

- (a) - البنية العامة للبيتالين
- (b) - البنية العامة للبيتاسيانين
- (c) - البنية العامة للبيتاكزانثين

الفصل الثاني: فزيولوجيا الصبغات

I- الكلوروفيل

1- الكلوروفيل في إنتاج الهيدروجين:

تُعدّ خاصية الكلوروفيل في جمع الطاقة الضوئية وحفظها في صورة قابلة للتخزين ذات أهمية خاصة للعلماء. ومن الطرق الميسّرة جدًّا لتخزين الطاقة، تحويل الطاقة الضوئية إلى وقود كيميائي. ويُعدّ الهيدروجين أحد أشكال الطاقة المتجددة والنظيفة الواعدة التي تحظى باهتمام خاص. وفي هذا الصدد، صدرت مؤخرًا العديد من تقارير إثبات المفهوم، حيث صُممت تقنية الكلوروفيل أو تقنية الكلوروفيل المركزية لتسخير الطاقة الضوئية.

نشر (Amao et al., 2002) تقارير متعددة عن إنتاج غاز الهيدروجين. في أحد تقاريرهم، وصفوا إنتاج H_2 المستحث بالضوء باستخدام الكلوروفيل أ والتحلل الأنزيمي للسليولوز (Himeshima et Amao, 2002). وأفادوا بإنتاج غاز الهيدروجين من محلول يحتوي على ميثيل السليولوز، وعامل مساعد NAD^+ ، وإنزيمات السليولوز والجلوكوز ديهيدروجينيز، وميثيل فيولوجين (كاشف نقل الإلكترون)، والكلوروفيل أ، والبلاتين الغرواني كمحفز.

مع الحفاظ على نفس النظام، استخدموا في تقرير آخر د-مالتوز بدلاً من السليولوز، وإنزيم الجلوكوز أميليز بدلاً من الجلوكوز ديهيدروجينيز (Tomonou et Amao, 2002). في تقرير آخر من هذه المجموعة، وُصف إنتاج H_2 من $NADH^+$ باستخدام الكلوروفيل أ المشتق من سبيرولينا (Himeshima et Amao, 2002).

2- الحصاد الضوئي بواسطة الكلوروفيل:

هناك العديد من أنواع جزيئات الكلوروفيل المختلفة التي تم تحديدها (Humphrey, A.M, 1980) من بينها الكلوروفيل أ ، والكلوروفيل ب ، واللوتين والكاروتين ، وهي العناصر الرئيسية في تفاعل الضوء (Kuhprandt, 1984). كيميائيًا، يحتوي كل من الكلوروفيل أ والكلوروفيل ب على بنية مستوية متعددة الحلقات غير متجانسة مع أيون Mg^{2+} مركزي يشترك في روابط إحدائية مع ذرات النيتروجين الموجهة للداخل (Mauzerall, 1977). يحتوي الكلوروفيل ب على مجموعة ألدهيدية ($-CHO$) في الحلقة الثانية بدلاً من مجموعة ميثيل ($-CH_3$) الموجودة في الكلوروفيل (Fleming, 1967). تحتوي جميع جزيئات الكلوروفيل على ذيل فيتول طويل مرتبط من خلال رابطة إستر (Lam et al., 1984). تحتوي الحلقة غير المتجانسة على عدة روابط مزدوجة متناوبة

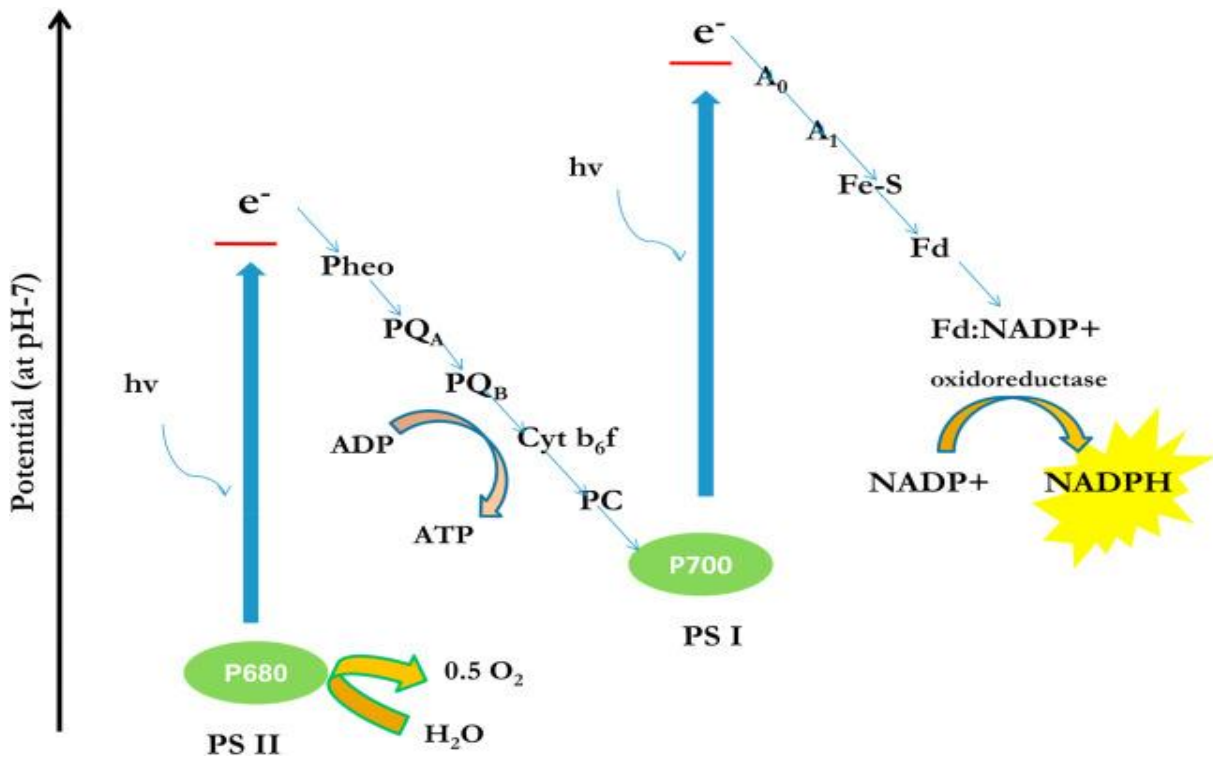
مع روابط أحادية. تُرود الروابط المزدوجة إلكترونات باي التي تتفاعل مع الموجات الكهرومغناطيسية ونظرًا لوجود بنية البوليين (نظام عدم التشبع)، تُظهر الجزيئات طيف امتصاص في المنطقة المرئية (Humphrey, A.M, 2004).

يستطيع الكلوروفيل امتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية من طرفي الطيف المرئي، أي من المنطقة الزرقاء والحمراء. ويبعثر الطول الموجي للمنطقة الخضراء، مما يجعله أخضر اللون. ومن المثير للاهتمام أن جميع جزيئات الكلوروفيل تستطيع امتصاص الطاقة الكهرومغناطيسية ذات طول موجي معين، لكن عددًا قليلًا منها فقط يستطيع تحويل هذه الطاقة إلى طاقة كيميائية. (Bassi, Dainese, 1992)، وتسمى تلك الجزيئات غير القادرة على التفاعل الضوئي الكيميائي بالجزيئات الإضافية. وبالتالي يتم تنظيم أنواع مختلفة من جزيئات الكلوروفيل وجزيئات الصبغة الإضافية في مصفوفات خاصة تسمى الأنظمة الضوئية (Keuril et al., 2005).

في النظام الضوئي، تسما الجزيئات المسؤولة عن امتصاص طاقة الضوء بجزيئات حصاد الضوء أو جزيئات الهوائي (Armond et al., 1977). ولا تمتص هذه الجزيئات طاقة الضوء فحسب، بل تنقل الطاقة أيضًا إلى مراكز التفاعل (Fromme et al., 2001). بناءً على مراكز التفاعل، تم تحديد نوعين من الأنظمة الضوئية في النباتات. تم تعيين هذه الأنظمة على أنها النظام الضوئي الأول (PS I) والنظام الضوئي الثاني (PS II) (Golpeck et Bryamt, 1991) تم تعيين مراكز تفاعل PS I و PS II على أنها P680 و P700 على التوالي بناءً على طول موجة الإثارة الخاصة بهما (Nelson et al., 2008). يقوم المركزان بتفاعلين مختلفين ويعملان جنبًا إلى جنب لأكسدة الماء ونقل الإلكترون لتقليل NADP⁺ (NADP + المؤكسد) في النهاية إلى NADPH وهو المنتج النهائي لتفاعل الضوء في عملية التمثيل الضوئي، يتم تحقيق العملية بأكملها من خلال اللعب المتزامن للنظامين الضوئيين المعروفين باسم مخطط (Butler et Kitajima, 1975) لعملية التمثيل الضوئي باختصار عند إثارة P680، ينتقل الإلكترون من حالة الاستقرار إلى الحالة المثارة. يفقد حالته المثارة، ثم يُحمل بسرعة بواسطة عدد من الجزيئات الأخرى واحدة تلو الأخرى. يخرج الإلكترون أخيرًا من PSII من السيتوكروم b6f إنالبلاستوسيانين. يتفاعل البلاستوسيانين المختزل مع مركز تفاعل PSI. يتم تجديد الإلكترون المفقود لـ P680 عن طريق التحلل الضوئي للماء. يصل الإلكترون في النهاية إلى مركز تفاعل PS I أي P700. عند الإثارة الضوئية لـ P700 من PSI، يقفز الإلكترون إلى المستوى المثار الأعلى ثم مثل PSII يحمله عدد من الجزيئات التي تؤكد إحداها الأخرى على التوالي. يحيد P700 نفسه عن طريق أكسدة البلاستوسيانين

من PSII. يصل الإلكترون أخيرًا إلى الناقل الإلكتروني الرابع لـ PSI وهو فيريدوكسين الفلافوبروتين :
 + NADP أو أكسيدوريديوكتاز . ينقل هذا الإنزيم الإلكترون أخيرًا عن طريق اختزال جزيئات NADP
 إلى +NADPH (Prettel et Leeb1,2001) هو المنتج النهائي لتفاعل الضوء في عملية
 التمثيل الضوئي ويتم استخدامه لاستيعاب الكربون في تفاعلات الطور المظلم

(Nelson. *et al.*,2008). وبناءً على هذا الفهم لعملية تفاعل الضوء وتنظيم جزيئات الكلوروفيل
 المختلفة والوظائف المتوافقة لكل من الجزيئات الأخرى المعنية، ابتكر العلماء والمهندسون استراتيجيات
 متعددة لاستغلال جزيئات الكلوروفيل في تطبيقات مختلفة ومتنوعة.



الشكل 06: عملية التمثيل الضوئي

3- الكلوروفيل كمادة حيوية

نظرًا لكونه أهم صبغة للنباتات، يلعب الكلوروفيل دور إكسير عملية التمثيل الضوئي، وبالتالي،
 يوفر الغذاء للمملكة الحية بأكملها في المحيط الحيوي. إلى جانب ذلك، يمكن أيضًا استخدام الكلوروفيل
 في تطبيقات أخرى مختلفة. إن تفاعل الكلوروفيل مع الطيف المرئي للإشعاع الكهرومغناطيسي يجعله
 مفيدًا جدًا للدراسات والتطبيقات الطيفية . أفاد تانوسكي وآخرون عن تأثير الليزر لجزيئات الكلوروفيل
 المشتقة من النباتات في قطرات دقيقة عندما يساعدها داخل الدهون (Tanosaki *et al.*, 1996). أن

الكلوروفيل أ له نطاقات انبعاث ليزر ثنائية واحدة عند 680 نانومتر والأخرى عند 730 نانومتر. كما لاحظوا أن شدة أحد النطاقين تؤثر على شدة الآخر حيث وجدوا أن وجود نطاق 680 نانومتر يقلل بشكل كبير من نطاق 730 نانومتر. علاوةً على ذلك، استخدموا تقنية نقل طاقة رنين فورستر (FRET) لتحقيق تحول جذري في الطول الموجي قدره 380 نانومتر. ويمكن أن تُفيد نتائجهم في تطبيقات متنوعة تشمل ليزر الكلوروفيل القائم على الدراسات المختبرية والحيوية، والاستشعار الحيوي البصري (Chen et al.,2016).

كما تم تحديد الخلايا الحية التي تحتوي على الكلوروفيل كمادة حيوية محتملة حيث يتم استغلال نشاط جزيئات الكلوروفيل لبعض التطبيقات المحددة. فحص SM Bengston Nash ومجموعته حساسية تسعة أنواع مختلفة من الطحالب لأربعة مواد كيميائية سامة ملوثة للمياه (Bengtson Nash et al.,2005). تحتوي الطحالب الخضراء المستخدمة على الكلوروفيل. تعرض النظام الضوئي الثاني لهذه الخلايا للاستجابة لمبيدات الأعشاب. كان العائد الكمي المتغير لنظام PSII هو مقياس حساسية هذا النوع المعين تجاه مبيد أعشاب معين. أظهر *Pheodactylum tricorutum*، إلى جانب ثلاثة أنواع أخرى، حساسية أعلى. استخدموا هذا النوع لمراقبة مستويات مبيدات الأعشاب في عينات المياه.

يمكن أن يعمل الكلوروفيل أيضًا كعلامة حيوية مفترضة لحالات صحة النبات. وقد ثبت أنه يمكن اكتشاف مثبطات التمثيل الضوئي وتقديرها بدقة عالية باستخدام نشاط الكلوروفيل على وجه الخصوص، من خلال مراقبة تثبيط (PSII) (Nelson. et al.,2008). وتشمل هذه الاختبارات العديد من اختبارات نمو الطحالب واختبارات الفلورسنت لجزيئات الكلوروفيل. وهذا، في الواقع، يمكن أن يعني أيضًا أن النشاط الضوئي لخلايا الطحالب يتم تعديله باستخدام هذه المواد الكيميائية وبالتالي يكون جانبًا تشخيصيًا للحالة الفسيولوجية للنبات. يمكن فحص السمية الفسيولوجية للنبات بسبب مبيد الأعشاب من خلال مراقبة مستوى الفلورسنت للكلوروفيل في الجسم الحي. اكتشفت باتريشيا فاي ومجموعتها السمية الفسيولوجية لمبيدات الأعشاب المثبطة لعملية التمثيل الضوئي من خلال ملاحظة فلورسنت الكلوروفيل عند 684 و735 نانومتر (Fai. et al.,2007).

II- الكاروتين :

1- كمضاد للأكسدة وفي قمع الأمراض

المجموعات الكاروتينية من الصبغات موجودة في كل مكان في الطبيعة وتلعب دوراً مهماً للغاية في حماية النبات من عملية الأكسدة الضوئية. في الآونة الأخيرة، زاد الاهتمام بهذه المجموعة من الصبغات بشأن التعرف على وظيفتها، وخاصة كمضادات للأكسدة. المكون الهيكلي الداخلي للكاروتينات هو قاعدة بولين تتكون من سلسلة مترابطة مزدوجة الروابط C C المترافقة. هذا المكون الدقيق مسؤول بشكل أساسي عن كل من خصائص الصبغ والقدرة على التقاط الأكسجين الجزيئي المفرد ويتفاعل مع الجذور الحرة للأكسجين وبالتالي يعمل كمضادات أكسدة فعالة (Meena et al.,2017). تلعب هذه الجذور الحرة للأكسجين دوراً مهماً في التسبب في الالتهاب وإصابة الأنسجة المرتبطة بالإجهاد . يؤدي القلق بين الآليات الوقائية والضارة إلى التهاب شديد مكمل بتسلل العدلات . يمكن للكاروتينات أن تقلل الجذور النشطة عن طريق تحريك الإلكترونات نحو ذرات الهيدروجين إلى الجذور أو نسبها إلى الجذور (Mittal et al.,2014).

2- الحصاد الخفيف في عملية التركيب الضوئي:

في عملية البناء الضوئي، تمتص الكاروتينات طاقة الضوء كصبغات هوائي إضافية في المنطقة الزرقاء-الخضراء من نطاق الطيف الشمسي بين 400-550 نانومتر. تمتص جزيئات الكاروتينات الأشعة فوق البنفسجية وتحصل على إثارات من حالتها الأرضية الإلكترونية (S0) إلى الحالة الأحادية المثارة (Car*1). ومن المميزات أنه يمكن تفسير تفسير الفيزياء الضوئية للكاروتينات من حيث حالتين أحاديتين منخفضتين ومثارتين، S2 و S1. في هذه العملية، يُسمح بالانتقال بواسطة فوتون واحد من الحالة الأرضية إلى S2. تتحول طاقة S2 داخلياً إلى S1 عن طريق إطلاق الطاقة الزائدة في شكل حرارة (Frank et Cogdell,1996) ، ثم تتحلل من S1 إلى S0. تنتقل طاقة كل من المستويين S1 و S2 إلى الكلوروفيل المجاور (Chl) بواسطة الكاروتينات وتصل إلى الحالة المثارة الأحادية (Chl1*)، وتسمى هذه الظاهرة بنقل طاقة الأحادية-الأحادية (2) وتختلف كفاءتها الكلية من كائن حي إلى آخر. (Meena, et al.,2017) أن نقل الطاقة بين حالة جزيء الأحادية-الأحادية يعتمد على معقد الهوائي، فقد يكون من S1 إلى الحالة المثارة الأحادية (ChlQy) أو من S2 إلى الحالة المثارة الأحادية ((ChlQx Ritz,et al.,2000))، فإن مسارات نقل الطاقة هذه هي العملية النشطة. يتم توجيه الكاروتينات في الكلوروفيل في تكوينات محددة تهدف إلى احتجاز طاقة الأحادية الأكثر ملاءمة

والإطلاق الفعال للطاقة المثيرة مع فقدان أقل قدر من الطاقة (Macpherson, *et al.*, 2001). يتم استخدام طاقة الإثارة لتحفيز فصل الشحنات ونقل الطاقة نحو RC. وقد حدثت هذه الآليات في مجمع حصاد الضوء

3- الحماية من أشعة الشمس

يمكن أن يؤدي الضوء الزائد إلى إنتاج أنواع أكسجين تفاعلية (Reactive Oxygen Species) ROS في البلاستيدات الخضراء، والتي قد تكون ضارة لعملية التمثيل الضوئي (Horton *et al.*, 1996). تمتص الكلوروفيلات الضوء الزائد وتنتج حالة الكلوروفيل المثارة الثلاثية ($^3\text{Chl}^*$)، والتي يمكن أن تتفاعل مع جزيئات الأكسجين (O_2) لتكوين الأكسجين المثار الأحادي ($^1\text{O}_2$)، وهو أحد ROS الرئيسية التي تنتج في مركبات PSII وتشارك في أكسدة الدهون والبروتينات والأصباغ، مسببة الضرر الضوئي التأكسدي الذي قد يثبط التمثيل الضوئي ويؤدي إلى التبييض الضوئي (Havaux *et al.*, 1996).

تعمل الكاروتينات بطريقتين لحماية البلاستيدات الخضراء: أولاً بإخماد حالة الكلوروفيل المثارة الثلاثية ($^3\text{Chl}^*$)، وثانياً بإخماد الأكسجين المثار الأحادي (O_2^1) مباشرة (Farmilo & Wilkinson, 1973). تتميز الحالة الثلاثية للكاروتينويد ($^3\text{Car}^*$) بطاقة منخفضة بما يكفي لإخماد $^3\text{Chl}^*$ و O_2^1 بكفاءة، مما يوفر حماية ضد الضرر الضوئي التأكسدي (Polivka & Sundström, 2004).

III- الأنتوسيانين:

1- إجهاد الجفاف

يزيد الجفاف من مستوى ROS ويحفز الإجهاد التأكسدي الذي له تأثير سلبي كبير على نمو النبات وتطوره. يتم تنظيم مسار الفينيل بروبانويد بشكل تصاعدي عادةً تحت ضغط الجفاف، مما يؤدي إلى زيادة تراكم الأنتوسيانين (Ithal, 2007a ; Castellarin *et al.*, 2007b ; Castellarin *et al.*, 2004). كشف التحليل النسخي والأبضي أن محتوى الأنتوسيانين يزداد تحت ضغط الجفاف في *A. thaliana* وأن تراكم الأنتوسيانين المعزز يقلل من مستويات ROS تحت الجفاف (Nakabayashi *et al.*, 2014). علاوة على ذلك، تم تحديد UGT79B2 و UGT79B3 على أنهما ناقلان للأنتوسيانين رامنوز ينظمهما CBF1 في *A. thaliana*، مما قد يحسن تحمل إجهاد الجفاف من خلال تنظيم تراكم الأنتوسيانين (Li *et al.*, 2017). من الجدير بالذكر أن الهرمون النباتي ABA يلعب دوراً حاسماً في تخليق الأنتوسيانين تحت ضغط الجفاف (González-Villagra *et al.*, 2019). وقد

وجدت الدراسات السابقة حول تحمل الجفاف أن النباتات المعدلة وراثيًا ذات المحتوى الأعلى من الأنتوسيانين تتمتع بمقاومة أكبر للجفاف من النباتات البرية، مما يشير إلى أن تراكم الأنتوسيانين يرتبط ارتباطاً إيجابياً بمقاومة الجفاف في نبات *Arabidopsis* والتبغ والطماطم

(; Nakabayashi *et al.*, 2014 ; Naing *et al.*, 2017 ; Waseem *et al.*, 2019)

(Cirillo *et al.*, 2021 ; Xiang *et al.*, 2021). على سبيل المثال، يؤدي الإفراط في التعبير عن عامل النسخ الموجود في نبات أنف العجل إلى زيادة تراكم الأنتوسيانين في الأنسجة النباتية، كما أن زيادة تراكم الأنتوسيانين في النباتات المعدلة وراثيًا تعزز قدرة مضادات الأكسدة ومحتوى الماء النسبي، ولكنها تقلل من بيروكسيد الدهون في الأوراق، مما يؤدي إلى تحسين تحمل الإجهاد الناتج عن الجفاف

(Naing *et al.*, 2017). وبالنظر إلى هذه الدراسات مجتمعة، فإنها تؤكد وجود ارتباط وثيق بين إنتاج

الأنتوسيانين وتحمل الجفاف في النباتات (Naing *et al.*, 2021).

2- الإجهاد الملحي

يؤثر إجهاد ملح التربة سلبًا بشكل كبير على نفاذية غشاء الخلية النباتية، والتمثيل الضوئي، والتنفس، والنمو، والإنتاجية (Kim *et al.*, 2022). ويسبب جفافاً فسيولوجياً في النباتات، ويمنع امتصاص العناصر الغذائية المعدنية الأساسية، ويعطل التوازن الديناميكي لـ K^+ و Na^+ في الأوراق الجديدة والقديمة (Ismail *et al.*, 2017). كما يحفز إجهاد الملح إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية، مما يؤثر سلباً على محتوى الكلوروفيل ومعدل التمثيل الضوئي (Kim *et al.*, 2022). والجدير بالذكر أن محتوى الأنتوسيانين في *Eremochloa ophiuroides* ذات البشرة السمكية الأرجوانية قد زاد بشكل كبير بسبب إجهاد الملح، كما زاد النمط الجيني للبشرة الأرجوانية من مقاومة الملح مقارنة بالنمط الجيني للبشرة الخضراء (Li *et al.*, 2018). وتحت إجهاد الملح، ارتبط تراكم المادة الجافة الأعلى بشكل إيجابي بمحتوى الأنتوسيانين الأعلى في القمح (Mabarki *et al.*, 2018).

في نبات *A. thaliana*، يعزز تراكم الأنتوسيانين العالي في *PAP1-D/fls1ko* تحمل نقص النترات والبيئات عالية الملوحة، بينما *ttg1* ذات مسارات تخليق الأنتوسيانين المعطلة تُظهر تحملاً ضعيفاً للإجهاد الملحي، مما يشير إلى أن مستويات الأنتوسيانين العالية تساعد النباتات على التعامل مع الملوحة تحت ضغط النيتروجين المنخفض (Truong *et al.*, 2018). يثبط MYB3، الموجود في النواة، نسخ الجينات المشاركة في تراكم اللجنين والأنتوسيانين في نبات *A. thaliana* استجابةً للإجهاد

الملحي. وقد تم التحقق من صحة العديد من عوامل النسخ، مثل عامل تنظيم الأنثوسيانين MYB3 (Transparent Testa 8 (TT8) ومعزز Glabra 3 (EGL3)، كبروتينات متفاعلة مع MYB3 (Kim et al., 2022).

على عكس MYB3، يتم تنظيم التعبير عن MYB112 بشكل تصاعدي عن طريق الملوحة والإجهاد الضوئي القوي، وهو منظم إيجابي لتكوين الأنثوسيانين (Lotkowska et al., 2015). يُعد المحتوى العالي من الأنثوسيانين في النباتات سمة فسيولوجية حاسمة محتملة تعزز تحمل النبات للإجهاد الملحي (Naing et Kim, 2021).

في نباتات *Brassica napus* المعدلة وراثيًا التي تُفرد في التعبير عن AtDFR، زاد مستوى النسخ DFR ومحتوى الأنثوسيانين بشكل كبير، مما عزز بشكل ملحوظ تحمل النباتات المعدلة وراثيًا للإجهاد الملحي (Kim et al., 2017). الإفراط في التعبير عن VvMYBA6، عامل النسخ المستخلص من *Vitis vinifera*، في نبات *Arabidopsis thaliana*، زاد من مستوى التعبير الجيني للجينات المشاركة في تخليق الأنثوسيانين تحت ضغط الملح، وحسّن من قدرة نبات *Arabidopsis* المعدل وراثيًا على تحمل الملح (Sun et al., 2017).

ومع ذلك، بالنسبة لبعض النباتات المقاومة للملوحة، لا تتطلب مستويات الأنثوسيانين العالية أحيانًا مقاومة ضغط الملح. والحقيقة أن النباتات المقاومة للملوحة قد تمتلك آليات دفاعية أخرى مضادة للأكسدة، والتي قد تلعب دورًا رئيسيًا في تحمل الملح (Naing et Kim, 2021).

3- إجهاد النيتروجين

النيتروجين هو أحد العناصر الأساسية لجميع الكائنات الحية. النيتروجين مهم جدًا أيضًا لنمو النبات وتطوره لأنه يشارك في عمليات التمثيل الغذائي المختلفة في النباتات. يؤثر نقص النيتروجين على تخليق الكلوروفيل وكفاءة التمثيل الضوئي، مما يثبط نمو النبات وتطوره (Lian et al., 2006). والأهم من ذلك، أن تراكم الأنثوسيانين يساعد النباتات على التكيف مع إجهاد النيتروجين المنخفض.

في ظل إجهاد النيتروجين المنخفض، أظهرت الطفرات tt3 التي تعاني من نقص DFR في *A. thaliana* معدل بقاء أقل بكثير من النوع البري، مما يشير إلى أن خللاً في مسار التمثيل الغذائي للأنثوسيانين أضعف مقاومة النبات لإجهاد النيتروجين المنخفض (Liang et He, 2018). يؤدي انخفاض إجهاد النيتروجين إلى تحفيز التعبير عن جين بروتين كيناز 9 المنشط بالميتوجين (MKK9)

في *A. thaliana*، كما أن التنشيط التكويني لـ MKK9 في الشتلات المعدلة وراثيًا يثبط التعبير عن جين التخليق الحيوي للأنثوسيانين وتراكم الأنثوسيانين؛ ومع ذلك، فإن تنشيط MKK9 يحفز نسخ الجينات المستجيبة للنيتروجين ومحتوى النيتروجين (Luo *et al.*, 2017).

في التفاح (*M. domestica*)، يُعد MdATG18a بروتينًا مهمًا في مسار الالتهام الذاتي (AuTophagy - ATG). أدى الإفراط في التعبير عن MdATG18a إلى زيادة التخليق الحيوي للأنثوسيانين والتعبير عن الجينات التنظيمية MdCHI و MdCHS و MdANS و MdPAL و MdMYB1 و MdUFGT، مما زاد من تركيز السكر القابل للذوبان، وعزز تراكم الأنثوسيانين. علاوة على ذلك، فإن الإفراط في التعبير عن MdATG18a عزز التحمل لظروف النيتروجين المنخفض وعزز تخليق الأنثوسيانين من خلال نشاط الالتهام الذاتي الأقوى (Sun *et al.*, 2018).

كشفت (Zhang *et al.*, 2017) أن DELLA هو عامل تنظيمي مهم يحفز إنتاج الأنثوسيانين في ظل ظروف النيتروجين المنخفض. من خلال التفاعل مع PAP1، يزيد DELLA من النشاط النسخي لـ PAP1 على جيناته المستهدفة، ويعزز نسخ جينات تخليق الأنثوسيانين F3'H و DFR، وبالتالي يُحسن مقاومة *A. thaliana* لظروف النيتروجين المنخفض (Zhang *et al.*, 2017).

تثبت هذه الدراسات بوضوح أن الأنثوسيانين يشارك في استجابة النبات لضغط النيتروجين المنخفض.

4- وصف لنبات البنجر الأحمر :

البنجر نبات ثنائي الحول، في السنة الأولى يطور جسم جزرة ووردة، ثم بعد الخمول الشتوي، تظهر ساق البذرة والزهرة في العام التالي، تليها البذرة. يمكن أن تتنوع الأوراق العارية والبسيطة واللامعة في اللون من الأخضر الداكن إلى الأحمر الداكن. يعتمد طول العنق ومحتوى اللون بشكل كبير على الصنف المزروع. يُلاحظ العنق الأرق والأرجواني الداكن في الأصناف ذات الأوراق الأصغر، بينما تكون أعناق النباتات ذات الأوراق الأطول أكثر سمكًا ولونها برتقالي مع خطوط أرجوانية. يتطور الساق الناعم الزاوي والمتفرع في السنة الثانية حيث يوجد نورة متكئة. الزهور ذات الخمس بتلات صغيرة، ثنائية المصراع، لكن الأسدية تنضج قبل المدقة، لذا فهي ملقحات أجنبية، لذلك يتم الإخصاب عن طريق الرياح

والحشرات على التوالي. تحتفظ البذور بقدرتها على الإنبات لمدة 3-4 سنوات، وفي ظل ظروف مواتية لمدة تصل إلى 8-10 سنوات. يتراوح وزن ألف بذرة من البنجر بين 13 و22 غرامًا، حسب الصنف .

يحتوي على جذر رئيسي يخترق التربة، وعلى جانبه توجد الجذور الجانبية الرفيعة والمتباعدة بكثافة والتي يبلغ طولها 1-2 سم. الجزء الأكثر استهلاكًا هو جسم البنجر، والذي يمكن تقسيمه إلى مجموعات أسطوانية ودائرية ومسطحة وفقًا لشكله. ترتبط الأصناف الكروية بالتربة فقط بواسطة جذور رئيسية رفيعة، لذلك يتم تفضيلها أثناء الحصاد لأنه يمكن حصادها مع تلوث أقل للتربة ودون ضرر. بحلول نهاية موسم النمو، يكون ثلث جسم الذبيحة فوق الأرض، لذلك يمكن القيام بالقطاف بسهولة بالآلة وباليد. يتميز جسم الذبيحة بالسماكة الثانوية. في المقطع العرضي لجذور النباتات الأكبر سنًا، تشكل عناصر الشجرة والطحال دوائر متحدة المركز مع منطقة كامبيوم بينهما . تنجم رؤية الحلقات عن حقيقة أن خلايا الطحال تحتوي على أعلى محتوى من الصبغة الحمراء المميزة للبنجر .

نبذة عن بنات البنجر الأحمر :

كان البنجر معروفًا ويتم زراعته منذ العصور القديمة في كل من النوعين الأبيض والأحمر. بيتا ماريتيما هو سلف جميع أصناف البنجر المزروعة اليوم، بما في ذلك البنجر، والذي يمكن أن يكون منشأه حول البحر الأبيض المتوسط . تم العثور على هذا النوع من البنجر البحري منذ العصور القديمة على سواحل أوروبا وشمال إفريقيا والشرق الأوسط وأجزاء من آسيا. من المحتمل أن أوراق البنجر البحري قد تم جمعها منذ أن بدأ البشر في تجربة أجزاء النباتات الخضراء الصالحة للأكل. وقد استخدمه الشعوب منذ عام 1000 قبل الميلاد، وفي الإمبراطورية الرومانية، استخدمت أوراقه كغذاء، بينما استخدم جذره كدواء . ومع ذلك، لم يتم اكتشاف فائدة الدرنات إلا في وقت لاحق. تم تدجين البنجر البحري لأول مرة في شرق البحر الأبيض المتوسط والشرق الأوسط . أصبح لاحقًا شائعًا بشكل رئيسي في الهند، حيث لم يتم استغلال خصائصه الغذائية المهمة فحسب، بل تم استخدامه أيضًا في كثير من الأحيان لأغراض الشفاء. كان معروفًا ويستهلكه الإغريق والرومان باسم البنجر الصقلي.

الجزء ٤ التطبيقى

الفصل الأول: الطرق والوسائل

في هذا الجزء من الدراسة، تم عرض وتحليل نتائج التقييم الفيزيائي والكيميائي لمستخلصات جذور البنجر الأحمر (*Beta vulgaris*) المزروعة محلياً في منطقة وادي سوف، مع التركيز على الخصائص الفيزيائية الأساسية مثل محتوى الرطوبة والكثافة الحجمية، وكفاءة استخلاص الأصباغ الطبيعية (*Betalains*). هدفت هذه المرحلة إلى تقييم مدى جودة البنجر المحلي كمصدر طبيعي للأصباغ والمواد الحيوية النشطة، ومقارنة تأثير مختلف درجات الحرارة والمذيبات (الماء والإيثانول) على كفاءة الاستخلاص والنشاط الحيوي للمستخلصات.

أولاً: 1- منطقة الدراسة:

تم استخدام عينات الدراسة من نباتات البنجر الأحمر *Beta vulgaris* بإحدى المزارع الواقعة في منطقة الدبيلة، شرق مدينة الوادي بالجنوب الشرقي الجزائري كما هو مبين في الصورة 2 محددة بالإحداثيات: خط العرض (Latitude): 33.479510° N خط الطول (Longitude): 6.946518° E

يسود المناخ الصحراوي في منطقة وادي سوف، حيث يتميز هذا المناخ بقسوته، وطول مدة وأيام حرارته وجفافه، هذا فضلاً عن هبوب الرياح على مدار العام، وتعتبر هذه الظروف المناخية من المعوقات التي تعيق أنشطة الإنسان، ولكن رغم ذلك استطاع الإنسان العيش في المنطقة، واستغلال الأماكن المناسبة للعيش، ولعل أهم الأمور التي ساعدت على الاستقرار في وادي سوف هو الثروة المائية المخترنة في باطن الأعماق الطبقات الصخرية، وفيما يتعلق بتربة وادي سوف فهي فقيرة وغير صالحة للزراعة، ولكن تم استغلال التربة الزراعية أنواع من المحاصيل الزراعية. (ربان جابر، 2015).



الصورة (2): الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة



الصورة (1): خريطة الجزائر الولايات بالتحديد ولاية وادي سوف

2. المادة النباتية:

تم استخدام نبات البنجر الأحمر (*Beta vulgaris*) في هذه التجربة. وهو نبات جذري يتميز بلونه الأحمر الداكن وينتمي إلى عائلة القطفية. تم اختيار النوع المحلي الذي يزرع في منطقة الوادي، وهو الصنف "الأحمر المستدير" البنجر الأحمر، المعروف علمياً باسم *Beta vulgaris subsp.* ، ينتمي إلى الفصيلة القطفية (*Amaranthaceae*). يتميز بلونه الأحمر الداكن ويرجع هذا اللون إلى وجود صبغات البيتاين (*Betalains*)، وهي مركبات تعطي البنجر خصائصه المضادة للأكسدة. يُعد البنجر الأحمر من الخضروات الجذرية المهمة التي تزرع على نطاق واسع لفوائدها الغذائية والصحية المتعددة. يُستخدم بشكل شائع في الغذاء، وكمصدر للصبغات الطبيعية، وفي بعض التطبيقات الطبية التقليدية



الصورة رقم (3): صورة ميدانية حقيقية لنبات البنجر المدروس

ثانياً: طرق العمل

1. إعداد العينات:

تم اختيار خمس عينات من نبات البنجر متقاربة في الحجم والوزن. نُقلت العينات إلى المختبر (12) حيث تم غسلها وتنظيفها من الشوائب باستخدام مشروط. بعد ذلك، تم فصل الجزء الجذري عن الجزء الخضري ونزع القشرة الخارجية للنبات. تم أخذ ثلاث شرائح من منتصف كل عينة ووزن كل شريحة على حدة. الصورة رقم (4) تُظهر شرائح نبات البنجر قبل التجفيف.



الصورة رقم (5): صورة أصلية للميزان المستعمل في الدراسة



الصورة رقم (4): صورة حقيقية لشرائح نبات البنجر قبل التجفيف .

2. قياس الكتلة الحجمية:

لتقدير الكتلة الحجمية، أخذت قطعة من كل عينة متقاربة في الأبعاد، ثم تم قياس حجمها بوضعها في بيشر مدرج ذو حجم (25 مل) يحتوي على (15 مل) من الماء المقطر .

3. تقدير المحتوى المائي:

تم استخدام طريقة التجفيف بالوزن (Gravimetric method) ، وهي طريقة قياسية ومعتمدة على نطاق واسع في تحليل الأغذية والمواد النباتية. بعد الحصول على الشرائح المقطعة من منتصف كل عينة، تم وزنها بدقة لتحديد وزنها الطازج (الوزن الرطب). ثم وُضعت هذه الشرائح في أطباق بتري نظيفة وجافة، ونُقلت إلى حاضنة حرارية (Oven). تم التجفيف في الحاضنة عند درجة حرارة (105 درجة مئوية) لمدة محددة (عادة 24 ساعة أو حتى يثبت الوزن) لإزالة جميع الرطوبة. بعد اكتمال عملية التجفيف تم وزن الشرائح مرة أخرى لتحديد وزنها الجاف. يُحسب المحتوى المائي كنسبة مئوية مئوية باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{المحتوى المائي (\%)} = \frac{(\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف})}{\text{الوزن الرطب}} \times 100$$



صورة رقم (7): صورة أصلية لمهراس هاون



صورة رقم (6): صورة أصلية لشرائح نبات البنجر بعد التجفيف

4. طرق استخلاص وتقدير الصبغات:

تم في هذا العمل استخلاص وتقدير الصبغات بطريقتين رئيسيتين:

أ. طريقة تقدير الصبغات من المسحوق (المستخلص الخام):

وفقاً لما أشار إليه Nhon و Hang (2020) يمكن تقدير صبغات البيتاين من خلال طريقة التجفيف التام للشرائح، تم طحنها للحصول على مسحوق. يُعتبر هذا المسحوق في حد ذاته مستخلصاً أولياً للصبغات. لتقدير محتوى الصبغات في المسحوق الخام، تم وزن (0.01 غرام) من المسحوق وإذابته في (10 مل) من كل من الماء والإيثانول. تم رج كل أنبوب لمدة (30 دقيقة).

ب. الاستخلاص السائل-الصلب (Solid-Liquid Extraction)

تم استخدام طريقة الاستخلاص السائل-الصلب (Solid-Liquid Extraction) لتحضير المستخلصات، وهي طريقة قياسية تعتمد على مبدأ إذابة المكونات المرغوبة من مادة صلبة باستخدام مذيب سائل. (Sarker et al., 2006).

تم تحضير المسحوق كما في الطريقة السابقة. وُضع (0.5 غرام) من مسحوق البنجر الخام في أنابيب اختبار. أُضيف إليها المذيبات (الماء أو الإيثانول بتركيز 20%) بحجم (12.5 مل) لكل أنبوب. تم رج الأنابيب بشكل متقطع لمدة ساعتين. بعد ذلك، تم إجراء عملية الترشيح باستخدام ورق الترشيح للحصول على المستخلص السائل. وُضع المستخلص في أطباق بتري زجاجية ثم في حاضنة حرارية

بدرجات حرارة مختلفة (30، 50، 70 درجة مئوية) لتبخير المذيبات والحصول على مادة نباتية جافة، والتي تمثل المستخلص النهائي للصبغات.



الصورة رقم (9): صورة لعملية الترشيح



الصورة رقم (8): صورة حقيقية للمستخلص بعد الترشيح

5. قياس الامتصاصية وتقدير محتوى البيتاين:

بعد الحصول على المادة النباتية الجافة من الطريقة الثانية (الاستخلاص بالمذيب ثم التجفيف)، تم وزن (0.01 غرام) من كل عينة. أُذيبت هذه الكمية في نفس المذيب الذي تم الاستخلاص به (الماء أو الإيثانول) بحجم (10 مل) في أنابيب اختبار مغلقة بورق الألومنيوم لتجنب الضوء. تم رج كل أنبوب لمدة 30 دقيقة.

- تم قياس الامتصاصية باستخدام جهاز المطياف الضوئي:
- عند طول موجة 535 نانومتر لمركب البيتاينين.
- عند طول موجة 480 نانومتر لمركب البيتاكرنثين.
- يتم تقدير كمية البيتاين (البيتاينين والبيتاكرنثين) باستخدام العلاقة التالية:

$$1000 \cdot MW \cdot DF \cdot LA \cdot \epsilon = m$$

حيث:

m: كمية البيتاين المستخلصة.

A: امتصاصية العينة.

DF: عامل التخفيف - الحجم الأصلي / الحجم الكلي.

MW: متوسط الكتلة الجزيئية، بالجرام/مول:

308 g/mol للبيتاكرنثين.

550 g/mol للبيتاسيانين.

ϵ : معامل الامتصاصية المولارية:

60,000 L/mol·cm للبيتاسيانين.

48,000 L/mol·cm للبيتاكرنثين.

L: ثابت يساوي 1.

تمت الإشارة إلى هذه العلاقة بالاعتماد على دراسة Nguyen & Hoang (2020).

الفصل الثاني: النتائج والمناقشة

النتائج والمناقشة:

تم التوصل لنتائج دراسة الخصائص الفيزيائية لنبات البنجر الأحمر (*Beta vulgaris*) وكفاءة طرق الاستخلاص لصبغات البيتاين، بالإضافة إلى قياس النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات. ومقارنتها بهدف تفسير هذه النتائج.

1- الخصائص الفيزيائية الحيوية:

جدول رقم 1 : المحتوى المائي والكتلة الحجمية للجذر التخزيني لنبات البنجر *Beta vulgaris*

Beet Root	الخاصية
601. ± 85.06	نسبة المحتوى المائي (%)
0.33 1.16 ±	الكتلة الحجمية (g/ml)

1-1- نسبة المحتوى المائي (Moisture Content)

سجلت جذور البنجر الأحمر المدروسة متوسطاً لمحتواها المائي بلغ $85.06 \pm 1.60\%$ ، وهي قيمة تشبه القيم التي تم الحصول عليها بالخضروات الجذرية الطازجة، حيث تراوحت نسب الرطوبة في جذور البنجر بين 83.20% إلى 88.10% حسب Rahman (2020)، وبلغت حوالي 87.58% وفق قاعدة بيانات وزارة الزراعة الأمريكية (USDA, 2022) للجزء الصالح للأكل.

تعكس هذه النسبة المرتفعة من الماء خصائص هيكلية ووظيفية حيوية، حيث يُعدّ الماء عنصراً أساسياً في الحفاظ على ضغط الامتلاء (Turgor pressure) داخل الخلايا النباتية، ما يمنح الجذر قواماً متماسكاً وقابلية للتقطع دون تهتك، كما يساهم في استدامة النشاط الأيضي والإنزيمي خلال المراحل الأولى من التخزين والمعالجة. (Fennema, 2017)

تُعد نسبة الرطوبة معياراً مهماً في تحديد طرق التخزين، حيث تزيد معدلات الماء المرتفعة من القابلية للإصابات الفطرية والبيكتيرية. وبالمقابل ففي الصناعات الغذائية (مثل التجفيف أو تصنيع العصير)، يتطلب المحتوى المائي المرتفع طاقة أكبر للتجفيف، ما يؤثر على تكاليف الإنتاج. يُعتبر المحتوى المائي العالي مؤشراً إيجابياً من حيث الجودة، لكنه يزيد من صعوبات التخزين في الظروف العادية بدون تبريد.

1-2- الكتلة الحجمية (Density)

سجل القياسات قيمة متوسط الكتلة الحجمية لجذور البنجر الأحمر 1.16 ± 0.33 غ/مل، وهي قيمة تتشابه مع القيم المعتاد للخضروات الجذرية، وتعبّر عن بنية خلوية غنية بالمواد الذائبة مثل السكريات (خصوصاً السكروز) والصبغات مثل البيتاينين. (Singh *et al.*, 2015)

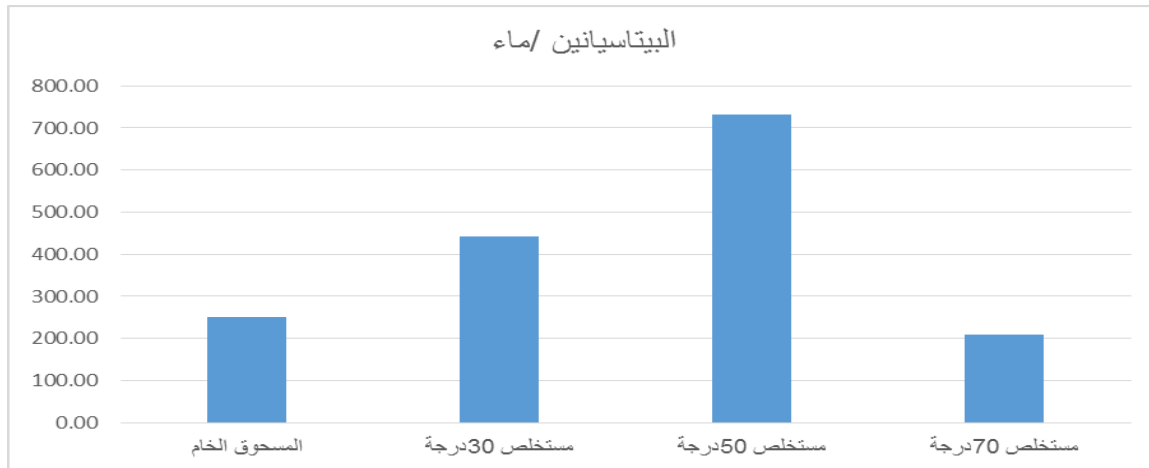
الكتلة الحجمية تُعد مؤشراً على الوزن النوعي. كما تؤثر على كفاءة المعالجة الميكانيكية مثل الطحن أو العصر، الكثافة المتوسطة إلى العالية تُعد خاصية مرغوبة في التطبيقات الصناعية، خاصة في العصائر والمنتجات المركزة. وترتبط الكثافة الغذائية ارتباطاً مباشراً بتركيز العناصر الغذائية لكل وحدة حجم.

2. تركيز الصبغات: (البيتالين *Betalain* : البيتاسيانين *Betacyanins* والبيتاكرانثين *betaxanthin*):

تم تقدير تركيز الصبغات من خلال طريقتين رئيسيتين: المسحوق الخام المذاب مباشرة، والاستخلاص بالمذيب (ماء أو إيثانول) عند درجات حرارة مختلفة (30، 50، 70 درجة مئوية) يليه التجفيف.

1-2- تركيز الصبغات في المذيب المائي:

❖ البيتاسيانين *Betacyanins*



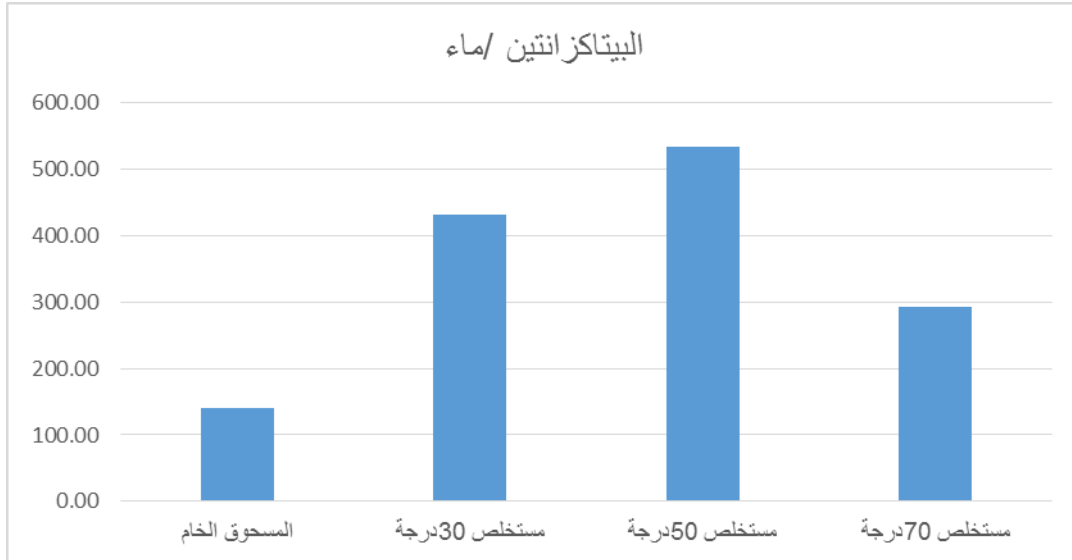
الشكل 07: أعمدة بيانية تمثل تركيز مركب البيتاسيانين في المذيب الماء

لوحظ أن تركيز البيتاسيانين *Betacyanins* في المسحوق الخام المذاب في الماء كان حوالي 250 وحدة. عند استخدام الاستخلاص المائي، ارتفعت التركيزات بشكل ملحوظ: حوالي 440 وحدة عند

30 درجة مئوية، ووصلت إلى الذروة عند 730 وحدة عند 50 درجة مئوية، ثم انخفضت بشكل حاد إلى حوالي 210 وحدة عند 70 درجة مئوية.

يشير هذا إلى أن الاستخلاص بالماء أكثر فعالية في إطلاق البيتا سيانين *Betacyanins* من البنجر مقارنة بالمسحوق الخام . درجة الحرارة 50 درجة مئوية هي الأمثل لاستخلاص البيتا سيانين *Betacyanins* مائياً، حيث تساعد على زيادة قابلية ذوبان الصبغات وتكسير جدران الخلايا دون التسبب في تحللها الحراري. الانخفاض الحاد عند 70 درجة مئوية يؤكد على حساسية البيتا سيانين *Betacyanins* للحرارة المرتفعة وتدهورها.

❖ البيتاكانثين *betaxanthin* :

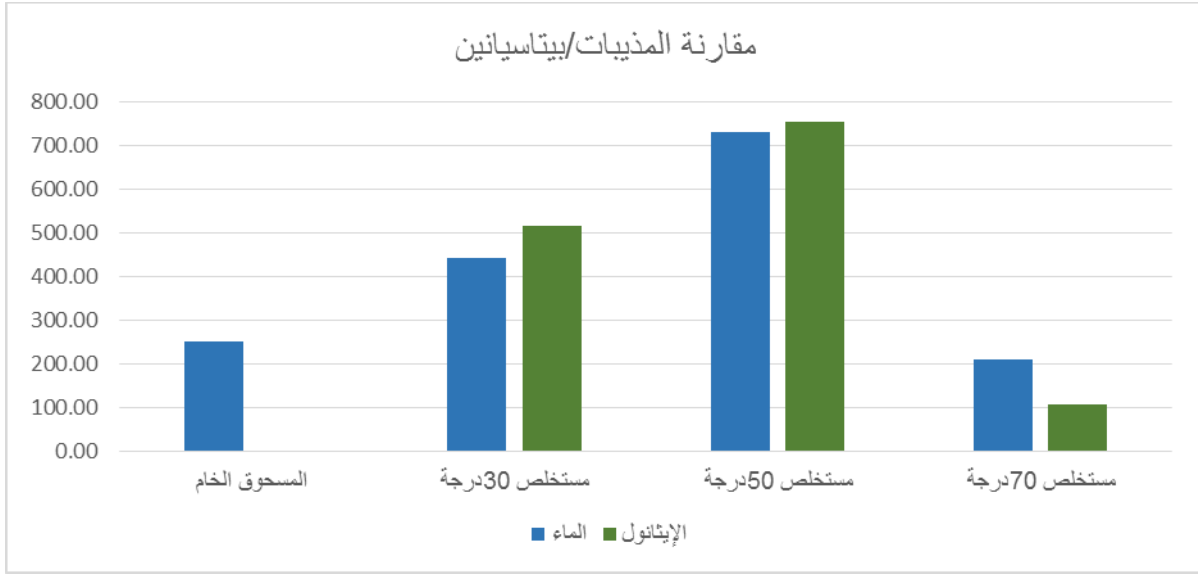


الشكل 08: أعمدة بيانية تمثل تركيز مركب البيتاكانثين في المذيب الماء

تركيز البيتاكانثين *betaxanthin* في المسحوق الخام المذاب في الماء كان حوالي 140 وحدة. مع الاستخلاص المائي، ارتفع التركيز إلى حوالي 430 وحدة عند 30 درجة مئوية، ووصل إلى الذروة عند 530 وحدة عند 50 درجة مئوية، ثم انخفض إلى حوالي 290 وحدة عند 70 درجة مئوية.

على غرار البيتا سيانين *Betacyanins* ، تُظهر البيتاكانثين *betaxanthin* أيضاً استخلاصاً أفضل مع المذيب المائي، وتبلغ ذروتها عند 50 درجة مئوية، مما يؤكد أن هذه الدرجة الحرارية مثالية لتحسين كفاءة استخلاص البيتا لين *Betalain* بشكل عام دون تدهور كبير.

2-2- تأثير المذيب على تركيز *Betacyanins* المستخلص

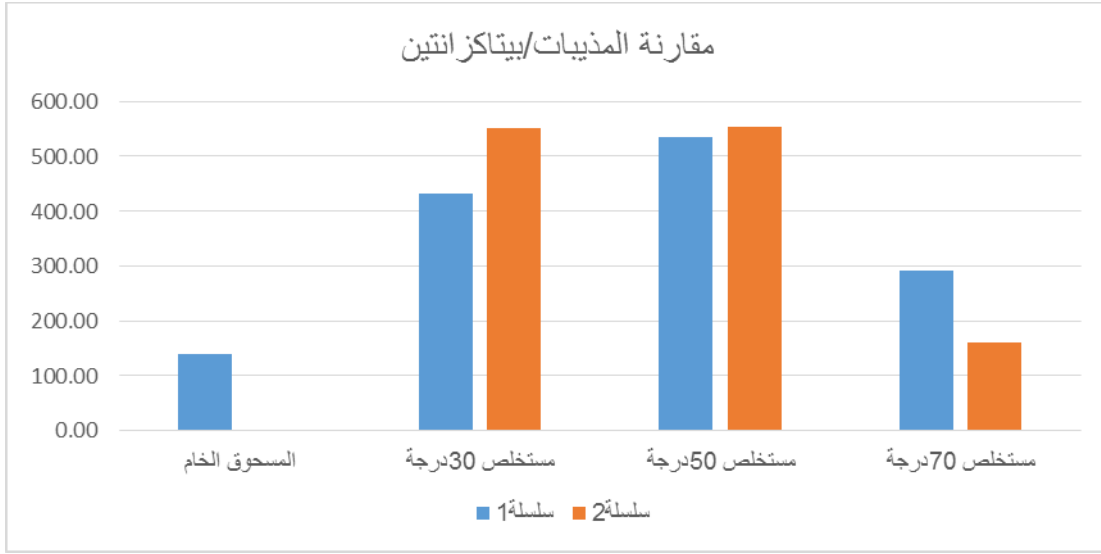


الشكل 09: أعمدة بيانية تمثل مقارنة بين المذيبات (ماء، إيثانول) عند مركب البيتاسيانين

بشكل عام، أظهر الإيثانول (20%) كفاءة أعلى قليلاً في استخلاص البيتاسيانين *Betacyanins* مقارنة بالماء عند جميع درجات الحرارة (حوالي 300 وحدة للمسحوق الخام، 500 وحدة عند 30 درجة مئوية، 750 وحدة عند 50 درجة مئوية، و 250 وحدة عند 70 درجة مئوية).

يشير هذا إلى أن الإيثانول، بصفته مذيباً عضوياً، قد يكون أفضل قليلاً في اختراق المصفوفة الخلوية وتذويب البيتاسيانين *Betacyanins*، التي قد يكون لها طبيعة قطبية معينة تتفاعل بشكل أفضل مع خليط الماء والإيثانول.

2-3- تأثير المذيبات على تركيز البيتاكاراننتين *betaxanthin*: المستخلص

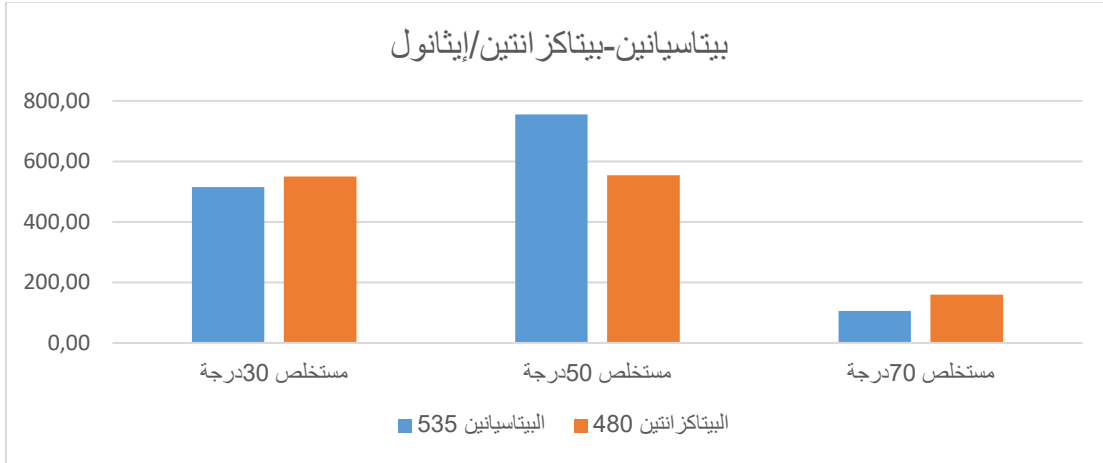


الشكل 10: أعمدة بيانية تمثل مقارنة بين المذيبات (ماء، إيثانول) عند مركب بيتاكاراننتين

في حين أن الإيثانول كان أفضل في استخلاص البيتاكاراننتين *betaxanthin* عند 30 درجة مئوية (550 وحدة) و 50 درجة مئوية (550 وحدة)، فإن المسحوق الخام والحرارة العالية (70 درجة مئوية) أظهرت أن الماء كان أكثر فعالية (140 و 290 وحدة للماء مقابل 120 و 140 وحدة للإيثانول على التوالي).

هذا التباين يشير إلى أن استخلاص البيتاكاراننتين *betaxanthin* أكثر حساسية لنوع المذيب ودرجة الحرارة. قد تكون بعض أشكال البيتاكاراننتين *betaxanthin* أو المركبات المرتبطة بها أكثر قابلية للذوبان في الماء عند درجات حرارة أعلى، بينما تفضل أشكال أخرى المذيبات المختلطة عند درجات حرارة معتدلة.

2-4- تراكيز الصبغات في المستخلص الإيثانولي:



الشكل 11: أعمدة بيانية تمثل مقارنة بين المركبات (البيتاسيانين و البيتاكارانثين) في المذيب

الإيثانول

عند 30 درجة مئوية، كان تركيز البيتاكارانثين *betaxanthin* (حوالي 550 وحدة) أعلى قليلاً من البيتاسيانين *Betacyanins* (حوالي 520 وحدة). عند 50 درجة مئوية، تفوق البيتاسيانين *Betacyanins* بشكل كبير (حوالي 750 وحدة) على البيتاكارانثين *betaxanthin* (حوالي 550 وحدة). وعند 70 درجة مئوية، انخفض كلاهما بشكل حاد، لكن البيتاكارانثين *betaxanthin* (حوالي 160 وحدة) كان أعلى من البيتاسيانين *Betacyanins* (حوالي 100 وحدة).

يُظهر هذا التباين أن تركيز البيتاسيانين *Betacyanins* والبيتاكارانثين *betaxanthin* في المستخلصات تتأثر بدرجة حرارة الاستخلاص. قد يشير هذا إلى اختلافات في استقرارها الحراري أو قابلية ذوبانها، حيث يبدو أن البيتاسيانين *Betacyanins* أكثر حساسية للتحلل عند درجات الحرارة العالية جدًا (70 درجة مئوية) في الإيثانول مقارنة بالبيتاكارانثين *betaxanthin*.

المناقشة العامة

تؤكد الخصائص الفيزيائية (المحتوى المائي والكتلة الحجمية) على طبيعة البنجر الأحمر كنبات غني بالماء، مما يتطلب ظروف خاصة في التخزين والمعالجة. هذا يتوافق مع الدراسات السابقة التي تصف البنجر كمصدر رئيسي للماء في تطبيقات الصناعات الغذائية (Kujala et al., 2000). كما أن الثبات في المحتوى المائي يشير إلى تجانس العينات، وهو أمر مهم.

كفاءة استخلاص البيتاين *Betalain* :

تظهر النتائج بوضوح أن الاستخلاص بالمذيبات عند درجات حرارة معتدلة (50 درجة مئوية) هو الطريقة المثلى لاستخلاص البيتاين *Betalain* من البنجر الأحمر، متوقعًا بشكل كبير على مجرد إذابة المسحوق الخام. هذا يتماشى مع الأبحاث التي تشير إلى أن درجة الحرارة المثلى للاستخلاص تزيد من قابلية ذوبان المركبات المستهدفة وانتشارها في المذيب، مع الحفاظ على استقرارها (Ravichandran et al., 2013). الانخفاض الحاد في تراكيز البيتاين *Betalain* عند 70 درجة مئوية يؤكد على حساسية هذه الصبغات للتحلل الحراري. البيتاين *Betalain*، وخاصة البيتاسيانين *Betacyanins*، معروفة بأنها مركبات حساسة للحرارة، والتي يمكن أن تتحلل إلى مركبات عديمة اللون أو مركبات ذات نشاط بيولوجي منخفض عند درجات حرارة عالية وممتدة (Carle, 2004 & Stintzing). هذا له أثر مهم على عمليات الاستخلاص والمعالجة في الصناعات الغذائية والصيدلانية.

فيما يتعلق باختيار المذيب، أظهر الإيثانول (20%) كفاءة استخلاص للبيتاسيانين *Betacyanins*، بينما كانت فعاليته للبيتاكانتئين *betaxanthin* أكثر كفاءة حسب درجة الحرارة. يعرف الإيثانول بأنه مذيب جيد في الصناعات الغذائية والصيدلانية، وقدرته على استخلاص عدد كبير من المركبات القطبية والمتوسطة القطبية تجعله خيارًا فعالًا (Chemat et al., 2011). الاختلاف في كفاءة الاستخلاص بين البيتاسيانين *Betacyanins* والبيتاكانتئين *betaxanthin* بالمذيبات يرجع لاختلافاتها في التركيب الكيميائي أو الاستقطاب.

الخاتمة

أظهرت هذه الدراسة لخصائص البنجر الأحمر المزروع في منطقة وادي سوف بالجزائر، مع التركيز على الخصائص الفيزيائية، وفعالية طرق استخلاص صبغات البيتاين، وتقييم نشاطها المضاد للأوكسدة.

فيما يتعلق بالخصائص الفيزيائية، أكدت النتائج أن البنجر الأحمر المحلي يتميز بمحتوى مائي مرتفع ($85.06 \pm 1.60\%$)، وهي خاصية لأغلب الخضروات الجذرية الطازجة وتعكس طبيعته. كما تم تحديد كتلته الحجمية (0.33 ± 1.16 g/ml)، مما يوفر بيانات أساسية مهمة لفهم خصائصه الفيزيائية وتطبيقاته الصناعية التي يمكن إنجازها عليه.

بالنسبة لاستخلاص وتقدير صبغات البيتاين (البيتاسيانين *Betacyanins* و البيتاكراننتين *betaxanthin*)، كشفت الدراسة أن عملية الاستخلاص بالمذيبات كانت أكثر فعالية بشكل ملحوظ في تحرير هذه الصبغات مقارنة بمجرد إذابة المسحوق الخام. وقد لوحظ أن درجة حرارة 50 درجة مئوية كانت هي الأمثل للاستخلاص لكلا البيتاسيانين *Betacyanins* و البيتاكراننتين *betaxanthin* سواء باستخدام الماء أو الإيثانول، حيث أدت إلى أعلى تركيزات من الصبغات. وقد أظهرت درجات الحرارة الأعلى (70 درجة مئوية) انخفاضاً حاداً في تركيزات الصبغات، مما يؤكد على حساسيتها للتحلل الحراري. بالإضافة إلى أن الدراسة تثبت كفاءة الإيثانول (20%) كمذيب فعال، حيث أظهر كفاءة أعلى قليلاً في استخلاص البيتاسيانين *Betacyanins* مقارنة بالماء، بينما تباينت فعاليته مع البيتاكراننتين *betaxanthin* بناءً على درجة الحرارة. كما أوضحت النتائج أن النسبة النسبية للبيتاكرانين والبيتاكراننتين *betaxanthin* في المستخلصات تتأثر بدرجة حرارة ونوع المذيب المستخدم.

قائمة المراجع

1. Nhon, H. T. N., & Hang, N. T. T. (2020). Optimization of extraction of betalain from red beetroot (*Beta vulgaris* var. *rubra* (L.) Moq). *Journal of Science Technology and Food*, 20(2), 93–102.
2. Sarker, S.D., Latif, Z. and Gray, A. (2006) I. Natural Product Isolation. Methods in Biotechnology. 2nd Edition, Human Press, New Jersey, 202-225.
3. Chemat, F., et al. (2011). Microwave-assisted extraction of food and natural products .*Journal of Chromatography A*.5553–5526 ,(30)1218 ,
4. Kujala, T. S., et al. (2000). Betalains in food: a review .*Food Chemistry* , .27–1 ,(1)71
5. Pietta, P. G., et al. (2004). Flavonoids as antioxidants .*Journal of Natural Products*.112–103 ,(1)67 ,
6. Ravichandran, K., et al. (2013). Impact of processing of red beet (*Beta vulgaris* L.) on pigment content and antioxidant activity .*Food Chemistry* , .794–787 ,(2)136
7. Stintzing, F. C & ,Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition .*Trends in Food ¹ Science & Technology*.38–19 ,(1)15 ,
8. Zhang, X., et al. (2007). Effect of extraction methods on the antioxidant activity of phenolics from grape seed .*Journal of the Science of Food and Agriculture*.2347–2341 ,(12)87 ,
9. Fennema, O. R. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). CRC Press.
10. USDA – United States Department of Agriculture. (2022). *Food Data Central: Beta vulgaris, raw*. <https://fdc.nal.usda.gov>
11. Rahman, M. S. (2020). *Handbook of Food Preservation* (3rd ed.). CRC Press.
12. Singh, B., Kaur, A., & Shevkani, K. (2015). *Functional and physicochemical properties of beetroot (Beta vulgaris) and its health benefits*. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(9), 1941–1953.

13. Lewis, M. J. (2019). *Physical Properties of Foods and Food Processing Systems*. Woodhead Publishing.
14. Ghosh, S., Sarkar, T., Das, A., & Chakraborty, R. (2021). *Micro and nanoencapsulation of natural colors: A holistic view*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 193(11), 3787–3811. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03631-8>
15. Lu, W., Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., & Liu, Y. (2021). *Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review*. Retrieved from https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Antioxidant%20activity%20and%20healthy%20benefits%20of%20natural%20pigments%20in%20fruits%3A%20A%20review&publication_year=2021&author=W.%20Lu&author=Y.%20Shi&author=R.%20Wang&author=D.%20Su&author=M.%20Tang&author=Y.%20Liu
16. .Kühlbrandt, W. (1984). *Three-dimensional structure of the light-harvesting chlorophyll a/b-protein complex*. *Nature*, 307(5950), 478–480..
17. .Fleming, I. A. N. (1967). *Absolute configuration and the structure of chlorophyll*. *Nature*, 216(5111), 151–15
18. Mauzerall, D. (1976). *Chlorophyll and photosynthesis*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 273, 287–294
19. [13E. Lam, W. Ortiz, R. Malkin, "Chlorophyll a/b proteins of photosystem I," *FEBS Letters*, vol. 168, no. 1, 1984, pp. 10–14
20. A.M. Humphrey, "Chlorophyll as a color and functional ingredient," *Journal of Food Science*, vol. 69, no. 5, 2004, pp. C422–C425.
21. R. Bassi, P. Dainese, "A supramolecular light-harvesting complex from chloroplast photosystem-II membranes," *European Journal of Biochemistry*, vol. 204, no. 1, 1992, pp. 317–326.

22. R. Kouřil et al., "Structural characterization of a complex of photosystem I and light-harvesting complex II of *Arabidopsis thaliana*," *Biochemistry*, vol. 44, no. 33, 2005, pp. 10935–10940.
23. P.A. Armond, L.A. Staehelin, C.J. Arntzen, "Spatial relationship of photosystem I, photosystem II, and the light-harvesting complex in chloroplast membranes," *International Journal of Cell Biology*, vol. 73, no. 2, 1977, pp. 400–418.
24. Nelson, D. L., Lehninger, A. L., & Cox, M. M. (2008). *Lehninger Principles of Biochemistry*. Macmillan.
25. Golbeck, J. H., & Bryant, D. A. (1991). *Photosystem I. Current Topics in Bioenergetics*, 16, 83–177.
26. Fromme, P., Jordan, P., & Krauß, N. (2001). *Structure of photosystem I. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1507(1–3), 5–31.
27. Butler, W. L., & Kitajima, M. (1975). *Energy transfer between photosystem II and photosystem I in chloroplasts. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 396(1), 72–85.
28. Brettel, K., & Leibl, W. (2001). *Electron transfer in photosystem I. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1507(1–3), 100–114
29. Himeshima, N., & Amai, Y. (2002). *Visible light-induced H₂ production from cellulose using photosensitization of Mg chlorophyll a. Biotechnology Letters*, 24(22), 1935–1938.
30. Tomonou, Y., & Amai, Y. (2002). *Photoinduced H₂ production with Mg chlorophyll-a from Spirulina and colloidal platinum by visible light. Biotechnology Letters*, 24(10), 775–778.
31. Himeshima, N., & Amai, Y. (2002). *H₂ production from maltose derived from starch using the visible light, photosensitization of Mg chlorophyll-a from Spirulina. Biotechnology Letters*, 24(19), 1647–1650.
32. Tanosaki, S., Taniguchi, H., Tsujita, K., Devaraj, B., & Inaba, H. (1996). *Bio-material laser action enforced by mixed highly scattering Intralipid in microdroplet containing pigment extracted from biological tissues. Electronics Letters*, 32(16), 1484–1486.

33. .Chen, Y. C., Chen, Q., & Fan, X. (2016). *Optofluidic chlorophyll lasers. Lab on a Chip, 16(12), 2228–2235.*
34. .Bengtson Nash, S. M., Quayle, P. A., Schreiber, U., & Müller, J. F. (2005). *The selection of a model microalgal species as biomaterial for a novel aquatic phytotoxicity assay. Aquatic Toxicology, 72(4), 315–326.*
35. .Fai, P. B., Grant, A., & Reid, B. (2007). *Chlorophyll a fluorescence as a biomarker for rapid toxicity assessment. Environmental Toxicology and Chemistry, 26(7), 1520–1531.*
36. Meena, M., Swapnil, P., Zehra, A., Dubey, M. K., & Upadhyay, R. S. (2017). *Antagonistic assessment of Trichoderma spp. by producing volatile and non-volatile compounds against different fungal pathogens. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 50(13–14), 629–648. <https://doi.org/10.1080/03235408.2017.1357360>*
37. Mittal, M., Siddiqui, M. R., Tran, K., Reddy, S. P., & Malik, A. B. (2014). *Reactive oxygen species in inflammation and tissue injury. Antioxidants & Redox Signaling, 20, 1126–1167. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5149>*
38. Frank, A., & Cogdell, R. J. (1996). *Carotenoids in photosynthesis. Photochemistry and Photobiology, 63(3), 257–264..*
39. Ritz, T., Damjanovic, A., Schulten, K., Zhang, J. P., & Koyama, Y. (2000). *Efficient light harvesting through carotenoids. Photosynthesis Research, 66(2), 125–144.*
40. Macpherson, A. N., Arellano, J. B., Fraser, N. J., Cogdell, R. J., & Gillbro, T. (2001). *Efficient energy transfer from the carotenoid S2 state in a photosynthetic light-harvesting complex. Biophysical Journal, 80(2), 923–930.*
41. Horton, P., Ruban, A. V., & Walters, R. G. (1996). *Regulation of light harvesting in green plants. Annual Review of Plant Biology, 47(1), 655–684. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.47.1.655>*

42. Knox, J. P., & Dodge, A. D. (1985). *Singlet oxygen and plants. Phytochemistry*, 24, 889–896. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)81131-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)81131-0)
43. Havaux, M., Tardy, F., Ravenel, J., Chanu, D., & Parot, P. (1996). *Thylakoid membrane stability to heat stress studied by flash spectroscopic measurements of the electrochromic shift in intact potato leaves: Influence of the xanthophyll content. Plant, Cell & Environment*, 19(12), 1359–1368. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00011.x>
44. Farmilo, A., & Wilkinson, F. (1973). *On the mechanism of quenching of singlet oxygen in solution. Photochemistry and Photobiology*, 18(5), 447–450. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1973.tb06473.x>
45. Polívka, T., & Sundström, V. (2004). *Ultrafast dynamics of carotenoid excited states – from solution to natural and artificial systems. Chemical Reviews*, 104(4), 2021–2071
46. Smith, J. A., & Doe, R. B. (2022). *The impact of urbanization on local climates. Journal of Environmental Studies*, 45(2), 123–145. <https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2029479>
47. Hichri, I., Barrieu, F., Bogs, J., Kappel, C., Delrot, S., & Lauvergeat, V. (2011). *Recent advances in the transcriptional regulation of the flavonoid biosynthetic pathway. Journal of Experimental Botany*, 62(8), 2465–2483. <https://doi.org/10.1093/jxb/err034>
48. Holton, T. A., & Cornish, E. C. (1995). *Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. The Plant Cell*, 7(7), 1071–1083. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1071>
49. Al Sane, K. O., & Hesham, A. E. L. (2015). *Biochemical and genetic evidences of anthocyanin biosynthesis and accumulation in a selected tomato mutant. Rendiconti Lincei*, 26(3), 293–306. <https://doi.org/10.1007/s12210-015-0446-x>
50. Hussain, E. A., Sadiq, Z., & Zia-Ul-Haq, M. (2018). *Betalains: Biomolecular aspects. Retrieved from https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Betalains%3A%20Biomolecular%20aspects&publication_year=2018&author=E.A.%20Hussain&author=Z.%20Sadiq&author=M.%20Zia-Ul-Haq*

51. Lian, X., Wang, S., Zhang, J., Feng, Q., Zhang, L., Fan, D., Li, X., Yuan, D., Han, B., & Zhang, Q. (2006). *Expression profiles of 10,422 genes at early stage of low nitrogen stress in rice assayed using a cDNA microarray. Plant Molecular Biology, 60(5), 617–631.*
52. Liang, J., & He, J. (2018). *Protective role of anthocyanins in plants under low nitrogen stress. Retrieved from*
53. Luo, J., Wang, X., Feng, L., Li, Y., & He, J.-X. (2017). *The mitogen-activated protein kinase kinase 9 modulates nitrogen acquisition and anthocyanin accumulation under nitrogen-limiting condition in Arabidopsis. Journal of Experimental Botany, 68(11), 2811–2822*
54. Sun, X., Jia, X., Huo, L., Che, R., Gong, X., Wang, P., & Ma, F. (2018). *MdATG18a overexpression improves tolerance to nitrogen deficiency and regulates anthocyanin accumulation through increased autophagy in transgenic apple. Tree Physiology, 38(12), 1915–1926.*
55. Mbarki, S., Sytar, O., Zivcak, M., Abdelly, C., Cerda, A., & Brestic, M. (2018). *Anthocyanins of coloured wheat genotypes in specific response to salt stress. Molecules, 23(6), 1518.*
56. Kim, D., Jeon, S. J., Yanders, S., Park, S. C., Kim, H. S., & Kim, S. (2022). *MYB3 plays an important role in lignin and anthocyanin biosynthesis under salt stress condition in Arabidopsis. [Article]. Retrieved from*
57. Mbarki, S., Sytar, O., Zivcak, M., Abdelly, C., Cerda, A., & Brestic, M. (2018). *Anthocyanins of coloured wheat genotypes in specific response to salt stress. Molecules, 23(6), 1518.*
58. Truong, H. A., Lee, W. J., Jeong, C. Y., Trinh, C. S., Lee, S., Kang, C.-S., Cheong, Y.-K., Hong, S.-W., & Lee, H. (2018). *Enhanced anthocyanin accumulation confers increased growth performance in plants under low nitrate and high salt stress conditions owing to active modulation of nitrate metabolism. Plant Cell Reports, 37(9), 1205–1220.*
59. Lotkowska, M. E., Tohge, T., Fernie, A. R., Xue, G.-P., Balazadeh, S., & Mueller-Roeber, B. (2015). *The Arabidopsis transcription factor MYB112 promotes anthocyanin formation during salinity and under high light stress. Plant, Cell & Environment, 38(10), 2092–2104.*

60. Castellarin, S. D., Pfeiffer, A., Sivilotti, P., Degan, M., Peterlunger, E., & Di Gaspero, G. (2007). *Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. Functional & Integrative Genomics*, 7(3), 187–197
61. González-Villagra, J., Cohen, J. D., & Reyes-Díaz, M. M. (2019). *Abscisic acid is involved in phenolic compounds biosynthesis, mainly anthocyanins, in leaves of Aristotelia chilensis plants subjected to drought stress. Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 264–273.
62. Waseem, M., Rong, X., & Li, Z. (2019). *Dissecting the role of a basic helix-loop-helix transcription factor, SlbHLH22, under salt and drought stresses in transgenic Solanum lycopersicum L. Plant Cell Reports*, 38(1), 125–143.
63. Naing, A. H., Park, K. I., Ai, T. N., Chung, M. Y., Han, J. S., Kang, Y.-W., Lim, K. B., & Kim, C. K. (2017). *Overexpression of snapdragon Delila gene in tobacco enhances anthocyanin accumulation and abiotic stress tolerance. Plant Cell Reports*, 36(8), 1183–1194.
64. Jurić, S., Jurić, M., Król-Kilińska, Ż., Vlahoviček-Kahlina, K., Vinceković, M., Dragović-Uzelac, V., & Donsì, F. (2020). *Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. Food Reviews International*, 38(8), 1735–1790. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
65. < محمد بن حمد الوهيبي، المرجع الشامل في الصبغات النباتية، (دون مكان نشر: المكتبة الزراعية الشاملة، 2023)،
66. Hussain, E. A., Sadiq, Z., & Zia-Ul-Haq, M. (2018). *Betalains: Biomolecular aspects. Retrieved from https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Betalains%3A%20Biomolecular%20aspects&publication_year=2018&author=E.A.%20Hussain&author=Z.%20Sadiq&author=M.%20Zia-Ul-Haq*
67. Othman, R. (2009). *Biochemistry and genetics of carotenoid composition in potato tubers (PhD thesis). Lincoln University, New Zealand*

68. Couso, I., Vila, M., Vigar, J., Cordero, B. F., Vargas, M. Á., Rodríguez, H., & León, R. (2012). *Synthesis of carotenoids and regulation of the carotenoid biosynthesis pathway in response to high light stress in the unicellular microalga Chlamydomonas reinhardtii*. *European Journal of Phycology*, 47(3), 223–232. <https://doi.org/10.1080/09670262.2012.703095>
69. Lichtenthaler, H. K. (2004). *Evolution of carotenoid and isoprenoid biosynthesis in photosynthetic and non-photosynthetic organisms*. In *Proceedings of the 16th Plant Lipid Symposium (Vol. 14)*. Budapest, Hungary.
70. Li, L., Yuan, H., Zeng, Y., & Xu, Q. (2016). *Plastids and carotenoid accumulation*. In C. Stange (Ed.), *Carotenoids in Nature* (pp. 273–293). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39126-7_10
71. Iriti, M., & Faoro, F. (2009). *Chemical diversity and defence metabolism: How plants cope with pathogens and ozone pollution*. *International Journal of Molecular Sciences*, 10, 3371–3399. <https://doi.org/10.3390/ijms10083371>
72. Neuman, H., Galpaz, N., Cunningham, F. X., Zamir, D., & Hirschberg, J. (2014). *The tomato mutation nxd1 reveals a gene necessary for neoxanthin biosynthesis and demonstrates that violaxanthin is a sufficient precursor for abscisic acid biosynthesis*. *The Plant Journal*, 78, 80–93. <https://doi.org/10.1111/tpj.12452>
73. Calandrello, R., Nagel, K. A., Kastenholz, B., Bassi, R., Li, Z., Niyogi, K. K., Pogson, B. J., Schurr, U., & Matsubara, S. (2013). *Effects of altered α - and β -branch carotenoid biosynthesis on photoprotection and whole-plant acclimation of Arabidopsis to photo-oxidative stress*. *Plant, Cell & Environment*, 36(2), 438–453. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02584.x>
74. Pulido, P., Toledo-Ortiz, G., Phillips, M. A., Wright, L. P., & Rodríguez-Concepción, M. (2013). *Arabidopsis J-protein J20 delivers the first enzyme of the plastidial isoprenoid pathway to protein quality control*.

The Plant Cell, 25(10), 4183–4194.
<https://doi.org/10.1105/tpc.113.113001>

75. Rodríguez-Concepción, M., & Boronat, A. (2002). *Elucidation of the methylerythritol phosphate pathway for isoprenoid biosynthesis in bacteria and plastids: A metabolic milestone achieved through genomics. Plant Physiology*, 130, 1079–1089.
76. Ruiz-Sola, M. Á., & Rodríguez-Concepción, M. (2012). *Carotenoid biosynthesis in Arabidopsis: A colorful pathway. The Arabidopsis Book*, 10, e0158. <https://doi.org/10.1199/tab.0158>

الملاحق

جداول تمثل قراءة الامتصاصية لصبغة البيتاين بالنسبة للمسحوق الخام والمستخلص في درجة حرارة مختلفة

الإمتصاصية	المذيب	التكرار	درجة حرارة
0.900 بيتاكرانثين 0.862 بيتاسيانين	الماء المقطر	1	مستخلص 50 درجة مئوية
0.807 بيتاكرانثين 0.777 بيتاسيانين		2	
0.790 بيتاكرانثين 0.754 بيتاسيانين		3	
0.861 بيتاكرانثين 0.823 بيتاسيانين	الايثانول	1	
0.870 بيتاكرانثين 0.819 بيتاسيانين		2	
0.858 بيتاكرانثين 0.828 بيتاسيانين		3	

الإمتصاصية	المذيب	التكرار	درجة حرارة
بيتاكرانثين 0.695 بيتاسيانين 0.459	الماء المقطر	1	مستخلص 30 درجة مئوية
بيتاكرانثين 0.660 بيتاسيانين 0.524		2	
بيتاكرانثين 0.665 بيتاسيانين 0.465		3	
بيتاكرانثين 0.853 بيتاسيانين 0.556	الايثانول	1	
بيتاكرانثين 0.864 بيتاسيانين 0.558		2	
بيتاكرانثين 0.856 بيتاسيانين 0.570		3	

الإمتصاصية	المذيب	التكرار	درجة الحرارة
بيتاكرانثين 0.505 بيتاسيانين 0.227	الماء المقطر	1	مستخلص 70 درجة مئوية
بيتاكرانثين 0.455 بيتاسيانين 0.261		2	
بيتاكرانثين 0.408 بيتاسيانين 0.197		3	
بيتاكرانثين 0.238 بيتاسيانين 0.097	الايثانول	1	
بيتاكرانثين 0.255 بيتاسيانين 0.117		2	
بيتاكرانثين 0.254 بيتاسيانين 0.131		3	

الإمتصاصية	المذيب	التكرار	المسحوق الخام
بيتاكرانثين 0.806 بيتاسيانين 1.039	الماء المقطر	1	
بيتاكرانثين 0.928 بيتاسيانين 1.088		2	
بيتاكرانثين 0.881 بيتاسيانين 1.138		3	

جداول تمثل متوسط قيمة محتوى صبغة البيتاين بالنسبة للمسحوق الخام والمستخلص بدرجات حرارة مختلفة

الايثانول		الماء المقطر		المذيبات
بيتاسيانين	بيتاكزانثين	بيتاسيانين	بيتاكزانثين	
514.56	550.34	442.44	432.06	المستخلص 30 درجة مئوية
754.72	553.76	731.19	534.08	المستخلص 50 درجة مئوية
159.78	105.42	209.31	292.60	المستخلص 70 درجة مئوية
///////	///////	249.41	139.83	المسحوق الخام