ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

طُحلب spirulina واستعمالاته المختلفة

د. نعمى حسن *، عبير عبدالله اعسر **

*(كلية الصيدلة، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني: nouma.hasan@manara.edu.sy)

**(كلية الصيدلة، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني ph.abeer01@hormail.com)

الملخص

السبيرولينا هي نوع من الطحالب الزرقاء المخضرة التي تنمو في المسطحات المائية المالحة والعذبة، وتستعمل على نطاق واسع كمكمل غذائي بسبب غناها بالفيتامينات، تُظهر عدة دراسات مختبرية ومنها سريرية قدرة مستخلصات السبيرولينا المضادة للأكسدة وللالتهاب، فضلاً عن أدوارها الحيوية في مقاومة السرطان وتنظيم سكر الدم والمساعدة في ضبط الصيغة الشحمية وغيرها، يتزايد الاهتمام بالسبيرولينا أيضاً على المستوى الاقتصادي والصناعي لفوائدها الجمة في مجال علف الحيوانات والفوائد التجميلية.

كلمات مفتاحية _ سبيرولينا، مضادات أكسدة، قيم غذائية، علف الحيوانات.

Abstract

Spirulina is a type of blue-green algae that grows in salt and fresh water bodies, and is widely used as a nutritional supplement due to its richness in vitamins. Several laboratory studies, including clinical ones, show the antioxidant and anti-inflammatory ability of spirulina extracts, as well as their vital roles in fighting cancer, regulating blood sugar levels, and helping in controlling the lipid profile and others. Interest in spirulina is also increasing on the economic and industrial levels due to its great benefits in the field of animal feed and cosmetic benefits.

KEY WORDS _ spirulina, antioxidants, nutritional values, animal feed.

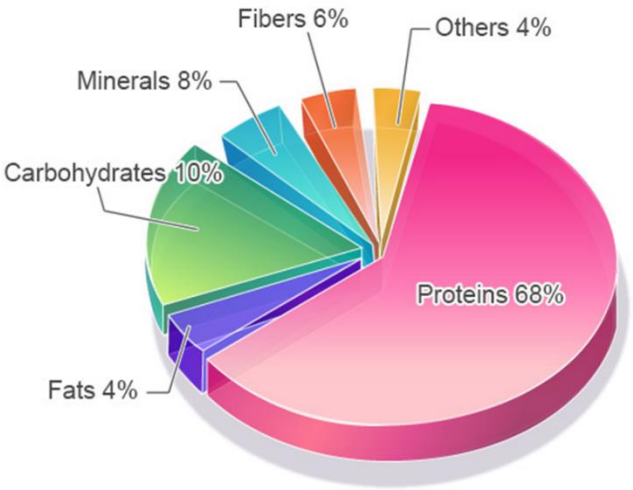
I. مقدمة:

تزايد الطلب على المنتجات الطبيعية والمستدامة للتطبيقات الغذائية في جميع أنحاء العالم. بالإضافة إلى ذلك، بسبب تزايد عدد السكان، فكان من الضروري استكشاف مصادر غذائية بديلة. ولتلبية هذا الطلب، تم النظر إلى بعض الكائنات الحية الدقيقة كبديل لمصادر البروتينات والأصباغ والمركبات المضادة للأكسدة والكربوهيدرات والدهون. البكتيريا الزرقاء الضوئية Arthrospira sp.، المعروفة باسم Spirulina sp.، والذي قد تمت دراسته بشكل رئيسي وتم تسويقه تجارياً نظراً لقدرته العالية على تخليق البروتين، والتي يمكن أن تصل إلى ما يصل إلى 70% من كتلته. ومن المعروف أيضاً أنها تصنع C-phycocyanin وهو صبغة زرقاء قابلة للذوبان في الماء. إلى جانب استخدامها كصباغ في تركيب المنتجات الغذائية (أحد الخيارات المحدودة للأصباغ ذات اللون الأزرق الفاتح الطبيعي)، فقد تزايد الاهتمام بـ C-PC بسبب نشاطه المضاد للأكسدة، والمضاد للالتهابات، والمضاد للسرطان، ومع ذلك، لا تزال هناك قيود على تطبيق C-PC ويرجع بشكل رئيسي إلى طرق الاستخلاص، التي تؤدي إلى انخفاض نقاء المنتج، وانخفاض استقرار الصباغ خلال التخزين وأثناء تجهيز الأغذية. [1]

II. القيم الغذائية للسبيرولينا:

تنمو سبيرولينا في الطقس الدافئ وتوجد في الكثير المسطحات المائية حول العالم. ومن المعروف أن لديها تأثيرات مضادة للالتهابات، ومضادة للأكسدة، ومقوية لجهاز المناعة. تحتوي السبيرولينا على ثلاثة أضعاف كمية البروتين الموجودة في لحم البقر ومرتين بالمقارنة مع فول الصويا، الشكل 1.

علاوة على ذلك، فإن بروتين سبيرولينا هو بروتين عالي الجودة يحتوي على الأحماض الأمينية الأساسية بطريقة متوازنة. تلبي هذه الجودة المعايير المثالية لمنظمة الأغذية والزراعة (منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة). تحتوي سبيرولينا على البيتا كاروتين والحديد واللوتين وفيتامين ب12، وفيتامين ج، وفيتامين د، والزنك. البيتا كاروتين هو طليعة لفيتامين أ. اللوتين هو عامل وقائي ضد إعتام عدسة العين ويدعم الرؤية. يساعد الحديد على إنتاج الخلايا الحمراء الدموية، يعزز فيتامين C المناعة. يساهم فيتامين ب12 في تحسين وظائف المخ وتجديد الأعصاب. كما يدعم الزنك مستويات هرمون التستوستيرون وتجديد العضلات والعظام. تحتوي السبيرولينا على نسبة عالية من البروتين كما أسلفنا، وتعد غذاءً كاملاً نظراً لقيمتها الغذائية العالية، وهي غنية بمضادات الأكسدة، وخاصة الليكوبين . يتميز الليكوبين المضاد للأكسدة بأنه يكنس جميع الجذور الحرة. كما أن تناول الأطعمة الغنية به يقلل من خطر الإصابة بأمراض القلب والسكتة الدماغية وبعض أنواع السرطان والسكري والشيخوخة المبكرة. غالباً ما يوصى باستخدام السبيرولينا للأشخاص الذين يعانون من اكتئاب. سبيرولينا فعالة في علاج اضطرابات فرط النشاط في الأطفال الذين يعانون من اضطراب فرط الحركة ونقص الانتباه وهم عرضة لفرط النشاط والاندفاع. لقد ثبت أن سبيرولينا تقلل من السلوك الاندفاعي عند استهلاكها يومياً على مدى فترة ثلاثة أشهر. سبيرولينا، طعام قلوي، حليف قوي للأشخاص الذين يتناولون الأطعمة المصنعة والأطعمة الغنية بالدهون! فمن أجل الحفاظ على صحة جيدة كل يوم، من الضروري تناول الأطعمة القلوية والأطعمة الحمضية بطريقة متوازنة، ولكن العادات الغذائية للأشخاص المعاصرين، تميل إلى الانحياز نحو الأطعمة الحمضية. تدعم سبيرولينا أيضاً النظام الغذائي لهؤلاء الأشخاص [2].



الشكل 1. القيم الغذائية في طحلب السبيرولينا

III. التأثيرات الطبية للسبيرولينا:

1. التأثير المضاد للأكسدة وللالتهاب

في دراسة حديثة في المختبر، تم تقييم الخصائص المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات لأربعة مستحضرات سبيرولينا مختلفة باستخدام اختبار خالي من الخلايا بالإضافة إلى اختبار قائم على الخلايا. وقد وجد أن سبيرولينا تعطل جذور الأكسيد الفائق الحرة المتولدة خلال تفاعل مؤكسد بشكل يعتمد على الجرعة. على نفس القدر من الأهمية، بشكل معتمد على الجرعة تسبب سبيرولينا خفضاً في النشاط الأيضي للعدلات، مما يشير إلى النشاط المضاد للالتهابات . وقد فحصت الدراسات القائمة على الحيوانات النشاط المضاد للأكسدة لسبيرولينا. استخدم كيم وآخرون نموذج الأرنب الأبيض النيوزيلندي لفرط كوليستيرول الدم لدراسة التأثيرات المفيدة لسبيرولينا بلاتنسيس ضد بيروكسيدات الدهون في الأنسجة وتلف الحمض النووي المؤكسد، تم إحداث فرط كوليستيرول الدم عن طريق تغذية الأرانب باتباع نظام غذائي عالي الكولسترول (HCD) لمدة 4 أسابيع. وكان النظام الغذائي آنذاك مكمل بالسبيرولينا (1 أو 5%، وزن/وزن) لمدة 8 أسابيع. وجد الباحثون أن زيادة بيروكسيد الدهون الناجم عن HCD قل بشكل كبير وبفارق معنوي بوجود مكملات سبيرولينا.

فلوروبوراسيل (5-FU) هو دواء مضاد للسرطان ذو سمية قلبية، وتنتج هذه السمية القلبية عن الضعف المحدث بـ 5-FU في نظام الدفاع المضاد للأكسدة في عضلة القلب، مما يؤدي إلى تراكم البيروكسيد في القلب. لتقييم التأثيرات الوقائية للسبيرولينا على عملية فوق أكسدة الدهون lipid peroxidation الناجم عن 5-FU، تم تعريض جناسة الكبد من الماعز إلى 5-FU أو 5-FU ومستخلص ماء سبيرولينا. كما هو متوقع، تسبب 5-FU في زيادة المؤشرات الحيوية لبيروكسيد الدهون، و Malondialdehyde MDA و4-هيدروكسي-2-نونينال (4-HNE)، وانخفاض في محتوى الغلوتاثيون وأكسيد النيتريك. ومع ذلك، فإن مستخلص ماء سبيرولينا قلل بشكل كبير من مستويات MDAو4-HNE، وزاد المحتوى المنخفض من الغلوتاثيون. وهكذا تم التوصل إلى أن المستخلص المائي للسبيرولينا يثبط بشكل كبير عملية فوق أكسدة الدهون الناجم عن الدواء.

تم إجراء عدد من الدراسات على الحيوانات لتقييم الأنشطة المضادة للأكسدة و/أو المضادة للالتهابات في سبيرولينا. في إحدى الدراسات التي أجريت على فئران ذكور مسنة، عكست سبيرولينا الزيادة المرتبطة بالعمر في السيتوكينات المسببة للالتهابات في المخيخ، مثل عامل نخر الورم ألفا (TNFα) و TNFβ كما أدت مكملات السبيرولينا إلى انخفاض ملحوظ في علامة الأكسدة وذلك بانخفاض MDA في حين زادت وظيفة مستقبلات بيتا الأدرينالية المخيخية والتي انخفضت مع تقدم العمر. وهكذا أظهرت البيانات أنشطة سبيرولينا المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات في الفئران المسنة.

دوكسوروبيسين (DOX) هو مضاد حيوي من الأنثراسيكلينات يستخدم في علاج السرطان. ومع ذلك، فإن تطبيقه محدود بسبب سميته على القلب. إن توليد ROS، وفوق أكسدة الدهون، والأضرار التأكسدية المعتمدة على الحديد والتي تؤدي إلى خلل في الميتوكوندريا متورطة في السمية القلبية الناتجة عن DOX. لتحديد ما إذا كان سبيرولينا يمتلك نشاط وقائي للقلب ضد السمية القلبية الناجمة عن DOX، تم علاج الفئران باستخدام DOX وحده أو DOX مع سبيرولينا. كما هو متوقع، أظهرت الفئران المُعالجة بـ DOX أمراضاً قلبية حادة. ومع ذلك، فإن اعطاء سبيرولينا بجرعة 250 ملغ / كغ أدت إلى انخفاض كبير في معدل الوفيات والاستسقاء وفوق أكسدة الدهون وقللت من الأضرار المجهرية للقلب. إذاً أشارت البيانات إلى أن سبيرولينا كان له تأثير وقائي ضد السمية القلبية الناجمة عن DOX، على الأرجح من خلال نشاطه المضاد للأكسدة. كما هو موضح سابقاً، زادت مستخلصات سبيرولينا من الاصطناع الأساسي لأكسيد النيتريك وإطلاقه وقللت عامل انقباض الأوعية الدموية البطاني المعتمد على إنزيمات الأكسدة الحلقية البروستانويد في المختبر. تم تأكيد هذه النتائج في دراستين على الحيوانات في الجسم الحي. في إحدى الدراسات المبكرة التي أجريت على الفئران، أدى تناول نظام غذائي خاضع للرقابة يحتوي على 5% سبيرولينا إلى انخفاض كبير في التوتر الأقصى لحلقات الشريان الأبهر الذي تم تطويره استجابةً للفينيل افرين PE المضيق للأوعية . [3] .

2. التأثير المضاد للسرطان:

من الممكن أن يسبب الالتهاب المزمن العديد من الأمراض ومنها السرطان. وكون السبيرولينا تحتوي على مضادات الأكسدة التي تحارب الالتهاب المزمن، فقد يكون للسبيرولينا تأثير مضاد أو وقائي للسرطان خاصة بسبب احتوائها على مادة فيكوسيانين (Phycocyanin)، والذي يعد من أهم المكونات المسؤولة عن خصائصها المضادة للأكسدة والمانعة لنمو الأورام وحتى القضاء عليها. أما فيما يخص سرطان الفم تحديداً، فقد أجريت إحدى الدراسات على 87 شخصاً مصاباً بمجموعة من التليفات المخاطية والتي تعد آفات سرطانية، فظهر في الدراسة أنّه بعد استخدام 1 غرام يومياً لمدة سنة قلّت آفات الفم بنسبة 45% لدى المصابين، بينما عادت لتنمو وتتطوّر مباشرة بعد التوقف عن تناولها، ولكن لم تثبت فعالية نتائج هذه الدراسة إلى الآن. أظهر المستخلص المائي للسبيرولينا التجارية تأثيرات كبيرة مضادة للسرطان على خلايا سرطان الرئة A549، مما أدى إلى موت الخلايا المبرمج، وتثبيط تقدم دورة الخلية، وتعديل البروتينات الرئيسية المشاركة في تكاثر الخلايا والبقاء على قيد الحياة. الأهم من ذلك، أن المستخلص لم يُظهر أي سمية للخلايا الليفية الطبيعية في جلد الإنسان. أظهر مزيج من جاما توكوترينول (γT3) وسبيرولينا

انخفاضاً ملحوظاً في حجم الورم في نموذج فأر مصاب بسرطان الثدي. في حين أن كلا من γT3 وسبيرولينا قاما بتعديل مجموعات الخلايا المناعية بشكل فردي، فإن العلاج المركب لم يُظهر تأثيرات تآزرية مضادة للسرطان[4] .

3. التأثير المضاد الفيروسي والبكتيري:

سلطت العديد من الدراسات الحديثة الضوء على إمكانات المركبات الطبيعية كعوامل مضادة للفيروسات ضد مجموعة من الفيروسات. وجد جوزيف وزملاؤه (2020) أن مستخلصات الشاي الأخضر والسبيرولينا منعت بشكل فعال دخول السارس ومتلازمة الشرق الأوسط التنفسية والسارس –فيروسات النمط الكاذب لـCoV–2 ، مما يشير إلى إمكاناتها ضد الفيروسات التاجية الناشئة. أثبت غارسيا رويز، وزملاؤه (2022) أن مسحوق سبيرولينا يثبط عدوى SARS–CoV–2، حتى في اللقاح الفيروسي العالي. مما يشير إلى فعاليته كمرشح علاجي لـ COVID–19.

لقد استكشفت العديد من الدراسات الإمكانات المضادة للميكروبات والمضادات للأكسدة لمستخلصات سبيرولينا بلاتنسيس. قام عبد المنعم وزملاؤه (2022) بتقييم فعالية المستخلص ضد مسببات الأمراض المختلفة، حيث أظهرت الكليبسيلا الرئوية أعلى حساسية. على العكس من ذلك، أظهرت *Proteus vulgaris* أقل حساسية. قام Safari (2020) بعزل وتنقية C–Phycocyanin (C–PC) من سبيرولينا بلاتنسيس باستخدام ترسيب الليزوزيم وكبريتات الأمونيوم. قاموا بتقييم خصائصه المضادة للأكسدة باستخدام نشاط مسح الجذور DPPH، ونشاطFRAP ، و+Fe2، ووجدوا نشاطاً مهماً مضاداً للأكسدة. تم أيضاً إثبات النشاط المضاد للبكتيريا ضد الإشريكية القولونية، والمكورات العنقودية الذهبية، والليستيريا المستوحدة، والمكورات العقدية *iniae*، واليرسينيا روكيري، حيث كانت *L. monocytogenes* الأكثر حساسية و *S. iniae* الأكثر مقاومة. أشارت قيم MIC وMBC إلى نشاط مضاد للجراثيم معتدل لـ C–PC، تؤكد هذه النتائج على إمكانات مستخلصات سبيرولينا بلاتنسيس وC–PC كعوامل طبيعية مضادة للميكروبات[5] .

4. التأثير المضاد للسكري والسمنة:

أظهرت بعض الدراسات التي أجريت على الحيوانات أنّ السبيرولينا من شأنها أن تخفّض من مستويات السكر في الدم بشكل ملحوظ. وفي دراسة أخرى أجريت على البشر، وشملت 25 مريضاً مصاباً بالسكّري من النوع الثاني أدى تناول 2 غرام منها يومياً لخفض مستوى سكر الدم إلى درجة تقلل خطر الوفاة بسببه بنسبة 21%، إلّا أنّه في الواقع دامت هذه الدراسة لمدة شهرين ونصف فقط، ما يشير إلى حاجة إعادة فحص العلاقة بين سبيرولينا وسكر الدم بشكل أكثر عمقاً. أفاد Okechukwu أنه يمكن للسبيرولينا أن تقلل من سكر الصيام، ومستوى الغلوكوز في الدم بعد الطعام، ومستويات الهيموغلوبين السكري (HbA–1c) لدى الأفراد المصابين بالسكري. في الجرذان المصابة بداء السكري، تعمل السبيرولينا على تعزيز نشاط إنزيمات الهيكسوكيناز والغلوكوز 6 فوسفات، مما يؤدي إلى تحسين مستويات الأنسولين في البلازما. تتمتع سبيرولينا بلاتنسيس بتأثيرات قوية مضادة لمرض السكري، كما أشار Guldas (2020) فهو يخفض نسبة السكر في الدم والإجهاد التأكسدي في الجرذان المصابة بداء السكري، مما يزيد من مستويات إنزيمات مضادات الأكسدة (GSH–Px) و(SOD) بنسبة 19% إلى 59% على التوالي. علاوة على ذلك، فإنه يقلل من الغلوكوز، والدهون الثلاثية، ومستويات الكوليسترول الإجمالية، ومحتوى المالونديالدهيد MDA بنسبة تصل إلى 56%، مما يشير إلى خصائص مضادة لفرط سكر الدم، ومضادة لفرط شحميات الدم، ومضادة للأكسدة.

درس رابح وزملاؤه (2021) سبيرولينا بلاتنسيس (لتأثيرها على ارتفاع السكر في الدم الناجم عن STZ وضعف الكلى في الفئران). أظهرت الفئران التي تلقت مكملات سبيرولينا المتنوعة زيادة في وزن الجسم النهائي وكفاءة التغذية وزيادة وزن الجسم مقارنة بالشواهد. أظهرت الفئران المصابة بالسكري تحسناً في تركيز الأنسولين، وانخفاض مستويات الغلوكوز، وتحسين وظائف الكلى. كما خفضت سبيرولينا مستوى الدهون في الدم وزيادة بيروكسيداز الغلوتاثيون، مما يشير إلى قدرتها على تدبير الاعتلال العصبي السكري[6] .

5. التأثير على الصيغة الشحمية:

تم إثبات تأثير سبيرولينا الخافض للدهون في الدم أو مستخلصاته في نماذج حيوانية مختلفة بما في ذلك الفئران والجرذان والهامستر والأرنب. تم الإبلاغ عن نشاط خافض للكوليسترول لسبيرولينا لأول مرة في الفئران البيضاء. في دراسة الفئران، أدت إضافة 16% سبيرولينا في نظام غذائي عالي الدهون والكوليسترول إلى انخفاض كبير في إجمالي الكوليسترول في الدم، LDL، الكوليسترولVLDL ، والفوسفوليبيدات في حين حدثت زيادة في الكوليسترول الحميد في الدم بشكل متزامن. بالإضافة إلى ذلك، تم تقليل نسبة الدهون الكبدية المرتفعة الناجمة عن اتباع نظام غذائي عالي الدهون والكوليسترول بشكل ملحوظ عن طريق استهلاك سبيرولينا. [7]

6. تأثيرات أخرى تم ذكرها في بعض المراجع:

1- تبين في إحدى الدراسات التي أجريت على أشخاص مصابين بالتهاب الأنف التحسسي فوائد هذه الطحالب في التخفيف من بعض الأعراض المصاحبة لالتهاب الأنف التحسسي، مثل إفرازات واحتقان الأنف، والعطاس والحكة لدرجة كبيرة، والتي تنتج عن مسببات الحساسية، مثل حبوب الطلع، وشعر الحيوانات، وغبار القمح، ما قد يجعلها بديلاً محتملاً لعلاج أعراض تحسس الأنف.

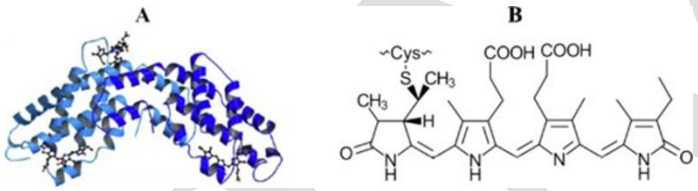
2- يتميز أكثر أنواع فقر الدم شيوعاً بانخفاض الهيموغلوبين أو خلايا الدم الحمراء في الدم، وهو أمر يتعلق أيضاً بنقص الحديد في الجسم. في دراسة أجريت على 40 شخصاً من كبار السن ولديهم تاريخ من فقر الدم، زادت مكمّلات السبيرولينا من محتوى الهيموغلوبين في خلايا الدم الحمراء كما تحسّن عمل جهاز المناعة، ومع ذلك لم تجر العديد من الدراسات في هذا الخصوص ما يعني وجود حاجة لدراسات على مستوى أكبر لفهم التأثير بشكل أدقّ.

3- بسبب محتواها العالي من مضادات الأكسدة، والفيتامينات، والعناصر الأساسية قد يكون للسبيرولينا دور في الحفاظ على صحة الجهاز المناعي، وتحفيز إنتاج خلايا الدم البيضاء والأجسام المضادة، ما قد يكون له دور في تعزيز عمل الجهاز المناعي في محاربة بعض أنواع الفيروسات، مثل: الإنفلونزا، ولكن ما زال هذا الادعاء قيد الدراسة.

4- تشير بعض الدراسات أنّ سبيرولينا قد تكون من ضمن الأطعمة التي ترفع من قدرة العضلات على تحمل ضرر تأكسد خلايا العضلات والتقليل منها، ولكن لا تزال هناك حاجة لإثبات ذلك على نحو أدقّ.

IV. صباغ C-CP، استخلاصه من طحلب سبيرولينا وثباته

يتكون هيكل Phycocyanin من مونومر يتكون من وحدتين فرعيتين على شكل حلزون، تسمى ألفا (α) وبيتا(β) ، مع كروموفور بيلين متصل بالوحدة الفرعية α واثنتان منها بالوحدة الفرعية β تتجمع المونومرات معاً لتشكل قاطعاً على شكل حلقة $(\alpha\beta)_3$، مما ينتج عنه هياكل سداسية. يعد الكروموفور، المسمى phycocyanobilin، مسؤولاً عن اللون الأزرق للجزيء ويتكون من مجموعة رباعي البيرول ذات سلسلة مفتوحة تربط البروتينات من خلال رابطة ثيويثر.



الشكل2. (أ) التمثيل التخطيطي للوحدات الفرعية α (لون أكثر إشراقاً) و β (لون أغمق) من فيكوسيانين. (ب) التركيب الكيميائي للفيكوسيانوبيلين.

أظهر C-PC قدرة تفاعلية ضد أنواع الأكسجين، مثل جذر الهيدروكسيل(•OH) ، وجذر الكوكسيل (•RO) وجذر البيروكسيل (•ROO)، مما يوفر خصائص مضادة للالتهابات ومضادة للميكروبات وواقية للأعصاب وواقية للكبد (ولذلك، فإن الاهتمام بتطبيق C-PC لا يرجع فقط إلى اللون الأزرق ولكن أيضاً إلى قدرته المضادة للأكسدة. ومن الجدير بالذكر أن هذه الخصائص موجودة أيضاً في PBPs Phycobiliproteins، والتي يمكنها تثبيت الأكسجين المفرد عن طريق أكسدة الروابط المزدوجة رباعي

البيرول. يعد نقاء C–PC عاملاً أساسياً يحدد تطبيقه. يعتمد النقاء على نسبة A620/A280، التي تتعلق بامتصاص الفيكوسيانين عند 620 نانومتر (A620) وامتصاص البروتينات الأخرى عند 280 نانومتر (A280). تبلغ تكلفة C–PC من الدرجة الغذائية حوالي 0.13 دولاراً أمريكياً لكل 1 مغ، بينما يمكن أن تصل تكلفة C–PC التحليلية إلى 15 دولاراً أمريكياً (ترتبط القيم التجارية العالية بالصعوبات في مراحل الاستخلاص والتنقية، مما يؤدي في النهاية إلى جعل C–PC باهظة الثمن). لا يزال تطبيق Phycocyanin (C–PC) من قبل الصناعة محدوداً بسبب عيوب طرق الاستخلاص وانخفاض ثبات هذه المركبات بعد عملية الاستخلاص. للتغلب على هذه القيود، تم تقييم منهجيات الاستخلاص البديلة، واستخدمت عوامل التثبيت في ظل ظروف مختلفة في السنوات الماضية. لذلك، كان الهدف من هذه المراجعة هو تقديم أحدث طرق استخلاص C–PC، بما في ذلك المعلمات الرئيسية التي تؤثر على عملية الاستخلاص. أشار تحليل نقدي لطرق الاستخلاص إلى أن المجال الكهربائي النبضي pulsed electric field (PEF) يعد تقنية واعدة لاستخلاص C–PC نظراً لأن المستخلصات تقدم تركيزاً ونقاءً عالياً نسبياً لـ C–PC. ، قد اكتسب تطبيق المجالات الكهربائية النبضية (PEF) لاستخلاص المركبات الداخلية من الطحالب الدقيقة والبكتيريا الزرقاء اهتماماً كبيراً في السنوات الماضية. تتكون هذه التقنية من تطبيق نبضات كهربائية قصيرة (نانو إلى ميكروثانية) ذات كثافة مجال كهربائي عالية (> 1 كيلو فولت سم-1) من خلال مصفوفات بيولوجية موضوعة بين قطبين كهربائيين. عند تطبيقه على مادة حيوية، قد يعزز PEF التعديلات على بنية غشاء الخلية، مما يؤدي إلى تغييرات في نفاذية الغشاء، والتي تعزى إلى تكوين المسام (المسارات المائية)؛ وتسمى هذه الظاهرة التثقيب الكهربائيElectroporation ، اعتماداً على شدة المجال الكهربائي، ووقت التعرض للمجال الكهربائي، وخصائص الخلية (الحجم والتوصيل الكهربائي) ومعدل استعادة الغشاء، قد يكون التثقيب الكهربائي قابلاً للعكس أو لا رجعة فيه. إذا كانت شدة المجال لا تتجاوز العتبة القابلة للعكس، يحدث التثقيب الكهربائي القابل للعكس؛ في هذه الحالة، يتم نفاذية غشاء الخلية لفترة ثم يعود بعد ذلك إلى حالته الأصلية. إذا تم تطبيق كثافة أعلى للمجال، فقد يصبح الغشاء كهربائياً بشكل لا رجعة فيه، مما يؤدي إلى فقدان قدرة الخلية على البقاء. تؤدي الطرق الأخرى للاستخلاص إما إلى مستخلصات منخفضة النقاء أو تتطلب وقتاً طويلاً. فيما يتعلق بعوامل التثبيت، تعد البوليمرات الطبيعية والسكريات من المركبات المحتملة التي يمكن استخدامها في تركيبات الأغذية لتجنب فقدان اللون والنشاط المضاد للأكسدة[8].

٧. استعمال طحلب السبيرولينا كعلف للحيوانات:

يتطلب إنتاج اللحوم كميات كبيرة من المدخلات، ولذلك يعتبر في العديد من البلدان والثقافات منتجاً غذائياً عالي القيمة. ومع ذلك، وبسبب زيادة الأجور وزيادة عدد سكان العالم، يستمر الطلب العالمي على البروتينات الحيوانية في النمو. انتقلت سبيرولينا (أرثروسبيرا بلاتنسيس) إلى دائرة الضوء كمصدر مستدام للبروتين للاستهلاك المباشر وكذلك الأعلاف الحيوانية. ينبع الاهتمام بالسبيرولينا من محتواها العالي من البروتين الخام (> 60% في محتوى المادة الجافة) وكمصدر للأحماض الأمينية الأساسية والأحماض الدهنية. علاوة على ذلك، باعتبارها من البكتيريا الزرقاء، تقدم السبيرولينا فرصة مثيرة للاهتمام لاستخدام الموارد التي لم يتم تضمينها في نظام إنتاج الغذاء. يمكن زراعة سبيرولينا في المفاعلات الحيوية أو الأحواض المفتوحة. سيكون استخدام الموارد البديلة أمراً مهماً في ضمان التنمية المستدامة لأنظمة إنتاج الغذاء لتلبية الطلب العالمي المتزايد على البروتين. كجزء من العديد من المشاريع البحثية الكبيرة، قام قسم علوم الحيوان في جامعة جوتنجن بإجراء تحقيق شامل في السبيرولينا كعنصر في علف الحيوانات. بحث مشروع "تحولات الاستدامة في إنتاج الغذاء" في الفرص والحواجز التي تحول دون انتقال السبيرولينا إلى الإنتاج الحيواني الأوروبي. في مشروع "التكثيف المستدام لتربية الأحياء المائية في سمك السلمون المرقط (SusTAIn)، تمت دراسة البروتينات البديلة مثل السبيرولينا لمعرفة آثارها المحتملة على معايير النمو وسمات جودة المنتج في سمك السلمون المرقط وغيره من أنواع الأسماك ذات الأهمية التجارية. وتلخص هذه الرسالة نتائج هذه المشاريع. نجح الباحثون في استبدال وجبة فول الصويا

بالسبيرولينا بشكل كامل؛ تم استكمال الأنظمة الغذائية التجريبية وموازنتها وفقاً لمتطلبات الأحماض الأمينية الحيوانية. على الرغم من أنه تبين أن إنشاء تغذية فرعية ناجحة ودمج سبيرولينا دون آثار ضارة على نمو الحيوان أمر ممكن في العديد من الدراسات، فقد لوحظ انخفاض الأوزان الحية وانخفاض تناول الأعلاف عندما لم تكن الوجبات الغذائية الحيوانية بما في ذلك سبيرولينا متوازنة. وبعد ذلك، تمت دراسة تأثير السبيرولينا كعلف على جودة اللحوم الناتجة. أولاً تمت مراقبة جودة اللحوم باستخدام العديد من العوامل الفيزيائية والكيميائية بالإضافة إلى التحليل الحسي. تم تحديد اختلافات ملحوظة في جودة اللحوم في الدجاج اللاحم الذي تم تغذيته بالسبيرولينا. وفقاً للبحث السابق، لوحظ لوناً أكثر كثافة للحوم المنتجة بالسبيرولينا كعلف؛ يُظهر كل من لحم الصدر والفخذ درجات أعلى من اللون الأحمر (a*) والأصفر (b*) كما هو مسجل في نظام الألوان CIELAB. وبعبارة أخرى، يتحول لحم الدواجن إلى لون برتقالي كثيف عندما يتم تضمين السبيرولينا بمعدلات عالية كعنصر علف. وبناءً على هذه الملاحظة، تم إجراء بحث حول الآثار المترتبة على قابلية التسويق. وجدت دراسة حول تفضيلات المستهلك لمظهر لحوم الدواجن أن المستهلكين سيرفضون (لا يشترون) لحوم الدواجن المنتجة بالسبيرولينا ما لم يتم تقديم معلومات توضح اللون غير المألوف. وشملت التغييرات الأخرى الدقيقة في جودة اللحوم: زيادة الأومامي umami وبالتالي نكهة الدجاج وانخفاض النكهة في لحم الثدييات المنتج بالسبيرولينا كعلف. على الرغم من أن السبيرولينا يُستشهد بها في كثير من الأحيان كمضاد للأكسدة، فإن عينات اللحوم المنتجة باستخدام السبيرولينا كعلف أظهرت معدلات أعلى من فوق أكسدة الدهون مقارنة بمجموعات المعالجة الأخرى (وجبة فول الصويا أو وجبة الحشرات). شمل تقييم جودة اللحوم أيضاً مراقبة تكوين الأحماض الدهنية للدهون العضلية. على الرغم من سمعتها كمصدر جيد للأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة (PUFA)، وخاصة حمض غاما لينولينيك (GLA) فإن السبيرولينا كعلف لم ينتج عنه ارتفاع مستويات GLA أو أوميغا 3 في الدهون العضلية، عند مقارنتها بعينات اللحوم. لم ترتفع مستويات PUFA مقارنة بوجبة فول الصويا لأن فول الصويا يعد أيضاً مصدراً جيداً لـPUFA وكانت المستويات متشابهة عبر الأنظمة الغذائية التجريبية. يجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على فهم أفضل للامتصاص الفيزيولوجي للأحماض الدهنية المشتقة من السبيرولينا. كما أجرى تحليلاً متعمقاً حول تأثير السبيرولينا كعلف على رائحة اللحوم. يقلل سبيرولينا كعلف من مستويات المركبات النشطة بيولوجياً الداخلية مثل الأنسرين والكرياتين والكارنوزين؛ في حين أنها تزيد كميات المركبات المرتبطة بالنكهة (أي إينوزين وإينوسوسين–5′– أحادي الفوسفات). علاوة على ذلك، وجد أن رائحة الدجاج الذي يتم تغذيته بالسبيرولينا يمكن تمييزه عن العينات التي يتم تربيتها على الأعلاف الأخرى؛ تميز المظهر جزئياً بالمركبات المرتبطة بفوق أكسدة الدهون. [9].

VI. استعمال السبيرولينا التجميلي:

تعد سبيرولينا مكوناً نشطاً بيولوجياً محتملاً لتطوير مستحضرات تجميل فعالة وآمنة. في السنوات الأخيرة، تم دراسة فوائد منتجات سبيرولينا للعناية بالبشرة من قبل أكاديميين وباحثين. تحتوي سبيرولينا على مجموعة من المكونات ذات التأثير التآزري، مثل الببتيدات والأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة والفيتامينات والمعادن والمغذيات النباتية المضادة للأكسدة، والتي توفر عملاً صحياً كاملاً للتركيبة. تتوفر في السوق العديد من مستخلصات/مساحيق سبيرولينا ومنتجات العناية بالبشرة القائمة على الطحالب، ومن المتوقع أن ينمو هذا المجال بشكل أكبر في السنوات التالية. كعنصر صياغة، سبيرولينا .S–بلاتنسيس أو .S ماكسيما، باعتبارها الأنواع الرئيسية – تستخدم كمستخلص أزرق جاف أو سائل مركّز وغني بالفيكوسيانين في المنتجات الفاخرة، أو كمسحوق خام في التركيبات الأرخص. هناك عدد من التركيبات الموضعية القائمة على سبيرولينا تعرض مجموعة كبيرة من التأثيرات، بما في ذلك التأثير المضاد للأكسدة، والتنشيط، وإعادة التمعدن، والترطيب، والحماية إلى جانب التنظيف والتألق، لكل من الشعر والبشرة. لذلك، يمكن استخدام هذه المنتجات موضعياً كمعزز للترطيب ومضاد للتجاعيد ومضاد للشيخوخة ومضاد لحب الشباب. وفي الوقت نفسه، يمكن دمج سبيرولينا في تركيبات العناية بالبشرة لتعزيز الحماية الصحية من أشعة الشمس،

وعلاج اضطرابات تصبغ الجلد وتحقيق فوائد التئام الجروح. على الرغم من التقدم الأخير، يجب إجراء مزيد من البحث في الموضوع. وبالإضافة إلى ذلك، ينبغي أيضاً دراسة المخاطر على صحة الإنسان (سمية الجلد، والحساسية، وما إلى ذلك) بمزيد من التعمق لتحسين المنتجات التجميلية القائمة على السبيرولينا على المدى الطويل. على سبيل المثال، قد يقترح نشاط سبيرولينا المضاد للبكتيريا دراسة كيفية تأثير هذه الطحالب على ميكروبيوم الجلد بتفاصيل أعمق. تعد العناية بالبكتيريا المتعايشة مع الجلد، وبالتالي تجنب خلل التنسج الجلدي، موضوعاً ناشئاً في كل من المجالات التجميلية والجلدية. يرتبط خلل ميكروبيوم الجلد بمعدل أعلى للإصابة بأمراض الجلدية، وذلك بسبب فرط انتشار بعض البكتيريا التي تستعمر عادة بصيلات الشعر والغدد. [10].

VII. الخلاصة:

سبيرولينا طحالب زرقاء –خضراء تنمو بكثرة في المناطق الدافئة المسطحات المائية حول العالم. سبيرولينا نوع من أعشاب طحلبية تسمى البكتيريا الزرقاء تشبه أعشاب سويزينجي البحرية، وهي واحدة من أقدم النباتات التي وجدت على الأرض منذ أكثر من 3 مليار سنة. تغزو أكثر من 70% من كمية السبيرولينا السوق حالياً للاستهلاك البشري بسبب ارتفاع نسبة البروتين والأحماض الأمينية الأساسية والمعادن والفيتامينات والدهنيات الأساسية والمحتوى الحمضي فيها . أنواع مثل أرثروسبيرا بلاتنسيس وأرثروسبيرا ماكسيما Arthrospira platensis and Arthrospira maxima هي كثيرا ما تستخدم كغذاء، وكمكملات غذائية، والمواد المضافة للأعلاف. يتم حالياً ترويج السبيرولينا واستخدامها كوجبة للناس، وقد تم الاعتراف بها على هذا النحو من قبل العديد من الحكومات، المنظمات الصحية والجمعيات في جميع البلدان تقريباً. على الرغم من السمات الواعدة للسبيرولينا، فمن الضروري النظر في الاختلافات المحتملة في تركيبتها بناءً على ظروف الزراعة وطرق التحليل. تعد سبيرولينا مكوناً نشطاً بيولوجياً محتملاً لتطوير مستحضرات تجميل فعالة وآمنة. وتتوفر في السوق العديد من مستخلصات/مساحيق سبيرولينا ومنتجات العناية بالبشرة القائمة على الطحالب، ومن المتوقع أن ينمو هذا المجال بشكل أكبر في السنوات التالية. تحتوي سبيرولينا على العديد من المكونات النشطة، ولا سيما فيكوسيانين وبيتا كاروتين التي لها أنشطة قوية مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات، وأظهرت مستخلصات السبيرولينا فعالية في مقاومة السرطان وتنظيم سكر الدم وتأثيرات على الصيغة الشحمية، كما لها فعالية واقية للكبد وواقية من التسمم بالمعادن الثقيلة، بشكل عام للسبيرولينا بأنواعها تأثيرات متنوعة على الصحة العامة، ويمكن أن تكون داعمة في علاج بعض الأمراض في حال تم الاعتماد عليها في الأنظمة الغذائية لاسيما تلك التي تستهدف تدبير حالات فقر الدم او السمنة. أخيراً لا يزال تطبيق Phycocyanin (C–PC) المستخلص من قبل الصناعة محدوداً بسبب عيوب طرق الاستخلاص وانخفاض ثبات هذه المركبات بعد عملية الاستخلاص. يتم عادة استخدام عوامل التثبيت لتجنب تدهور محتوى C–PC أثناء التخزين وتجهيز الأغذية. يعتبر الاستخلاص في المجال الكهربائي النبضي pulsed electric field (PEF) تقنية واعدة لاستخلاص C–PC نظراً لأن المستخلصات تقدم تركيزاً ونقاءً عالياً نسبياً لـ C–PC.

المراجع:

[1]. Fais G, Manca A, Bolognesi F, Borselli M, Concas A, Busutti M, et al. Wide Range applications of Spirulina: from earth to space missions. Mar Drugs. 2022;20(5):299-302. doi: 10.3390/md20050299, PMID 35621951

[2]. Jung F, Krüger-Genge A, Waldeck P, Küpper J-H. Spirulina platensis, a super food? J Cell Biotechnol. 2019;5(1):43-54. doi: 10.3233/JCB-189012.

[3]. Bhat VB, Madyastha KM. C-phycocyanin: a potent peroxyl radical scavenger in vivo and in vitro. Biochem Biophys Res Commun. 2000;275(1):20-5. doi: 10.1006/bbrc.2000.3270, PMID 10944434.

[4]. Hamidah A, Rustam ZA, Tamil AM, Zarina LA, Zulkifli ZS, Jamal R. Prevalence and parental perceptions of complementary and alternative medicine use by children with cancer in a multi-ethnic Southeast Asian population. Pediatr Blood Cancer. 2009;52(1):70-4. doi: 10.1002/pbc.21798, PMID 18937312.

[5]. Kokou F, Makridis P, Kentouri M, Divanach P. Anti-bacterial activity in microalgae cultures. Aquacult Res. 2012;43(10):1520-7. doi: 10.1111/j.1365-2109.2011.02955. x.

[6]. Vidé J, Virsolvy A, Romain C, Ramos J, Jouy N, Richard S, et al. Dietary silicon-enriched Spirulina

improves early atherosclerosis markers in hamsters on a high-fat diet. Nutrition. 2015;31(9):1148-54. doi: 10.1016/j.nut.2015.03.014, PMID 26233874.

[7]. Muga MA, Chao JC. Effects of fish oil and Spirulina on oxidative stress and inflammation in hypercholesterolemic hamsters. BMC Complement Altern Med. 2014;14(10):1472-82. doi: 10.1186/1472-6882-14-470, PMID 25481402.

[8]. Prabakaran, G., Sampathkumar, P., Kavisri, M., & Moovendhan, M. (2020). Extraction and characterization of phycocyanin from Spirulina platensis and evaluation of its anticancer, antidiabetic and antiinflammatory effect. International Journal of Biological, 153, 256–263. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.009.

[9]. Altmann, B.A.; Rosenau, S. Spirulina as Animal Feed: Opportunities and Challenges. Foods 2022, 11, 965. https://doi.org/10.3390/foods11070965

[10]. Ragusa, I.; Nardone, G.N.; Zanatta, S.; Bertin, W.; Amadio, E Spirulina for Skin Care: A Bright Blue Future. Cosmetics 2021, 8, 7https://doi.org/10.3390/cosmetics8010007

JMU