مخلفـــــات النخيـــــل

من مشكلة الى فائدة اقتصادية وبيئية

الدراسة المرجعية

مُقدمة من

فريق العمل

أ.د./ حسام علي علي متولي	خبير النخيل بالمجلس الدولي للتمور، المملكة العربية السعودية	رئيسا
د./ مها صبحي السيد	المعمل المركزي للأبحاث وتطوير نخيل البلح، مركز البحوث الزراعية، الجيزة، 12619، مصر	عضوا & مُنسقا
أ.د./ وسام الدين إسماعيل علي صابر	قسم الميكروبيولوجيا، معهد بحوث التربة والمياه والبيئة، مركز البحوث الزراعية، الجيزة، 12619، مصر	عضوا
د./ ريهام السيد محمود	معهد بحوث التربة والمياه والبيئة، مركز البحوث الزراعية، الجيزة، 12619، مصر	عضوا
د./ آمال علي زينهم محمود	المعمل المركزي للأبحاث وتطوير نخيل البلح، مركز البحوث الزراعية، الجيزة، 12619، مصر	عضوا

مَراجعة

أ.د./ عبد الرحمن سليمان الحبيب

المدير التنفيذي للمجلس الدولي للتمور،

المملكة العربية السعودية

أ.د./ عز الدين جاد الله العباسي

مدير المعمل المركزي للأبحاث وتطوير نخيل البلح،

مركز البحوث الزراعية، الجيزة، 12619، مصر

قائمة المحتويات

مُقدمة من..... 1

مُراجعة 2

قائمة المحتويات..... 3

قائمة الأشكال 7

المقدمة 9

1. نوي التمر..... 12

1- 1. نوي التمر لتحضير الكربون النشط..... 12

1-1-1.توصيف الكربون النشط 13

1-1-2.فوائد الكربون النشط..... 15

1-2. إنتاج الزيت الحيوي من نوي التمر..... 16

2. سعف النخيل..... 18

2-1. سعف النخيل لتحضير الكربون النشط 18

2-1-1. دور الكربون النشط المحضر من سعف النخيل في إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي..... 20

2-2. سعف النخيل لإزالة أيونات الرصاص من مياه الصرف الصحي 20

2-3. الإنتاج الحيوي لحمض الستريك من أوراق نخيل التمر..... 21

2-3-1. اختيار المواد الأولية والمعالجة المسبقة 22

2-3-2. التحلل المائي 23
2-3-3. التخمير 25
2-3-4. المعالجة النهائية (التنقية والاستخلاص) 26
2-3-5. الإستفادة من المنتجات الثانوية وإدارة المخلفات 27
2-3-6. الإعتبارات الإقتصادية والبيئية 28
2-4. إنتاج الوقود الحيوي من متبقيات نخيل التمر 29
2-4-1. عمليات المعالجة الأولية لإنتاج الوقود الحيوي [49] 31
2-4-2. عمليات المعالجة الأولية [49] 32
2-4-2-1. الطرق الميكانيكية 32
2-4-2-2. الطرق الكيميائية 33
2-4-3. إنتاج الوقود الحيوي 33
2-4-3-1. الإنتاج الكيميائي للوقود الحيوي 34
2-4-3-2.الإنتاج البيولوجي للوقود الحيوي [50] 35
2-4-4. جودة ووصف الوقود الحيوي [51] 40
2-5. إنتاج البيوشار من مخلفات النخيل 41
2-5-1. تحضير البيوشار من مخلفات النخيل 43
2-5-2. تطبيقات البيوشـار 44
2-5-2-1. خصوبة التربة ونمو النباتـات 44
2-5-2-2. إمتصاص ثاني أكسيد الكربون 47

2-5-2-3. التحول إلى منتجات مرتفعة الطاقة 48
2-5-2-4. إستخدامات أخري للبيوشـار 49
2- 6. إعداد الكمبوست من مخلفات النخيل 50
2-6-1. الخصائص الفيزيائية والكيميائية للكمبوست الناتج من بقايا نخيل التمر
..... 52
2-6-2. تحضير السماد من بقايا نخيل التمر 52
2-6-3. تطبيقات علي كمبوست مخلفات النخيل..... 53
2-6-3-1. تأثير كمبوست النخيل علي نمو النبات وتطويره 53
2-6-3-2. تاثير كمبوست النخيل خصوبة التربة 55
2-6-3-3. كمبوست نخيل التمر كوسط غذائي 56
2- 6-3- 4. كمبوست نخيل التمر لمكافحة أمراض النباتات 57
2-7. ألياف السليولوز من مخلفات النخيل 60
2-7-1. طريقة عزل ألياف السليولوزمن بقايا النخيل..... 61
2-7-2. توصيف ألياف السليولوز..... 62
2-7-3. تطبيقات إستخدام ألياف السليولوز المعزولة من بقايا نخيل التمر.. 63
2-7-3-1. صناعة الورق..... 63
2-8. مركبات أخرى من ألياف شجرة النخيل 66
2-8-1. اللوح الليفي MDF 66
2-8-2. مركب الإيبوكسي 66
2-8-3. ألواح الجبس..... 66

3. تحديات وقيود استخدام بقايا أشجار النخيل 67
3-1. غياب الوعي 67
3-2. عدم كفاية البحث والتطوير..... 68
3-3. سياسات داعمة غير كافية 68
3-4. إنتاج الوقود الحيوي غير متطور..... 69
3-5. التقييم البيئي لعملية إعادة التدوير 69
3-6. الافتقار إلى التعاون العلمي 70
3-7. نقص المعدات..... 70
3-8. تباين المواد الخام 70
4. إقتراحات للتغلب على هذه التحديات 71
4-1. الإعلام والتوعية العامة 71
4-2. دعم البحث العلمي 71
4-3. الدعم الحكومي 72
4-4. تعميم إعادة تدوير النفايات 72
4-5. مراقبة الجودة 73
4-6. التعاون العلمي 73
4-7. التكامل مع الصناعات القائمة 73
الخلاصة..... 75
المراجع 77

قائمة الأشكال

الشكل (1): يعبر عن كمية متبقيات النخيل الضخمة التي تنتج خلال موسم التقليم 11
الشكل (2): يوضح مراحل تحويل نواة التمر الي كربون نشط..... 13
الشكل (3): يوضح الحصول على زيت نخيل التمر باستخدام مذيبات مختلفة (أ) ن-هكسان، (ب) إيثانول، (ج) إيزوبروبانول[33] 17
الشكل (4): سعف النخيل الخام (أ)، والكربون النشط المحضر من سعف النخيل (ب)، وSEM للكربون النشط (ج)..... 19
الشكل (5): سعف النخيل الخام بعد التجفيف (أ) ومطحون سعف النخيل (ب) 21
الشكل (6): مخلفات النخيل الممزوجة بالسماد الحيواني بنسبة 1: 3 53
الشكل (7): يوضح تركيب جزيئات السليلوز 61
الشكل (8): المراحل المختلفة لعزل ألياف السليولوز من بقايا نخيل التمر..... 62
الشكل (9): البراميل المستخدمة في تجفيف ورق اليد..... 64
الشكل (10): ورقة يدوية من بقايا نخيل التمر قبل وبعد عملية التبييض 65

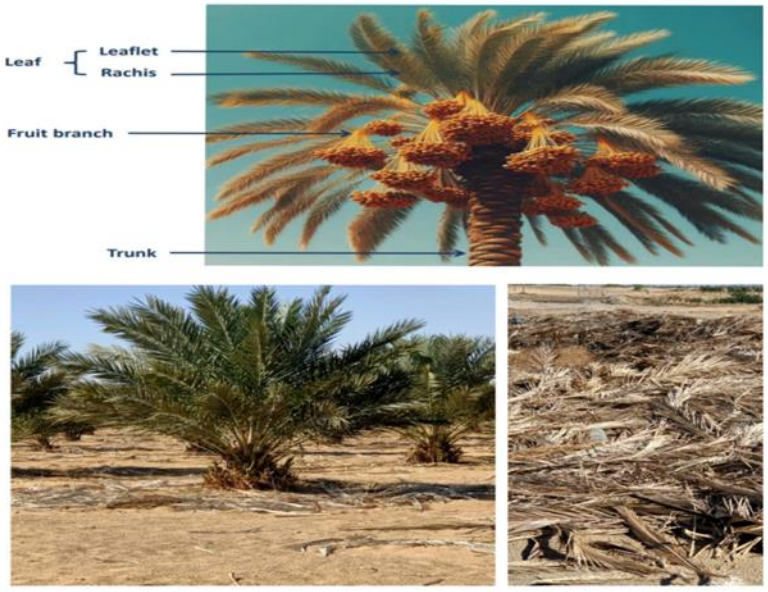
المقدمة

تتميز شجرة نخيل التمر (*Phoenix dactyylifera* L.) بأنها من أوائل الأشجار المزروعة في العالم، حيث تعود أصولها إلى العصور القديمة. وتشير الأدلة إلى أن نخيل التاريخ كان يزرع منذ عام 4000 قبل الميلاد. وعلاوة على ذلك، فإن وجودها في الأزمنة القديمة يزداد تأكيداً بتمثيلها الرمزي في مختلف الثقافات. على سبيل المثال، في الهيروغليفيات المصرية، كانت النخلة رمزاً لسنة، في حين استُخدم سعفها كأيقونة لشهر. وهذه الأهمية الثقافية الدائمة تبرز الأهمية الطويلة الأمد لتاريخ النخيل عبر التاريخ [1]. وتاريخ شجرة النخيل يعود إلى العائلة النخيلية Palmae (Arecaceae) وهي واحدة من أكثر أنواع النخيل شيوعاً في الصناعة الزراعية في العالم [2]. ويبلغ عدد أشجار النخيل أكثر من 200 مليون شجرة في جميع أنحاء العالم، ويقع معظمها في مصر والمملكة العربية السعودية وإيران والإمارات العربية المتحدة والجزائر [3]. ينمو ما بين 12-15 ورقة سنويا، ومن ثم تُزال هذه الكمية الضخمة كجزء من الحفاظ علي النخيل [4] ينتج عن هذة العملية ملايين الأطنان من متبقيات النخيل كما موضح في الشكل 1. هذه المتبقيات تشمل الأوراق والجذور والساق، لكل جزء من هذة المتبقيات خصائصه الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الخاصة به. وتتفاوت هذه الخواص تبعاً لنوع المخلفات ومصدرها وطريقة جمعها وتخزينها ومعالجتها [5]. وفي معظم الحالات، يستخدم هذا المقدار

الكبير من متبقيات النخيل في الفنون والحرف التقليدية أو يحرق في البيئة مما يتسبب في انبعاث ثاني أكسيد الكربون، ويمكن جمعه داخل المزرعة مما يتسبب في تفشي أمراض ضارة بأشجار النخيل. وكبديل لحل هذة المشكلة، يمكن استخدام هذه الكمية الضخمة من متبقيات النخيل في مجموعة متنوعة من التطبيقات التكنولوجية، مثل إنتاج حمض الستريك [6]، وتحضير الكمبوست، والفحم الحيوي، والكربون النشط، وعزل ألياف السليولوز [7]. كما يمكن استخدامها في إنتاج الورق، والألواح الخشبية، والأسمدة، والوقود الحيوي، والأعلاف الحيوانية، كما يمكن استخدامها في مشاريع التسمين وإنتاج الطاقة الحيوية.

تمتلك بقايا النخيل المشتقة من أشجار النخيل تنوعًا غنيًا بالمكونات القيمة. تشتمل تركيبته على ألياف قوية موجودة في كل من نواة النخيل وجذعها، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات في مواد البناء و صناعة الحبال [8]. يحتوي الرماد الناتج عن احتراق بقايا النخيل على مركبات قلوية يمكن الاستفادة منها في صناعة الصابون والمنظفات [9]. تعمل نواة نخيل التمر كمصدر للزيوت النباتية والبروتينات، مما يثبت فائدتها في إنتاج الأعلاف الحيوانية وإستخراج الزيوت [10]. علاوة على ذلك، يمثل سكر النخيل مصدرًا متجددًا للسكر المستخدم في صناعة الحلويات والمشروبات. يمكن تسخير المواد العضوية الموجودة في مخلفات النخيل من خلال العمليات البيولوجية لإنتاج الغاز الحيوي، مما يساهم في إنتاج الطاقة المستدامة [9].

على الرغم من الإمكانات الواعدة، إلا أن هناك حاجة إلى دراسة متأنية، خاصة فيما يتعلق بمحتوى المعادن الثقيلة، مما يستلزم معالجة متخصصة للتحكم في تأثيرها البيئي [9]. بشكل عام، تسلط هذه التحليلات التفصيلية الضوء على الفائدة المتعددة الأوجه لمكونات مخلفات النخيل، مما يوفر سبلًا للتطبيقات المستدامة والاقتصادية.



الشكل (1): يعبر عن كمية متبقيات النخيل الضخمة التي تنتج خلال موسم التقليم

1. نوي التمر

يتم إنتاج نواة التمر بكميات كبيرة عندما يتم إستخدام التمور في مصانع التعبئة أو المصانع التي تعمل في مجال استخلاص العصير. نواة التمر كمخلفات تشكل مشكلة في صناعة التمور، فعندما نتحدث عن نواة التمر فإننا أمام ثروات مهملة توضع في صناديق القمامة، ولكن إذا تخلينا عن هذا التفكير المتأخر وعملنا على استغلال تلك الثروة بالشكل الصحيح سنتمكن من إنتاج العديد من المنتجات الهامة وتحقيق أرباح ضخمة بالنسبة لنا.

تمثل نواة التمر ما يقارب من 6-12% من الثمرة. في الولايات المتحدة الأمريكية، يتم إستخدام نواة التمر المطحونة بكميات صغيرة كحصى على الطرق الترابية. وفي الشرق الأوسط يستخدم لتغذية الحيوانات، وخاصة الإبل [11].

1- 1. نوي التمر لتحضير الكربون النشط

يعرف الكربون النشط علي إنه مادة تتميز بمساميتها ومساحة سطحها العالية. ويحتوي على حوالي (87 إلى 97%) كربون. تمثل التكلفة العالية لإنتاج الكربون النشط مشكلة كبيرة للمصنعين التجاريين؛ ومن ثم تحاول جميع الدراسات إستخدام المواد الخام الرخيصة ذات المحتوى العالي من الكربون ومستويات منخفضة من المركبات غير العضوية لإنتاج الكربون النشط منخفض التكلفة. وتتزايد أهمية الكربون النشط مع زيادة الإتجاة لحماية البيئة من الغازات والمذيبات الضارة.

يمكن تحضير الكربون النشط بطريقتين، الأولى التنشيط الفيزيائي والثانية التنشيط الكيميائي. الطريقة الأولى تتم عن طريق الكربنة عند درجات حرارة (500-900 درجة مئوية) في معزل عن الهواء، ثم تتم عملية الأكسدة عن طريق تمرير البخار مثل الهواء و/أو ثاني أكسيد الكربون عند درجات حرارة عالية 800-1000 درجة مئوية، بينما يتم التنشيط الكيميائي عن طريق تشريب المادة الأولية بعوامل منشطة مثل NaOH وKOH و$ZnCl_2$ وH_3PO_4 ثم حرقها في معزل عن الهواء عند درجة حرارة أقل من تلك المستخدمة في التنشيط الفيزيائي. يمكننا القول أن في معظم الحالات، يُفضل التنشيط الكيميائي نظرًا لقدرته على إنتاج الكربون النشط بمسامية فائقة، ومساحة سطح عالية، وإنتاجية أعلى [12]. ويمثل الشكل 2 مراحل تحويل نواة التمر إلى كربون نشط.

أ ب ج

الشكل (2): يوضح مراحل تحويل نواة التمر الي كربون نشط

1-1-1.توصيف الكربون النشط

هناك الكثير من التقنيات المستخدمة لتوصيف الكربون النشط كمساحة السطح، والمسح الضوئي الإلكتروني (SEM)، وتقنية الأشعة

تحت الحمراء. ومن المعروف أنه لأبد من توصيف سطح الكربون النشط المحضر لمناقشة قدرته على إمتزاز و إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي. أولاً وقبل كل شيء، يجب علينا تحديد مساحة السطح المحددة (م^2/جم) ومسامية الكربون النشط. يعد امتصاص النيتروجين عند 77 كلفن أحد التقنيات التي يتم تطبيقها لتحديد مساحة السطح من خلال تحليل البيانات بإستخدام معادلة برونوير-إيميت وتيلر [13] . [BET]هذه النظرية مفيدة في تحديد مساحة السطح المواد المسامية. تتضمن الآلية إمتزاز جزيئات الغاز على سطح مادة صلبة تكون مساحة سطحها محل إهتمام. من خلال النظر في مساحة سطح كل جزيء ممتز، يصبح من الممكن حساب المساحة السطحية الإجمالية للمادة الصلبة.

أيضًا، تم أستخدام الماسح الإلكتروني لتوصف مساحة السطح من حيث تكوين مسام للكربون النشط المحضر وذلك عن طريق تسليط شعاع من الإلكترونات تركز على العينة لإجراء مسح لسطح عينة الكربون النشط.

تم تقدير المجموعات الوظيفية السطحية التي تكونت علي سطح عينات الكربون النشط من خلال التحليل الطيفي (FT-IR) باستخدام مطيافFTIR Mattson 5000 تم تسجيل أطياف FTIR في حدود 400 - 4000 سم$^{-1}$ وبدقة 2 سم$^{-1}$**[14، 15].**

1-1-2.فوائد الكربون النشط

-إزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي

-إزالة الملوثات العضوية مثل الملاكيت الأخضر، وأزرق الميثيلين، والمركبات الفينولية من مياه الصرف الصحي، نظراً لإرتفاع مساحة سطحها .

-تم إستخدامة في مجال زراعة الأنسجة مع جزيئات الزنك النانوية لتعزيز تكوين الخلايا ونموها[16] .

-للكربون النشط تأثيرات مباشرة على النباتات حيث يزيد من قدرة التربة على الإحتفاظ بالمياه ويمكن إستخدامه كمحسن للتربة [17]. على الرغم من أن الكربون النشط المستخدم كمحسن للتربة بمعدلات منخفضة قد يؤدي إلى تحسين الخواص الفيزيائية للتربة [18]. يبدو أن استخدام الكربون النشط واعد بشكل خاص نظرًا لمساحة سطحه العالية ومحتواه العالي من الكربون مقارنةً بالفحم الحيوي/الفحم [19، 20]. واستنادًا إلى هذه المزايا، فإن معدلات تطبيق الكربون النشط يمكن أن تكون كافية لإجراء تحسينات كبيرة على التربة، وبالتالي تقليل الآثار البيئية السلبية المحتملة لتحويل الكتلة الحيوية إلى الفحم الحيوي/الفحم النباتي. هناك بعض المزايا عند استخدام الكربون النشط في التربة حيث أن لديه القدرة على التغلب على سمية الملوثات العضوية للميكروبات والنباتات أثناء المعالجة الحيوية للتربة، وتقليل سمية المواد الكيميائية المتاحة في التربة عن طريق نقلها إلى جزء أقل سمية

من التربة والحفاظ على محتوى منخفض من المواد السامة في محلول التربة، وخلق ظروف مواتية لنمو النبات[21] .

2.-1 إنتاج الزيت الحيوي من نوي التمر

بجانب ثمار التمر اللذيذة، فهي معروفة أيضًا بوجود نواتها، والتي كان يُعتقد في السابق أنها عديمة الفائدة. ومع ذلك، فقد كشفت دراسات حديثة أن نواة التمر قد تكون لها قيمة في قطاعات الأغذية ومستحضرات التجميل والأدوية، ويمكن إستخدامها كمصدر للألياف الغذائية الموجودة في الخبز والأطعمة الأخرى [22]. كما أن هناك الكثير من المؤلفين الذين استخدموه في تحضير الكربون النشط كما ذكرنا أعلاه.

تم إستخراج الزيت الحيوي من نواة نخيل التمر وتحويل هذه النفايات إلى منتج قيم لتجنب الآثار الخطرة المرتبطة بدفن نواة التمر [23]. أول محاولة لإستخراج الزيت من نواة نخيل التمر تمت بواسطة Devshony et al [24]الذي قام بإعداد أربع عينات مختلفة من الثمار وقام بتحليل المحتوى العضوي وغير العضوي. وقد تم التعرف على أن نواة التمر تحتوي على 8% زيت بين المكونات الأخرى، ويمثل حمض الأوليك واللوريك أغنى مكونات الأحماض الدهنية المشبعة وغير المشبعة في الزيت الحيوي على التوالي.

تمت دراسة الزيت الحيوي الناتج من نخيل التمر كمواد أولية لإنتاج وقود الديزل الحيوي [25، 26]. كما يمكن استخدامه في صناعة

الصابون ومستحضرات التجميل الأخرى[27] وقد يوصى به كزيت للطهي بسبب ثباته التأكسدي، مما يوفر ثباتًا في القلي، ورائحة لطيفة، وعناصر مغذية للطعام المطبوخ فيه[28].

هناك العديد من الطرق لإنتاج الزيت الحيوي مثل الاستخلاص بالموجات الدقيقة [29] والتجويف الصوتي [30] والإستخلاص بالضغط البارد [31] والإستخلاص فوق الحرج [32] ولكن الطريقة الأكثر شيوعًا هي طريقة إستخلاص سوكسليت. أثناء عملية إنتاج الزيت الحيوي من نواة نخيل التمر هناك بعض الظروف التي تؤثر بعض الظروف على عملية الإنتاج مثل حجم الحبيبات، وتقنية المعالجة المسبقة، وطريقة التجفيف، ونوع المذيب كما هو موضح في الشكل 3.

الشكل (3): يوضح الحصول على زيت نخيل التمر باستخدام مذيبات مختلفة (أ) ن-هكسان، (ب) إيثانول، (ج) إيزوبروبانول[33]

2. سعف النخيل

سعف النخيل عبارة عن مخلفات زراعية وفيرة توجد أساسًا في المناطق ذات المناخ المناسب لزراعة نخيل التمر، مثل منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. تعد دول مثل مصر والمملكة العربية السعودية والمغرب وتونس من المنتجين البارزين لأوراق نخيل التمر بسبب مزارع نخيل التمر الواسعة. وتستفيد هذه المناطق من درجات الحرارة الدافئة وأشعة الشمس الكافية والظروف القاحلة أو شبه القاحلة التي تعتبر مثالية لزراعة نخيل التمر. ونتيجة لذلك، تعد سعف النخيل من موارد الكتلة الحيوية المتاحة بسهولة في هذه المناطق الجغرافية المحددة، مما يجعلها مادة خام واعدة لمختلف التطبيقات. يتم تقليم شجرة نخيل التمر سنوياً للتأكد من النمو الصحي للشجرة وجودة ثمار التمر، ويتم إنتاج كمية كبيرة من الأوراق سنوياً حيث تعطي كل شجرة حوالي 13-20 كجم [3]، التركيب الرئيسي لسعف النخيل يتراوح ما بين السليولوز34%، الهيمسيلولوز 27.52%، الليجينين 19.28% ومحتوى الرماد 6% لذلك يمكننا استخدام هذه البقايا كمواد أولية لتحضير الكربون النشط، وحمض الستريك، والفحم الحيوي، والكمبوست، وألياف السليلوز.

2-1. سعف النخيل لتحضير الكربون النشط

يعتبر سعف نخيل التمر من المواد الأولية الجيدة لإنتاج الكربون النشط نظراً لتوفرها بكميات كبيرة على مدار العام، وتجددها، وإنخفاض تكلفتها. يمكن تحضير الكربون النشط من سعف النخيل بالطرق

الفيزيائية أو الكيميائية كما هو مذكور أعلاه. تم تحضير الكربون النشط من سعف النخيل بإستخدام حامض الفوسفوريك كعامل تنشيط، وقد وجد أن الكربون النشط المحضر تميز بمساميته العالية ومساحة سطحه التي تصل 161.82 م^2/جم **[34]**. كما تم إنتاج مسحوق الكربون النشط من سعف النخيل باستخدام هيدروكسيد الصوديوم مما أعطى مساحة سطحية قدرها 604.3 م^2/جم **[35]**. يمكن استخدام عوامل تنشيط آخري في تحضير الكربون النشط من المنشورات مثل KOH وH_2SO_4 التي تساعد في تكوين مجموعات وظيفية على سطح الكربون النشط. شكل 4 يمثل مراحل إنتاج الكربون النشط من سعف النخيل بالتنشيط الكيميائي ويظهر المسامية العالية للعينات المحضرة، مما يعني أن الكربون النشط المحضر من سعف النخيل له قدرة جيدة على إمتصاص الملوثات من مياه الصرف الصحي.

أ ب

الشكل (4): سعف النخيل الخام (أ)، والكربون النشط المحضر من سعف النخيل (ب)، وSEM **للكربون النشط (ج)**

2-1-1. دور الكربون النشط المحضر من سعف النخيل في إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي

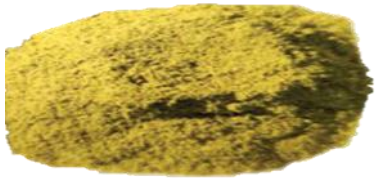
يعد تلوث المياه من أكثر القضايا والصعوبات التي تواجة عالمنا حتي اليوم، نظرًا لعواقبه البيئية والإقتصادية وصحة الإنسان. ويظل هذا تحديًا أمام علماء البيئة والتقنيين. في الوقت الحاضر، تعد صناعة صباغة المنسوجات واحدة من أكثر الصناعات إستهلاكًا للمياه، حيث تنتج كميات كبيرة من النفايات السائلة الملونة خلال عمليات الصباغة والتشطيب. يعتبر الكربون النشط المحضر من سعف النخيل مادة فعالة لإزالة الصبغة البنفسجية الكريستالية وصبغة الاخضر ملاكيت والأزرق ميثيلين من المحاليل المائية. علاوة على ذلك، يمكن إستخدامه كأقطاب كهربائية متعددة الوظائف في أنظمة إزالة الأيونات [35].

2-2. سعف النخيل لإزالة أيونات الرصاص من مياه الصرف الصحي

يستخدم سعف النخيل في إزالة أيونات الرصاص من مياه الصرف الصحي عن طريق جمع الأوراق ثم تقطيعها إلى قطع صغيرة وتجفيفها في فرن طوال الليل عند درجة حرارة 80 درجة مئوية. وأخيراً، طحن سعف نخيل التمر [36] كما هو موضح في الشكل 5. أشارت النتائج إلى أن سعف نخيل التمر يصل إلى أقصي إمتزاز بعد 360 دقيقة ويزيل أيونات الرصاص بكفاءة تزيد عن 59% بعد 5 دورات من الإمتزاز عن طريق وضع سعف النخيل المطحون في محلول يحتوي علي أيونات

الرصاص (II). وبهذة النتائج يعتبر سعف النخيل مادة واعدة لإزالة المعادن الثقيلة من مياه الصرف الصحي.

أ



ب

الشكل (5): سعف النخيل الخام بعد التجفيف (أ) ومطحون سعف النخيل (ب)

3-2. الإنتاج الحيوي لحمض الستريك من أوراق نخيل التمر

يمثل إنتاج حمض الستريك من سعف نخيل التمر وسيلة معقدة، ولكنها واعدة في مجال الإنتاج الحيوي. تعمل أوراق سعف النخيل

كمصدر متجدد ومتاح بسهولة لإنتاج حمض الستريك [6]. ومع ذلك، تنطوي عملية التحويل على عدة مراحل متميزة، تلعب كل منها دورًا حاسمًا في تحويل الكتلة الحيوية الخام إلى المنتج المطلوب. تبدأ الرحلة بالمعالجة المسبقة للكتلة الحيوية؛ حيث يتم تقسيم البنية الليجنوسلولوزية المعقدة لأوراق سعف نخيل التمر لتسهيل المعالجة اللاحقة. بعد المعالجة المسبقة، يلي ذلك التحلل المائي الأنزيمي، الذي يستهدف مكونات السليلوز والهيميسليلوز لإنتاج سكريات قابلة للتخمر. تعمل هذه السكريات كمواد أساسية للتخمير، وهي المرحلة الحاسمة التي تقوم فيها الكائنات الحية الدقيقة بتحويلها إلى حمض الستريك عبر مسارات التمثيل الغذائي. بعد ذلك، يتم استخدام تقنيات المعالجة اللاحقة لتكرير حمض الستريك المستخرج من خليط التخمير، مما يضمن نقائه وملاءمته للسوق.

تهدف هذه الدراسة الشاملة إلى إستكشاف كل مرحلة من هذه المراحل، والكشف عن تعقيداتها وأهميتها في عملية تصنيع حمض الستريك المشتق من سعف النخيل. فيما يلي مزيد من التفاصيل حول هذه المراحل:

2-3-1. اختيار المواد الأولية والمعالجة المسبقة

تَّوجد أوراق النخيل بوفرة في المناطق التي تزدهر فيها أشجار النخيل. يتم تنفيذ إستراتيجيات المعالجة المسبقة لتفكيك التركيبة المعقدة للكتلة الحيوية الليجنوسليولوزية، مما يعزز إمكانية وصول السليولوز والهيميسيلولوز إلى التحلل الأنزيمي. تشمل طرق المعالجة تقنيات

مختلفة مثل الانفجار البخاري، والتحلل المائي الحمضي أو القلوي، والنهج البيولوجية التي تستخدم الفطريات أو البكتيريا.

يُعد اختيار المواد الخام ومعالجتها المسبقة من العوامل الهامة في عمليات الإنتاج الحيوي، خاصة عند استخدام الكتلة الحيوية اللجنوسليلوزية مثل أوراق نخيل التمر. وقد بحثت العديد من الدراسات في إمكانات أوراق نخيل التمر كمواد خام للمنتجات الحيوية. على سبيل المثال، يسلط تحليل التركيب الكيميائي لأوراق النخيل الضوء على إمكاناتها كمورد متجدد وفير في السليولوز والهيميسليلوز. علاوة على ذلك، تم إستكشاف طرق مختلفة للمعالجة المسبقة لتحسين الهضم الانزيمى للكتلة الحيوية اللجنوسليلوزية .[37]

وقد قامت الدراسات بمراجعة تقنيات المعالجة المسبقة المختلفة مثل الإنفجار البخاري والتحلل المائي الحمضي والطرق البيولوجية، مع التأكيد على فعاليتها في تحلل اللجنين وتعزيز إمكانية الوصول إلى الكتلة الحيوية للتحلل المائي الأنزيمي [38-40].

تؤكد هذه النتائج العلمية على أهمية اختيار المواد الخام واستراتيجيات المعالجة المسبقة في تحسين عمليات الإنتاج الحيوي.

2-3-2. التحلل المائي

تعتبر المعالجة الأولية، ويتم فيها تحلل السليلوز والهيميسليلوز داخل أوراق نخيل التمر إنزيميًا إلى سكريات قابلة للتخمر، وذلك بإستخدام إنزيمات محللة للسليلوز والهيميسليلوز. تتضمن عملية

تحسين التحلل المائي الإنزيمي إلى ضبط الظروف مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتحميل الإنزيم وزمن التفاعل.

يلعب التحلل المائي دورًا هاماً في عمليات الإنتاج الحيوي، لا سيما في تحويل الكتلة الحيوية اللجنوسليلوزية مثل سعف نخيل التمر إلى منتجات قيمة مثل حمض الستريك. أثناء التحلل المائي، يتم تكسير السكريات المعقدة مثل السليلوز والهيميسليلوز الموجودة في الكتلة الحيوية إلى سكريات قابلة للتخمر، تعمل كركائز لعملية التخمير اللاحقة. ويفضل التحلل المائي الإنزيمي، الذي يستخدم إنزيمات مثل السليلوز والهيميسليلوز، بسبب خصوصيته وكفاءته في كسر الروابط الجليكوسيدية بشكل انتقائي داخل الكتلة الحيوية.

يتم العمل بدقة على تحسين ظروف التحلل المائي، التي تشتمل على درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتحميل الإنزيم وزمن التفاعل، لزيادة إنتاجية السكر مع تقليل تكاليف الإنزيم. وقد تعمقت الأبحاث العلمية في جوانب مختلفة من التحلل المائي الإنزيمي، مؤكدة على أهمية خصائص الإنزيم، وخصائص الركيزة، وصقل العملية في تحقيق الكفاءة العالية لتحويل السكر. علاوة على ذلك، فإن التقدم في هندسة العمليات الحيوية وتكنولوجيا الإنزيمات تعمل باستمرار على تعزيز فعالية وقابلية عمليات التحلل المائي، مما يسهل النهوض بالصناعات الحيوية المستدامة القائمة على المنتجات الحيوية **[40، 41]**.

2-3-3. التخمير

ويتم إجراؤه بواسطة الكائنات الحية الدقيقة القادرة على إنتاج حمض الستريك مثل سلالات معينة من الفطريات مثل *Aspergillus* spp و*Trichoderma* spp، هو مرحلة مهمة. يتم تلقيح المستخلص (المحلول الناتج عن التحلل المائي) الذي يحتوي على السكريات القابلة للتخمر والمستخرجة من أوراق نخيل التمر بالكائنات الحية الدقيقة ويتم تخميرها في ظل ظروف خاضعة للرقابة. يعد تحسين معايير التخمير مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وإمداد الأكسجين والتحريك أمرًا ضروريًا لزيادة إنتاج حمض الستريك. عادة، تستمر عملية التخمير لعدة أيام، يتراكم خلالها حمض الستريك في الوسط.

لذلك يلعب التخمير دورًا اساسيًا في عمليات الإنتاج الحيوي، لاسيما في تحويل السكريات القابلة للتخمر والتي يتم الحصول عليها من الكتلة الحيوية السليلوزية، مثل سعف النخيل، إلى منتجات قيمة. يستخدم في هذه المرحلة الكائنات الحية الدقيقة القادرة على إنتاج حمض الستريك، وخاصة سلالات معينة من الفطريات مثل *Trichoderma* spp، تقوم هذه الكائنات الحية الدقيقة بإستقلاب السكريات وتوليد حمض الستريك من خلال التفاعلات البيوكيميائية.

تَّبين الأبحاث السابقة جوانب مختلفة من تخمير حمض الستريك، بما في ذلك إختيار السلالة، وتحسين العملية، وتقنيات الهندسة الأيضية لتعزيز إنتاج حمض الستريك. بالإضافة إلى ذلك، أدى التقدم في تصميم المفاعلات الحيوية ومنهجيات المراقبة إلى امكانية توسيع عمليات

التخمير، مما يسمح بإنتاج حمض الستريك بكفاءة وفعالية من حيث التكلفة من الكتلة الحيوية السليولوزية. تؤكد هذه الدراسات على الدور الهام للتخمير في الإنتاج الحيوي وتسلط الضوء على الجهود البحثية الجارية التي تركز على تحسين كفاءة العملية وإستدامتها [6].

2-3-4. المعالجة النهائية (التنقية والاستخلاص)

بعد عملية التخمير، يخضع حمض الستريك لعدة خطوات تنقية لعزله وتركيزه. يتم إستخدام الترشيح للقضاء على بقايا الكتلة الحيوية والخلايا الميكروبية من بيئة التخمير. حيث يتم إسترجاع حمض الستريك الخام من المحلول المصفى من خلال عدة طرق مثل إستخراج المذيبات أو التبلور أو كروماتوغرافيا التبادل الأيوني. بعد ذلك يتم تجفيف حمض الستريك المنقى لإنتاج المنتج النهائي في شكل بلورات أو مسحوق.

تشكل المعالجة النهائية مرحلة مهمة في الإنتاج الحيوي، وتشمل خطوات التنقية والإستخلاص لتكرير المنتج المطلوب من بيئة التخمير، تتضمن المعالجة النهائية فصل وتنقية حمض الستريك من بيئة التخمير. ويتم إستخدام تقنيات مختلفة، بما في ذلك الإستخلاص بالمذيبات، والتبلور، وكروماتوغرافيا التبادل الأيوني، لتنقية حمض الستريك والحصول على منتج عالي الجودة.

لقد أظهرت الدراسات إستراتيجيات مختلفة للمعالجة النهائية لإستعادة حمض الستريك، مع تسليط الضوء على أهمية تحسين

العملية لتحقيق نقاء عالي وعائد مرتفع. علاوة على ذلك، تتيح التطورات في تقنيات التجفيف تحويل حمض الستريك إلى شكله البلوري أو المسحوق النهائي، وهو مناسب للتطبيقات التجارية[42، 43] بشكل عام، لذلك تلعب المعالجة النهائية دورًا هامًا في ضمان جودة ونقاء وتسويق حمض الستريك المستمد من الكتلة الحيوية السليلوزية، مما يساهم في إستمرارية وإستدامة عمليات الإنتاج الحيوي.

2-3-5. الإستفادة من المنتجات الثانوية وإدارة المخلفات

يعد الاستفادة من المنتجات الثانوية وإدارة المخلفات من المكونات الأساسية لعمليات الإنتاج الحيوي المستدامة، خاصة في تحويل الكتلة الحيوية السليلوزية مثل أوراق نخيل التمر إلى منتجات قيمة مثل حمض الستريك. أثناء عملية الإنتاج الحيوي، يتم إنتاج العديد من المنتجات الثانوية، بما في ذلك المخلفات الغنية باللجنين من المعالجة الأولية، وبيئة التخمير. يمكن الاستفادة من هذه المنتجات الثانوية بكفاءة لتوليد الطاقة عن طريق الاحتراق أو الهضم اللاهوائي، مما يؤدي إلي تقليل الإعتماد على الوقود الأحفوري وتقليل التأثيرات البيئية.

قام العديد من الباحثين بإستكشاف قدرة مخلفات الكتلة الحيوية اللجنوسليلوزية لإنتاج الطاقة الحيوية، مما يؤكد ملاءمتها كمواد خام متجددة لإنتاج الغاز الحيوي أو الوقود الحيوي. علاوة على ذلك، من الأهمية التقليل من وجود هذة النفايات وتنفيذ ممارسات صديقة للبيئة في عمليات الإنتاج البيولوجي. أن دمج التقنيات المتقدمة لمعالجة مياه الصرف الصحي واستعادة المنتجات الثانوية القيمة يمكن ان يعزز بشكل

كبير إلى إستدامة الجدوى الاقتصادية للمصافي الحيوية[44، 45]

2-3-6. الإعتبارات الإقتصادية والبيئية

يحتاج تقييم جدوى واستدامة عمليات الإنتاج الحيوي، وخاصة تلك التي تشتمل على الكتلة الحيوية السليلوزية مثل أوراق نخيل التمر وتحويلها إلى منتجات مثل حمض الستريك، النظر في كل من العوامل الاقتصادية والبيئية.

تعتمد الجدوى الاقتصادية على عوامل مختلفة مثل توافر المواد الخام وكفاءة العملية وتكاليف الإنتاج وطلب السوق على المنتج النهائي. تم إجراء أبحاث للتأكيد على أهمية تحسين معايير العملية واعتماد تقنيات فعالة من حيث التكلفة لتعزيز الجدوى الاقتصادية للمصافي الحيوية[39،.46]

بالنسبة للإعتبارات البيئية تشتمل على جوانب مثل إستهلاك الطاقة وإنبعاثات الغازات الدفيئة وإستخدام المياه خلال عملية الإنتاج البيولوجي. تعد الممارسات المستدامة، بما في ذلك إستخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتكامل العمليات، ومعالجة مياه الصرف الصحي، أمرًا بالغ الأهمية لتقليل الآثار البيئية.

تؤكد العديد من الدراسات على أهمية منهجية تقييم دورة الحياة في تحديد البصمة البيئية لعمليات الإنتاج الحيوي وتحديد فرص التحسين [48-47].

في نهاية المطاف، يعد تحقيق التوازن بين الربحية الإقتصادية والإستدامة البيئية أمرًا بالغ الأهمية لنجاح تقنيات الإنتاج الحيوي وقبولها على المدى الطويل.

4-2. إنتاج الوقود الحيوي من متبقيات نخيل التمر

إن إستخدام متبقيات نخيل التمر لإنتاج الطاقة الحيوية يوفر العديد من المزايا، مما يُعزز الإنتاجية مع الحفاظ على البيئة. من خلال تحويل هذه المخلفات إلى طاقة حيوية مثل الإحتراق المباشر والتخمير، يمكن تحقيق العديد من الفوائد، بما في ذلك تقليل الإعتماد على الوقود الأحفوري، وخفض إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وتحسين أمن الطاقة، وتوليد فرص العمل والدخل للمجتمعات المحلية. فيما يلي الأسباب التي تجعل استخدام مخلفات نخيل التمر لإنتاج الوقود الحيوي مفيدة:

1. الحد من الإنبعاثات الضارة: يحتوي الوقود الحيوي المستخلص من بقايا النخيل على مستويات أقل من الكربون والكبريت والنيتروجين

مقارنة بالوقود الأحفوري، مما يقلل من تلوث الهواء وانبعاثات غازات الدفيئة.

2. توفير مصدر للطاقة المتجددة: تتجدد متبقيات النخيل مع كل موسم حصاد، مما يوفر مصدرًا مستدامًا للطاقة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن إستخدام الوقود الحيوي من متبقيات النخيل في محركات الديزل والبنزين.

3. تحسين إستخدام الأراضي: يمكن لمتبقيات النخيل غير المعالجة أن تشغل مساحات كبيرة من الأراضي وتؤدي إلى مشاكل مثل الحرائق وتفشي الآفات والأمراض. لذلك فإن استخدام مخلفات النخيل لإنتاج الوقود الحيوي يتخلص بشكل فعال من هذه المخلفات، مما يوفر الأراضي لزراعة النخيل أو غيرها من المحاصيل.

4. تعزيز النمو الاقتصادي: يخلق إنتاج الوقود الحيوي من متبقيات النخيل فرص عمل في قطاعات الزراعة والنقل والصناعة. كما أنه يقلل من الاعتماد على واردات النفط، مما يساهم في أمن الطاقة.

يتضمن إنتاج الوقود الحيوي من متبقيات النخيل أيضًا إستخدام العديد من المكونات الأخرى، بما في ذلك ما يلي:

- يمكن إستخدام ألياف النخيل الموجودة في الجذع والأوراق في إنتاج الوقود الحيوي. وهي تستخدم في المقام الأول في تصنيع الحبيبات أو إنتاج الوقود الصلب.
- توجد نواة النخيل في الجزء الداخلي من ثمرة النخيل. يحتوي

على زيوت نباتية يمكن إستخدامها لإنتاج الوقود الحيوي، إما من خلال استخراج الزيت مباشرة أو التحويل إلى وقود الديزل الحيوي.

- يمكن استخدام أجزاء جذع النخيل من جذع النخيل في إنتاج الوقود الحيوي، إما كجزء من عمليات التحلل البيولوجي لإنتاج الغاز الحيوي أو لتوليد الطاقة الحرارية.
- يمكن استخدام المواد العضوية من مخلفات الأوراق والفروع في إنتاج الوقود الحيوي، خاصة من خلال عمليات التحلل البيولوجي لإنتاج الغاز الحيوي.
- يمكن استخدام كسبة نواة النخيل التي تعرف بأنها المنتج الثانوي لعملية عصر زيت النخيل، في إنتاج الأعلاف الحيوانية، لذلك تعتبر جزءًا من دورة إنتاج الطاقة الحيوية.

2-4-1. عمليات المعالجة الأولية لإنتاج الوقود الحيوي [49]

يحتاج إنتاج الوقود الحيوي من نفايات النخيل إلى عمليات تكنولوجية متقدمة لإستخراج وتحويل هذه الأجزاء إلى وقود صالحٍ للإستخدام. تقوم عمليات المعالجة الأولية على خطوات ضرورية قبل دخول المواد الخام إلى عملية التصنيع الرئيسية، وتلعب هذه العمليات دورًا حيويًا في تحضير المواد لتكون جاهزة للمعالجة النهائية. لذلك فإن إنتاج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل، يتضمن عدة خطوات:

- جمع المواد الخام: تبدأ العملية بجمع المواد الخام من مصادر مختلفة، مثل ألياف النخيل، ولب النخيل، ومخلفات الأوراق، والفروع.

تحتاج هذه المواد الي معالجتها قبل الأستخدام.

- التنظيف والفرز: يتم تنظيف المواد الخام من الشوائب والمواد غير المرغوب فيها وفرزها لضمان جودة المواد الداخلة في عملية الإنتاج.
- التجفيف: يتم تجفيف بعض المواد، مثل الألياف والفروع، لإزالة الرطوبة الزائدة، حيث يساعد التجفيف على زيادة كفاءة عمليات التحويل اللاحقة.

2-4-2. عمليات المعالجة الأولية [49]

تشمل عمليات المعالجة الأولية إستخدام مخلفات النخيل لإنتاج الوقود الحيوي مجموعة من الخطوات التي تهدف إلى تحسين خصائص وفعالية المواد الخام. وتشكل هذه الطرق خطوات أساسية في تحضير مخلفات النخيل لإستخدامها في إنتاج الوقود الحيوي، ويتم اختيار الطرق المناسبة بناءً على المتطلبات المحددة لعملية الإنتاج وجودة المواد المتاحة.

1-2-4-2. الطرق الميكانيكية

تتضمن هذه الطريقة الطحن أو التكسير، وتشمل عملية الطحن إستخدام المعدات لسحق مواد النخيل إلى جزيئات صغيرة، وزيادة مساحة سطحها وجعلها أكثر سهولة في عمليات التحويل اللاحقة، بينما يتم استخدام التكسير لتفكيك المواد الخام، وتقطيعها إلى جزيئات أصغر، مما يعزز كفاءة العمليات اللاحقة.

2-4-2-2. الطرق الكيميائية

تتضمن هذه الطريقة أنواعًا مختلفة مثل:

- المعالجة الكيميائية للألياف تشمل استخدام مواد كيميائية مثل القلويات لتحسين قابلية التحلل البيولوجي لألياف النخيل وتعزيز خصائصها.

- التخمير الكيميائي يستخدم لفصل المكونات القيمة عن باقي مواد النخيل، مثل استخراج الزيوت والسكريات.

- الإستخلاص بالمذيبات يعتمد على استخدام المذيبات لاستخراج المواد المفيدة من مواد النخيل، وخاصة الزيوت النباتية.

- المعالجة الحمضية تستخدم لتحسين تفاعلات التحويل الكيميائي لمواد النخيل.

2-4-3. إنتاج الوقود الحيوي

هناك طريقتان رئيسيتان لإنتاج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل [10]

- الطرق الكيميائية التي يتم فيها تحويل مخلفات النخيل إلى مركبات هيدروكربونية باستخدام العمليات الكيميائية مثل الهدرجة والتقطير.

- الطرق البيولوجية التي يتم فيها تحويل مخلفات النخيل إلى مركبات هيدروكربونية بإستخدام الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات.

2-4-3-1. الإنتاج الكيميائي للوقود الحيوي

يشمل إنتاج الوقود الحيوي من متبقيات النخيل على مجموعة متنوعة من العمليات الكيميائية، والتي تتضمن طرقًا وتقنيات مختلفة. على سبيل المثال، قد تتضمن عملية الهدرجة تفاعل المواد العضوية مع الهيدروجين في وجود محفز، وتحويلها إلى مركبات هيدروكربونية مشبعة. بعد ذلك، يتم تقطير المحلول لفصل مركبات الهيدروكربون المشبعة. يتم تنفيذ هذه الخطوات تحت ظروف محددة لضمان الكفاءة العالية. يعتمد نجاح هذه العملية على تحديد الظروف المناسبة وإختيار التقنية المناسبة بناءً على نوع وكمية المخلفات المتاحة [10].

(أ) هدرجة المواد:

تتفاعل المخلفات مع الهيدروجين في وجود عامل حافز (مثل النيكل) لتحويل المواد العضوية غير المشبعة إلى مركبات هيدروكربونية مشبعة. يضاف الهيدروجين إلى الروابط الكيميائية غير المشبعة، مما يؤدي إلى تشبع المركبات العضوية، وتحولها إلى مركبات هيدروكربونية مشبعة.

(ب) التقطير:

يتم تسخين المحلول الكيميائي الناتج عن الهدرجة في برج التقطير، حيث تتبخر المركبات حسب درجة غليانها المختلفة، ويتم جمعها في مراحل متعددة للفصل الكامل.

(ج) المعالجة الهيدروجينية:

تتم معالجة المركبات الهيدروكربونية بالهيدروجين في وجود محفز لتحسين جودتها وتعزيز خصائص وقودها. يمكن إستخدام محفزات محددة لزيادة نسبة المركبات الهيدروكربونية القيمة مثل الهيدروكربونات الخفيفة.

(د) ترشيح الوقود وتنقيته:

يتم ترشيح الوقود لإزالة الشوائب والمواد غير المرغوب فيها. يمكن تكرير الوقود للحصول على المنتج النهائي الذي يلبي المواصفات المطلوبة للوقود الحيوي.

(هـ) التخزين والتوزيع:

بعد التصنيع، يتم تخزين الوقود الحيوي في وحدات آمنة. ثم يتم توزيعه للإستخدام في محطات الطاقة أو بوسائل النقل المناسبة. قبل التوزيع، يتم أخذ العينات لإجراء الاختبارات للتحقق من الجودة والالتزام بالمعايير المحددة. يتم تنفيذ هذه الإجراءات في ظل ظروف خاضعة للرقابة لتنظيم الضغط ودرجة الحرارة والتفاعلات الكيميائية بدقة.

2-4-3-.2الإنتاج البيولوجي للوقود الحيوي [50]

تستغل العملية البيولوجية لإنتاج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل الكائنات الحية الدقيقة، مثل البكتيريا والفطريات، لتحويل المادة العضوية داخل المخلفات إلى مركبات هيدروكربونية. تخضع

هذه المخلفات للتخمير بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، مما يؤدي إلى إنتاج الإيثانول أو الميثان، أو الخضوع للهضم اللاهوائي، حيث تتحلل الكائنات الحية الدقيقة في غياب الأكسجين، مما يؤدي إلى إنتاج الميثان.

في العملية البيولوجية لإنتاج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل، تلعب التفاعلات الحية دورًا محوريًا في تحويل المواد العضوية إلى وقود حيوي. تبدأ العملية بجمع وتحضير مواد النخيل، بما في ذلك الألياف والنوى. بعد ذلك، يتم التخمير باستخدام الخميرة أو البكتيريا لتحويل السكريات إلى إيثانول أو غاز حيوي. او تقوم البكتيريا المولدة للميثان بتحليل الألياف وإنتاج الميثان. تتطلب هذه العمليات البيولوجية ظروفًا بيئية مناسبة، تنتهي بتوليد وقود حيوي جاهز للتخزين والتوزيع عبر مختلف قطاعات الطاقة.

تلعب الكائنات الحية الدقيقة دورًا هامًا في العملية البيولوجية لاستخراج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل. لذلك تقوم البكتيريا والخمائر بدورًا أساسيًا في تحويل المواد العضوية الموجودة داخل المخلفات إلى مركبات متوافقة مع الوقود الحيوي. يشتمل دورها على ما يلي:

(أ) تحلل السكر والمواد العضوية

- التحلل الميكروبي: هو عملية محورية في تحلل المواد العضوية المعقدة وفيه تفرز الكائنات الحية الدقيقة الإنزيمات التي تسهل تحلل

الكربوهيدرات المعقدة والبروتينات والدهون إلى مركبات أبسط. تعمل هذه المركبات الأبسط، مثل السكريات الأحادية والأحماض الأمينية، كركائز للإستقلاب الميكروبي، وتوليد الطاقة وإنتاج المنتجات الثانوية التي يمكن استخدامها كوقود.

- عملية التخمير: تلعب عملية التخمير دورا فعالًا في تحويل السكريات إلى إيثانول أو غاز حيوي. عادة ما يتم حدوثها في ظل الظروف اللاهوائية حيث تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة مثل الخميرة والبكتيريا، باستقلاب السكريات، مما يؤدي إلى إنتاج الإيثانول وثاني أكسيد الكربون في تخمير الخميرة، وكذلك خليط غاز يشتمل على الميثان وثاني أكسيد الكربون (الغاز الحيوي) في التخمر البكتيري.
- إنتاج الميثان: يمثل تكوين الميثان، الذي تسهله البكتيريا المولدة للميثان، المرحلة النهائية من التحلل، حيث تتحول المادة العضوية إلى ميثان. تحدث هذه العملية اللاهوائية في بيئات محددة وتوفر مصدرًا متجددًا للطاقة عندما يتم تجميع الميثان الناتج واستخدامه.

تشكل جميع هذه العمليات جزءًا من نظام بيولوجي أوسع لإنتاج الوقود الحيوي، حيث يتم تحويل النفايات إلى موارد طاقة قيمة. ومع ذلك، فإن كفاءة وفعالية هذه العمليات تعتمد على عوامل مختلفة مثل نوع المادة العضوية، والكائنات الحية الدقيقة المحددة المعنية، والظروف البيئية. إن إجراء المزيد من البحوث وتحسين هذه العمليات يبشر بالخير لتعزيز إستدامة وكفاءة إنتاج الوقود الحيوي.

(ب) تكوين المركبات الهيدروكربونية

- عملية التحويل الميكروبي: تمتلك أنواع معينة من البكتيريا والخمائر القدرة على تحويل المواد العضوية إلى مركبات هيدروكربونية، تشتمل على كل من الألكانات والألكينات، والتي تعمل كمكونات أساسية للوقود الحيوي. يتم تسهيل هذا التحول من خلال المسارات الأيضية لهذه الكائنات الحية الدقيقة، مما يوفر وسيلة لتحويل الكتلة الحيوية إلى وقود غني بالطاقة.
- عملية التحويل الحيوي: في هذه العملية، عادة ما تقوم الكائنات الحية الدقيقة بتخمير السكريات أو الدهون، واستقلابها لإنتاج الهيدروكربونات كمنتجات ثانوية. قد تختلف أنواع الهيدروكربونات المنتجة اعتمادًا على الكائن الدقيق المحدد ونوع المادة الخام المستخدمة.
- الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة: يمكن أن تؤدي عملية التحويل الحيوي إلى كل من الهيدروكربونات المشبعة وغير المشبعة. تتميز الهيدروكربونات المشبعة، المتمثلة في الميثان، بروابط مفردة بين ذرات الكربون وتميل إلى أن تكون غازية في درجة حرارة الغرفة. على العكس من ذلك، تمتلك الهيدروكربونات غير المشبعة، مثل الإيثيلين والبروبيلين، روابط مزدوجة أو ثلاثية بين ذرات الكربون وعادة ما توجد كسوائل أو مواد صلبة في درجة حرارة الغرفة. يمكن أن يؤثر نوع الهيدروكربون المتولد بشكل كبير على خصائص الوقود الحيوي الناتج.

(ج) إنتاج الغاز

البكتيريا المولدة للميثان: تقوم البكتيريا المولدة للميثان، المصنفة كنوع من العتائق، دورًا محوريًا في إنتاج غاز الميثان. تنمو هذه الكائنات الحية الدقيقة في الظروف اللاهوائية، وتحلل المواد العضوية، ولا سيما الألياف، عن طريق توليد الميثان. يعمل غاز الميثان الناتج كوقود حيوي قوي، ويصبح مصدرًا للطاقة المتجددة يمكن الاستفادة منه من خلال التجميع والاستخدام. هذه العملية لها أهمية خاصة في سيناريوهات إدارة النفايات، لأنها تمكن من تحويل النفايات العضوية إلى موارد طاقة قيمة.

تحويل الغاز: في الواقع، تُظهر أنواع معينة من البكتيريا قدرة ملحوظة على تحويل الغازات إلى مكونات وقود. على سبيل المثال، يمكن لبعض البكتيريا تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى ميثان، وهي ظاهرة تسمى التخمير الميثاني. بالإضافة إلى ذلك، تمتلك البكتيريا الأخرى القدرة على تحويل الغازات مثل أول أكسيد الكربون والهيدروجين إلى وقود سائل من خلال عملية تعرف باسم تخمير الغاز الصناعي. تشكل هذه العمليات مكونات متكاملة شاملة لمجال الهندسة الحيوية للغاز، والذي يسعى إلى الإستفادة من البراعة الأيضية للكائنات الحية الدقيقة لتحويل الغازات المهدرجة إلى منتجات قيمة.

(د) تحسين الجودة:

تلعب الكائنات الحية الدقيقة دورًا محوريًا في تعزيز خصائص المركبات الهيدروكربونية، بما في ذلك زيادة نسبة المركبات الأخف وزنًا وتحسين كفاءة استهلاك الوقود. تم إجراء العديد من التجارب في جميع أنحاء الدول العربية والأفريقية لإستكشاف إنتاج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل. وقد أوضحت هذه الدراسات إمكانية استخدام مخلفات النخيل كمصدر كبير للوقود الحيوي.

على سبيل المثال، في مصر، أجرت جامعة الزقازيق تجارب على إنتاج الإيثانول من مخلفات النخيل عن طريق التخمير. أظهرت هذه الدراسات أن مخلفات النخيل يمكن أن تنتج ما يصل إلى 100 لتر من الإيثانول لكل طن من المخلفات. وكذلك، في دولة الإمارات العربية المتحدة، إستكشف مركز أبحاث الطاقة المتجددة إنتاج الميثان من مخلفات النخيل باستخدام الهضم اللاهوائي. كشفت النتائج التي توصلوا إليها أن مخلفات النخيل يمكن أن تنتج ما يصل إلى 100 متر مكعب من الميثان لكل طن من المخلفات [50].

2-4-4. جودة ووصف الوقود الحيوي [51]

لتقييم جودة الوقود الحيوي الناتج، توجد معايير مختلفة مهمة في قياس مدى التزامها بالمعايير البيئية ومعايير الكفاءة. يتميز الوقود الحيوي بتركيبة كيميائية تشتمل على مركبات هيدروكربونية، تتميز بمستويات منخفضة من مركبات الكبريت والنيتروجين. يتم تقييم

الكفاءة بناءً على فعاليتها في الاحتراق وقدرتها على توفير طاقة كبيرة لكل وحدة حجم أو كتلة.

من حيث التأثير البيئي، يتميز الوقود الحيوي بإنبعاثات منخفضة من الغازات الضارة مثل أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين، وبالتالي يخفف من وجوده في البيئة. بالإضافة إلى ذلك، يعد الحفاظ على إنخفاض مستوى الرطوبة في الوقود الحيوي أمرًا بالغ الأهمية لضمان جودة الاحتراق المثلى وكفاءة الوقود.

نستطيع قياس كفاءة كثافة الطاقة للوقود الحيوي، بقدرتها على احتواء طاقة كبيرة ضمن حجم محدود. يتم التأكيد على الاستدامة من خلال تفضيل الوقود الحيوي من مصادر متجددة ومستدامة، مثل النباتات، للحفاظ على التوازن البيئي.

يساهم الوقود الحيوي في التخفيف من إنبعاثات غازات الدفيئة ومكافحة تغير المناخ، نظرًا لإنخفاض إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون. علاوة على ذلك، فإن التوافق مع أنواع المحركات المتنوعة دون الحاجة إلى تعديلات كبيرة أمر بالغ الأهمية.

تحدد هذه المعايير سمات الجودة للوقود الحيوي، مع وجود إختلافات تعتمد على نوع الوقود والاستخدام الممنهج للإنتاج.

2-5. إنتاج البيوشار من مخلفات النخيل

يُنتج البيوشار من خلال عملية التحلل الحراري للكتلة الحيوية الكربونية تحت ظروف إحتراق خالية من الأكسجين [52]. فالتحلل

الحراري هو الطريقة الرئيسية لتحويل الكتلة الحيوية إلى بيوشار من خلال عملية التحلل الكيميائي الحراري التي تحدث في بيئة خالية من الأكسجين عند درجات حرارة مرتفعة. تتضمن هذه العملية تعريض الكتلة الحيوية لدرجات حرارة عالية في غياب الأكسجين، مما ينتج عنه بخار مكثف، غازات، وفحم نباتي. والمنتج الصلب الغني بالكربون المستخلص من التحلل الحراري يُعرف بالبيوشار أو الفحم. بالإضافة إلى ذلك، يتم تكثيف الجزء المتطاير الناتج خلال التحلل الحراري جزئيًا إلى جزء سائل يُسمى القطران أو الزيت الحيوي. ويتم أيضًا إنتاج مزيج من الغازات منخفضة الوزن الجزيئي مثل ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين، أول أكسيد الكربون، والميثان بنسب متفاوتة كمنتج ثانوي للعملية [53] وخلال عملية التحلل، يتحول الكربون إلى هياكل عطرية تُظهر مقاومة أكبر للتحلل مقارنة بالمواد الخام. نسبة الغاز، وكذلك الزيت، والفحم النباتي المنتج يعتمد على ظروف عملية التسخين المطبقة على المواد الخام كذلك التركيب الكيميائي للبيوشار، بما في ذلك محتوى الكربون، النيتروجين، والبوتاسيوم، يتناسب مع تركيبة الكتلة الحيوية الأولية ومدة ودرجة حرارة عملية التحلل الحراري.

ويؤدي التحلل الحراري إلى تغييرات في السمات الفيزيائية مثل المسامية والمساحة السطحية، إلى جانب تغييرات في التركيب الكيميائي بما في ذلك محتوى الكربون والهيدروجين [54]. ويتم إنتاج البيوشار بإستخدام مجموعة واسعة من الكتلة الحيوية الزراعية من جميع أنحاء العالم. القش القمح والأرز، قشور الأرز، ومخلفات شجرة النخيل هي

الأكثر استخدامًا في إنتاج البيوشار[55, 56] ولقد أثرت الصفات الأساسية للكتلة الحيوية على خصائص البيوشـار.

2-5-1. تحضير البيوشار من مخلفات النخيل

التحلل الحراري هو عبارة عن تقنية كيميائية حرارية تُستخدم عادةً لتحويل أي كتلة حيوية عضوية إلى فحم عند درجات حرارة تتراوح بين 300 إلى 600 درجة مئوية [57].و التحلل الحراري هو عملية حرارية تحول كتلة النخيل الحيوية إلى بيوشار صلب، زيت حيوي سائل، وغاز اصطناعي في بيئة خاملة. وتوزيـع نواتج التحلل الحراري يعتمد على شروط التشغيل في المصنع والتي تشمل درجة الحرارة، الضغط، معدل التسخين، والوقت.

وكذلك الكتلة الحيوية للنخيل، بما في ذلك الأوراق، الجذع، اللحاء، السعف، والبذور، ستجفف تحت أشعة الشمس وتُقطع أو تُطحن إلى قطع صغيرة ثم تُحلل حراريًا في وعاء من الفولاذ المقاوم للصدأ. يُجفف الكتلة الحيوية، ويُقطع، ويُطحن لإزالة البقايا [58].

لإنتاج أشكال مختلفة من البيوشار، يُوصى بالحفاظ على درجة حرارة التحلل الحراري ضمن النطاق من 300 إلى 600 درجة مئوية لمدة 4 ساعات. بعد ذلك، يُترك البيوشار الناتج في الفرن طوال الليل عند درجة حرارة التحلل الحراري المحددة [59]. الكتلة الحيوية ل *Phoenix dactylifera* متاحة على نطاق واسع ولكن كثيراً ما يتم إلقاؤها كنفايات زراعية في العديد من البلدان. تم تمييز عينات بذور نخيل التمر

وإستخدامها لإنتاج الفحم الحيوي في درجات حرارة الانحلال الحراري المختلفة (350 و 450 و 550 و 650 درجة مئوية) لمدة ساعتين. أظهرت الدلائل الفيزيائية والكيميائية للكتلة الحيوية أن الكتلة الحيوية لبذور التمر لديها القدرة على استخدامها بنجاح كمادة وسيطة لإنتاج البيوشار. ويعزى ذلك إلى عدم ثباته العالي، وكثافته الظاهرية العالية، ومحتوى الرماد المنخفض، ومحتوى الرطوبة المنخفض.

كان عائد كتلة الفحم الحيوي متناسبا عكسيا مع درجة حرارة الإنحلال الحراري. حيث كانت نسبة الفحم الحيوي 43.3٪ و 33٪ و 27٪ و 22٪ في درجات حرارة مختلفة (350 و 450 و 550 و 650 درجة مئوية). كان من المتوقع أن تؤدي الطبيعة القلوية للفحم الحيوي المصنوع من بذور التمر إلى تركيز كبير للمجموعات الوظيفية السطحية سالبة الشحنة. وعلاوة على ذلك، فإن هيكله المسامي للغاية يجعله خياراء أفضل لإزالة أيونات العناصر الثقيلة من أنظمة مياه الصرف الصحي [60]

2-5-2. تطبيقات البيوشـار

1-2-5-2. خصوبة التربة ونمو النباتـات

يعتبر البيوشار وسيلة تكيف زراعية طويلة الأمد. ويُعرف البيوشار بأنه إضافة عضوية للتربة في قطاع الزراعة. وتعتبر الكتلة الحيوية الزراعية هي المادة الخام الأساسية لتصنيع البيوشار من خلال التحول الكيميائي الحراري [61]. يمكن أن يُساهم البيوشار في ممارسات الزراعة

الذكية مناخيًا في الدول النامية، مما يقلل من أثار الفقر [62].

استخدام البيوشار المستخلص من مخلفات النخيل التي تتضمن خليطًا من الأوراق، الجذوع، والفروع بحجم جزيئات أصغر من 1 ملم لديه القدرة على تحسين الخصائص الفيزيائية والهيدرولوجية للتربة ذات القوام الخفيف. وهذه التطبيقات يمكن أن تعزز إحتفاظ الماء في التربة، وبالتالي تقلل من كمية الماء المطلوبة للري. ومع ذلك، من الضروري تقييم الأثر طويل الأمد للبيوشار على خصائص المياه وبنية التربة تحت ظروف حقلية [63].

إستخدام البيوشار المصنع من أوراق وسيقان نخيل التمر له تأثير كبير على معايير النمو المختلفة لنباتات الخيار، بما في ذلك قطر الساق، عدد الأوراق، طول الساق، مساحة الورقة، عدد الثمار لكل ساق، أبعاد الثمار، وزن الثمار، وزن الساق، وزن الورقة، محيط الثمرة، مساحة سطح الثمرة، الإنتاجية، سمات جودة الثمرة، محتوى الكلوروفيل، عملية التمثيل الضوئي، معدل البخر، سعة الفتحات النباتية، وكفاءة استخدام الماء. ومع ذلك، أدى استخدام البيوشار المصنع من الأوراق والسيقان إلى إنخفاض في تركيز ثاني أكسيد الكربون بين الخلايا [64].

تعتبر استخدامات البيوشار خيارًا جديرًا لتحسين هيكل التربة وكثافتها الظاهرية والمسامية. حيث إنه يساهم في حركة الماء والمغذيات بشكل أفضل، واحتفاظها بها، وتحسين الجذور، مما يؤدي إلى زيادة إنتاجية المحاصيل. تؤدي الجسيمات ذات الكثافة المنخفضة للفحم الحيوي إلى تقليل كثافة التربة الظاهرية وتسهيل إعادة ترتيب المسامات

التربوية، مما يعزز تكوين فتحات تربية جديدة. يؤثر هذا بشكل إيجابي على تجمع التربة، الأمر الذي يلعب دورًا حاسمًا في تحديد جودة التربة والوقاية من التآكل. بالإضافة إلى ذلك، يؤثرالبيوشار بشكل طفيف على درجة حموضة التربة، وعلى خصوبة التربة، خاصة فيما يتعلق بمستويات المغذيات والنيتروجين الكلي [65]. أدى التسميد الحيوي والبيوشار إلى تعزيز نمو الباذنجان وإنتاجيته، وزيادة كفاءة استخدام المياه تحت ظروف نقص المياه.

يعزز البيوشار المنتج عند درجات حرارة تسخين منخفضة (300 و 400 درجة مئوية) في تربة صحراوية رملية علي نمو القمح عند إستخدامه مع الأسمدة المعدنية، مما يعزز إحتفاظ التربة بالماء، ومع مرور الزمن، وكذلك زيادة محتوى المادة العضوية في التربة وقدرتها على تبادل الكاتيونات. تم زيادة محتوى عناصر التبادل الكاتيوني CEC في التربة [66]. الخصائص الجوهرية للتربة في المناطق الجافة، مثل إنخفاض إحتفاظها بالماء وضعف خصوبتها، مما يجعلها غير مناسبة لأغراض الزراعة. ومع ذلك، أظهر استخدام البيوشار تحسين احتفاظ التربة بالماء بنسبة تصل إلى 20٪ وزيادة قدرة تبادل الكاتيونات. ولقد أشارت البيانات إلى أن معالجة البيوشار تؤدي إلى تغييرات نافعة في خصائص التربة، ولكن هناك حاجة ملحة إلى دراسات طويلة الأمد لتقييم مختلف التأثيرات بشكل دقيق [67].

زادت كميات الكربون العضوي والحيوي في التربة، وتقليل انبعاث ثاني أكسيد الكربون من التربة بشكل كبير من خلال إضافة خامات

غذائية مشتقة من نخيل التمر والبيوشار. أدى إستخدام البيوشار عند 300 درجة مئوية إلى انخفاض ملحوظ في مستويات الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك المتاحة في التربة، بينما كان للبيوشار المطبق عند 700 درجة مئوية له تأثير كبير على تخفيض نسبة الحديد المتحرك في التربة [68].

2-5-2-2. إمتصاص ثاني أكسيد الكربون

أظهر البيوشار قدرته الكبيرة على إمتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون [69]، فكانت مماثلة للفحم النشط. وتعتمد قدرته على إمتصاص ثاني أكسيد الكربون على عوامل متعددة، منها مساحة السطح، والشحنة، ودرجة الحموضة، والتسامي، وتكوين المعادن، وحجم المسامات، والحجم، والقاعدية، ومقاومة الماء، والمجموعات الوظيفية [71,70]. هذه الصفات، التي تتأثر بنوع المواد الخام والعملية الحرارية الكيميائية، التي تحدد فعالية البيوشار [72]. ويعتبر تحويل النفايات الحيوية إلى بيوشار وسيلة واعدة للحد من إنبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون من مكبات القمامة [73]. ومن المقدر أن يمكن لتخزين الكربون في البيوشار منع انبعاث سنوي يتراوح بين 0.1 إلى 0.3 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون. و البيوشار لديه أيضًا القدرة على التخفيف من انبعاثات غازات الإحتباس الحراري من خلال استراتيجيات إحتجاز ثاني أكسيد الكربون [74, 75].

وتناولت الأبحاث الحديثة أن إستخدام نفايات أوراق نخيل التمر كمصدر للبيوشار لإمتصاص ثاني أكسيد الكربون فعالة من حيث

التكلفة، مما يساعد في إستراتيجيات إحتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون. وذلك من خلال تحليل خصائص بيوشار نفايات أوراق نخيل التمر بإستخدام تقنيات مختلفة واختبار امتصاص ثاني أكسيد الكربون باستخدام تكنولوجيا تحليل الغاز والصلب، ولقد ظهرت نتائج واعدة أن إستخدام بيوشار من نفايات أوراق نخيل التمر المنتج عند 500 درجة مئوية لمدة 5 ساعات كفاءة في امتصاص ثاني أكسيد الكربون بنسبة 20% لكل جرام من البيوشار. تؤكد هذه النتائج على إمكانية إستخدام نفايات أوراق نخيل التمر كمصدر للبيوشار في مبادرات إحتجاز ثاني أكسيد الكربون [76].

2-5-2-3. التحول إلى منتجات مرتفعة الطاقة

يؤدي التحلل الحراري للكتلة النباتية لنخيل التمر إلى إنتاج بيوشار وزيت نباتي وغازات حيوية مختلفة، بما في ذلك الميثان والهيدروجين وأول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكربون [77].وتشتمل عملية التحلل الحراري على درجات حرارة مختلفة ومعدلات تسخين، مما يؤثر على إنتاج كل منتج. ويتم إنتاج البيوشار عند درجات حرارة أقل حوالي 450 درجة مئوية مع معدلات تسخين أبطأ، بينما يتم توليد الغازات عند درجات حرارة أعلى تقترب من 800 درجة مئوية مع معدلات تسخين أسرع.

ويتم إنتاج الزيت النباتي، من ناحية أخرى، عند درجات حرارة متوسطة مع معدلات تسخين نسبياً أعلى. و يمكن تحويله إلى وقود محرك من خلال التغازل ومعالجته إلى وقود حيوي .علاوة على ذلك،

يكتسب إنتاج الإيثانول الحيوي من بقايا نخيل التمر كوقود حيوي. ويمكن تحقيق ذلك من خلال العمليات الكيميائية أو البيولوجية مثل التخمر اللاهوائي للكتلة الحيوية. ويحمل الإيثانول الحيوي أهمية كبيرة لمختلف التطبيقات الصناعية ويمثل مجالاً واعداً لإنتاج الطاقة المستدامة [78].

4-2-5-2. إستخدامات أخري للبيوشـار

إستخدام كتلة نخيل التمر ومشتقاتها من البيوشار على التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة إلى تقليل في الملوثات [79]. ولقد لوحظ أن فعالية بيوشار نخيل التمر في إمتصاص النيكل والنحاس في الأنظمة الثنائية والثلاثية تؤثر بشكل كبير على عملية الامتصاص [80].

تتمتع بقايا نخيل التمر بمحتوى حراري وطارد للبخار كبير، مما يجعلها أسمدة عضوية فعالة مقارنة ببقايا الزراعة الأخرى. وبالتالي، يمكن إعتبار كتلة نخيل التمر والبيوشار المستمد منها كأسمدة عضوية قيمة وفعالة [81,80].

عند إستخدامه كمحسن للتربة، كما أن البيوشار يتمتع بقدرتة علي الإحتفاظ بالماء في التربة الرملية في المناطق الجافة، حتى عند الري بالمياه العذبة والمالحة [82].

تم إستخدام البيوشار المصنع من بقايا نخيل التمر لإزالة أيونات المنجنير والنيترات من البيئات الملوثة عند حيث pH 6، وقد لوحظ أنه عند إستخدام 0.1 جرام من البيوشار المحضر عند درجة حرارة 500

أسفر عن كفاءة عاليةوقدرة إدمصاص عالية في إزالة هذة الأيونات قد تصل الي 73.20٪ في حالة المنجنيز، و 94.94٪في حالة النيترات **[83]**.

عند إضافة البيوشار المحضر عند درجات حرارة مختلفة (300 و 500 درجة مئوية) وخلطة مع اليوريا أدي الي التقليل قلل من تطاير النشادر في عينات التربة مقارنة باليوريا وحدها. وقد أوضحت النتائج أن عند الخلط بين اليوريا والبيوشار المحضر عن درجة حرارة أقل 300 درجة مئوية قد أعطي أفضل النتائج وقلل من فقدان النيتروجين في التربة الرملية عن طريق خفض تطاير NH_3 وزيادة إطلاق NH_4N. يمكننا الأستنتاج أن هذه النتائج قد تساعد في صياغة طرق تسميد لزيادة كفاءة استخدام النيتروجين للنباتات في التربة الرملية القلوية **[79]**.

2- 6. إعداد الكمبوست من مخلفات النخيل

وتعتبر طريقة تحويل مخلفات النخيل إلى كمبوست طريقة فعالة وصديقة للتخلص من المخلفات. ولقد أظهرت النتائج عند تحويل 70% من بقايا نخيل التمر و 30% من فضلات الروبيان والسلطعون إلى سماد عضوي ووجد السماد الناتج قد يكون سمادًا فعالًا **[84]**. علاوة على ذلك، قد يؤدي الاستخدام المفرط للسماد الكيميائي في غياب الإضافات العضوية إلى تلف النظام البيئي المحيط من خلال تسرب المغذيات **[85]**. ونتيجة لذلك، قد يكون فقدان المادة العضوية في التربة هو السبب في عدم خصوبة التربة وقلة الإنتاجية الناتجة عن انخفاض النشاط الحيوي للميكروبات ومعدل التسرب **[86]** لذلك،

تحسنت خصوبة التربة بشكل ايجابي مما انعكس علي الإنتاجية الزراعية. ويعتبر سماد الكمبوست والماشية محسنات للتربة للاهتمام بين المركبات حيث يتم إنتاج الكمبوست عادةً بواسطة تقنيات التحويل العضوي و / أو تقنيات تحويل الدود [87]. وغالبًا ما يقوم المزارعون بخلط كمية من الكمبوست والأسمدة الحيوية، والذي يعتبر الطريقة الأمثل [88].وعند مقارنتها بالأسمدة الكيميائية (مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم)، و يسهم السماد الحيواني بشكل كبير في خصوبة التربة. ومعظم المزارعين على دراية بالسماد من الماشية وغيرها من الحيوانات الزراعية التقليدية وكذلك فضلات الحيوانات من البقر والخيول والدجاج متوفرة على نطاق واسع وتستخدم كأسمدة. حيث يتم استخدام فضلات البقر بشكل أوسع في العديد من المناطق الريفية في جميع أنحاء العالم من سماد الحيوانات الزراعية الأخرى. ونتيجة لإنخفاض عدد الحيوانات المرباة، إنخفضت توفيرة في المناطق الزراعية بشكل كبير. بالإضافة إلى ذلك، و هناك تحديات أخرى مرتبطة بتسميد مخلفات الماشية، بما في ذلك التعامل معه ونقله والكميات الهائلة المطلوبة لتلبية احتياجات النباتات من المواد المغذية. ونتيجة لذلك، يقوم المزارعون والباحثون باستكشاف بإستمرار الأسمدة العضوية البديلة من النظم البيئية الطبيعية لديهم.

2-6-1. الخصائص الفيزيائية والكيميائية للكمبوست الناتج من بقايا نخيل التمر

تعتبر بقايا نخيل التمر خشنة، ويجب خلطها مع السماد لبدء عملية التحلل [89]. حيث أظهرت دراسة أن بقايا نخيل التمر المخمرة لها الخصائص الفيزيائية والكيميائية التالية: درجة الحموضة قريبة من الحيادية (7.5)، معدل الرطوبة عند النضج يقترب من 41.52%، نسبة المادة العضوية (OM) تبلغ 44% من المادة الجافة، كثافة 0.39 جم/سم3، نسبة C/N تبلغ 14.9، وموصلية عالية 2.48 mS/cm يحتوي الكمبوست المصنوع من منتجات نخيل التمر المجففة على نفس الجودة مثل الكمبوست المصنوع من مواد نباتية أخرى.

2-6-2. تحضير السماد من بقايا نخيل التمر

تم طحن متبقيات نخيل البلح ميكانيكيًا لإنتاج جزيئات بحجم (2 بوصة)، والتي تم تكديسها في كومة سماد قياسية مع سماد طازج. كانت نسبة تكديس الكومة مزيجًا (1: 3) كما هو موضح في الشكل 5. تم تناوب طبقات التغطية والسماد لتعزيز عملية التحلل السريعة. تم مراقبة رطوبة الكومة وتغييرها كل 5 إلى 7 أيام. تم قياس حرارة الكومة يوميًا في مركز كوامير السماد في عدة مواقع. للحفاظ على نمو بكتيري مثالي لتحلل المواد العضوية الصلبة، تم ضبط رطوبة المزيج إلى 60% بإستخدام إختبار الضغط [90]. تم تصفية السماد المحضر ثم تمريره لإزالة المواد الكبيرة وغير القابلة للتحلل باستخدام غربال بحجم 2 مم.

الشكل (6): مخلفات النخيل الممزوجة بالسماد الحيواني بنسبة 1: 3

2-6-3. تطبيقات علي كمبوست مخلفات النخيل

2-6-3-1. تأثير كمبوست النخيل علي نمو النبات وتطويره

تعتبر تربة أوراق نخيل التمر بديلاً جيدًا للبيتموس [91]. حيث تسهل إنبات ونمو مجموعة متنوعة من النباتات الزينية، بما في ذلك *Cosmos bipinnatus, Dahlia variabilis, Tagetes erecta*, and *Zinnia elegans*. علاوة على ذلك، عند تطبيقه بجرعة معتدلة تبلغ 30 طنًا للهكتار، كمبوست النخيل يعمل علي تعزيز إنتاج النباتات [92]. حيث أظهرت الدراسات الي أن مخلفات نخيل التمر قد تستخدم كمواد زراعية في أنظمة الهيدروبونيك، مما يشير إلى ملاءمتها لدعم نمو النبات في البيئات المحكومة [93]. وبالإضافة إلى ذلك، يساهم الكمبوست المصنع من مخلفات النخيل الي تحسن إنتاج الحبوب وكذلك طول الساق ومساحة الأوراق، وكان لإستخدام كمبوست النخيل تأثير جيد على العناصر عند مقارنته بالكنترول [92].

وكشف تحليل كمبوست مخلفات نخيل التمر أنه يحتوي على تركيز أعلى من العناصر الرئيسية الأساسية مثل النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم، مما قد يشير إلى انه له دور فعال في تحسين النمو الخضري والوظائف الفسيولوجية لشتلات نخيل التمر. وعند تحويل المخلفات الي كمبوست وإستخدامها لتسميد الشتلات، خاصة بمقدار 100 جرام، ومزجها مع الأسمدة غير العضوية.ينتج عنه تقليل استخدام الأسمدة الكيماوية الغير صديقة للبيئة أو فعالة من الناحية المالية **[92]**. كما أظهرإستخدام الكمبوست تأثيرًا إيجابيًا على نباتات الشعير، حيث حفز بشكل فعال نمو النبات. وأظهرت الدراسة وجود عدد كبير من البروتينات ذات التوزيع المختلف في جذور الشعير المعالجة بالسماد، مما يشير إلى أن التأثير التنظيمي للسماد على الشعير يشمل مسارات متعددة للأيض .وكشف التحليل البروتيني أن معالجة السماد أثرت على البروتينات المرتبطة بعمليات حيوية متعددة، بما في ذلك التكسير الجلوكوزي وأيض الطاقة، وترجمة وتحلل البروتين، ومعالجة الأحماض النووية، واستجابة للاجهادات، وتخليق الأحماض الأمينية، ومسار phenylpropanoid، ونقل إشارات هرمونات النبات. ومستقبليا تحتاج الجهود البحثية إلى تحقق من الأنماط التعبيرية المحددة من خلال الدراسة البروتينية.

يظهر تنشيط المسارات المشاركة في التخليق الحيوي للأيضات الأولية والثانوية كعامل حاسم لتعزيز نمو نبات الشعير. تقدم هذه

النتائج رؤى قيمة حول الآليات الجزيئية الكامنة وراء الاستجابة للسماد كسماد عضوي في النباتات[94].

تم إستخدام مخلفات النخيل كوسيط زراعي، و دراسة نمو نبات البطيخ (*Cucumis melo* L.)، والعلاقات المائية، ومحتوي الكلوروفيل، وعملية التمثيل الضوئي، وتحليل المركبات النباتية في نظام زراعة هيدروبونيك. حيث تم مزج الكمبوست المصنع من مخلفات النخيل مع الروث الحيواني.و أظهر التحليل تحسنًا في نمو النباتات. كما ازدادت نسبة المواد الصلبة القابلة للذوبان الكلية، والمواد المذابة الكلية، والحموضة القابلة للتقدير (على شكل حمض الستريك)، ومحتوى السكر، ودرجة الحموضة في عصير البطيخ. ولذا تبدو الأسس الزراعية المعتمدة على مخلفات النخيل، وخاصة سماد الجذع، فعالة من الناحية المادية كبديل لزراعة بدون تربة [95].

2-6-3-2. تاثير كمبوست النخيل خصوبة التربة

أظهرت النتائج عند تطبيق إستخدام كمبوست النخيل بالمقارنة مع التربة الكنترول ان معاملة كمبوست النخيل زادت بمعدل 30 طنًا للهكتار من السماد العضوي وقدرة احتفاظها بالماء بشكل كبير مع تقليل الكهربائية التوصيلية. وعلاوة على ذلك، زادت الصفات الرئيسية للتربة (المادة العضوية وقدرة الاحتفاظ بالماء) وانخفضت الكهربائية التوصيلية. يمكن استخدامه كسماد عضوي مناسب للمحاصيل الأخرى المحاطة بأشجار نخيل التمر ويمكن أن يحل محل التسميد الكيماوي بنتائج مرضية [92].

يلعب الدبال دورًا محوريًا في تحديد جودة التربة، حيث يشير وجوده إلى إمكانية إثراء التربة بالكربون على المدى الطويل. تم إدخال سماد نخيل التمر مع روث الأغنام كتعديلات عضوية في التربة لتقييم تأثيرها على المركبات الدبالية في التربة.

وأظهر الكمبوست المستمد من نخيل التمر وروث الأغنام سمات إيجابية للمحاصيل، حيث درجة حموضة محايدة ونسبة كربون إلى نيتروجين تبلغ 11.9. كماأظهر استخدام كمبوست نخيل التمر في تحسين جودة التربة. وأظهر تحليل الطيف الضوئي للمركبات الهيوميكية المعزولة من سماد نخيل التمر وروث الأغنام وفرة في المواد العطرية، كما هو مؤشر بنسبة منخفضة منE4/E6 ، والتي ترتبط بزيادة البليمرة. أكد التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء للأحماض الهيوميكية المعزولة من التربة المعاملة إثراء المواد العطرية [96].

وقد أظهرت النتائج أن إستخدام كمبوست النخيل لفترة قصيرة يعمل علي تحسين خصوبة التربة عن طريق زيادة تركيز الأحماض الهيوميكية، مع تعزيز الموادالعطرية والمجموعات الوظيفية. وهذا يبرز إمكانية سماد نخيل التمر كخيار لتحسين جودة وخصوبة التربة [96]

2-6-3-3. كمبوست نخيل التمر كوسط غذائي

وقد قامت الدراسة بتقييم ثلاثة أوساط نمو: كمبوست مستمد من مخلفات نخيل التمر، والبيتوموس، والبيرلايت، لإنبات بذور البطيخ والطماطم. أظهرت النتائج أن الكمبوست يظهر نتائج ايجابية، والتي

ترتبط بدرجة الحموضة المحايدة، ونسبة C: N المثالية، وزيادة محتوى الحمض الهيوميكي مقارنة بالحمض الفلوفيك، ومستويات منخفضة من المواد الكيميائية من نوع الكلوروفيل.

وقد أوضحت النتائج أن استخدام كمبوست مخلفات نخيل التمر كوسط غذائي ومادة قابلة للزراعة في زراعة بدون تربة تحت ظروف البيوت الزجاجية أعطي نتائج ايجابية لإنبات البذور ونمو النبات كما. أظهرت كل من الأشكال الصلبة والسائلة من االكمبوست تأثيرات ايجابية على المحاصيل البستانية مثل الطماطم والبطيخ. وتسلط هذه النتائج الضوء على إمكانية كمبوست النخيل كوسط غذائي لزيادة الإنبات وتحفيز نمو النباتات في البيوت الزجاجية [97] يعد إستخدام الكمبوست من نخيل التمر ذات أهمية كبيرة لقدرتة على تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية كوسط غذائي، ويمكن استخدامة كبديل واعد للبيتموس المستورد وذلك لأنها امتازت بأفضل الخصائص الفيزيائية والكيميائية، وخاصة تحسين الكثافة الحجمية (Bd)، وسعة الاحتفاظ بالماء، وسعة التبادل الكاتيوني، والمحتوى من المعادن الغذائية الهامة (N, P and K) مع تقليل المادة العضوية، والكربون العضوي، ونسبة الكربون إلى النيتروجين (CN ratio) [98].

2- 6-3- 4. كمبوست نخيل التمر لمكافحة أمراض النباتات

أظهرت النتائج ان استخدام مزيج من سلالات PGPR بما في ذلك B. *megaterium* و B. *cereus* و P. *fluorescens* ، أدي عند استخدامها بالتزامن مع أوراق نخيل التمر المتحللة، إلي مقاومة فعالة

لمرض العفن الجذري في الفول البلدي، وقد ثبت ذلك في البيوت الزجاجية والحقول. يمكن أن يؤدي هذا النهج أيضًا إلى تعزيز نمو النبات ومكونات الإنتاجية [99].و يمكن للتربة المتحللة أن تحمي مختلف النباتات من الجذور الممرضة الموجودة في التربة مثل Fusarium sp. و R. *solani* في الفول البلدي والمحاصيل الأخرى [100] وتعزيز الصفات الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية للتربة لتشجيع نمو وإنتاجية نباتات الفول البلدي [101]. قد تكون هذه الفعالية ناتجة عن التغيرات في العدد الإجمالي للبكتيريا والفطريات المنافسة المتواجدة في التربة، التي تتنافس مع الآفات، بالإضافة إلى التغييرات في توافر وإمكانية الوصول إلى المواد الغذائية في التربة للنباتات [100].

و يتمتع الكمبوست بتأثيرات إيجابية لأنه يحفز النشاط الحيوي للميكروبات في منطقة الريزوسفيرة للنباتات. في حين أن بعضها يخلق عوامل مخلبية طبيعية تعرف باسم siderophores التي تحافظ على مستوي الحديد بشكل يتوفر للنباتات في التربة، يصنع البعض الآخر هرمونات نمو النبات التي تحفز مباشرة تطور النبات. يتمتع الكمبوست بتأثير مثبط بسبب عوامل حيوية متعددة. يمكن أن يكون العامل الحيوي، مثل سلالات البكتيريا المعززة لنمو النبات (B. *megaterium*, B. *cereus*, and P. *fluorescens*) مسؤولاً عن قدرة الكمبوست على تقليل الأمراض الموجودة في التربة [102]. وبالإضافة إلى ذلك، أظهر أن دمج سلالاتPGPR مع الكمبوست يعزز مقاومة النباتات للأمراض عن طريق استغلال هذه الكائنات الحية

الدقيقة لتعزيز تخليق مركبات الفينول. يبدو أن هذه الظاهرة توضح الإنخفاض الملحوظ في حدوث الأمراض الملاحظة في العلاجات المختلطة.

مرض الذبول الفطري لنخيل التمر، الناجم عن *Fusarium oxysporum* f.sp. *albedinis* (Foa)، يشكل تهديدًا كبيرًا لزراعة نخيل التمر. ومع ذلك، فأن استخدام الكمبوست لمكافحة الفطريات النباتية الموجودة في التربة أعطي فاعلية كبيرة في السيطرة على هذا المرض، وتوضيح آليته.

وأظهر كمبوست مخلفات شجرة نخيل التمر، الذي تم إنتاجه عن خصائص غير سامة للنباتات، حيث سجل مؤشر إنبات بنسبة 83.78%. على النقيض، أظهرت اثنين من الأسمدة التجارية سمية للنباتات. وكشف تقييم النضج عن علاقة عكسية مع الملوحة، ونسبة الكربون إلى النيتروجين، ومحتوى الفينولات القابلة للذوبان الكلي.

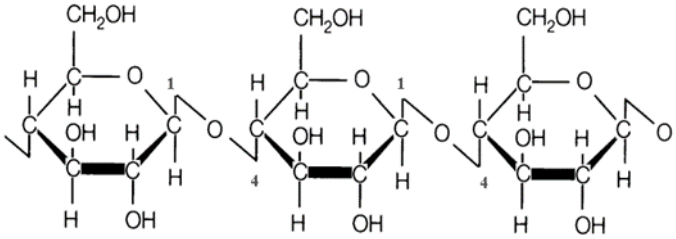
أظهرت اختبارات المكافحة البيولوجية أن كمبوست مخلفات نخيل التمر كان فعالاً للغاية؛ حيث أظهرت المستخلصات غير المعقمة لهذا السماد أعلى تأثير مضاد ضد العامل الممرض ابتداءً من اليوم السادس من الحضانة، محققةً معدل تثبيط بنسبة 100%. في المقابل، لم يتجاوز معدل التثبيط بإستخدام المستخلصات المفلترة 30%، وفقدت جميع المستخلصات المعقمة تأثيرها المضاد ضد الفطر المُستهدف. تشير هذه النتائج إلى أن التأثير المثبط يعود بشكل رئيسي إلى الكائنات الحية الدقيقة الأصلية الموجودة في السماد.

تؤكد هذه النتائج على أهمية تقييم النضج في تقييم جودة السماد، وتسليط الضوء كفاءة علي كمبوست مخلفات نخيل التمر في تثبيط فطر الفيوزاريوم، مما يشير إلى إمكانيته كعامل مكافحة بيولوجية ذو قيمة فعالة في زراعة نخيل التمر[103].

7-2. ألياف السليولوز من مخلفات النخيل

يشجع نهج الاقتصاد الحيوي في القرن الحادي والعشرين على استخدام الموارد المتجددة بدلاً من الموارد غير المتجددة فقط لتحقيق النجاح الإقتصادي والإستدامة البيئية [104]. في الوقت الحاضر بدأ الباحثون بدراسة إمكانية إستخدام مخلفات الكتلة الحيوية مثل قشور الأرز، وقش حبوب القمح، ونخيل الزيت، والخيزران، ومخلفات القطن، وألياف النخيل كمصدر للألياف الطبيعية. وتتميز هذه الألياف بإنخفاض تكلفتها وتوافرها بشكل أكبر مقارنة بالألياف التقليدية ذات الكثافة المنخفضة؛ والخصائص الميكانيكية الجيدة، والقابلية للتحلل الحيوي [105]، يعتبر السليولوز هو والبوليمر الحيوي الطبيعي الأكثر شيوعًا الموجود على الأرض، وهو بوليمر متجانس عالي الوزن الجزيئي يتكون من وحدات متكررة β-D-glucopyranosyl مرتبطة بـ (1–4) روابط الجليكوسيد كما هو موضح في الشكل 7 والتي يمكن إستخلاصها من الكتلة الحيوية المختلفة [106]. ركز عدد قليل من الباحثين على الألياف التي يمكن فصلها من بقايا النخيل؛ والباحثين الذين تمكنوا من القيام بذلك استخدموا هذة الألياف لمعالجة المياه أو مرشحات صديقة للبيئة وتحضير المواد المركبة [107-112]. هناك تركيز أقل على

عزل الياف السليولوز وإستخدامها في أنواع مختلفة من عجينة الورق. يمكننا القول أن تمتلك بقايا شجرة النخيل تمتلك القدرة على أن تكون مصدرًا مستدامًا للسليولوز ومشتقاته حتي يمكن إستخدامة في تطبيقات عديدة.

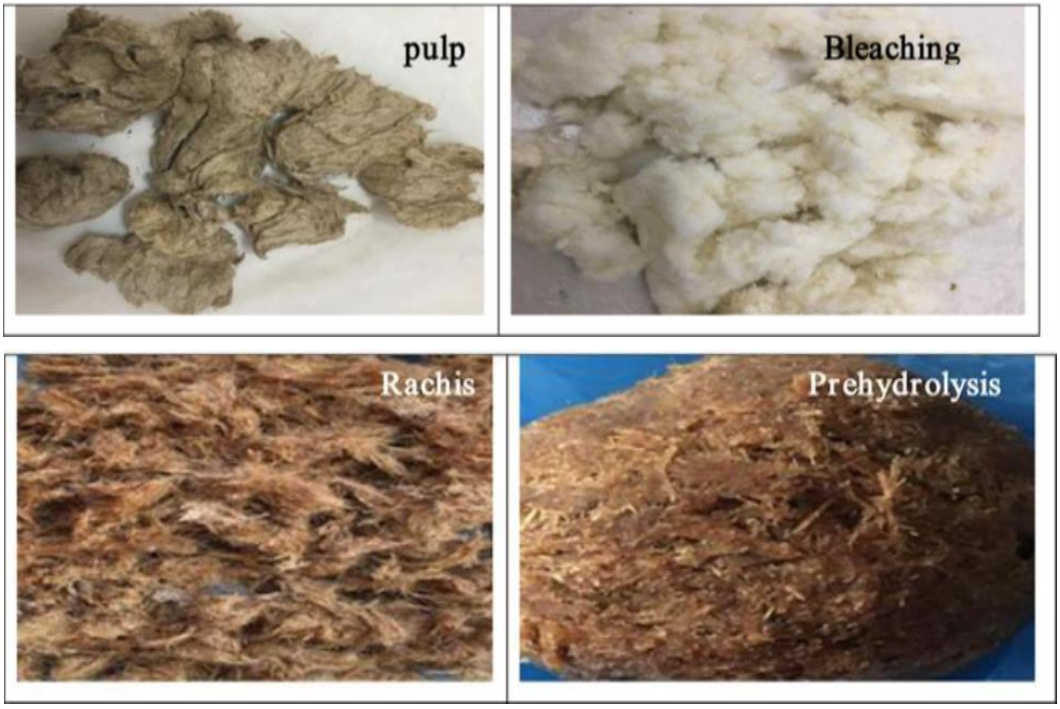


الشكل (7): يوضح تركيب جزيئات السليلوز

2-7-1. طريقة عزل ألياف السليولوزمن بقايا النخيل

لعزل ألياف السليولوز من بقايا نخيل التمر، من الضروري إجراء معالجة مسبقة للتخلص من الشمع والراتنجات، وكذلك لإذابة الهيمسيلولوز واللجنين ولزيادة كمية السليولوز في الكتلة الحيوية. يتم عزل ألياف السليولوز من بقايا شجرة النخيل من ثلاث ثلاث مراحل بسيطة. (أ) معالجة بقايا شجرة نخيل التمر بإستخدام حمض الكبريتيك (H_2SO_4) ؛ (ب) إستخدام الصودا (NaOH/1N) ؛ ثم الغسيل بالماء المقطر والمعالجة باستخدام حمض الهيدروكلوريك المخفف[113]. في المرحلة الأخيرة، تمت إزالة اللجنين المتبقي بإستخدام فوق أكسيد الهيدروجين/هيدروكسيد الصوديوم (H_2O_2/NaOH). بعد إنتهاء مرحلة

التبييض، تم تجفيف اللب في الهواء وشطفه بالماء منزوع الأيونات حتى الرقم الهيدروجيني 7، وتم إدراج جميع الخطوات المذكورة أعلاه لعزل ألياف السليولوز من بقايا نخيل التمر في الشكل 8.



الشكل (8): المراحل المختلفة لعزل ألياف السليولوز من بقايا نخيل التمر

2-7-2. توصيف ألياف السليولوز

يتم توصيف ألياف السليولوز بعد عزلها من بقايا نخيل التمر، وذلك بإستخدام تقنيات مختلفة مثل FT-IR الذي يستخدم لمعرفة المجموعة الوظيفية عند أطوال موجية مختلفة، بينما تقوم حيود الأشعة السينية بدراسة التغيرات البلوريةومؤشر التبلورللالياف، علي

الجانب الأخر هناك تحليل الأشعة السينية المشتتة الذي يحدد العناصر التي تحتوي عليها ألياف السليولوز وتم استخدام SEM للتعرف علي شكل السطح للعينات.

2-7-3. تطبيقات إستخدام ألياف السليولوز المعزولة من بقايا نخيل التمر

2-7-3-1. صناعة الورق

تتضمن صناعة اللب والورق شركات التصنيع التي تحول ألياف السليولوز إلى أنواع مختلفة من عجائن الورق وألواحة. تاريخياً، تم إستخدام الألياف السليولوزية في مواد التعبئة والتغليف. تعتبر الأخشاب اللينة والصلبة هي المواد الخام الأساسية لإنتاج اللب. تُستخدم النباتات السنوية فقط في 7-8% من إنتاج اللب الذي نستخدمة في صناعة الورق، ونظرا لعدم إتاحة الأخشاب في مصر بكميات، يتم إستخدام المخلفات الزراعية مثل تفل قصب السكر وقش الأرز كمصدر للب. ومع ذلك، فإن إستخدام المخلفات الزراعية لإنتاج اللب والورق يؤدي إلى انخفاض جودة الورق. ونتيجة لذلك، تستورد مصر لب الخشب ودمجه مع قش الأرز ولب قصب السكر بنسبة 20% لتعزيز خصائص الورق. الجدير بالذكر أن إنتاج الورقة يعتمد علي كيفية إنتشار الألياف الفردية وتشابكها مع بعضها لتكوين الورقة. تتضمن الخطوة الأولى في إنشاء ورقة يدوية عملية الضرب، حيث تتم معالجة ألياف السليلوز ميكانيكيًا في سائل، عادةً الماء. الأهداف الرئيسية لعملية الضرب هذه

هي تعزيز الترابط بين الألياف وتقليل أي ضرر للألياف. يعمل الضرب على زيادة مساحة تلامس الألياف مما يعزز مرونتها. بعد إتمام عملية الضرب، يتم ترسيب الألياف على سطح ماكينة الورق وتخضع لعملية تجفيف عند درجة حرارة 93 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة كما هو موضح في الشكل 9 الذي يبن شكل البراميل التي تستخدم في التجفيف للعينات.تتكون الورقة نفسها من ألياف السليولوز المتشابكة التي يتم ربطها معًا بواسطة روابط هيدروجنية مع إضافة بعض المواد الكيميائية.

الشكل (9): البراميل المستخدمة في تجفيف ورق اليد

تعتبر ألياف السليولوز المشتقة من بقايا نخيل التمر مادة خام قابلة للتطبيق في تطبيقات صناعة الورق. ومع ذلك، فمن المهم أن ندرك أن العديد من العوامل، بما في ذلك محتوى اللجنين المتبقي، والشوائب،، ودرجة خفق اللب، والرطوبة النسبية للبيئة، يمكن أن تؤثر على جودة الأوراق الورقية المنتجة من أي لب. إن أبعاد وقوة الألياف الفردية وترتيبها داخل الورقة ودرجة الترابط بينها كلها عوامل محورية تلعب دورا

هاما في تحديد خصائص المنتج الورقي النهائي. ولذلك، فإن دراسة هذه المتغيرات وإدارتها بعناية أمر ضروري لضمان إنتاج صفائح ورقية عالية الجودة من ألياف السليولوزالمشتقة من بقايا نخيل التمر. يمثل الشكل 10 ورقة يدوية من بقايا نخيل التمر قبل التبييض وبعد عملية التبييض كمثال تطبيقي يمكن أستكمال الدراسات علية لأنتاج ورق ذات جودة عالية مطابقا لمواصفات الجودة للسوق المحلي والعالمي.

الشكل (10): ورقة يدوية من بقايا نخيل التمر قبل وبعد عملية التبييض

2-8. مركبات أخرى من ألياف شجرة النخيل

2-8-1. اللوح الليفي MDF

تم تحضير ألواح MDF بشكل فعال بإستخدام سعف النخيل، والذي يتمتع بصفات ميكانيكية ممتازة. عن طريق خلطة بنوعين مختلفين من البوليمرات، وتإثير وثلاثة مستويات للضغط، بإجمالي 15 عينة. ولقد أثبتت النتائج أن MDF المصنوع من سعف النخيل يمتلك صفات ميكانيكية ومقاومة للبلل تتجاوز المعايير المطلوبة الخاصة بـ MDF [114].

2-8-2. مركب الإيبوكسي

تم إستخدام ألياف نخيل التمر في تحضير مركب الإيبوكسي عن طريق الطحن والتنظيف والتجفيف بعد ذلك تم دراسة الخواص الميكانيكية. ووجد الباحثون أن إضافة ألياف نخيل التمر زادت من قوة الشد للمركب، وكانت نسبة الوزن الأمثل للتسليح 50% وزناً. لكن خروج فقاعات الهواء في مادة الايبوكسي يؤثر على الخواص الميكانيكية، على عكس مركبات الإيبوكسي النقية التي لا تحتوي على فقاعات الهواء [115]. لذلك فإنة من الأفضل تحسين الصفات الميكانيكية لهذة المركبات لضمان جودة هذه المركبات.

2-8-3. ألواح الجبس

تستخدم ألواح الجبس عادة كعازل حراري أو صوتي بسبب خصائصها العازلة الفعالة. تم دراسة التأثير الفيزيائي الحراري لتقوية

ألواح الجبس بألياف نخيل التمر. أدي إستخدام ألياف نخيل التمر إلى تقليل التوصيل الحراري وكثافة ألواح الجبس، مما أدى إلى تحسين العزل وتقليل الوزن [116]. حدث هذا التحسين دون المساس بالصفات الميكانيكية للألواح.

3. تحديات وقيود استخدام بقايا أشجار النخيل

يعد الإستفادة من بقايا شجر النخيل ذا أهمية كبيرة للتنمية المستدامة والحفاظ على البيئة، ومع ذلك فإنه يواجه العديد من التحديات والقيود. على الرغم من قدرة هذه المنتجات على تقليل النفايات وتوفير بدائل صديقة للبيئة في مختلف الصناعات، إلا أن العديد من العقبات تعيق اعتمادها على نطاق واسع واستخدامها الفعال. يعد معرفة هذه التحديات أمرًا بالغ الأهمية لوضع استراتيجيات فعالة للتغلب عليها والاستفادة الكاملة من فوائد منتجات النخيل غير المثمرة. يستكشف هذا القسم العقبات الأساسية التي يجب معالجتها لتعزيز إستخدام هذه الموارد المستدامة.

3-1. غياب الوعي

غالبًا ما يتجاهل المستهلكون والمؤسسات الفوائد البيئية والتطبيقات المتنوعة لمخلفات أشجار النخيل. فهناك حاجة إلى زيادة الوعي بقابليتها للتحلل البيولوجي وخصائصها المتجددة. على سبيل المثال، يمكن لهذه المنتجات أن تقلل من النفايات البلاستيكية عند استخدامها كبدائل قابلة للتحلل الحيوي، وتوجد لها تطبيقات محتملة

في صناعات مختلفة مثل المنسوجات (مثل الألياف الطبيعية)، والبناء (مثل مواد البناء المستدامة)، والطاقة الحيوية (مثل الوقود الحيوي).

3-2. عدم كفاية البحث والتطوير

يتطلب التقدم في جودة وفعالية منتجات النخيل غير المثمرة جهودًا مكثفة للبحث والتطوير. يتضمن ذلك استكشاف طرق معالجة جديدة، وتنقيح تركيبات المنتجات، وتنفيذ بروتوكولات صارمة لمراقبة الجودة. على سبيل المثال، يمكن لتقنيات المعالجة الجديدة تحسين متانة المواد القائمة على النخيل، مما يجعلها قادرة على المنافسة مع المواد التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، من الضروري إجراء بحث شامل لفهم الآثار البيئية، مثل البصمة الكربونية وكفاءة الموارد المرتبطة بهذه المنتجات.

3-3. سياسات داعمة غير كافية

السياسات الداعمة ضرورية لتحفيز إنتاج واعتماد منتجات النخيل غير المثمرة. في الوقت الحالي، توجد حوافز محدودة للانتقال من إنتاج زيت النخيل التقليدي إلى البدائل غير المثمرة. يمكن للحكومات والمنظمات الدولية تنفيذ الإعفاءات الضريبية والإعانات والأطر التنظيمية التي تشجع الممارسات المستدامة. على سبيل المثال، يمكن أن تعطي السياسات الداعمة منحًا للشركات التي تستثمر في التقنيات الصديقة للبيئة أو تفويضات لاستخدام المواد المتجددة في صناعات معينة.

3-4. إنتاج الوقود الحيوي غير متطور

على الرغم من أهميته، فإن إنتاج الوقود الحيوي من مخلفات النخيل غير متطور. يمكن للوقود الحيوي المصنوع من مخلفات النخيل أن يوفر مصدرًا للطاقة المتجددة يقلل من إنبعاثات الغازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري العالمي. ومع ذلك، يجب معالجة هذه التحديات مثل تحسين عمليات التحويل وضمان سلاسل التوريد المتسقة. يعد البحث في تحسين كفاءة الإحتراق ودمج الوقود الحيوي في أنظمة الطاقة الحالية أمرًا بالغ الأهمية لإعتماده على نطاق أوسع. و لا تزال هناك عقبات أخري، مثل ضرورة وجود سلالات ميكروبية فعالة، وتقنيات إنتاج مجدية اقتصاديًا، ومصادر مواد خام مستدامة. وتوجه المساعي البحثية المستمرة في هذا المجال نحو التغلب على هذه التحديات وتعزيز جدوى إنتاج الوقود الحيوي من موارد الغاز.

3-5. التقييم البيئي لعملية إعادة التدوير

إن إنتاج الكربون النشط عالي الجودة من مخلفات نخيل التمر يتضمن تقليل استخدام الطاقة وتقليل التأثير البيئي وتحسين عملية الكربنة. تعد تقنيات التنشيط الفعالة أمرًا بالغ الأهمية لضمان إزالة الملوثات، وضمان أن المنتج النهائي يلبي معايير الصناعة. على سبيل المثال، تطوير طرق التنشيط منخفضة الطاقة وإعادة تدوير المنتجات الثانوية التي تجعل العملية أكثر استدامة.

3-6. الافتقار إلى التعاون العلمي

يواجه تحضير السماد من مخلفات نخيل التمر تحديات بسبب طبيعته الليفية الصعبة ومحتواه العالي من اللجنين. هناك حاجة إلى تعاون علمي متعدد التخصصات لتطوير أساليب التحلل الفعال. ويشمل ذلك البحث في العلاجات الميكروبية التي تكسر اللجنين بشكل أسرع والإبتكارات في تكنولوجيا التسميد التي تعزز الكفاءة. يمكن أن يؤدي التعاون بين علماء النبات والكيميائيين وعلماء البيئة إلى تحقيق اختراعات في هذا المجال.

3-7. نقص المعدات

يتطلب إنتاج الفحم الحيوي من مخلفات نخيل التمر وجود ظروف مثالية للتحلل الحراري، والتعامل مع محتوى الرطوبة المتغير، وضمان التسخين الموحد، وتقليل التعرض للأكسجين. يمكن إعاقة إنتاج الفحم الحيوي عالي الجودة بسبب خصائص المواد الخام غير المتسقة. لذلك من الممكن أن تؤدي الاستثمارات في معدات التحلل الحراري المتقدمة التي تسمح بالتحكم الدقيق في درجة الحرارة ومستويات الأكسجين إلى تحسين إتساق المنتج وأدائه.

3-8. تباين المواد الخام

تواجه صناعة الورق تحديات في دمج نفايات نخيل التمر بسبب طبيعتها الليفية ومحتواها العالي من اللجنين. تحتاج عمليات الإنتاج الحالية إلى تعديلات للتعامل مع هذه المواد بشكل فعال من حيث

التكلفة والاستدامة. يمكن أن تساعد الإبتكارات في تقنيات معالجة اللب والألياف في دمج نفايات النخيل في المنتجات الورقية دون المساس بالجودة. كما أن تطوير الإنزيمات أو المعالجات الكيميائية لتفكيك اللجنين بشكل أكثر كفاءة يمكن أن يسهل هذا التكامل.

4. إقتراحات للتغلب على هذه التحديات

يتطلب إستخدام منتجات النخيل غير المثمرة جهودًا تعاونية من مختلف أصحاب المهن المختلفة – المنتجين، والباحثين، وواضعي السياسات، والمستهلكين. إن تنفيذ استراتيجيات الحلول للتغلب على التحديات يساهم بشكل كبير في التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة.

4-1. الإعلام والتوعية العامة

تعد الحملات الإعلامية ومبادرات التثقيف العام ضرورية لتعزيز ثقافة إعادة تدوير النفايات وزيادة الوعي بمنتجات النخيل غير المثمرة. ويمكن أن تسلط هذه الحملات الضوء على الفوائد البيئية والاستخدامات العملية لهذه المنتجات، مما يشجع طلب المستهلكين وتبني الصناعة. يمكن للبرامج التدريبية للشباب تثقيف الأجيال القادمة حول الممارسات المستدامة وفرص الابتكار.

4-2. دعم البحث العلمي

يعد دعم مراكز البحوث والجامعات معنويًا وماليًا أمرًا ضروريًا لإجراء دراسات شاملة. يمكن أن توفر هذه الدراسات بيانات حول التأثير البيئي والجدوى الاقتصادية لمنتجات النخيل غير المثمرة، وتوجيه القرارات

السياسية والتجارية. ويمكن للمنح والتمويل للبحوث تسريع التقدم في تقنيات المعالجة وتطوير المنتجات.

4-3. الدعم الحكومي

يجب على الحكومات تقديم الدعم، وكذلك تقديم حوافز ضريبية للشركات التي تستخدم منتجات النخيل غير المثمرة، وسن لوائح تعزز استخدام المواد المستدامة والمتجددة. على سبيل المثال، يمكن للحوافز المالية أن تقلل من حواجز الاستثمار الأولية للشركات التي تتبنى تقنيات جديدة. ويمكن للأطر التنظيمية أن تضع معايير للإستدامة، مما يضمن أن منتجات النخيل غير المثمرة تفي بالمعايير البيئية ومعايير الجودة.

4-4. تعميم إعادة تدوير النفايات

يجب على المنظمات غير الحكومية أن تدعم إعادة تدوير مخلفات النخيل، وخاصة إنتاج الوقود الحيوي، الذي يمكن أن يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري ويخفف من التلوث البيئي، خاصة في الدول العربية والأفريقية. ويمكن أن تشمل المبادرات تمويل المشاريع التجريبية، وتسهيل نقل التكنولوجيا، وبناء البنية التحتية لإنتاج الوقود الحيوي. من الممكن أيضًا أن يضمن التعاون مع المجتمعات والصناعات المحلية استدامة المبادرات الخاصة بالوقود الحيوي وقابليتها للتطبيق اقتصاديًا.

4-5. مراقبة الجودة

يعد إنشاء مختبرات مراقبة الجودة لتقييم واختبار المنتجات المعاد تدويرها أمرًا بالغ الأهمية لضمان فعالية ونجاح استراتيجيات إعادة التدوير. ويمكن لهذه المختبرات تطوير معايير وعمليات اعتماد تضمن جودة وسلامة منتجات النخيل غير المثمرة. ويمكن أن تؤدي مراقبة الجودة المتسقة إلى بناء ثقة المستهلك وزيادة نمو السوق.

4-6. التعاون العلمي

يعد تسهيل التعاون بين العلماء في مختلف التخصصات أمرا ضروريًا لتطوير حلول متكاملة لتحديات استخدام منتجات النخيل غير المثمرة. يمكن للمشاريع التعاونية أن تجمع بين الخبرات من مجالات مثل الزراعة والكيمياء والهندسة والعلوم البيئية لمعالجة القضايا المعقدة. يمكن للدراسات والمؤتمرات البحثية المشتركة أن تعزز تبادل المعرفة والابتكار. توفير التمويل للمشاريع العلمية التي تدعم مراكز البحوث والمصنعين.

4-7. التكامل مع الصناعات القائمة

يعد تعديل إعدادات المصنع الحالية لدمج مخلفات النخيل كمواد خام بشكل فعال أمرًا ضروريًا للتغلب على التحديات مثل الفصل الفعال للألياف وإزالة اللجنين وتحسين اللب كيميائيًا. إن تطوير آلات والعمليات القابلة للتكيف والتي يمكنها التعامل مع المواد الخام المتغيرة سيسهل هذا التكامل. يمكن أن تساعد الشراكات مع الصناعات القائمة

في الإستفادة من البنية التحتية والخبرة القائمة، مما يجعل الانتقال أكثر سلاسة وفاعلية من حيث التكلفة.

من خلال تطبيق الطرق المذكورة أعلاه لإعادة تدوير مخلفات أشجار النخيل، سنشجع مفهوم الاقتصاد الحيوي الذي يشير إلى الأنشطة الاقتصادية التي تستخدم الموارد البيولوجية المتجددة، مثل المحاصيل والمخلفات الزراعية والموارد البحرية، لإنتاج الغذاء والطاقة والمواد. يهدف هذا إلى تعزيز التنمية المستدامة من خلال تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وتشجيع استخدام الموارد الطبيعية بطريقة أكثر ملاءمة للبيئة.

يؤكد هذا النهج على أهمية الاستفادة من إمكانات الموارد البيولوجية لخلق القيمة المضافة وزيادة النمو الاقتصادي مع ضمان صحة البيئة على المدى الطويل.

الخلاصة

هناك ما يقرب من 100 مليون شجرة نخيل في جميع أنحاء العالم، والمنتجون الرئيسيون للتمور في جميع أنحاء العالم هم دول في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا بما في ذلك مصر والمملكة العربية السعودية والجزائر وباكستان والعراق والإمارات العربية المتحدة وتونس. وهذا العدد الكبير من أشجار النخيل حول العالم يعطي سنوياً كميات هائلة من مخلفات النخيل خلال مواسم تقليم أشجار النخيل. تهدف هذه الدراسة إلى توضيح كيفية إضافة القيمة إلى هذا العدد الكبير من بقايا النخيل, حيث أنه يمكن تحويل بقايا أشجار النخيل إلى منتجات جديدة مثل الكربون النشط الذي يستخدم على نطاق واسع في إزالة الملوثات العضوية وغير العضوية من مياه الصرف الصحي. كما يمكن تحويل بقايا شجرة النخيل إلى الفحم الحيوي والسماد الذي يعتبر سمادًا عضويًا يثري التربة بالعناصر الغذائية الأساسية ويحسن نمو النباتات. ويمكن تصنيع منتجات أخرى من بقايا أشجار النخيل مثل ألواح ألياف MDF، وحمض الستريك من سعف النخيل، وزيت نواة النخيل، وألياف السليلوز التي تستخدم في العديد من التطبيقات مثل صناعة الورق. إن تحويل بقايا نخيل التمر إلى منتجات قيمة يوفر فوائد اقتصادية وبيئية كبيرة حيث أن استخدام هذة البقايا يمكن أن يخلق مصادر دخل جديدة للمزارعين والشركات ويولد فرص عمل جديدة. ومن ناحية أخرى، هناك أيضًا فوائد بيئية، حيث أن إعادة تدوير بقايا نخيل

التمر سوف يقلل من كمية النفايات المرسلة إلى مدافن النفايات، وبالتالي تقليل التلوث البيئي. علي الجانب الأخر فأن تحويل بقايا النخيل إلى منتجات مثل الوقود الحيوي أو المواد الحيوية يقلل الإعتماد على الموارد غير المتجددة. يمكننا القول أن الممارسات المستدامة في الحفاظ على الموارد الطبيعية تعزز نموذج الاقتصاد الدائري.كما أن بالأستخدام الأمثل لبقايا النخيل يمكن للمجتمعات تحقيق تأثير مزدوج للنمو الاقتصادي والإستدامة البيئية.

[113] Boldizar, A., Klason, C., Kubat, J., Näslund, P., &Saha, P. (1987)Prehydrolyzed cellulose as reinforcing filler for thermoplastics. International Journal of Polymeric Materials, 11(4), 229-262.

[114] Hosseinkhani, H.; Euring, M.; Kharazipour, A.(2014) Utilization of Date palm (Phoenix dactylifera L.) Pruning Residues as Raw Material for MDF Manufacturing. J. Mater. Sci. Res. 4, 46–61.

[115] Saba, N.; Alothman, O.Y.; Almutairi, Z.; Jawaid, M.; Ghori, W. (2019)Date palm reinforced epoxy composites: Tensile, impact and morphological properties. J. Mater. Res. Technol. 8, 3959–3969.

[116] Braiek, A.; Karkri, M.; Adili, A.; Ibos, L.; Ben Nasrallah, S. (2017)Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building. Energy Build 140, 268–279.

[107] Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, L., &Fois, M. (2011). Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. Energy and buildings

[108] Al-Sulaiman, F. A.(2003). Date palm fibre reinforced composite as a new insulating material. International Journal of Energy Research, 27(14), 1293-1297.

[109] Kaddami, H., Dufresne, A., Khelifi, B., Bendahou, A., Taourirte, M., Raihane, M., & Sami, N. (2006). Short palm tree fibers–Thermoset matrices composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 37(9), 1413-1422.

[110] Sbiai, A., Maazouz, A., Fleury, E.,Souterneau, H., &Kaddami, H. (2010). Short date palm tree fibers/polyepoxy composites prepared using RTM process: effect of tempo mediated oxidation of the fibers. BioResources, 5(2), 672-689.

[111] Riahi, K., Mammou, A. B., & Thayer, B. B. (2009). Date-palm fibers media filters as a potential technology for tertiary domestic wastewater treatment. Journal of Hazardous Materials, 161(2-3), 608-613.

[112] Khiari, R., Dridi-Dhaouadi, S., Aguir, C., &Mhenni, M. F. (2010). Experimental evaluation of eco-friendly flocculants prepared from date palm rachis. Journal of environmental sciences, 22(10), 1539-1543.

2(02), http://dx.doi.org/10.4172/2329-955X.1000122

[101] Elwakil, M. A., El-Refai, I. M., Awadallah, O. A., El-Metwally, M. A., & Mohammed, M. S. (2009). Seed-borne pathogens of faba bean in Egypt: detection and pathogenicity. Plant Pathology Journal (Faisalabad), 8(3), 90-97. https://doi.org/10.3923/ppj.2009.90.97

[102] Nawar, L. S. (2008). Control of root-rot of green bean with composted rice straw fortified with Trichoderm, *3*(3), 370–379.

[103] Mohamed, O. Z., Yassine, B., El Hassan, A., Abdellatif, H., & Rachid, B. (2020). Evaluation of compost quality and bioprotection potential against Fusarium wilt of date palm. Waste Management, 113, 12-19. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.05.035

[104] Hassan, S. S.; Williams, G. A.; Jaiswal, A. K.(2018) Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. Bioresour.Technol. 262, 310−318.

[105] Nabi Saheb, D.; Jog, J.P. Natural fiber polymer composites: A review. Adv. Polym. Technol. 1999, 18, 351–363.

[106] Makarov, I. S.; Golova, L. K.; Bondarenko, G. N.; Anokhina, T.S.; Dmitrieva, E. S.; Levin, I. S.; Makhatova, V. E.; Galimova, N. Z.; Shambilova, G. K.(2022) Structure, morphology, and permeability of cellulose films. Membranes, 12, No. 297

S., Arous, A., ... & Gargouri, K. (2019). Change of soil quality based on humic acid with date palm compost incorporation. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 8, 317-324. https://doi.org/10.1007/s40093-019-0254-x

[97] Radhouani, A., Benyehia, L., Lechaiheb, B., Mahjoubi, A., & Ferchichi, A. (2021). Date palm compost versus peat and perlite: a comparative study on germination and plant development of muskmelon and tomato. Acta Horticulturae et Regiotecturae, 24(2), 96-104.. https://doi.org/10.2478/ahr-2021-0030

[98] Raja, A. M., Khalaf, N. H., & Alkubaisy, S. A. (2021). Raja, A. M., Khalaf, N. H., & Alkubaisy, S. A. (2021, November). Utilization of date palm waste compost as substitute for peat moss. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 904, No. 1, p. 012041). IOP Publishing https://doi.org/10.1088/1755-1315/904/1/012041

[99] Abdel-Monaim, M. (2017). Application of date palm leaves compost (DPLC) and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for controlling faba bean root rot disease in New Valley, Egypt. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 138-146.

[100] Abo-Elyousr, K. A., Zein, E. A., Hassan, M. H., & El-Sheakh, M. M. (2014). Enhance suppressive effect of compost on soybean Rhizoctonia root rot by soil treatment with Trichoderma harzianum. *J Plant Physiol Pathol*,

to peatmoss. American Journal of Plant Physiology, 5(4), 170-175. http://scialert.net/previous.php?issn=1557-4539

[92] Benabderrahim, M. A., Elfalleh, W., Belayadi, H., & Haddad, M. (2018). Effect of date palm waste compost on forage alfalfa growth, yield, seed yield and minerals uptake. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 7, 1-9. https://doi.org/10.1007/s40093-017-0182-6

[93] Mohammadi Ghehsareh, A. (2013). Effect of date palm wastes and rice hull mixed with soil on growth and yield of cucumber in greenhouse culture. *International Journal Of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, *2*, 1–5. https://doi.org/10.1186/2251-7715-2-17.

[94] Ghouili, E., Sassi, K., Hidri, Y., M'Hamed, H. C., Somenahally, A., Xue, Q., Jebara, M., Nefissi Ouertani, R., Riahi, J., de Oliveira, A. C., Abid, G., & Muhovski, Y. (2023). Effects of Date Palm Waste Compost Application on Root Proteome Changes of Barley (Hordeum vulgare L.). Plants, 12(3). https://doi.org/10.3390/plants12030526

[95] Aydi, S., Sassi Aydi, S., Rahmani, R., Bouaziz, F., Souchard, J. P., Merah, O., & Abdelly, C. (2023). Date-palm compost as soilless substrate improves plant growth, photosynthesis, yield and phytochemical quality of greenhouse melon (*Cucumis melo* L.). Agronomy, 13(1), 212.. https://doi.org/10.3390/agronomy13010212

[96] Ben Mbarek, H., Ben Mahmoud, I., Chaker, R., Rigane, H., Maktouf,

organic carbon storage changes with climate change, landform and land use conditions in Garhwal hills of the Indian Himalayan mountains. Agriculture, ecosystems & environment, 138(1-2), 64-73. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.04.001

[87] Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. Y. (2015). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95(6), 1143-1156. https://doi.org/10.1002/jsfa.6849

[88] Rigane, M. K., & Medhioub, K. (2011). Assessment of properties of Tunisian agricultural waste composts: application as components in reconstituted anthropic soils and their effects on tomato yield and quality. Resources, conservation and recycling, 55(8), 785-792. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.03.012

[89] Salah, M. B. Project Development of Sustainable Date Palm Production Systems in the GCC Countries of the Arabian Peninsula: Objectives, Activities and Major Achievements. The Sixth International Date Palm Conference (SIDPC) Abu Dhabi -UAE: 19 – 21 March, 2018

[90] Sadik, M. W., Al Ashhab, A. O., Zahran, M. K., & Alsaqan, F. M. (2012). Composting mulch of date palm trees through microbial activator in Saudi Arabia. Int J Biochem Biotechnol, 1(5), 156-161

[91] Ali, Y. S. S. (2010). Use of Date Palm Leaves compost as a substitution

888-901. https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1523192

[81] Bensidhom, G., Hassen-Trabelsi, A. B., Alper, K., Sghairoun, M., Zaafouri, K., & Trabelsi, I. (2018). Pyrolysis of Date palm waste in a fixed-bed reactor: Characterization of pyrolytic products. Bioresource technology, 247, 363-369. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.066

[82] Alkhasha, A., Al-omran, A., & Alghamdi, A. G. (2020). Effect of water quality and date palm biochar on evaporation and specific hydrological characteristics of sandy soil. *Agriculture (Switzerland)*, *10*(7), 1–13. https://doi.org/10.3390/agriculture10070300

[83] Fseha, Y. H., Sizirici, B., & Yildiz, I. (2022). Manganese and nitrate removal from groundwater using date palm biochar: Application for drinking water. *Environmental Advances*, *8*(May), 100237. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100237

[84] Khiyami, M., Masmali, I., & Abu-khuraiba, M. (2008). Composting a mixture of date palm wastes, date palm pits, shrimp, and crab shell wastes in vessel system. Saudi Journal of Biological Sciences, 15(2), 199-205..

[85] Sharma, N., & Singhvi, R. (2017). Effects of chemical fertilizers and pesticides on human health and environment: a review. International journal of agriculture, environment and biotechnology, 10(6), 675-680. http://dx.doi.org/10.5958/2230-732X.2017.00083.3

[86] Martin, D., Lal, T., Sachdev, C. B., & Sharma, J. P. (2010). Soil

J. (2015). GHG impacts of biochar: Predictability for the same biochar. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *207*, 183-191. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.012

[76] Salem, I. B., Saleh, M. B., Iqbal, J., El Gamal, M., & Hameed, S. (2021). Date palm waste pyrolysis into biochar for carbon dioxide adsorption. *Energy Reports*, *7*, 152-159. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.027.

[77] Aafar S (2019) Utilization of date palm biomass. https:// www. Bioen ergyc onsult. com/ utili zation- of- date- palm- biomass.

[78] Boulal, A., Kihal, M., Khelifi, C., & Benali, B. (2016). Bioethanol production from date palm fruit waste fermentation using solar energy. African journal of biotechnology, 15(30), 1621-1627. https:// doi. org/ 10. 5897/ AJB20 16. 15368

[79] Al-Wabel, M. I., Usman, A. R. A., Al-Farraj, A. S., Ok, Y. S., Abduljabbar, A., Al-Faraj, A. I., & Sallam, A. S. (2019). Date palm waste biochars alter a soil respiration, microbial biomass carbon, and heavy metal mobility in contaminated mined soil. *Environmental Geochemistry and Health*, *41*(4), 1705–1722. https://doi.org/10.1007/s10653-017-9955-0

[80] Mahdi, Z., Yu, Q. J., & El Hanandeh, A. (2019). Competitive adsorption of heavy metal ions (Pb^{2+}, Cu^{2+}, and Ni^{2+}) onto date seed biochar: batch and fixed bed experiments. Separation Science and Technology, 54(6),

https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.206

[70] Chiang, Y. C., & Juang, R. S. (2017). Surface modifications of carbonaceous materials for carbon dioxide adsorption: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *71*, 214-234. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.12.014

[71] Vijayaraghavan, K. (2019). Recent advancements in biochar preparation, feedstocks, modification, characterization and future applications. *Environmental Technology Reviews*, *8*(1), 47-64. https://doi.org/10.1080/21622515.2019.1631393

[72] Sun, J., Lian, F., Liu, Z., Zhu, L., & Song, Z. (2014). Biochars derived from various crop straws: characterization and Cd (II) removal potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *106*, 226-231. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.042

[73] Liu, W. J., Jiang, H., & Yu, H. Q. (2015). Development of biochar-based functional materials: toward a sustainable platform carbon material. *Chemical reviews*, *115*(22), 12251-12285. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00195

[74] Smith, P. (2016). Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global Change Biology*, *22*(3), 1315–1324. https://doi.org/10.1111/gcb.13178

[75] Thomazini, A., Spokas, K., Hall, K., Ippolito, J., Lentz, R., & Novak,

of Date Palm Biochar on Growth, Yield and Photosynthetic Capacity of Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Under Glasshouse Conditions. Pakistan Journal of Life & Social Sciences, 18(1) 7-16.

[65] Tahir, A. H., Al-ania, F. H., & Al-Obaidyb, A. H. M. (2022). Effect of date palm derived biochar on soil's bulk density, pH, and nitrogen content. Engineering and Technology Journal, 40(11), 1358-1364. http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

[66] Alotaibi, K. D., & Schoenau, J. J. (2019). Addition of biochar to a sandy desert soil: Effect on crop growth,water retention and selected properties. *Agronomy*, *9*(6), 5–7. https://doi.org/10.3390/agronomy9060327

[67] Khalifa, N., & Yousef, L. F. (2015). A short report on changes of quality indicators for a sandy textured soil after treatment with biochar produced from fronds of date palm. Energy Procedia, 74, 960-965. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.729

[68] Al-Wabel, M. I. (2019). A short-term effect of date palm biochars on NH3 volatilization and N transformation in calcareous sandy loam soil. *Arabian Journal of Geosciences*, *12*(12). https://doi.org/10.1007/s12517-019-4538-2

[69] Kua, H. W., Pedapati, C., Lee, R. V., & Kawi, S. (2019). Effect of indoor contamination on carbon dioxide adsorption of wood-based biochar–lessons for direct air capture. Journal of Cleaner Production, 210, 860-871.

changes in composition and surface chemistry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *115*, 392–400. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.08.016

[60] Mahdi, Z., El Hanandeh, A., & Yu, Q. J. (2015). Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seed characterization for biochar preparation. In *The 6th international conference on engineering, project,and production management (EPPM)*, 130–138.. https://doi.org/10.32738/ceppm 201509.0015

[61] Marinos, S., Terpsithea, P., Hamdi, H., Michail, T., Zorpas, A. A., & Agapios, A. (2022). Biochar production from the pyrolysis of tomato processing residues. In *Tomato Processing By-Products* (pp. 171-200). Academic Press., ISBN 9780128228661, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822866-1.00002-8

[62] Karbout, N., Bol, R., Brahim, N., Moussa, M., & Bousnina, H. (2019). Applying biochar from date palm waste residues to improve the organic matter, nutrient status and water retention in sandy oasis soils. J. Res. Environ. Earth Sci, 7, 203-209.

[63] Alghamdi, A. G., Alkhasha, A., & Ibrahim, H. M. (2020). Effect of biochar particle size on water retention and availability in a sandy loam soil. Journal of Saudi Chemical Society, 24(12), 1042-1050. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.11.003

[64] Munir, M., Alhajhoj, M. R., Mohammed, M. E., Ghazzawy, H. S., Elgarawany, M. M., El-Habbab, M. S., ... & Al-Bahigan, A. M. (2020). Effects

Kwapinski W (2021) Static and dynamic investigations on leaching/ retention of nutrients from raw poultry manure biochars and amended agricultural soil. Sustainability. 13:1212. https:// doi. org/ 10. 3390/ su130 31212

[54] Chen KY, Xu ZH (2009) Nutrient properties and their enhancement. In: Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, London, pp 67- 84

[55] Burezq, H., & Davidson, M. K. (2023). Biochar from date palm (Phoenix dactylifera L.) residues acritical review. *Arabian Journal of Geosciences*, *16*(2). https://doi.org/10.1007/s12517-022-11123-0

[56] Zorpas, A. A., Doula, M. K., & Jeguirim, M. (2021). Waste strategies development in the framework of circular economy. *Sustainability*, *13*(23), 13467, https://doi.org/10.3390/su13231 3467

[57] Aladin A, Alwi RS, Syarif T (2017) Design of pyrolysis reactor for production of bio-oil and bio-char simultaneously. AIP Conf Proc 1840:110010

[58] Lynch J, Joseph S (2010) Guidelines for the development and testing of pyrolysis plants to produce biochar. International Biochar Initiative. biochar- international. org.

[59] Usman, A. R. A., Abduljabbar, A., Vithanage, M., Ok, Y. S., Ahmad, M., Ahmad, M., Elfaki, J., Abdulazeem, S. S., & Al-Wabel, M. I. (2015). Biochar production from date palm waste: Charring temperature induced

[48] Cherubini, F., Bird, N. D., Cowie, A., Jungmeier, G., Schlamadinger, B., & Woess-Gallasch, S. (2009). Energy-and greenhouse gas-based LCA of biofuel and bioenergy systems: Key issues, ranges and recommendations. *Resources, conservation and recycling*, *53*(8), 434-447. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.03.013

[49] Periyasamy, S., Adego, A. A., Kumar, P. S., Desta, G. G., Zelalem, T., Karthik, V. & Rangasamy, G. (2024). Influencing factors and environmental feasibility analysis of agricultural waste preprocessing routes towards biofuel production–A review. *Biomass and Bioenergy*, *180*, 107001. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.107001

[50] Kaniapan, S., Hassan, S., Ya, H., Patma Nesan, K., & Azeem, M. (2021). The utilisation of palm oil and oil palm residues and the related challenges as a sustainable alternative in biofuel, bioenergy, and transportation sector: A review. *Sustainability*, *13*(6), 3110. https://doi.org/10.3390/su13063110

[51] Herbig, J. (2007). Technical and Legal Considerations for Bio-Fuel. *Envtl. & Energy L. & Pol'y J.*, *2*, 343.

[52] Lehmann J, Joseph S (2009) Biochar for environmental management: an introduction, in: J. Lehmann, Joseph S (eds), Biochar for Environmental Science Management and Technology, Earthscans, London, pp. 1–12

[53] Hadroug S, Jellali S, Jeguirim M, Kwapinska M, Hamdi H, Leahy JJ,

https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124426

[43] Papagianni, M. (2007). Advances in citric acid fermentation by Aspergillus niger: biochemical aspects, membrane transport and modeling. *Biotechnology advances*, *25*(3), 244-263. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.01.002

[44] Rahardjo, A. H., Azmi, R. M., Muharja, M., Aparamarta, H. W., & Widjaja, A. (2021, February). Pretreatment of tropical lignocellulosic biomass for industrial biofuel production: a review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1053, No. 1, p. 012097). IOP Publishing. DOI 10.1088/1757-899X/1053/1/012097

[45] Chen, H., Liu, J., Chang, X., Chen, D., Xue, Y., Liu, P., ... & Han, S. (2017). A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. *Fuel Processing Technology*, *160*, 196-206. https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.12.007

[46] Menon, V., & Rao, M. (2012). Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. *Progress in energy and combustion science*, *38*(4), 522-550. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.02.002

[47] Rono, J. K. (2016). Evaluation of selected sweet sorghum (sorghum bicolor l. moench) genptypes for industrial ethanol production (Doctoral dissertation, Egerton University).

Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & engineering chemistry research*, *48*(8), 3713-3729. doi: 10.1021/ie801542g

[39] Taherzadeh, M. J., & Karimi, K. (2008). Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: a review. International journal of molecular sciences, 9(9), 1621-1651. https://doi.org/10.3390/ijms9091621

[40] Ximenes, E., Farinas, C. S., Kim, Y., & Ladisch, M. R. (2017). Hydrothermal pretreatment of lignocellulosic biomass for bioethanol production. Hydrothermal processing in biorefineries: production of bioethanol and high added-value compounds of second and third generation biomass, 181-205. doi : https://doi.org/10.1007/978-3-319-56457-9_7

[41] Patria, R. D., Rehman, S., Vuppaladadiyam, A. K., Wang, H., Lin, C. S. K., Antunes, E., & Leu, S. Y. (2022). Bioconversion of food and lignocellulosic wastes employing sugar platform: A review of enzymatic hydrolysis and kinetics. *Bioresource Technology*, *352*, 127083. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127083

[42] Mores, S., de Souza Vandenberghe, L. P., Júnior, A. I. M., de Carvalho, J. C., de Mello, A. F. M., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2021). Citric acid bioproduction and downstream processing: Status, opportunities, and challenges. *Bioresource Technology*, *320*, 124426.

characterization and optimization of high quality bio-oil derived from waste date seeds. Chemical Engineering Communications, 208(6), 801-811.

[34] Sulyman, M., Namieśnik, J., & Gierak, A. (2016). Adsorptive removal of aqueous phase crystal violet dye by low-cost activated carbon obtained from Date palm (L.) dead leaflets. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 19(4), 611-631. DOI: 10.17512/ios.2016.4.14

[35] Kyaw, H. H., Al-Mashaikhi, S. M., Myint, M. T. Z., Al-Harthi, S., El-Shafey, E. S. I., & Al-Abri, M. (2021). Activated carbon derived from the date palm leaflets as multifunctional electrodes in capacitive deionization system. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 161, 108311.

[36] Almanassra, I. W., Khan, M. I., Chatla, A., Atieh, M. A., & Shanableh, A. (2022). Utilization of palm leaves as an extraordinary adsorbent for the removal of Pb (II) from an aqueous solution. *Desalination and water treatment*, *271*, 206-219. doi: 10.5004/dwt.2022.28809

[37] Cybulska, I., Brudecki, G. P., Zembrzuska, J., Schmidt, J. E., Lopez, C. G. B., & Thomsen, M. H. (2017). Organosolv delignification of agricultural residues (date palm fronds, *Phoenix dactylifera* L.) of the United Arab Emirates. *Applied Energy*, *185*, 1040-1050. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.094

[38] Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009).

Carotenoids, fat soluble vitamins and fatty acid profiles of 18 varieties of date seed oil. *Industrial Crops and Products*, *42*, 567-572. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.039.

[29] Zigoneanu, I. G., Williams, L., Xu, Z., & Sabliov, C. M. (2008). Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave-assisted method. *Bioresource technology*, *99*(11), 4910-4918. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.067

[30] Jadhav, A. J., Holkar, C. R., Goswami, A. D., Pandit, A. B., & Pinjari, D. V. (2016). Acoustic cavitation as a novel approach for extraction of oil from waste date seeds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *4*(8), 4256-4263. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00753

[31] Bhutada, P. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Nemade, P. R., & Jain, R. D. (2016). Solvent assisted extraction of oil from Moringa oleifera Lam. seeds. *Industrial Crops and Products*, *82*, 74-80. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.004

[32] Tomita, K., Machmudah, S., Fukuzato, R., Kanda, H., Quitain, A. T., Sasaki, M., & Goto, M. (2014). Extraction of rice bran oil by supercritical carbon dioxide and solubility consideration. *Separation and Purification Technology*, *125*, 319-325. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.02.008

[33] Oladipupo Kareem, M., Edathil, A. A., Rambabu, K., Bharath, G., Banat, F., Nirmala, G. S., & Sathiyanarayanan, K. (2021). Extraction,

of dietary fiber: physicochemical and baking properties. *International Food Research Journal*, *23*(6), 2419–2425.

[23] Oladipupo Kareem, M., Edathil, A. A., Rambabu, K., Bharath, G., Banat, F., Nirmala, G. S., & Sathiyanarayanan, K. (2021). Extraction, characterization and optimization of high-quality bio-oil derived from waste date seeds. *Chemical Engineering Communications*, *208*(6), 801-811. https://doi.org/10.1080/00986445.2019.1650034

[24] Devshony, S., Eteshola, E., & Shani, A. (1992). Characteristics and some potential applications of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) seeds and seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, *69*(6), 595-597.

[25] Ali, M. A., Al-Hattab, T. A., & Al-Hydary, I. A. (2015). Extraction of date palm seed oil (*Phoenix dactylifera*) by soxhlet apparatus. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, *8*(3), 261-271.

[26] Al-Zuhair, S., Taher, H., Al Dhaheri, S., Wajeeh, S., Nour, M. I., & El-Najjar, E. (2017). Biodiesel Production from Oils Extracted from Dates Pits. *Green and Sustainable Chemistry*, *7*, 48-56. https://doi.org/10.4236/gsc.2017.71004

[27] Afiq, M. A., Rahman, R. A., Man, Y. C., Al-Kahtani, H. A., & Mansor, T. S. T. (2013). Date seed and date seed oil. *International Food Research Journal*, *20*(5), 2035-2043

[28] Habib, H. M., Kamal, H., Ibrahim, W. H., & Al Dhaheri, A. S. (2013).

of date palm plantlets cv. Medjool. Horticulturae, 8(12), 1179. https://doi.org/10.3390/horticulturae8121179

[17] Raave, H., Keres, I., Kauer, K., Nõges, M., Rebane, J., Tampere, M., & Loit, E. (2014). The impact of activated carbon on NO3−-N, NH4+-N, P and K leaching in relation to fertilizer use. European Journal of Soil Science, 65(1), 120-127. doi: 10.1111/ejss.12102

[18] Jordan, G., Predotova, M., Ingold, M., Goenster, S., Dietz, H., Joergensen, R. G., & Buerkert, A. (2015). Effects of activated charcoal and tannin added to compost and to soil on carbon dioxide, nitrous oxide and ammonia volatilization. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 178(2), 218-228.

[19] Spokas, K. A., Reicosky, D. C. (2009): Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production. Ann. Environ. Sci. 3, 179–193.

[20] Spokas, K. A., Novak, J. M., Stewart, C. E., Cantrell, K. B., Uchimiya, M., DuSaire, M. G., Ro, K. S. (2011): Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. Chemosphere 85, 869–882.

[21] Vasilyeva, G. K., Strijakova, E. R., & Shea, P. J. (2006). Use of activated carbon for soil bioremediation. In Soil and water pollution monitoring, protection and remediation. Springer Netherlands,309-322 https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4728-2_20

[22] Shokrollahi, F., & Taghizadeh, M. (2016). Date seed as a new source

analysis and potential uses of date pits in foods. *Food chemistry*, *76*(2), 135-137.

[12] Toles, C. A., Marshall, W. E., Wartelle, L. H., & McAloon, A. (2000). Steam-or carbon dioxide-activated carbons from almond shells: physical, chemical and adsorptive properties and estimated cost of production. *Bioresource technology*, *75*(3), 197-203. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00058-4

[13] Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American chemical society*, *60*(2), 309-319.

[14] Liu, W. J., Zeng, F. X., Jiang, H., & Zhang, X. S. (2011). Preparation of high adsorption capacity bio-chars from waste biomass. *Bioresource technology*, *102*(17), 8247-8252.

[15] Wang LiLi, W. L., Wang XiaoFeng, W. X., Zou Bo, Z. B., Ma XiaoYu, M. X., Qu YuNing, Q. Y., Rong ChunGuang, R. C., & Wang ZiChen, W. Z. (2011). Preparation of carbon black from rice husk by hydrolysis, carbonization and pyrolysis. 102(17) 8220-8224. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.079

[16] Abdellatif, Y. M., Elsayed, M. S., Hassan, M. M., Ahmed, I. A., Ragab, A. H., Shams El-Din, I. M., & Zein El Din, A. F. (2022). Zinc oxide nanoparticles and Fe-modified activated carbon affecting the in vitro growth

(2021). Definitive screening design and artificial neural network for modeling a rapid biodegradation of date palm fronds by a new Trichoderma sp. PWN6 into citric acid. *Molecules*, *26*(16), 5048. https://doi.org/10.3390/molecules26165048

[7] Elsayed, M., EL-Torky, A., & Gadalla, E. E. G. (2021). Grafting of Dissolved Pulp from Date Palm Byproducts for Use in Industrial Water Purification. *Egyptian International Journal of Palms*, *1*(1), 93-110.

[8] de Oliveira, R. L., de Carvalho, G. G. P., Oliveira, R. L., Tosto, M. S. L., Santos, E. M., Ribeiro, R. D. X., & de Rufino, L. M. A. (2017). Palm kernel cake obtained from biodiesel production in diets for goats: feeding behavior and physiological parameters. Tropical animal health and production, 49, 1401-1407. https://doi.org/10.1007/s11250-017-1340-6

[9] EL-Mously, H., Midani, M., & Darwish, E. A. (2023). Date Palm Byproducts for Green Fuels and Bioenergy Production. In Date Palm Byproducts: A Springboard for Circular Bio Economy (pp. 271-343). Singapore: Springer Nature Singapore.

[10] Kurnia, J. C., Jangam, S. V., Akhtar, S., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2016). Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: a review. Biofuel Research Journal, 3(1), 332-346. https://doi.org/10.18331/BRJ2016.3.1.3

[11] Hamada, J. S., Hashim, I. B., & Sharif, F. A. (2002). Preliminary

Reference

[1] Dowson, V. H. W. (1982). Date production and protection: with special reference to North Africa and the Near East (No. 35). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[2] Akasha, I., Campbell, L., Lonchamp, J., & Euston, S. R. (2016). The major proteins of the seed of the fruit of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.): Characterisation and emulsifying properties. *Food Chemistry*, *197*, 799-806. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.046

[3] Chandrasekaran, M., & Bahkali, A. H. (2013). Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology–Review. *Saudi journal of biological sciences*, *20* (2), 105-120. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.12.004

[4] Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, L., & Fois, M. (2011). Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. Energy and buildings, 43(2-3), 491-497. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.10.014

[5] Hassan, M. L., Bras, J., Hassan, E. A., Silard, C., & Mauret, E. (2014). Enzyme-assisted isolation of microfibrillated cellulose from date palm fruit stalks. *Industrial Crops and Products*, *55*, 102-108. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.055

[6] Elsayed, M. S., Eldadamony, N. M., Alrdahe, S. S., & Saber, W. I.

4.7. Integration with existing industries

Modifying existing factory setups to integrate palm waste as a raw material effectively is essential for overcoming challenges such as efficient fiber separation, lignin removal, and chemical pulping optimization. Developing adaptable machinery and processes that can handle variable raw materials will facilitate this integration. Partnerships with existing industries can help leverage established infrastructure and expertise, making the transition smoother and more cost-effective.

By applying the above ways to recycling date palm tree residues, we will encourage the bioeconomy concept which refers to economic activities that use renewable biological resources, such as crops, agriculture residues, and marine resources, to produce food, energy, and materials. It aims to promote sustainable development by reducing dependence on fossil fuels and encouraging the use of natural resources in a more environmentally friendly way. This approach emphasizes the importance of harnessing the potential of biological resources to create value and drive economic growth while ensuring the long-term health of the environment.

reliance on fossil fuels and mitigate environmental pollution, especially in Arab and African nations. Initiatives can include funding pilot projects, facilitating technology transfer, and building infrastructure for biofuel production. Collaboration with local communities and industries can ensure that biofuel initiatives are sustainable and economically viable.

4.5. Quality control

Establishing quality control laboratories to evaluate and test recycled products is crucial for ensuring the effectiveness and success of recycling strategies. These labs can develop standards and certification processes that guarantee the quality and safety of non-fruit palm products. Consistent quality control can build consumer trust and drive market growth.

4.6. Scientific collaboration

Facilitating interdisciplinary collaborations among scientists is necessary to develop integrated solutions for the challenges of utilizing non-fruit palm products. Collaborative projects can combine expertise from fields such as agriculture, chemistry, engineering, and environmental science to address complex issues. Joint research initiatives and conferences can foster knowledge exchange and innovation. Providing funding for scientific projects that support research centers and manufacturers.

4.2. Enhanced scientific research

Supporting research centers and universities both morally and financially is essential to conducting comprehensive studies, including life cycle assessments and sustainability research. These studies can provide data on the environmental impact and economic feasibility of non-fruit palm products, guiding policy and business decisions. Grants and funding for research can accelerate advancements in processing technologies and product development.

4.3. Governmental support

Governments should provide subsidies, offer tax incentives to companies utilizing non-fruit palm products, and enact regulations promoting the use of sustainable and renewable materials. For example, financial incentives can lower the initial investment barriers for businesses adopting new technologies. Regulatory frameworks can set standards for sustainability, ensuring that non-fruit palm products meet environmental and quality benchmarks.

4.4. Generalization of waste recycling

Nongovernmental organizations should support palm waste recycling, especially biofuel production, which can reduce

production processes need modifications to handle these materials cost-effectively and sustainably. Innovations in pulping and fiber processing techniques can help incorporate palm waste into paper products without compromising quality. Developing enzymes or chemical treatments to break down lignin more efficiently can also facilitate this integration.

4. Suggestions to overcome these challenges

Unlocking the full potential of non-fruit palm products necessitates collaborative efforts from diverse stakeholders – producers, researchers, policymakers, and consumers. Implementing solution strategies to overcome challenges has the potential to significantly contribute to sustainable development and environmental conservation.

4.1. Media and public awareness

Media campaigns and public education initiatives are crucial for promoting the waste-recycling culture and increasing awareness of non-fruit palm products. These campaigns can highlight the environmental benefits and practical uses of these products, encouraging consumer demand and industry adoption. Training programs for the youth can educate future generations about sustainable practices and innovation opportunities.

3.6. Lack of scientific collaboration

The preparation of compost from date palm waste faces challenges due to its tough, fibrous nature and high lignin content. Multidisciplinary scientific collaboration is needed to develop methods for effective decomposition. This includes research into microbial treatments that break down lignin faster and innovations in composting technology that enhance efficiency. Collaboration between botanists, chemists, and environmental scientists can lead to breakthroughs in this area.

3.7. Inadequate equipment

Producing biochar from date palm waste requires achieving optimal pyrolysis conditions, dealing with variable moisture content, ensuring uniform heating, and minimizing oxygen exposure. High-quality biochar production can be hindered by inconsistent raw material characteristics. Investments in advanced pyrolysis equipment that allows precise control of temperature and oxygen levels can improve product consistency and performance.

3.8. Raw material variability

The paper industry faces challenges integrating date palm waste due to its fibrous nature and high lignin content. Existing

3.4. Underdeveloped biofuel production

Despite its potential, biofuel production from palm waste is underdeveloped. Biofuels made from palm waste could provide a renewable energy source that reduces greenhouse gas emissions. However, challenges such as optimizing conversion processes and ensuring consistent supply chains must be addressed. Research into improving combustion efficiency and integrating biofuels into existing energy systems is crucial for broader adoption. Nonetheless, hurdles persist, such as the necessity for efficient microbial strains, economically viable production techniques, and sustainable feedstock sources. Continuous research endeavors in this sphere are geared towards surmounting these challenges and enhancing the feasibility of biofuel production from gas resources

3.5. Ecological valuation of the recycling process

Producing high-quality activated carbon from date palm waste involves minimizing energy use, reducing environmental impact, and optimizing the carbonization process. Effective activation techniques are crucial to ensure that contaminants are removed, and the final product meets industry standards. For instance, developing low-energy activation methods and recycling by-products can make the process more sustainable.

3.2. Insufficient research and development

Advancements in the quality and efficacy of non-fruit palm products require intensified research and development efforts. This involves exploring new processing methods, refining product formulations, and implementing stringent quality control protocols. For instance, novel processing techniques could improve the durability of palm-based materials, making them competitive with conventional materials. Additionally, comprehensive research is necessary to understand the environmental impacts, such as carbon footprint and resource efficiency, associated with these products.

3.3. Inadequate supportive policies

Supportive policies are essential to incentivize the production and adoption of non-fruit palm products. Currently, limited incentives exist for transitioning from traditional palm oil production to non-fruit alternatives. Governments and international organizations can implement tax breaks, subsidies, and regulatory frameworks that encourage sustainable practices. For example, policy measures could include grants for companies investing in eco-friendly technologies or mandates for using renewable materials in certain industries.

3. Challenges and limitations of utilizing date palm tree residues

Utilizing date palm tree residues holds significant promise for sustainable development and environmental conservation, yet it faces numerous challenges and limitations. Despite the potential of these products to reduce waste and provide eco-friendly alternatives in various industries, several obstacles hinder their widespread adoption and effective utilization. Understanding these challenges is crucial for devising effective strategies to overcome them and fully harness the benefits of non-fruit palm products. This section explores the primary hurdles that must be tackled to enhance the use of these sustainable resources.

3.1. Lack of awareness

Consumers and enterprises often overlook the environmental benefits and versatile applications of date palm tree residues. Increased awareness is needed about their biodegradability and renewable attributes. For example, these products can reduce plastic waste when used as biodegradable alternatives, and they have potential applications in various industries such as textiles (e.g., natural fibers), construction (e.g., sustainable building materials), and bioenergy (e.g., biofuels).

qualities and wettability resistance that exceeded the EN standards for MDF **[114].**

2.8.2. Epoxy composite

The fiber of date palm was used in the preparation of epoxy composite by grinding, cleaning, and drying after that the mechanical properties were investigated. The researchers found that date palm fiber increased the tensile strength, and plasticity of the composite, and the optimum weight percentage for the reinforcement was 50%wt; but the exitance of air bubbles in the epoxy matrix, affects the mechanical properties, unlike pure epoxy resin, which does not include air bubbles **[115]**. To improve mechanical qualities, a better production procedure for such a composite is recommended.

2.8.3. Gypsum board

Gypsum board is commonly utilized as a thermal or acoustic insulator due to its effective insulation properties. The thermophysical impact of strengthening gypsum board with date palm fibers was investigated. The fiber of date palm reduced the thermal conductivity and density of the gypsum board, resulting in improved insulation and reduced weight **[116]**. This enhancement occurred without sacrificing mechanical qualities.

bleaching process as an applied example. The studies can be completed to produce high-quality paper that conforms to the quality specifications of the local and international market

Figure 10: Hand paper sheet from date palm residue before and after the bleaching process.

2.8. Other composite from date palm tree fibers

2.8.1. MDF fiberboard

MDF board effectively constructed using date palm fronds, which have excellent mechanical qualities. To evaluate the elements that influence MDF quality, the researcher created MDF boards with two resin kinds, three pressing levels, and 10 and 12%wt resin (a total of 15 specimens). They demonstrated that MDF manufactured from date palm fronds possessed mechanical

Figure 9: The drums used in drying hand paper sheet

Cellulose fiber derived from date palm residue holds promise as a viable raw material for papermaking applications. However, it's crucial to recognize that several factors, including residual lignin content, impurities, pulp consistency, degree of pulp beating, and relative humidity of the environment, can influence the quality of paper sheets produced from any pulp.

The dimensions and strength of individual fibers, their arrangement within the sheet, and the degree of bonding between them are all pivotal factors that play a significant role in determining the properties of the final paper product. Therefore, careful consideration and management of these variables are essential to ensure the production of high-quality paper sheets from date palm cellulose fiber. Figure 10 represents a hand paper sheet from date palm residue before bleaching and after the

paper production leads to lower-quality paper. As a result, Egypt imports wood pulp and combines it with rice straw and bagasse pulps at a 20% level to enhance paper properties. The formation of a paper sheet is determined by how well the individual fibers are dispersed within the sheet. The initial step in creating a hand sheet involves the beating process, during which cellulose fibers are mechanically treated in a liquid, typically water. The main goals of this beating process are to promote bonding between fibers and minimize any damage to the fibers. Beating serves to increase the fiber-fiber contact area by increasing their surface area through fibrillation, enhancing their flexibility. Following the beating, the fibers are deposited from the slurry suspension onto the paper machine surface and undergo a drying process at 93 ◦C for 15 minutes under vacuum, as illustrated in Figure 9.

The paper structure itself consists of interlocking cellulosic fibers held together by H-bonds while the additives are retained by sportive forces or chemically bonded to the cellulosic fibers.

2.7.2. Characterization of cellulose fiber

After the isolation of cellulose fiber from date palm residues, this fiber should be characterized using different techniques such as FT-IR that are used to perform functional chemistry studies by determining the functional group changes at different wavelengths, while X-ray diffraction studies the crystalline building of cellulose fiber and examined the crystallinity index, the energy dispersive X-ray determine the elemental analyses for cellulose fiber and SEM was used to study surface morphology.

2.7.3. Application of using isolated cellulose fiber from date palm residues

2.7.3.1. Paper- manufacturing

The pulp and paper industry involves manufacturing businesses that transform cellulose fibers into various types of pulps, papers, and paper boards. Historically, cellulosic fibers have been utilized in packaging materials. Particularly, softwoods and hardwoods are the primary raw material for pulp production. Annual plants are only used for 7-8% of pulp production, typically when wood is not readily available. In Egypt, agricultural residues like bagasse and rice straw are utilized due to the lack of forested areas for wood sourcing. However, using agricultural residues for pulp and

pulping involves using soda (NaOH/1N); washing with distilled water and treating with diluted HCL; mechanical stirring is then used to break down the cell walls; further washing and filtering are required to extract the cellulose fibers **[113]**. In the last stage, the remaining lignin was delignified using a hydrogen peroxide/sodium hydroxide bleaching procedure (H_2O_2/NaOH). Following the bleaching procedure, the pulp was dried in the air and rinsed with deionized water till pH 7, all the above steps for isolation of cellulose fiber from date palm residues are summarized in Figure 8.

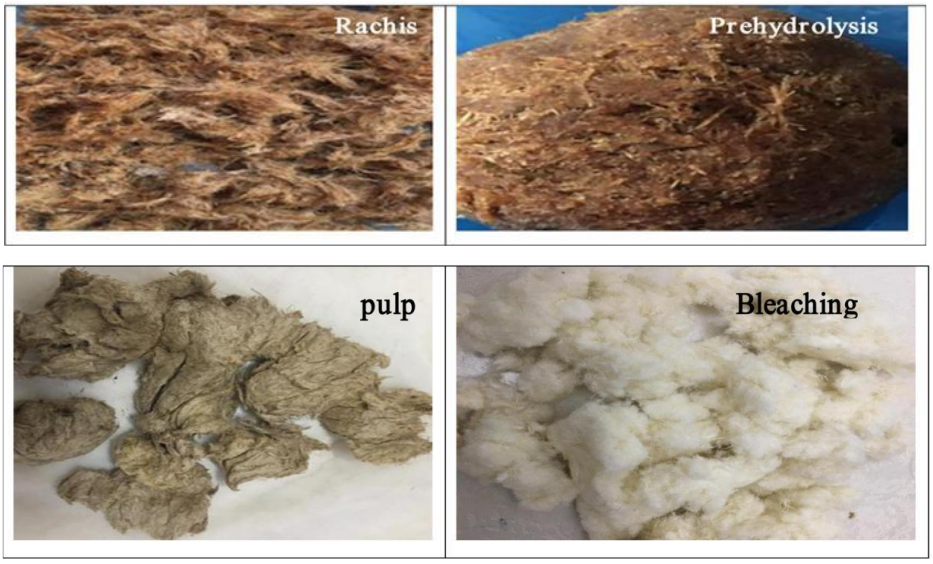


Figure 8: Different stages to isolate cellulose fiber from date palm residues

figure 7 that can be extracted from different biomass [106]. There are both crystalline and amorphous regions in cellulose. Few researchers have focused on the fibers that can be separated from date palm residues; those that have managed to do so have used the fibers to treat water as environmentally friendly flocculants or filters and to reinforce composites [107-112]. There is less focus on isolating cellulose and creating various kinds of paper pulp. Date palm tree residue has the potential to be a sustainable source of cellulose and its derivatives for a variety of uses.

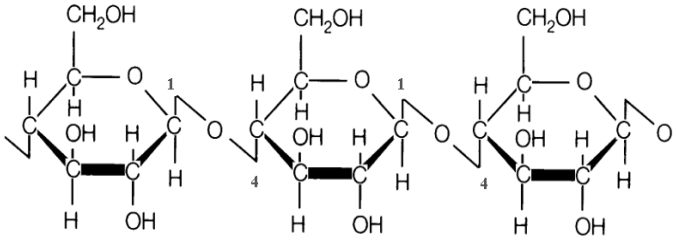


Figure 7: The structure of cellulose molecules

2.7.1. Method of isolation of cellulose fiber

To isolate cellulose fiber from date palm residues, pretreatment is necessary to get rid of waxes and resins, as well as to solubilize hemicellulose and lignin to increase the amount of cellulose in the biomass. Cellulose-dissolving pulp can be isolated from Date palm tree residues in three simple stages. (a) Prehydrolysis involves treating the date palm tree residues with H_2SO_4; (b)

is primarily attributed to indigenous microorganisms present in the compost.

These findings underscore the importance of maturity assessment in evaluating compost quality and highlight the efficiency of date palm waste compost in suppressing *Fusarium oxysporum*, indicating its potential as a valuable biocontrol agent in date palm cultivation **[103].**

2.7. Cellulose fiber from date palm residues

The Bioeconomy Approach of the twenty-first century encourages the use of renewable resources rather than just nonrenewable ones to achieve both economic success and environmental persistence **[104]**. Nowadays researchers started studying the ability to use biomass waste such as rice husks, wheat-cereal straw, oil palm, bamboo, cotton carpel, and date palm fibers as a source of natural fiber. This fiber is characterized by low cost and is more available compared to conventional fibers with low density; they have good mechanical properties, are biodegradable **[105],** and also nonabrasive, the most common natural biopolymer found on Earth is cellulose, which is a high-molecular-weight homopolymer made up of β-D-glucopyranosyl repeating units linked by (1−4) glycoside linkages as shown in

oxysporum f.sp. *albedinis* (Foa), poses a significant threat to date palm cultivation. However, the utilization of compost for biocontrol of soil-borne phytopathogens has become a well-established horticultural practice. This study aimed to investigate the efficacy of compost extracts in controlling the pathogenic fungus; *Fusarium oxysporum*, elucidating their mechanism of action, and evaluating parameters associated with compost maturity.

Date palm tree residue compost, produced through forced aeration composting, exhibited non-phytotoxic properties, displaying a germination index of 83.78%. In contrast, two commercial composts exhibited phytotoxicity. Maturity assessment revealed a negative correlation with salinity, C/N ratio, and total soluble phenols.

Biocontrol assays demonstrated that date palm waste compost was highly effective; starting from the sixth day of incubation, unsterilized extracts of this compost at a concentration of 10% exhibited the highest antagonistic effect against the pathogen, achieving a 100% inhibition rate. Conversely, the inhibition rate using microfiltrated extracts did not exceed 30%, and all autoclaved extracts lost their antagonistic effect against the indicator fungus. These results suggest that the suppressive effect

This effectiveness may stem from alterations in the overall population of antagonistic resident soil bacteria and fungi, which compete with pathogens, as well as changes in the availability and accessibility of soil nutrients to plants associated with the application of composted materials as noted by **Abo-Elyousr *et al* [100].** Composts have positive impacts because they stimulate soil microbial activity in the rhizosphere of plants. While some of them create natural chelators known as siderophores that maintain iron at a high level in a form that is available to plants in the soil, others manufacture plant growth hormones that directly stimulate plant development. Compost has a suppressive impact because of several biotic variables. The biotic factor, which includes the microbes that live there (bio-agents), such as the plant growth-promoting rhizobacteria strains (*B. megaterium*, *B. cereus*, and *P. fluorescens*), may be partially to blame for compost's ability to reduce soil-borne illnesses **[102].** Furthermore, the incorporation of PGPR strains with compost has been shown to enhance plant resistance to diseases by leveraging these bio-agents to boost the synthesis of phenolic and lignin compounds. This phenomenon likely elucidates the notable reduction in disease incidence observed in mixed treatment approaches.

The Fusarium wilt disease of date palms, caused by *Fusarium*

underscore the potential of date palm compost as an effective growth medium for enhancing germination and promoting healthy plant growth in greenhouse settings **[97].** The significance of date palm compost materials and their capacity to increase physicochemical qualities as substrate mediums can be employed as a promising substitute for imported commercial peat moss. Because it obtained the best-suited physicochemical features, specifically improved bulk density (Bd), water holding capacity, cation exchange capacity, and important mineral nutrients (N, P, and K) content while decreasing organic matter, organic carbon, and CN ratio **[98].**

2.6.3.4. Date palm compost for controlling plant diseases

A combination of PGPR strains including *B. megaterium, B. cereus*, and *P. fluorescens*, when used in conjunction with composted date palm leaves, demonstrates effective management of root rot disease in faba beans, proven in both greenhouse and field environments. This approach can also lead to enhanced plant growth and yield components **[99].** Composted soil can protect various plants from soil-borne root pathogens such as *Fusarium* sp. and *R. solani* in faba beans and other crops **[100]** and enhance the chemical, physical, and biological qualities of soil to encourage the growth and productivity of faba bean plants **[101].**

polycondensation and polymerization. Infrared spectroscopy of humic acids isolated from treated soil further confirmed the enrichment of aromatic structures **[96].**

Utilizing date palm compost for a short duration suggests its potential effectiveness in enhancing soil fertility by increasing the concentration of humic acids, while also enhancing aromaticity and functional groups. This highlights the potential of date palm compost as an option for improving soil quality and fertility **[96].**

2.6.3.3. Date palm compost as growth media

The study evaluated three growth media: compost derived from date palm wastes, peat, and perlite, for germination of muskmelon and tomato seeds. Results indicated that the compost exhibited a promising maturity and stability threshold, which correlated with its neutral pH, optimal C:N ratio, higher content of humic acid compared to fulvic acid, and low levels of chlorophyll-type chemicals.

Using date palm compost as a potting media and substrate in soilless cultivation under greenhouse conditions yielded positive benefits for germination and plant growth. Both solid and liquid forms of compost showed advantageous effects on horticultural crops such as tomatoes and muskmelons. These findings

2.6.3.2. Soil fertility

Compared to untreated soil, palm compost treatment at 30 t ha^{-1} considerably increased soil organic matter and water retention capacity while decreasing electrical conductivity . Furthermore, the main soil qualities (organic matter and water retention capacity) increased and decreased in electrical conductivity. It might be utilized as a suitable organic fertilizer for other crops surrounded by date palm trees and could substitute chemical fertilization with satisfactory results **[92].**

The soil humic fraction plays a pivotal role in determining soil quality, with its presence indicating the potential for long-term soil carbon enrichment. Date palm compost, along with sheep manure, was introduced as organic amendments in the soil to assess their impact on soil humic compounds.

The compost derived from date palm and sheep manure exhibited mature characteristics, as evidenced by a neutral pH and a C/N ratio of 11.9. The application of date palm compost to soil demonstrated its efficacy in enhancing soil quality. Spectroscopic analysis of humic compounds isolated from date palm compost and manure revealed an abundance of aromatic structures, indicated by a low E4/E6 ratio, which is associated with increased

influenced proteins associated with various biological processes, including glycolysis and energy metabolism, protein synthesis and degradation, RNA processing, stress response, amino acid biosynthesis, the phenylpropanoid pathway, and plant hormone signaling transduction. Future research endeavors are necessary to validate the expression patterns identified through the proteomic study.

The activation of pathways involved in the biosynthesis of primary and secondary metabolites emerges as a crucial factor for promoting barley plant growth. These findings offer valuable insights into the molecular mechanisms underlying the response to compost as an organic fertilizer in plants **[94].**

Using date palm waste as a culture substrate, we investigated melon (*Cucumis melo* L.) plant growth, water relations, chlorophyll fluorescence, photosynthesis, and phytochemical analysis in a hydroponics culture system. Date palm waste compost has been mixed with animal dung. Analysis indicated that vegetative development was improved. Total soluble solids (Brix), total dissolved solutes, titratable acidity (as citric acid), sugar content, and melon juice pH. Date palm waste-based substrates, particularly trunk compost, appear to be attractive and cost-effective alternatives to soilless cultures **[95].**

biomass output. Furthermore, it improved the grain production and development rate (stem length and leaf expansion) of alfalfa, and the palm compost application had a good impact on mineral nutrition when compared to the control treatment **[92].** The analysis of Date palm waste compost revealed that it contains a higher concentration of major essential elements such as nitrogen, phosphorus, potassium, and magnesium, which may indicate its potential to improve the vegetative growth and physiological functions of date palm seedlings. Date palm waste should be composted, used for seedling fertilization, particularly at 100 grams, and combined with inorganic fertilizer. Furthermore, the usage of chemical fertilizers should be minimized because they are not eco **[92]**.

Date palm waste compost has demonstrated a beneficial impact on barley plants, effectively stimulating plant growth. A detailed investigation into the fluctuation of protein abundances in barley roots following compost treatment was conducted. The study revealed a significant number of differentially abundant logically friendly or financially effective proteins in barley roots treated with the compost, suggesting that the regulatory effect of the compost on barley involves multiple metabolic pathways.

Proteomic analysis unveiled that the compost treatment

Figure (6): date palm residue mixed with animal manure at a ratio of 3:1

2.6.3. Date palm compost application

2.6.3.1. Plant growth and development

Date palm leaves compost serves as a viable substitute for peatmoss [91], as evidenced by research. Additionally, it facilitates the germination and growth of various ornamental plants, including *Cosmos bipinnatus, Dahlia variabilis, Tagetes erecta*, and *Zinnia elegans*. Moreover, when applied at a moderate dose of 30 t ha^{-1}, palm compost demonstrates potential benefits for enhancing forage plant yield [92]. Furthermore, date palm wastes exhibit significant potential for utilization as culture material in hydroponic systems, indicating their suitability for supporting plant growth in controlled environments [93]. In addition, the supply of palm compost considerably improved fresh

residues have the following physicochemical characteristics: pH near neutral (7.5), moisture rate at maturity close to 41.52%, organic matter (OM) rate of 44% of dry matter, density of 0.39 g/cm3, C/N ratio of 14.9, and high conductivity (2.48 mS/cm) [89]. Compost made from dried date palm by-products has the same quality as compost made from other plant materials.

2.6.2. Preparation of compost from date palm residue

The parts of the date palm tree (fronds, inflorescence, empty bunches, empty spathes, remains of stipes, stalks, spoiled fruits, and seeds, etc.) were mechanically ground to produce date palm tree mulch particle size (2 inches), which was then layered in a standard compost pile with fresh manure. Figure 6 shows that the pile composting ratio was a combination (1:3). Mulch and manure layers were alternated to promote quick decomposition. Pile moisture was monitored and changed every 5 to 7 days. Pile temperature was measured daily in the center of the compost piles at several sites. To maintain optimal bacterial growth to degrade hard organic fibrous material, the composite moisture was adjusted to 60% using a squeeze test [90]. The prepared compost was then sieved to remove large and non-biodegradable materials using a 2mm sieve.

Farmers often apply a blend of manure and biosolids, which is regarded as the optimum method [88]. When compared to individual fertilizers (such as nitrogen, phosphorous, and potassium), animal manures make a large contribution to soil fertility. Sustained manure use can increase soil organic matter and structure. Most rural farmers are familiar with manures from livestock and other conventional farm animals.

Animal excrement from cows, horses, and chickens is widely available and utilized as fertilizers. Cow dung is more widely used in many rural areas throughout the world than manure from other agricultural animals. As a result of the decline in the number of raised animals, its availability in farm regions has fallen dramatically. Furthermore, there are other challenges associated with cow manure fertilization, including handling, transportation, and the vast amounts required to meet plant nutrient requirements. As a result, farmers and researchers are constantly exploring alternative organic fertilizers from their natural ecosystems.

2.6.1. Physico-chemical characteristics of date palm residues compost

Date palm waste is woody, and it must be mixed with manure to begin the decomposition process. Composted date palm

and increasing the release of NH_4N. These findings could help formulate fertilization methods for increased nitrogen use efficiency of plants in alkaline sandy loam soils [79].

2.6. Date palm residues as a precursor for preparing compost

The composting technique offers an efficient and environmentally friendly way to decrease date palm residues. A study of composting 70% date palm residues and 30% prawn and crab wastes found that the finished compost could be an effective fertilizer [84]. Excessive use of chemical fertilizers hurts the environment. Furthermore, excessive use of this chemical fertilizer in the absence of organic additions might damage the surrounding ecosystem through nutrient leaching [85]. As a result, the loss in soil organic matter could be the cause of soil sterility and unproductiveness generated by a lower microbial activity and infiltration rate [86].

As a result, organic amendments and manures improve soil fertility and agricultural production. Compost and livestock manure have been identified as interesting soil amendments among other organic compounds. Compost is commonly produced by composting and/or vermicomposting techniques [87].

- Date palm residues boast substantial caloric and volatile content, rendering them potent organic fertilizers compared to other agricultural residues. Consequently, date palm biomass and the biochar derived from it can be regarded as valuable and beneficial biofertilizers **[80, 81].**
- Biochar, when utilized as a soil amendment, has the potential to improve the water retention capabilities of sandy soils in dry areas, even when irrigated with both fresh and salty water **[82]**.
- In batch and column studies, biochar derived from date palm waste was employed to eliminate manganese and nitrate from aqueous environments. At pH 6, utilizing 0.1 g of biochar generated from date palm leaves and fronds pyrolyzed at 500°C yielded remarkable removal efficiencies and adsorption capacities. Specifically, the removal efficiencies were 73.20% with an adsorption capacity (qe) of 3.57 mg/g for manganese, and 94.94% with qe of 4.18 mg/g for nitrate **[83]**.
- Combining biochar (pyrolyzed at 300 and 500 °C) with urea reduced NH3 volatilization in soil samples compared to urea alone. However, combining urea and biochar pyrolyzed at a lower temperature (300 °C) produced the greatest results and reduced nitrogen losses in sandy loam soils by lowering NH3 volatilization

yield of each product. Biochar is produced at lower temperatures around 450°C with slower heating rates, while gases are generated at higher temperatures nearing 800°C with faster heating rates. Bio-oil, on the other hand, is produced at intermediate temperatures with relatively higher heating rates. It can be converted into engine fuel through gasification and further processing into biofuels.

Moreover, the production of bioethanol from date palm residues is gaining momentum as a biofuel. This can be achieved through chemical or biological processes such as anaerobic fermentation of biomass. Bioethanol holds significance for various industrial applications and represents a promising avenue for sustainable energy production **[78].**

2.5.2.4 Multiple benefits

- As per a study, employing date palm biomass and its biochar derivative on heavy metal-contaminated soil led to a reduction in pollutants **[79]**. The efficacy of date palm biochar in adsorbing nickel and copper in both binary and tertiary systems was observed to exert a significant influence on the adsorption process **[80].**

efficacy [72]. Converting waste biomass into biochar holds promise for reducing methane and CO_2 emissions from landfills [73]. It's estimated that carbon storage in biochar could prevent the annual emission of 0.1 to 0.3 billion tons of CO_2. Biochar also has the potential to mitigate greenhouse gas emissions through CO_2 sequestration strategies [74, 75].

Recent research delves into utilizing Date Palm Leaf (DPL) waste as a cost-effective biochar source for efficient CO_2 adsorption, aiding in CO_2 capture and storage strategies. Analyzing DPL biochar characteristics through various techniques and testing its CO_2 adsorption using Gas-Solid analyzer technology, promising results emerged. DPL waste biochar produced at 500°C for 5 hours exhibited a 20% CO_2 adsorption efficiency per gram of biochar. These findings underscore the potential of DPL waste biochar for further exploration and application in CO_2 capture initiatives [76].

2.5.2.3. Conversion into energy-rich products

Pyrolysis of date palm biomass yields biochar, bio-oil, and various biogases, including methane, hydrogen, carbon monoxide, and carbon dioxide [77]. The pyrolysis process involves different temperatures and heating rates, impacting the

CEC were increased [66]. The intrinsic characteristics of soils in arid regions, such as low water retention and poor fertility, make them unsuitable for agricultural purposes. However, the application of biochar has been shown to improve soil water retention by up to 20% and increase cation exchange capacity. The data suggests that biochar treatment induces beneficial changes in soil properties, but further long-term studies are needed to assess the lasting effects [67].

- The increases in soil organic carbon and soil microbial biomass carbon, as well as the reduction in soil CO2–C efflux, were significantly enhanced by the addition of date palm feedstock and biochar. The application of biochar at 300°C resulted in notable decreases in the levels of soil available Cd, Cu, Pb, and Zn, while biochar applied at 700°C had a significant impact on lowering the mobile fraction of Fe in the soil [68].

2.5.2.2. Carbon dioxide adsorption

Biochar exhibits a significant capacity to adsorb CO_2, akin to activated carbon [69]. Its ability to adsorb CO_2 hinges on multiple factors, including surface area, charge, pH, porosity, mineral composition, pore size, volume, basicity, hydrophobicity, and functional groups [70, 71]. These attributes, influenced by the feedstock type and thermochemical process, determine biochar's

water use efficiency. However, the application of leaf and stem biochar led to a decrease in intercellular CO_2 concentration **[64]**.

- The application of biochar is considered a viable option for enhancing soil structure, bulk density, and porosity. It provides a conducive environment for better water and nutrient movement, retention, and root system development, resulting in increased crop productivity. Biochar's low-density particles lead to a reduction in soil bulk density and facilitate the rearrangement of soil pores, promoting the formation of new pore spaces. This positively influences soil aggregation, which plays a crucial role in determining soil quality and erosion prevention. Biochar also has a slight impact on soil pH, with a potentially greater effect on acidic soils compared to neutral ones. Furthermore, biochar significantly influences soil fertility, particularly in terms of nutrients and total nitrogen levels. **[65]**.
- Under typical conditions and especially in times of water shortage, vermicompost and biochar led to enhanced eggplant growth, productivity, and efficiency in water usage.
- Biochar produced at low pyrolysis temperatures (300 and 400^0C) on sandy desert soil promotes wheat growth when applied with mineral fertilizer, enhancing soil water retention, particularly with aging in soil, Soil OM content and cation exchange capacity

amendment in the agriculture sector. Agricultural residual biomass is the primary feedstock for biochar synthesis by thermochemical conversion **[61].**

- Biochar can contribute to climate-smart agriculture practices in developing countries, reducing vulnerability to its effects **[62]**.
- The utilization of biochar derived from Date palm residues, comprising a mixture of leaves, stems, and branches, with particle sizes smaller than 1 mm, has the potential to improve the physical and hydrological properties of light-textured soils. This application can enhance water conservation in the soil, thereby reducing the amount of water needed for irrigation. However, thorough assessment under field conditions is imperative to evaluate the long-term impact of biochar on water characteristics and soil structure **[63]**.
- The utilization of date palm leaf and stem biochar had a significant impact on various growth parameters of cucumber plants, including stem diameter, leaf number, vine length, leaf area, number of fruits per vine, fruit dimensions, fruit weight, stem weight, leaf weight, fruit circumference, fruit surface area, yield, fruit quality attributes, intercepted radiation, chlorophyll content, photosynthesis, transpiration rate, stomatal conductance, and

Date seed biomass of *Phoenix dactylifera* is widely available yet frequently thrown as agricultural waste in many countries. Date palm seed samples were characterized and utilized to produce biochar at various pyrolysis temperatures (350, 450, 550, and 650 ºC) for 2 hr. The physicochemical parameters of biomass demonstrated that date seed biomass has the potential to be successfully used as a feedstock for biochar production. This was attributed to its high volatility, high bulk density, low ash content, and low moisture content.

Biochar mass yield was inversely proportional to pyrolysis temperature. Biochar yields were 43.3%, 33%, 27%, and 22% at various temperatures (350, 450, 550, and 650˚C). The alkaline nature of biochar made from date seed was expected to result in a significant concentration of negatively charged surface functional groups. Furthermore, the very porous structure makes it a good option for removing heavy metal ions from wastewater systems **[60]**.

2.5.2. Biochar application

2.5.2.1. Soil fertility and plant growth performance

Biochar can serve as a long-term agricultural adaptation method. Biochar is well recognized as a cost-effective organic soil

world. Wheat and rice straw, rice husk, and date palm tree residues are the most agricultural waste that is used in biochar production [55, 56]. The fundamental qualities of biomass influenced the characteristics of biochar.

2.5.1. Preparation of biochar from date palm residues

Pyrolysis is a thermochemical technique that is commonly used to convert any organic biomass into charcoal at temperatures ranging from 300 to 600 degrees Celsius [57]. Pyrolysis is a thermal process that converts date palm biomass into solid 'biochar', liquid 'bio-oil', and gaseous 'syngas' in an inert atmosphere. The distribution of pyrolysis products is determined by the plant's operating conditions, which include temperature, pressure, heating gradient, and time. The date palm biomass, which includes the leaves, stem barks, fronds, and seeds, will be sun-dried, cut, or ground into small bits, and pyrolyzed in a stainless-steel container. the biomass is dried, chopped, chipped, and ground to remove residues [58]. To produce various forms of biochar, it is recommended to maintain the pyrolysis temperature within the range of 300 to 600 °C for 4 hours. Subsequently, the produced biochar should be left overnight in the furnace at the respective charring temperature [59].

process occurring in an oxygen-depleted environment at elevated temperatures. This process entails subjecting waste biomass to high temperatures in the absence of oxygen, resulting in the production of condensable vapor, gases, and charcoal. The solid carbon-rich product derived from pyrolysis is known as biochar or char. Additionally, the volatile fraction generated during pyrolysis is partially condensed into a liquid fraction termed tar or bio-oil. Moreover, a mixture of low molecular weight gases, including carbon dioxide, hydrogen, carbon monoxide, and methane, is formed in varying proportions as a byproduct of the process **[53]**. During the charring process, carbon transforms aromatic structures that exhibit greater resistance to decomposition compared to the raw material. The ratio of gas, oil, and char produced is contingent upon the heating conditions applied to the raw materials. The chemical composition of biochar, including carbon, nitrogen, and potassium content, correlates with the composition of the initial biomass and the duration and temperature of the pyrolysis process. Pyrolysis engenders variations in physical attributes such as porosity and surface area, alongside alterations in chemical composition, including carbon and hydrogen content **[54]**. Biochar production incorporates a wide range of agricultural biomass from across the

of harmful gases like carbon monoxide and nitrogen oxides, thereby mitigating their ecological footprint. Additionally, maintaining low moisture content in biofuels is crucial to ensure optimal combustion quality and fuel efficiency.

The energy density of biofuels, indicative of their efficiency, is measured by their capacity to contain significant energy within a confined volume. Sustainability is underscored by the preference for biofuels sourced from renewable and sustainable origins, such as plants, to uphold environmental equilibrium.

Biofuels contribute to mitigating greenhouse gas emissions and combatting climate change, given their low carbon dioxide emissions. Furthermore, compatibility with diverse engine types without necessitating major modifications is paramount.

These criteria delineate the quality attributes of biofuels, with variations contingent upon the type of fuel and production methodology employed.

2.5. Biochar from date palm residues

Biochar is produced by pyrolyzing or gasifying carbonaceous biomass under oxygen-starved combustion conditions **[52]**. Pyrolysis stands as the predominant method for converting biomass into biochar through a thermochemical decomposition

experiments have been undertaken across Arab and African nations to explore biofuel production from palm residues. These investigations have underscored the potential of palm residues as a substantial biofuel source.

For instance, in Egypt, Zagazig University conducted experiments on ethanol production from palm residues via fermentation. These studies demonstrated that palm residues can yield up to 100 liters of ethanol per ton of residues. Similarly, in the United Arab Emirates, the Renewable Energy Research Center explored methane production from palm residues using anaerobic digestion. Their findings revealed that palm residues can generate up to 100 cubic meters of methane per ton of residues **[50].**

2.4.4. Quality and description of biofuels [51]

To assess the quality of the resulting biofuels, various criteria are instrumental in gauging their adherence to environmental and efficiency standards. Biofuels are typified by a chemical composition comprising hydrocarbon compounds, featuring diminished levels of sulfur and nitrogen compounds. Efficiency is evaluated based on their combustion effectiveness and capacity to deliver substantial energy per volume or mass unit.

In terms of environmental impact, biofuels boast low emissions

Flourishing in anaerobic conditions, these microorganisms decompose organic matter, notably fibers, via methanogenesis. The resultant methane gas serves as a potent biofuel, offering a renewable energy source that can be harnessed through capture and utilization. This process holds particular significance in waste management scenarios, as it enables the conversion of organic waste into valuable energy resources.

Gas conversion: Indeed, certain types of bacteria exhibit the remarkable ability to convert gases into fuel components. For instance, some bacteria can transform carbon dioxide into methane, a phenomenon termed methanotrophy. Additionally, other bacteria possess the capability to convert gases like carbon monoxide and hydrogen into liquid fuels through a process known as gas fermentation or syngas fermentation. These processes constitute integral components of the overarching field of gas bioengineering, which seeks to leverage the metabolic prowess of microorganisms to convert waste gases into valuable products.

(d) Improving quality

Microorganisms play a pivotal role in enhancing the properties of hydrocarbon compounds, including augmenting the proportion of lighter compounds and improving fuel efficiency. Numerous

which serve as the fundamental constituents of biofuels. This transformation is facilitated through the metabolic pathways of these microorganisms, offering a means to convert biomass into energy-rich fuels.

Bioconversion process: In the bioconversion process, microorganisms typically ferment sugars or fats, metabolizing them to generate hydrocarbons as byproducts. The types of hydrocarbons produced can vary depending on the specific microorganism and the type of feedstock utilized.

Saturated and unsaturated hydrocarbons: The bioconversion process can yield both saturated and unsaturated hydrocarbons. Saturated hydrocarbons, exemplified by methane, feature single bonds between carbon atoms and tend to be gaseous at room temperature. Conversely, unsaturated hydrocarbons, like ethylene and propylene, possess double or triple bonds between carbon atoms and typically exist as liquids or solids at room temperature. The type of hydrocarbon generated can significantly impact the properties of the resultant biofuel.

(c) Gas production

Methanogenic bacteria: Methanogenic bacteria, classified as a type of archaea, are pivotal in methane gas production.

yeast and bacteria metabolize sugars, yielding ethanol and carbon dioxide in yeast fermentation, and a gas mixture comprising methane and carbon dioxide (biogas) in bacterial fermentation.

Methanogenesis: Methanogenesis, facilitated by methanogenic bacteria, marks the final phase of decomposition, where organic matter is transformed into methane. This anaerobic process occurs in specific environments and provides a renewable energy source when the methane produced is captured and utilized.

These processes collectively form part of a broader biological system for biofuel production, wherein waste materials are transformed into valuable energy resources. However, the efficiency and efficacy of these processes are contingent upon various factors such as the type of organic material, the specific microorganisms involved, and environmental conditions. Further research and optimization of these processes hold promise for enhancing the sustainability and efficiency of biofuel production.

(b) Hydrocarbon compound formation

Microbial conversion: Certain types of bacteria and yeasts possess the capability to transform organic materials into hydrocarbon compounds, comprising both alkanes and alkenes,

to convert sugars into ethanol or biogas. Alternatively, methanogenic bacteria decompose fibers, producing methane. These biological processes require suitable environmental conditions, culminating in the generation of biofuel ready for storage and distribution across various energy sectors.

Microorganisms assume a crucial role in the biological method of deriving biofuel from palm residues. Bacteria and yeasts are instrumental in converting organic materials within the residues into biofuel-compatible compounds. **Their functions include:**

(a) Sugar and organic material breakdown

Microbial breakdown: Microbial breakdown is a pivotal process in the degradation of complex organic substances. Microorganisms secrete enzymes that facilitate the breakdown of intricate carbohydrates, proteins, and lipids into simpler compounds. These simpler compounds, like monosaccharides and amino acids, serve as substrates for microbial metabolism, generating energy and producing byproducts that can be utilized as fuel.

Fermentation process: The fermentation process is instrumental in converting sugars into ethanol or biogas. Typically conducted under anaerobic conditions, microorganisms such as

(e) Storage and distribution:

After manufacturing, the biofuel undergoes storage in secure units. It is then distributed for use in power stations or suitable transportation modes. Before distribution, samples are extracted, and tests are performed to verify quality and adherence to designated standards. These procedures are executed under controlled conditions to precisely regulate pressure, temperature, and chemical reactions.

2.4.3.2 The biological production of biofuel [50]

The biological approach to producing biofuel from palm residues harnesses microorganisms, such as bacteria and fungi, to transform the organic matter within the residues into hydrocarbon compounds. These residues undergo fermentation by microorganisms, yielding ethanol or methane, or undergo anaerobic digestion, where microorganisms decompose them in the absence of oxygen, resulting in methane production.

In the biological process of biofuel production from palm residues, living reactions are pivotal in converting the organic materials into biofuel. The process commences with the gathering and preparation of palm materials, including fibers and kernels. Subsequently, fermentation takes place utilizing yeast or bacteria

(a) Hydrogenation of materials:

Residues react with hydrogen in the presence of a catalytic catalyst (such as nickel) to convert unsaturated organic materials into saturated hydrocarbon compounds. Hydrogen is added to unsaturated chemical bonds, saturating the organic compounds, and converting them into saturated hydrocarbon compounds.

(b) Distillation:

The chemical solution resulting from hydrogenation is heated in a distillation tower. Compounds vaporize in order of their different boiling points, and they are collected in multiple stages for complete separation.

(c) Hydrogen treatment:

Hydrocarbon compounds are treated with hydrogen in the presence of a catalyst to improve their quality and enhance their fuel properties. Specific catalysts can be used to increase the ratio of valuable hydrocarbon compounds such as light hydrocarbons.

(d) Fuel filtration and purification:

The fuel is filtered to remove impurities and unwanted materials. The fuel can be refined to obtain a final product that meets the required specifications for biofuel.

2.4.3. Biofuel production

- There are two main methods for producing biofuel from palm residues [10]. **Chemical methods** in which palm residues are converted into hydrocarbon compounds using chemical processes such as hydrogenation and distillation, while **biological methods** palm residues are converted into hydrocarbon compounds using microorganisms such as bacteria and fungi.

2.4.3.1 The chemical production of biofuel

The production of biofuels from palm residues encompasses a diverse array of chemical processes, incorporating various methods and techniques. For instance, the hydrogenation process may involve reacting organic materials with hydrogen in the presence of a catalyst, converting them into saturated hydrocarbon compounds. Subsequently, the solution is distilled to separate the saturated hydrocarbon compounds. These steps are conducted under controlled conditions to ensure high efficiency. The success of the process depends on determining the appropriate conditions and selecting suitable technology based on the type and quantity of available residues [10].

2.4.2.1. Mechanical methods

This method includes milling or crushing, the milling process involves using equipment to crush palm materials into small particles, increasing their surface area and making them more accessible for subsequent conversion processes, while Crushing is used to break down raw materials, shredding them into smaller particles, thus enhancing the efficiency of subsequent operations.

2.4.2.2. Chemical methods

This method includes different types as:

- **Chemical treatment of fibers** involves using chemicals such as alkalis to improve the biodegradability of palm fibers and enhance their properties.
- **Chemical fermentation** is used to separate valuable components from palm materials, such as extracting oils and sugars.
- **Solvent extraction** relies on solvent stripping to extract valuable materials from palm materials, especially plant oils.
- **Acid treatment** can be used to improve the chemical conversion reactions of palm materials.
-

from palm residues, this includes several steps:

- **Raw material collection:** The process begins with the collection of raw materials from various sources, such as palm fibers, palm kernels, and leaf and branch residues. These materials need to be prepared for processing.
- **Cleaning and sorting:** Raw materials are cleaned from impurities and unwanted materials and sorted to ensure the quality of the materials entering the production process.
- **Drying:** Some materials, such as fibers and branches, are dried to remove excess moisture, as drying helps increase the efficiency of subsequent conversion processes.

2.4.2. Primary processing operations [49]

Primary processing operations in the context of using palm residues for biofuel production include a set of steps aimed at improving the properties and effectiveness of the raw materials. These methods constitute fundamental steps in preparing palm residues for use in biofuel production, and suitable methods are selected based on the specific requirements of the production process and the quality of the available materials.

- Palm kernel is found in the inner part of the palm nut. It contains vegetable oils that can be used for biofuel production, either through direct oil extraction or conversion into biodiesel.
- Palm trunk parts of the palm trunk can be used in biofuel production, either as part of biological decomposition processes to produce biogas or for thermal energy generation.
- Leaf and branch residues organic materials from leaves and branches can be used in biofuel production, especially through biological decomposition processes to produce biogas.
- Palm kernel cake defined as the byproduct of palm oil pressing, known as palm kernel cake, can be used in animal feed production, thus being considered part of the bioenergy production cycle.

2.4.1. Preprocessing operations for production of biofuel [49]

Producing biofuel from palm waste requires advanced technological processes to extract and convert these parts into usable fuel. Preprocessing operations refer to the steps taken before raw materials enter the main manufacturing process, and these operations play a vital role in preparing the materials to be ready for final processing. In the context of biofuel production

1. Reducing Harmful Emissions: Biofuel derived from palm residues contains lower levels of carbon, sulfur, and nitrogen compared to fossil fuels, thereby reducing air pollution and greenhouse gas emissions.
2. Providing a Renewable Energy Source: Palm residues regenerate with each harvest season, offering a sustainable energy source. Additionally, biofuel from palm residues can be used in diesel and gasoline engines with minimal modifications.
3. Improving Land Use: Untreated palm residues can occupy significant land areas and lead to issues like fires, pest infestations, and diseases. Utilizing palm residues for biofuel production effectively disposes of these residues, freeing up land for palm or other crop cultivation.
4. Enhancing Economic Growth: Biofuel production from palm residues creates job opportunities in agriculture, transportation, and industry sectors. It also reduces reliance on oil imports, contributing to energy security.

The production of biofuel from palm residues also involves the utilization of several other components, **including the following:**

- Palm fibers found in the trunk and leaves can be used in biofuel production. They are primarily utilized in pellet manufacturing or solid fuel production.

2.4. Production of biofuel from date palm residues

Utilizing date palm residues for bioenergy production offers numerous advantages, enhancing productivity while preserving the environment. By converting these residues into bioenergy through methods like direct combustion and fermentation, several benefits can be realized, including reducing reliance on fossil fuels, cutting carbon dioxide emissions, improving energy security, and generating employment and income for local communities. Here's why using date palm residues for biofuel production is advantageous:

effective technologies to enhance the economic viability of biorefineries [39, 46].

Environmental considerations encompass aspects such as energy consumption, greenhouse gas emissions, and water usage throughout the bioproduction process. Sustainable practices, including the utilization of renewable energy sources, process integration, and wastewater treatment, are crucial for minimizing environmental impacts. Several studies emphasize the significance of life cycle assessment methodologies in quantifying the environmental footprint of bioproduction processes and identifying opportunities for improvement [47-48].

Ultimately, achieving a balance between economic profitability and environmental sustainability is crucial for the long-term success and acceptance of bioproduction technologies.

for energy generation via combustion or anaerobic digestion, thereby decreasing reliance on fossil fuels and lessening environmental impacts.

Several researchers have explored the potential of lignocellulosic biomass residues for bioenergy production, underscoring their suitability as renewable feedstocks for biogas or biofuel production. Moreover, it's crucial to minimize waste generation and implement environmentally friendly practices in bioproduction processes. Incorporating advanced technologies for wastewater treatment and recovering valuable byproducts can further bolster the sustainability and economic feasibility of biorefineries **[44, 45]**.

2.3.6. Economic and environmental considerations

Evaluating the viability and sustainability of bioproduction processes, especially those involving lignocellulosic biomass like date palm leaves converted into products such as citric acid, requires considering both economic and environmental factors. Economic feasibility hinges on factors like feedstock availability, process efficiency, production costs, and market demand for the final product. Research has been conducted to underscore the importance of optimizing process parameters and adopting cost-

various techniques, including solvent extraction, crystallization, and ion exchange chromatography, are then utilized to purify the citric acid and obtain a high-quality product.

Studies have explored diverse downstream processing strategies for citric acid recovery, highlighting the importance of process optimization to achieve high purity and yield. Furthermore, advancements in drying technologies enable the transformation of citric acid into its final crystalline or powdered form, suitable for commercial applications [42-43]. Overall, downstream processing plays a crucial role in ensuring the quality, purity, and marketability of citric acid derived from lignocellulosic biomass, contributing to the viability and sustainability of bioproduction processes.

2.3.5. Byproduct utilization and waste management

Utilizing byproducts and managing waste are essential components of sustainable bioproduction processes, especially in converting lignocellulosic biomass like date palm leaves into valuable products such as citric acid. Throughout the bioproduction process, various byproducts are generated, including lignin-rich residues from pretreatment, and spent fermentation broth. These byproducts can be efficiently utilized

and monitoring methodologies have facilitated the scalability of fermentation processes, enabling efficient and cost-effective citric acid production from lignocellulosic biomass. These studies underscore fermentation's critical role in bioproduction and highlight ongoing research endeavors focused on improving process efficiency and sustainability [6].

2.3.4. Downstream processing

Following fermentation, the citric acid undergoes several purification steps to isolate and concentrate it. Filtration is utilized to eliminate biomass residues and microbial cells from the fermentation broth. Crude citric acid is then retrieved from the filtrate through methods such as solvent extraction, crystallization, or ion exchange chromatography. The purified citric acid is subsequently dried to yield the final product in the form of crystals or powder.

Downstream processing constitutes a critical phase in bioproduction, comprising purification and recovery steps to refine the desired product from the fermentation broth. In the context of citric acid production from lignocellulosic biomass like date palm leaves, downstream processing entails separating and purifying citric acid from the fermentation broth. There are

acid production such as specific strains of fungi like Aspergillus spp and Trichoderma spp, is a critical stage. The hydrolysate containing fermentable sugars extracted from date palm leaves is inoculated with the chosen microorganism and fermented under controlled conditions. Optimization of fermentation parameters such as temperature, pH, oxygen supply, and agitation are essential to maximize citric acid output. Typically, the fermentation process spans several days, during which citric acid accumulates in the broth.

In bioproduction processes, fermentation plays a pivotal role, particularly in converting fermentable sugars sourced from lignocellulosic biomass, such as date palm fronds, into valuable products like citric acid. Microorganisms with citric acid production capabilities, particularly certain strains of fungi like Trichoderma spp., are employed in this stage. Under controlled conditions, including temperature, pH, oxygen supply, and agitation, these microorganisms metabolize the fermentable sugars, generating citric acid through biochemical reactions.

A previous Research explores various facets of citric acid fermentation, encompassing strain selection, process optimization, and metabolic engineering techniques to enhance citric acid yields. Additionally, advancements in bioreactor design

palm fronds into valuable products like citric acid. During hydrolysis, complex polysaccharides like cellulose and hemicellulose present in the biomass are broken down into fermentable sugars, serving as substrates for subsequent fermentation. Enzymatic hydrolysis, employing enzymes like cellulase and hemicellulase, is preferred due to its specificity and efficiency in selectively cleaving glycosidic bonds within the biomass.

The optimization of hydrolysis conditions, encompassing factors such as temperature, pH, enzyme loading, and reaction time, is meticulously managed to maximize sugar yields while minimizing enzyme costs. Scientific investigations have delved into various facets of enzymatic hydrolysis, emphasizing the significance of enzyme properties, substrate characteristics, and process refinement in achieving high sugar conversion efficiencies. Furthermore, advancements in bioprocess engineering and enzyme technology continuously bolster the effectiveness and scalability of hydrolysis processes, facilitating the advancement of sustainable bio-based industries **[40-41]**.

2.3.3. Fermentation

Fermentation, conducted by microorganisms capable of citric

for bio-based products. For instance, the analysis of the chemical composition of date palm leaves highlights their potential as a renewable resource abundant in cellulose and hemicellulose. Furthermore, various pretreatment methods have been explored to improve the enzymatic digestibility of lignocellulosic biomass [37]. Studies have reviewed different pretreatment techniques such as steam explosion, acid hydrolysis, and biological methods, emphasizing their effectiveness in breaking down lignin and enhancing biomass accessibility for enzymatic hydrolysis [38-40]. These scientific findings emphasize the significance of well-informed feedstock selection and pretreatment strategies in optimizing bioproduction processes.

2.3.2. Hydrolysis

Following pretreatment, cellulose, and hemicellulose within date palm leaves are enzymatically hydrolyzed into fermentable sugars, utilizing enzymes like cellulase and hemicellulase. The optimization of enzymatic hydrolysis involves adjusting parameters such as temperature, pH, enzyme loading, and reaction time.

Hydrolysis plays a crucial role in bioproduction processes, particularly in converting lignocellulosic biomass such as date

in which microorganisms transform them into citric acid via metabolic pathways. Subsequently, subsequent processing techniques are utilized to refine the citric acid extracted from the fermentation mixture, guaranteeing its purity and suitability for the market. This thorough investigation seeks to explore each of these stages, unveiling their complexities and significance in the manufacturing process of citric acid derived from date palm fronds. Below are further insights into these stages:

2.3.1. Feedstock selection and pretreatment

Date palm leaves are plentiful in areas where date palms thrive. Pretreatment strategies are implemented to dismantle the intricate composition of lignocellulosic biomass, enhancing the accessibility of cellulose and hemicellulose to enzymatic breakdown. These pretreatment methods encompass various techniques such as steam explosion, acid or alkaline hydrolysis, and biological approaches utilizing fungi or bacteria.

The selection of feedstock and its pretreatment are crucial factors in bioproduction processes, especially when utilizing lignocellulosic biomass like date palm leaves. Several studies have investigated the potential of date palm leaves as a feedstock

2.3. Bioproduction of citric acid from date palm leaves

The production of citric acid from date palm leaves presents an intricate yet promising avenue within the realm of bioproduction. Date palm leaves serve as a renewable and readily available source for citric acid production [6]. However, the conversion process entails several distinct stages, each playing a crucial role in transforming the raw biomass into the desired product. The journey begins with the pretreatment of the biomass; where the complex lignocellulosic structure of date palm leaves is broken down to facilitate subsequent processing. Following pretreatment, enzymatic hydrolysis ensues, targeting cellulose and hemicellulose components to yield fermentable sugars. These sugars act as the primary material for fermentation, a crucial stage

prepared from date palm tree leaves is effective as an adsorbent for the removal of crystal violet dye, Malachite green, and methylene blue from aqueous solutions. Furthermore, it can be employed as multifunctional electrodes in capacitive deionization systems **[35].**

2.2. Date palm leaves for removal of lead ions from wastewater

Date palm leaves are used in the removal of lead ions from wastewater by collecting the leaves then cut into small pieces and drying them in an oven overnight at 80°C. Finally, grinding date palm leaves **[36]** as shown in Figure 5. The results indicated that date palm leaves reach equilibrium after 360 min and remove lead ions by an efficiency of more than 59% after 5 cycles of adsorption/desorption by combining 1 g/L of palm leaves with 30 mg/L of Pb (II) ions. Therefore, palm leaves are considered a promising material for the removal of heavy metals from wastewater.

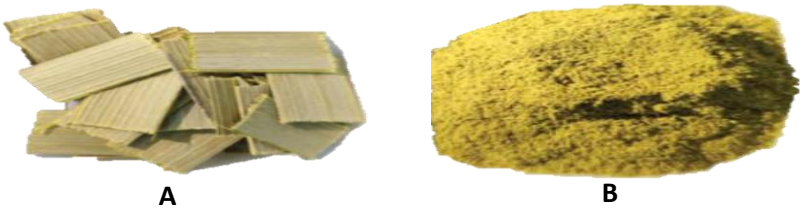


Figure 5: Raw date palm leaves after drying (a) and grinding date palm **leaves (b)**

Figure 4: Raw date palm leaves (A), activated carbon from date palm leaves (B), and SEM for prepared active carbon (C)

2.1.1. The role of activated carbon prepared from date palm leaves in the removal of pollutant from waste water

Up to now, Water pollution is one of the most pressing issues and difficulties in the world today, owing to its environmental, economic, and human health consequences. It remains a challenge for environmental scientists and technologists. Nowadays, the textile dyeing business is one of the most water-intensive industries, producing significant amounts of colored effluent throughout the dyeing and finishing processes. Activated carbon

2.1. Date palm leaves for preparing activated carbon

Date palm tree leaves are considered good precursors for producing AC due to their availability with excessive content throughout the year, renewable, low cost, and high yield. Activated carbon from leaves also can be prepared by physical or chemical methods as mentioned above. **Sulyman *et al* [34]** prepared activated carbon from the dead leaflet of date palm trees using phosphoric acid as an activating agent, the produced activated carbon is characterized by high porosity and surface area reaches 161.82 m^2/g. Also, activated carbon powder was produced from date palm leaflets using the sodium hydroxide activation method giving a surface area of 604.3 m^2/g **[35].** Another activating agent can be used in the preparation of activated carbon from leaflets such as KOH and H_2SO_4 that help in the formation of functional groups on the surface of activated carbon. Figure 4 represents the stages of producing AC from leaves of the date palm tree using the chemical activation method which indicated the high porosity of the sample, that means prepared activated carbon from leaves has a good ability to adsorb pollutants from wastewater

2. Date palm leaves

Date palm leaves are abundant agricultural residues primarily found in regions with a climate for date palm cultivation, such as the Middle East and North Africa. Countries like Egypt, Saudi Arabia, Morocco, and Tunisia are notable producers of date palm leaves due to their extensive date palm plantations. These regions benefit from warm temperatures, adequate sunlight, and arid or semi-arid conditions that are ideal for date palm cultivation. As a result, date palm leaves are readily available biomass resources in these specific geographical areas, making them promising feedstock for various applications. The date palm tree is pruned yearly to confirm the healthy growth of the tree and good quality of date fruits, there is a large amount of leaves produced annually as each tree gives about 13-20 Kg **[3]**, and the main composition of leaves is cellulose 34%, hemicellulose 27.52%, liginin19.28 % and ash content 6% so we can use this residue as precursors for preparation activated carbon, citric acid, biochar, vermicompost, and cellulose fiber.

bio-oil respectively.

Bio-oil resulting from date palm has been investigated as a starting material for biodiesel production [25, 26]. Also, it can be used in the manufacture of soaps and other cosmetics [27] and has been recommended as a cooking oil due to its oxidative stability, which provides frying stability, a nice aroma, and nutrients for food that is cooked in it [28].

There are a lot of methods to produce bio-oil as microwave extraction [29] acoustic cavitation [30], cold press extraction [31], and supercritical extraction [32] but the most popular one is the Soxhlet extraction method. During the production of bio-oil from date palm pits some conditions effect on production process like particle size, pretreatment technique, drying condition, and solvent type as represented in Figure 3.

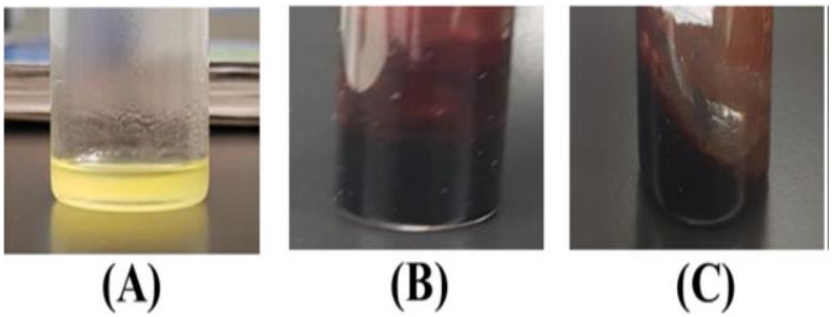


Figure 3: Date palm pit oil attained using various solvents (A) n-hexane, (B) ethanol, and (C) isopropanol [33]

biochar/charcoal. There are some merits when AC is used in the soil as it can overcome the toxicity of organic pollutants to microbes and plants during soil bioremediation, reduce the toxicity of available chemicals in soil by transferring them to a less toxic soil fraction, and maintain a low content of toxicants in soil solution, creating favorable conditions for plant growth **[21].**

1.2. Date palm pits for the production of bio-oil

Besides the delicious, pulpy fruit of dates, they are also recognized for their pits, which were once thought to be useless. However, more recent studies have revealed that date pits may find value in the food, cosmetic, and pharmaceutical sectors, and can used as a source of dietary fiber that is found in breads and other foods **[22]**. Also, there are a lot of authors who used it in preparation for activated carbon as mentioned above.

Extract bio-oil from date palm pits and convert this waste to a valuable product avoiding the hazardous effects associated with date pits landfilling **[23]**. The first attempt to extract oil from date palm pits was made by **Devshony *et al*. [24]** who prepared four different samples from fruit and analyzed the inorganic and organic content. It was recognized that the date pits have 8% oil between other constituents, and oleic and lauric acids represented the richest saturated and unsaturated fatty acid constituents of the

The surface functional groups of the samples were estimated by Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy analysis using a Mattson 5000 FTIR spectrometer. FTIR spectra of various samples were recorded in the range of 400 - 4000 cm^{-1} at a resolution of 2 cm^{-1} **[14, 15]**

1.1.2. Benefits of activated carbon

- Removal of heavy metals from wastewater
- Removal of organic pollutants such as Malachite green, methylene blue, and phenolic compounds from wastewater, due to its high surface area
- using in tissue culture with zinc nanoparticles to enhance cell formation and growth **[16]**
- Active carbon has direct effects on plants as it increases the ability of soil to retain water and can be used as a soil conditioner **[17]**. Although activated carbon is used as a soil conditioner at low rates it may improve soil's physical properties **[18]**. The use of activated carbon seems to be particularly promising due to its larger effective surface area and a higher C content compared to biochar/charcoal **[19, 20]**. Based on these advantages even low application rates of AC could be sufficient for significant soil improvements and, thus reduce possible negative environmental effects of biomass conversion into

1.1.1 Characterization of prepared activated carbon

There are a lot of techniques that are used to characterize activated carbon as surface area, scanning electron miscopy (SEM), and infrared technique. It is essential to characterize the surface of prepared activated carbon to discuss its adsorption capacity and its ability to remove pollutants from wastewater. First of all, we should determine the specific surface area (m^2/g) and porosity of activated carbon. The nitrogen adsorption at 77 K is one of the techniques that is applied to determine surface area by analyzing the data using the Brunauer-Emmett and Teller [BET] equation **[13]**. This theory is instrumental in determining the surface area of porous powders. The mechanism involves the adsorption of gas molecules onto the surface of a solid material, whose surface area is of interest. By considering the surface area of each adsorbed molecule, it becomes possible to compute the total surface area of the solid material.

Also, SEM is a type of microscope that is used to describe the porous structure of prepared activated carbon by using a beam of electrons focused toward the sample to make a scan for the surface sample.

Activated carbon can be prepared by two methods, the first is physical activation and the second is chemical activation. The first method is made by carbonization or calcination of the precursor at temperatures (500-900°C) in an inert atmosphere, then the oxidation process is done by passing steam such as air and/or carbon dioxide at high temperatures 800-1000°C on the substance, while the Chemical activation is made by impregnating the precursor with activating agents such as NaOH, KOH, $ZnCl_2$, and H_3PO_4 after that pyrolysis is done at a temperature lower than that used in physical activation. In most reported cases, chemical activation is favored due to its ability to yield activated carbons with superior porosity, increased surface area, and higher yields [12]. Figure 2 represents the stages of converting date pits into activated carbon.

A **B** **C**

Figure 2: Date palm pits (A), grinding date palm pits (B), and activated carbon from date palm pits (C)

1. Date palm pits

Date palm pits are produced in large quantities when pitted dates are produced in packing plants or from the factory that worked in juice extraction. Date pits as a waste make a problem in the date industry, when we talk about date pits, we are facing neglected wealth put in the trash cans, but if we abandon this late thinking and work to utilize that wealth correctly, we will be able to produce many important products and make huge profits for us.

Date pits are equivalent to 6-12% of the fruit. In the United States, Pulverized ground date pits are used in tiny quantities as road base gravel on dirt roads. In the Middle East, it is used to feed animals, especially for camels **[11].**

1.1. Date palm pits for preparing activated carbon

Activated carbon is a substance characterized by high porosity and surface area. It contains about (87 to 97%) carbon. The high cost of AC production is a major problem for commercial manufacturers; hence all the studies try to use cheap raw materials with high carbon content and low levels of inorganic compounds to make low-cost activated carbon. The importance of activated carbon has increased with the increase in the trend to protect the environment from gases and harmful solvents.

harnessed through biological processes to yield biogas, contributing to sustainable energy production [9].

Despite the promising potential, careful consideration is required, particularly concerning the heavy metal content, necessitating specialized treatment to control its environmental impact [9]. Overall, these detailed analyses highlight the multifaceted utility of palm waste constituents, presenting avenues for sustainable and economic applications.

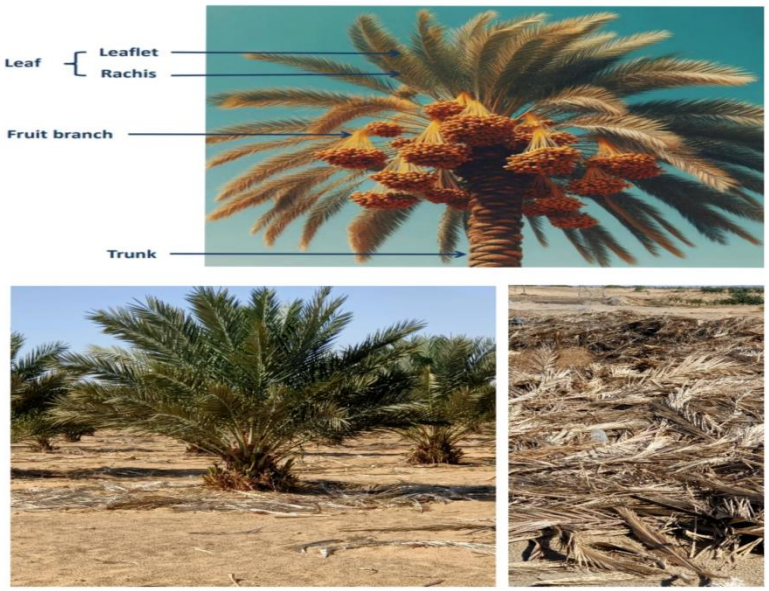


Figure 1: Represented the huge amount of date palm residues during the pruning season

residues [5]. In most cases, this large amount of date palm residue is used in traditional art and crafts or burned in the environment causing the emission of carbon dioxide, and may be collected inside the farm causing the speared of diseases that are harmful to date palm trees. Alternatively, this huge amount of biomass residues can be used in a variety of biotechnology applications, such as the production of citric acid [6], preparation of compost, biochar, activated carbon, and isolation of cellulose fiber [7]. Also, they can be utilized in paper production, wood panels, fertilizers, biofuels, and animal feed, and they can also be used in fattening projects and bioenergy production. Palm residue derived from date palm trees possesses a rich diversity of valuable constituents. Its composition includes sturdy fibers present in both the palm kernel and its trunk, rendering it suitable for applications in the construction materials and rope-making industries [8]. The ash produced from its combustion contains alkaline compounds, which can be utilized in the manufacturing of soap and detergents [9]. The kernel of the date palm serves as a source of vegetable oils and proteins, proving useful in the production of animal feed and oil extraction [10]. Furthermore, palm sugar represents a renewable source of sugar employed in the confectionery and beverage industries. The organic matter in palm waste can be

Introduction

The date palm tree (*Phoenix dactylifera*, L) holds the distinction of being one of the earliest cultivated trees in the world, with its origins tracing back to antiquity. Evidence suggests that date palms were cultivated as early as 4000 B.C. Moreover, their presence in ancient times is further underscored by their symbolic representation in various cultures. For instance, in Egyptian hieroglyphics, the date palm served as a symbol for a year, while its frond was used as an icon for a month. This enduring cultural significance highlights the longstanding importance of the date palm throughout history **[1].** The date palm tree belongs to the Palmae (Arecaceae) family and is one of the most common palm species in the world's agricultural industry **[2]**. Date palm trees number over 100 million worldwide, with the majority located in Egypt, Saudi Arabia, Iran, the United Arab Emirates, and Algeria **[3]**. An average of 12-15 new date palm leaves are developed, hence this huge amount is removed as part of the palm's upkeep **[4]** generating millions of tons of date palm residue as shown in Figure 1. These residues include leaves, roots, stems and kernels, each part has its own physical, chemical, and biological characteristics. These properties vary depending on the type, source, and method of collection, storage, and processing of the

products from date palm residues can generate employment opportunities. On the other hand, there are also environmental benefits, in which the recycling of date palm residues reduces the amount of waste sent to landfills, thus minimizing environmental pollution. Also, the conversion of date palm residues into products like biofuels or bio-based materials decreases the reliance on non-renewable resources. This sustainable practice helps in the conservation of natural resources and promotes a circular economy model. By harnessing the potential of date palm residues, communities can achieve a dual impact of economic growth and environmental sustainability.

Abstract

There are approximately 200 million date palm trees worldwide, the leading producers of dates worldwide are countries in the Middle East and North Africa region including Egypt, Saudi Arabia, Algeria, Pakistan, Iraq, United Arab Emirates, and Tunisia. This large number of date palm trees around the world give annually huge amounts of date palm residues during the seasons of date palm tree pruning. This review aimed to give a spot on how we added value to this large number of residues. Date palm tree residues can be converted to new products as activated carbon that is used on a large scale in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater. Also, date palm tree residues can convert to biochar and compost that considered an organic fertilizer that enriches soil with essential nutrients and improves plant growth. Other products can be manufactured from the residues of the date palm trees such as MDF fiber-board, citric acid from the leaflet, date palm pits oil, and cellulose fibers that are used in several applications e.g., the paper industry. The conversion of date palm residues into valuable products offers significant economic and environmental benefits as utilizing date palm residues can create new revenue streams for farmers and businesses, and the production of value-added

List of figures

Figure 1: Represented the huge amount of date palm residues during the pruning season..... **6**

Figure 2: Date palm pits (a), grinding date palm pits (b), and activated carbon from date palm pits (c)..... **8**

Figure 3: Date palm pit oil obtained using different solvents (A) n-hexane, (B) ethanol, and (C) isopropanol..... **11**

Figure 4: Raw date palm leaves (a), activated carbon from date palm leaves(b), and SEM for prepared active carbon (c) **12**

Figure 5: Raw date palm leaves after drying (a) and grinding date palm leaves (b)..... **13**

Figure 6: date palm residue mixed with animal manure at a ratio of 3:1..... **39**

Figure 7: The structure of cellulose molecules..... **45**

Figure 8: Different stages to isolate cellulose fiber from date palm residues..... **46**

Figure 9: Represented the drums that are used in drying hand paper sheet..... **49**

Figure 10: Hand paper sheet from date palm residue before and after bleaching process..... **50**

3.4. Underdeveloped biofuel production.....73

3.5. Ecological valuation of the recycling process.....73

3.6. Lack of scientific collaboration 74

3.7. Inadequate equipment.....74

3.8. Raw material variability 74

4. Suggestions to overcome these challenges 75

4.1. Media and public awareness.....75

4.2. Enhanced scientific research 76

4.3. Governmental support 76

4.4. Generalization of waste recycling 76

4.5. Quality control.....77

4.6. Scientific collaboration.....77

4.7. Integration with existing industries 78

Reference.....79

2.4.1. Preprocessing operations for production of biofuel 31

2.4.2. Primary processing operations 32

2.4.3. Biofuel production 34

2.4.4. Quality and description of biofuels 41

2.5. Biochar from date palm residues 42

2.5.1. Preparation of biochar from date palm residues 44

2.5.2. Biochar application 45

2.6. Date palm residues as a precursor for preparing compost 52

2.6.1. Physico-chemical characteristics of date palm residues compost 53

2.6.2. Preparation of compost from date palm residue 54

2.6.3. Date palm compost application 55

2.7. Cellulose fiber from date palm residues 63

2.7.1. Method of isolation of cellulose fiber 64

2.7.2. Characterization of cellulose fiber 66

2.7.3. Application of using isolated cellulose fiber from date palm residues 66

2.8. Other composite from date palm tree fibers 69

2.8.1. MDF fiberboard 69

2.8.2. Epoxy composite 70

2.8.3. Gypsum board 70

3. Challenges and limitations of utilizing date palm tree residues 71

3.1. Lack of awareness 71

3.2. Insufficient research and development 72

3.3. Inadequate supportive policies 72

Table of Contents

Abstract 4

Introduction 7

1. Date palm pits 10

1.1. Date palm pits for preparing activated carbon....10

1.1.1 Characterization of prepared activated carbon....12

1.1.2. Benefits of activated carbon....13

1.2. Date palm pits for the production of bio-oil....14

2. Date palm leaves 16

2.1. Date palm leaves for preparing activated carbon....17

2.1.1. The role of activated carbon prepared from date palm leaves in the removal of pollutant from waste water....18

2.2. Date palm leaves for removal of lead ions from wastewater 19

2.3. Bioproduction of citric acid from date palm leaves....20

2.3.1. Feedstock selection and pretreatment 21

2.3.2. Hydrolysis....22

2.3.3. Fermentation....23

2.3.4. Downstream processing 25

2.3.5. Byproduct utilization and waste management....26

2.3.6. Economic and environmental considerations 27

2.4. Production of biofuel from date palm residues....29

Reviewed By

Dr. Abdel Rahman Soliman El-Habib	Chief Executive Officer of International Dates Council, Saudi Arabia.
Prof. Ezzeldin Gadalla El-Abbasy	Director of Central Laboratory for date palm research and development, Agricultural Research Center, Giza, 12619, Egypt.

Reference study

Palm Waste

From a Problem to an Economic and Environmental

Submitted by

The Team Work		
Prof. Hossam Ali Ali Metwally	Palm Expert in International Dates Council, Saudi Arabia.	Head
Dr. Maha Sobhy Elsayed	Central Laboratory for Date Palm Researches and Development, Agricultural Research Center, Giza, 12619, Egypt.	Member & Coordinator
Prof. WesamEldin Ismail Ali Saber	Microbiology Department, Research Institute of Soils, Water and Environment, Agricultural Research Center, Giza, 12619, Egypt.	Member
Dr. Reham El-Saied Mahmoud	Soils, Water and Environment Research Institute, Agricultural Research Center, Giza, 12619 Egypt.	Member
Dr. Amaal Ali Zainhoum Mahmoud	Central Laboratory for Date Palm Researches and Development, Agricultural Research Center, Giza, 12619, Egypt.	Member