



منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبنترول (أوابك)

ملخص دراسة

دور المواد الحيوية المتجددة والوقود الحيوي في إنتاج البلاستيك الحيوي



دولة الكويت
أغسطس / آب 2022



جميع حقوق الطبع محفوظة، ولا يجوز إعادة النشر أو الاقتباس دون إذن خطي مسبق من المنظمة، 2022.

منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول (أوابك)

ص.ب 20501 الصفاة الكويت 13066

هاتف: 24959000 (+965) - فاكسميلي: 24959755 (+965)

P.O Box 20501, Safat- Kuwait, 13066

Tel.: 24959000 (+965) - Fax. 24959755 (+965)

Website : www.oapecorg.org

Email : oapec@oapecorg.org



منظمة الأقطار
العربية المصدرة
للبنترول (أوابك)

ملخص دراسة

دور المواد الحيوية المتجددة والوقود الحيوي في إنتاج البلاستيك الحيوي



إعداد

الدكتور/ ياسر محمد بغدادي
خبير أول صناعات نفطية
إدارة الشؤون الفنية

دولة الكويت
أغسطس / آب 2022



مقدمة

في ظل التوجهات العالمية نحو إيجاد حلول جذرية للتخلص من النفايات البلاستيكية المتراكمة بكميات هائلة، مسببة عبئاً بيئياً كبيراً، والسعي نحو خفض البصمة الكربونية، وصولاً إلى الحياد الكربوني بحلول عام 2050، تعكف مراكز البحوث في شركات البتروكيماويات الرائدة على استنباط تقنيات حديثة لإنتاج بدائل مناسبة لبعض منتجات البلاستيك الأحفوري وحيدة الاستخدام. ونجحت في إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي بمواصفات تضاهي، بل وتتفوق أحياناً على مواصفات البلاستيك التقليدي، حيث لا ينتج عنه مخلفات ضارة بعد تحلل نفاياته على المدى البعيد، وذلك من خلال بعض المعالجات والعمليات الحيوية والصناعية لأنواع محددة من النشا أو من السكر والجلوكوز المنتج من الكتلة الحيوية من النباتات الغذائية.

كما تعمل مراكز البحوث على تطوير تقنيات حيوية أخرى تعتمد على استخدام الكتلة الحيوية من النباتات غير الغذائية، والمخلفات الزراعية، والزيوت النباتية، والدهون المستعملة، لإنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، ولكنها مازالت تحت التطوير المستمر لتعظيم كفاءتها، وخفض تكاليف إنتاجها وصولاً إلى الإنتاج على المستوى التجاري. تهدف الدراسة إلى تسليط الضوء على أهمية دور التكنولوجيا الحيوية في استنباط وإنتاج أنواع مختلفة من البلاستيك الحيوي، والتعريف به، خاصة وأنه يشمل طيف واسع مختلف التركيبة، سواءً ذو الأساس الحيوي أو الأحفوري القابل أو غير القابل للتحلل الحيوي. مع استعراض لأهم خصائص كل نوع واستخداماته في مختلف القطاعات والأنشطة.

كما شملت الدراسة تحليلاً مختصراً لأهم أسواق البلاستيك الحيوي العالمية والمناطق المنتجة له، وعرضاً لجهود بعض الدول الأعضاء في منظمة أوابك للحد من استخدام البلاستيك الأحفوري وحيد الاستخدام غير القابل للتحلل، والتوسع تدريجياً في إعادة تصميم وإنتاج البلاستيك الأحفوري القابل للتحلل الحيوي.

انتهت الدراسة بعدد من الاستنتاجات والتوصيات، ومن أهمها ضرورة مواكبة الدول الأعضاء لتطورات إنتاج الكيماويات الحيوية، خاصة البلاستيك الحيوي من الجيل الثاني حال ثبوت جدواها الاقتصادية، والعمل على توفير المواد الخام الأولية من الكتلة الحيوية غير الغذائية بأسعار تنافسية لإنتاجها على النطاق التجاري.

تأمل الأمانة العامة من خلال هذه الدراسة تسليط الضوء على أهمية دور التكنولوجيا الحيوية في إنتاج البلاستيك الحيوي، والتوجهات المستقبلية نحو إحلال بعض المنتجات البلاستيكية التقليدية وحيدة الاستخدام بأخرى حيوية قابلة للتحلل، للمساهمة في حل مشكلات تراكم النفايات البلاستيكية، وتطبيق إستراتيجيات الدول الأعضاء في الوصول إلى الحياد الكربوني، ضمن خطط مستقبلية متنوعة ومتكاملة، وتعزيز تواجدها في الأسواق العالمية للكيماويات الحيوية بهدف المحافظة على ريادتها كأحد أهم المناطق المنتجة للبتروكيماويات في العالم.

والله ولي التوفيق

الأمين العام

علي سبت بن سبت

ملخص دراسة

دور المواد الحيوية المتجددة والوقود الحيوي

في إنتاج البلاستيك الحيوي

أنتجت أنواع متعددة من الوقود الحيوي، والكيماويات الحيوية في تسعينيات القرن الماضي، ومن أهمها البلاستيك الحيوي من الجيل الأول، من السكريات والنشويات والجلوكوز المستخلص من الكتلة الحيوية من النباتات الغذائية كالقمح، والذرة، وقصب السكر، وايضاً من الدهون الحيوانية، والزيوت النباتية، ولعل من أشهرها حمض البولي لاكتيك، وبوليمرات البولي هيدروكسيل كانوتيه، والبلاستيك الحراري الممزوج بالنشا.

أدى التوسع في إنتاج الوقود والكيماويات الحيوية إلى ارتفاع حاد في أسعار المحاصيل الزراعية المستخدمة كمواد خام أولية لإنتاجها، وانعكس ذلك على قضية الأمن الغذائي سواء للإنسان أو لتغذية الحيوان، مما حدا بمطوري التكنولوجيا الحيوية إلى تطوير تكنولوجيا لإنتاج الجيل الثاني من الكيماويات الحيوية تعتمد على استخدام المواد الخام الأولية الحيوية من الكتلة الحيوية غير الغذائية **Lignocellulose**، والمخلفات الزراعية، والدهون والزيوت النباتية والحيوانية المستعملة، والتي تتوفر بكميات كبيرة، ولكنها مازالت بحاجة إلى مزيد من البحث والتطوير لتعظيم الإنتاجية على المستوى التجاري، وخفض تكاليف إنتاجها.

التكنولوجيا الحيوية Biotechnology

دخلت التكنولوجيا الحيوية عدة مجالات وقطاعات حيوية مختلفة، وخاصة القطاع الصناعي، ومنها قطاع إنتاج الكيماويات الخضراء. وقد أدى ذلك إلى إنشاء مجال جديد يشار إليه باسم "التكنولوجيا الحيوية البيضاء" **White Biotechnology**، أو "الكيمياء الخضراء" **Green Chemistry**، كما يطلق عليها مصطلح الموجة الثالثة للتكنولوجيا الحيوية **Third Wave of Biotechnology**.

تعتمد التكنولوجيا البيضاء على عمليات التحفيز الحيوي باستخدام "الأنزيمات" في إنتاج الكيماويات والبوليمرات الحيوية، وبعض أنواع من المذيبات الحيوية، والوقود، والغاز الحيوي لتسهيل وتسريع التفاعلات الكيميائية الحيوية المعقدة. كما تعتمد على عمليات التخمير باستخدام الكائنات الحية الدقيقة. وتتميز التكنولوجيا البيضاء بانخفاض نسب النفايات السائلة أو الصلبة أو الغازية المتولدة.

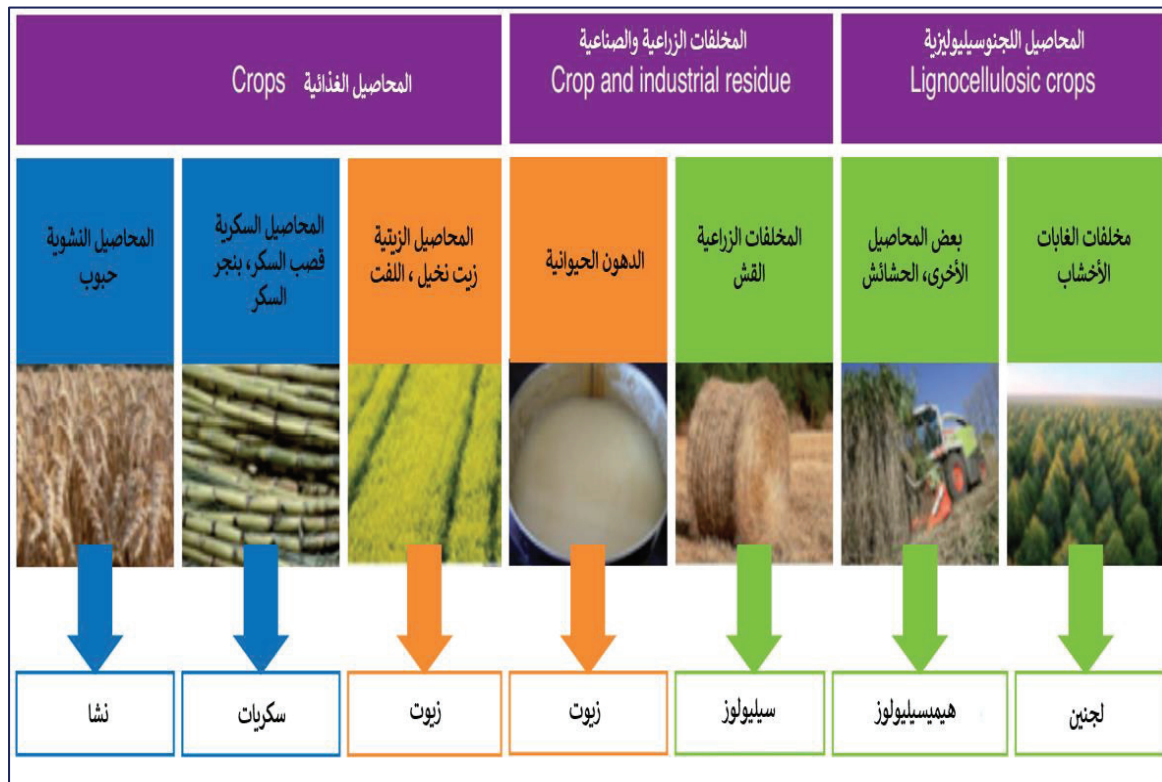
دور التكنولوجيا الحيوية الصناعية في صناعة الكيماويات الخضراء

ساهمت التكنولوجيا الحيوية بشكل فعال في خفض البصمة الكربونية للكيماويات المنتجة، من خلال إيجاد الحلول الاقتصادية الحيوية والبيئية لها، خاصة مع نجاح إنتاج البلاستيك الحيوي القابل للتحلل والمتوقع أن يسهم بشكل فعال في حل جزء من المشكلات البيئية الناجمة عن انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وتراكم كميات النفايات البلاستيكية التقليدية في المكبات والمرادم الأرضية، أو تلك المتسربة إلى البيئات البرية والبحرية والمحيطات.

المواد الخام الأولية الحيوية في إنتاج الكيماويات الخضراء

تنتج في الوقت الحالي الجيل الأول من الكيماويات الحيوية من النشويات، أو السكريات والجلوكوز المستخلص من الكتلة الحيوية من المحاصيل الزراعية الغذائية مثل الذرة، والقمح، والبطاطس، أو من قصب السكر، وتعد حالياً من أكثر طرق الإنتاج كفاءة على النطاق التجاري. بينما يعتمد إنتاج الكيماويات الحيوية من الجيل الثاني من المواد الخام الأولية الحيوية من النباتات غير الغذائية، والمخلفات النباتية، أو الحيوانية من الزيوت والدهون، كما هو مبين في الشكل (1).

الشكل (1): تصنيف الكتلة الحيوية ومكوناتها الرئيسية



المصدر: Petrochemicals and green chemistry, 2018

كما نجح إنتاج الديزل الحيوي من الجيل الثالث من الطحالب، والتي يحتوي البعض منها على نسب مرتفعة من الدهون الثلاثية، حيث يعد الديزل الحيوي أحد المواد الخام الأولية اللازم لإنتاج النافثا الحيوية، واللازمة لإنتاج اللبنة

الأساسية للكيماويات الحيوية. وعلى الرغم من أن هذه التقنية تتميز بتحقيق إنتاجية أعلى، مقارنة بالمواد الخام الأولية من الجيل الأول أو الثاني، إلا أن هناك بعض التحديات التقنية في الوقت الراهن التي تحول دون التوسع فيها، وتتعلق بشكل أساسي بالبيئة الحساسة اللازمة لتنمية الطحالب، مثل تغير المواسم ودرجات الحرارة.

المصافي الحيوية Biorefinery

إن الانتقال من صناعة التكرير التقليدية والتي تعتمد على المواد الخام الأولية من المصادر الأحفورية من النفط، إلى صناعة قائمة على المواد الخام الأولية من المصادر الحيوية المتجددة، خاصة في أعقاب نجاح إنتاج الوقود الحيوي "الإيثانول الحيوي من الجيل الثاني، والغاز الحيوي"، أفرز مفهوم تكنولوجي وصناعي جديد يعتمد على معالجة الكتلة الحيوية في مصافي عُرفت لاحقاً بالمصافي الحيوية.

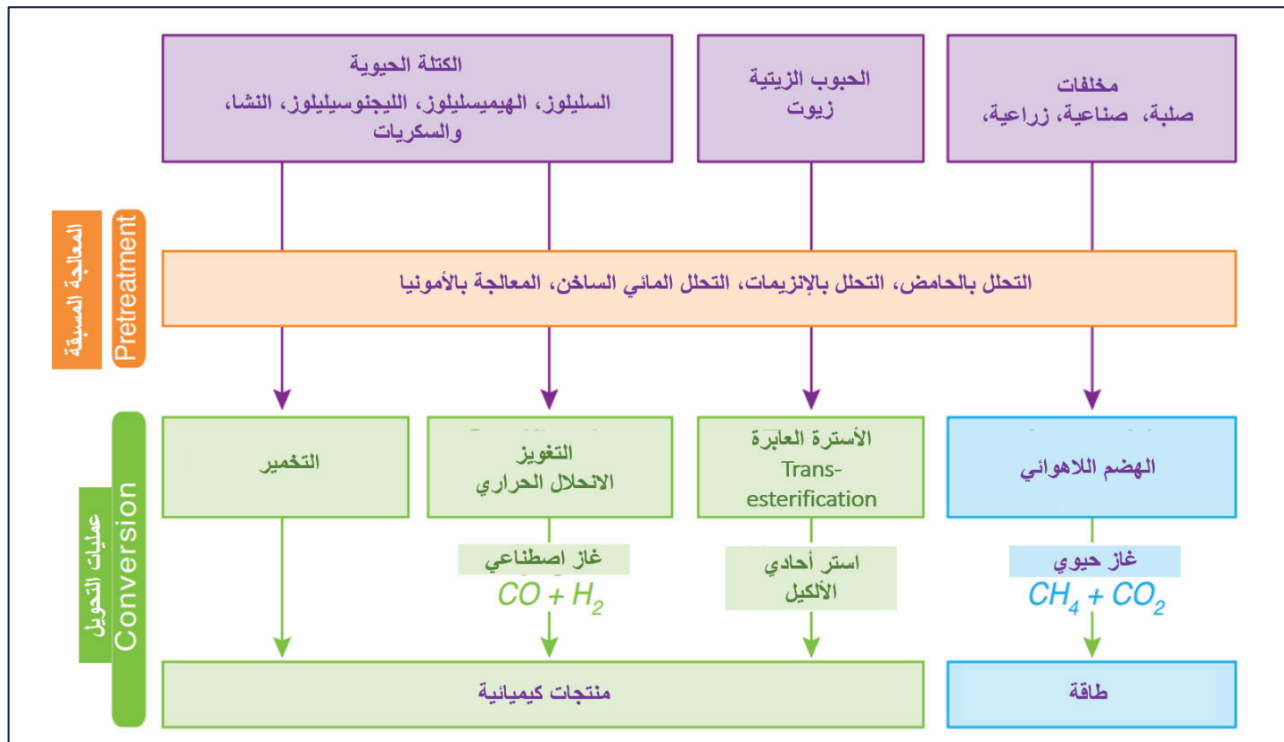
تنتج المصافي الحيوية بشكل رئيسي النافثا الحيوية، والإيثانول الحيوي، والإيثيلين الحيوي، والميثيل ثلاثي البيوتيل إيثر الحيوي ETBE، ويعتمد استدامة إنتاجها بشكل كبير على معدلات نمو الطلب عليها، ومدى توفر كميات المواد الخام الأولية الحيوية اللازمة لإنتاجها، وتكلفتها، ونسب الناتج النهائي منها، وسلاسل الإمداد الخاصة بها، وغيرها من العوامل والمحددات ذات الصلة.

تعد النافثا الحيوية، أو ما تعرف بالنافثا المتجددة، أو الخضراء من المواد الخام الحيوية الأولية اللازمة لإنتاج الكيماويات الحيوية بشكل رئيسي في عمليات التكسير البخاري، وتتيح إنتاج مجموعة متنوعة من اللبنة الرئيسية والأساسية كالإيثيلين، والبروبيلين، والبيوتاديين الحيوي، لصناعة كل من البلاستيك أو المطاط الحيوي.

البلاستيك الحيوي Bio-plastic

جذب البلاستيك الحيوي (البوليمرات الحيوية) من الجيل الأول والثاني الانتباه منذ عام 2000، بفضل التطور التكنولوجي الكبير في إنتاجه، كتقنيات التحويل الكيميائي الحراري Thermo Chemical Conversion، والتحلل المائي الإنزيمي/الحمضي Enzymatic/Acid Hydrolysis، والتحول التجفيفي والتخمير Dehydrative Transformation and Fermentation، كما هو مبين في الشكل (2).

الشكل (2): العمليات الصناعية لتحويل الكتلة الحيوية إلى منتجات كيميائية، و طاقة



المصدر: Petrochemicals and green chemistry, 2018

ترافق هذا التطور مع إجراء عدد من التحديثات والتعديلات لعدد من العمليات الصناعية، والتقنيات المستخدمة في إنتاج البلاستيك الحيوي من الجيل الأول، خاصةً

البولي إيثيلين الحيوي بتقنيات التجفيف الكيميائي **Chemical Dehydration** للإيثانول الحيوي^{26,25}.

بلاستيك ذو الأساس الحيوي القابل للتحلل الحيوي

BioBased- Biodegradable Plastic

ينتج البلاستيك ذو الأساس الحيوي القابل للتحلل الحيوي كلياً أو جزئياً من مصادر متجددة من الكتلة الحيوية، سواءً من الجيل الأول، من نشا الذرة، أو البطاطس، أو التابيوكا *tapioca*، أو الأرز، أو القمح، أو من الزيوت النباتية، مثل زيوت النخيل، أو الكتان، أو فول الصويا، أو من السكريات المنتجة من قصب السكر. أو من الجيل الثاني بعمليات تخمير السكريات، أو الجلوكوز المنتج من المواد الأولية الحيوية غير الغذائية من المخلفات الزراعية، والسيليلوز *Cellulose*، أو من الألياف *Fibers*، أو اللجنين *Lignin*، أو الشيتوزان "الكيتوزان" *Chitosan*، أو من الدهون الثلاثية، أو بفعل بعض الكائنات الحية الدقيقة. ومن أهم أنواع البلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، كل من بوليمر حمض البولي لاكتيك أو ما يطلق عليه متعدد حمض اللبنيك *Polylactic (PLA)*، وبوليمر البولي هيدروكسيل كانتيه *Polyhydroxyalkanoates (PHAs)*، ومنتجات البلاستيك الحراري الممزوج بالنشا *Thermoplastic Starch*.

بلاستيك ذو أساس أحفوري قابل للتحلل الحيوي

Fossil-Based Biodegradable Plastic

هناك أنواع عديدة من البلاستيك ذو الأساس الأحفوري بنسبة 100%، القابل للتحلل الحيوي في مختلف البيئات، ولعل من أشهرها البولي إسترات الإليفاتية *Aliphatic Polyesters*، والتي تنتج من وحدات أليفاتية مثل بولي كابرولاكتون *PCL*، والبولي هيدروكسي بوتيرات *PHB*. كما تنتج أنواع أخرى من الإسترات من وحدات

أليفاتية، وأروماتية (عطرية) مشتركة، ومن أهمها بوليمر البولي بيوتيلين اديبات تيرفيثالات **Polybutylene Adipate Terephthalate-PBAT**، أو كما يطلق عليه اسم البولي بيوتارات **Polybutyrate**. وتعتمد خاصية التحلل للبوي إسترات على التحلل المائي لروابط الإستر.

ومن جانب آخر يمكن إعادة تصميم تركيبة البلاستيك الأحفوري وحيد الاستخدام بإضافة أنواع محددة من الإضافات المعدنية لإنتاج ما يعرف بالبلاستيك القابل للتحلل الحيوي الأوكسجيني **Oxo-biodegradable plastic**.

بلاستيك ذو أساس حيوي غير قابل للتحلل الحيوي

Bio-Base Non-Biodegradable Plastic

يعد بوليمر البولي إيثيلين الأكثر استخداماً وشيوعاً بفضل أدائه المتميز وتطبيقاته المتعددة، كما يدخل بشكل مباشر في إنتاج بوليمرات أخرى هامة مثل البولي فينيل كلوريد، والبولي ستيرين. هناك اهتمام عالمي متزايد في الوقت الحالي للحصول على مونيمر الإيثيلين الحيوي، وإنتاج البولي إيثيلين الحيوي **Bio-PE**. وفي هذا الصدد تمكنت شركة براسكيم البرازيلية **Braskem** في عام 2010 من إنتاج البولي إيثيلين الحيوي بدرجاته المتعددة من الإيثانول الحيوي على النطاق التجاري، واستخدامه في عدد من التطبيقات الهامة، كإنتاج مواد التعبئة والتغليف المرنة والصلبة للمواد الغذائية، وفي الصناعات المغذية للسيارات، وفي إنتاج ألعاب الأطفال.

بينما لا يزال إنتاج البولي بروبيلين الحيوي **Bio-PP** على في مراحله الأولى، وكذلك البولي إيثيلين تيرفيثالات الحيوي، فقد نجحت بعض الشركات في إنتاجه بمزج حمض التريفثاليك الحيوي، مع حوالي 30 % من الإيثيلين غلايكول الحيوي.

قابلية التحلل الحيوي للبلاستيك الحيوي

عادةً ما تتحلل نفايات البلاستيك الحيوي القابل للتحلل في مختلف أنواع البيئات المائية، أو البحرية، أو حتى في المرادم والمكبات، أو في البيئات المفتوحة. ويمكن أن تستغرق عملية التحلل الكامل عدة سنوات، أو عقود، وقد تتحلل بمعدلات سريعة في بيئة معينة ومحددة، ولكن ليس من الضروري أن تتحلل بنفس المعدلات في بيئات أخرى. لذلك من المهم للغاية تحديد البيئة والإطار الزمني اللازم لإتمام عملية التحلل الحيوي، حيث أن مصطلح "قابل للتحلل الحيوي" لا معنى له دون تحديد الظروف البيئية المتوقع حدوث عملية التحلل الحيوي بها. ويعد تكوين البلاستيك الحيوي وهيكله البنائي من المحددات الرئيسية المؤثرة على معدلات تحلله حيويًا. وبالتالي فإن تطوير تصاميم تركيبية، وهيكلي البلاستيك الحيوي يؤثر في معدلات التحلل الحيوي.

البلاستيك القابل للتحلل الحيوي والأثر البيئي

يُعد استبدال البلاستيك التقليدي بالبلاستيك القابل للتحلل الحيوي، أحد الحلول لخفض كميات تراكم النفايات البلاستيكية بعد نهاية فترة العمر الفعالة لها، والناتج عن عدم إتباع الآليات المناسبة لمعالجتها، وكذلك المساهمة في خفض نسب انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون. مع ضرورة التكامل مع الحلول والاستراتيجيات الأخرى مثل التوسع في طرق إعادة التدوير الميكانيكية، والكيميائية، والانحلال الحراري، ضمن مفهوم الاقتصاد التدويري، وصولاً للحيد الكربوني.

تطور الإنتاج العالمي من البلاستيك الحيوي

بلغ الإنتاج العالمي من البلاستيك الحيوي في عام 2021 نحو 2.4 مليون طن سنوياً، وهو يمثل حوالي 0.6 % من إجمالي الإنتاج العالمي من البتروكيماويات، والمقدر بنحو 367 مليون طن سنوياً. ومن المتوقع أن يزداد معدل النمو السنوي المركب للبلاستيك الحيوي بنسب تتراوح ما بين 10-15 ٪ خلال العقد القادم، لترتفع إلى ما يقرب من 6,7 مليون سنوياً في عام 2025، ثم ترتفع إلى نحو 7,6 مليون طن سنوياً بحلول عام 2029.

واصلت دول منطقة آسيا ريادتها في إنتاج البلاستيك الحيوي في عام 2021، حيث انتجت حوالي 46% من إجمالي الإنتاج العالمي. وجاءت في المركز الثاني أوروبا بنسبة حوالي 26 ٪، وعززت مكانتها كمركز رئيسي لصناعة البلاستيك الحيوي، كما تمثل اسواقها أعلى معدلات الطلب العالمي على البتروكيماويات الخضراء. بينما تنتج دول منطقة أمريكا الشمالية حوالي 17%، وتعد منتجاً هاماً لغالبية المواد الكيميائية المتجددة أو المواد الخام الأولية الحيوية. ثم تأتي أمريكا الجنوبية في المرتبة الرابعة بنسبة 10%، في حين تحتل أستراليا ودول أوقيانوسيا المرتبة الخامسة من حيث الإنتاج العالمي بطاقة إنتاجية تمثل حوالي 1 ٪.

تسعى الدول الأعضاء في أوابك، مثل دولة الإمارات العربية المتحدة، ومملكة البحرين، والمملكة العربية السعودية، ودولة قطر، ودولة الكويت، وبعض الدول العربية الأخرى مثل سلطنة عمان لإنتاج واستخدام بدائل للبلاستيك الحيوي القابل للتحلل الحيوي، وذلك بإعادة تصميم وتعديل تركيبة البلاستيك الأحفوري، ليكون له القابلية على التحلل الحيوي الأوكسجيني Oxo-Biodegradable Plastic، والتوسع في إنتاج المنتجات البلاستيكية أحادية الاستخدام، كحل لمشكلة تراكم النفايات البلاستيكية،

خاصةً مع التوقعات المستقبلية بنمو السوق العالمي للبلاستيك القابل للتحلل الحيوي بالأوكسجين بمعدلات سنوية مركبة تصل إلى نحو 5.4٪ بحلول عام 2026.

الخلاصة والاستنتاجات

إن التطور المستمر لتكنولوجيا إنتاج البلاستيك الحيوي من الجيل الثاني، وتعظيم الاستفادة من النفايات الزراعية، يسهم في زيادة إنتاجها على النطاق التجاري، وبما ينعكس على خفض تكلفة إنتاجه، وتحسين مواصفاته الميكانيكية والأدائية، فضلاً عن تحسين البيئة وخفض البصمة الكربونية ضمن مفهوم الحياد الكربوني الذي تسعى له كافة الدول الأعضاء في منظمة أوبك ضمن رؤى وإستراتيجيات تلك الدول.

1. الكيماويات الحيوية أحد الخيارات والحلول المتاحة لحل مشكلات تراكم كميات النفايات البلاستيكية، وخفض البصمة الكربونية، والتحول نحو تحقيق إستراتيجيات الانبعاثات الصفريّة.
2. يعتمد التطور المستقبلي للبتروكيماويات الخضراء، وخاصةً من الجيل الثاني على مدى توافر المواد الخام الأولية الحيوية بكميات كافية وبأسعار تنافسية، ونمو معدلات الطلب العالمية في أسواق المنتجات الحيوية.
3. يسهم نمو الطلب على الكيماويات والبوليمرات الحيوية القائمة على أساس حيوي في زيادة الاعتماد على مجمعات المصافي الحيوية، وتطوير تكنولوجيا مرنة للتعامل مع كافة أنواع المواد الخام الأولية من الكتلة الحيوية
4. الانتقال من صناعة الكيماويات الأحفورية إلى الحيوية يتطلب زيادة ضخ الاستثمارات العالمية الضخمة في هذا المجال.

5. خفض تكلفة إنتاج البوليمرات الحيوية يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالتحول نحو إنتاجها على النطاق التجاري، وتوفر المواد الخام الأولية المناسبة، وبأسعار مناسبة.
6. وضع الخطط، والاستراتيجيات، والأطر التنظيمية للدول الأعضاء نحو إدراج إنتاج البوليمرات الحيوية من الجيل الثاني أو الثالث ضمن رؤاها المستقبلية، حال ثبوت جدواها الاقتصادية من إنتاجها.
7. التوسع في إنتاج البلاستيك الحيوي يلزمه اتخاذ عدد من التدابير والحلول الإبداعية المشجعة على إنتاجه واستهلاكه، وزيادة الوعي المجتمعي بأهمية البلاستيك الحيوي.

The Role of Renewable Biomaterials and Biofuels

In The Bio-plastic Production

Abstract

Biomass is a very versatile energy resource, while it can be converted to biofuel, it can also be used as alternative renewable resources to fossil fuels in the production of bio products , such as plastics, fertilizers, industrial chemicals, and many other products.

These “bioproducts” can be produced alongside biofuels at an integrated biorefinery. This strategy offers more efficient, cost-effective, and integrated approach to the utilization of biomass resources in Arab countries.

The emergence of lignocellulosic biorefineries (LBRs) over the past decades has shown tremendous potential for the development of sustainable renewable resources. It can help in meeting energy needs and protecting the environmental.

Around the year, availability of lignocellulosic biomass (LCB) with affordable price is a major factor in the development of biorefineries. It consists primarily of sugar polymers (cellulose and hemicellulose) and lignin, which can be used to produce second-generation (2G) biofuels such as bioethanol, biohydrogen, biobutanol, and renewable chemicals like lactic acid, and succinic acid. However, biochemicals and even biofuels have not achieved the desired commercial goals due to a lack of feasibility and a lack of innovative techniques for bioprocessing or genetic engineering. Inappropriate feedstock logistics and lack of accurate life-cycle analyses of processes / products were also major drawbacks in developing commercially viable technologies from lignocellulosic biomass, LCB.

In this study, recent technological advancement in lignocellulosic biorefineries, the current bio-renewable commercialization situation, and the intrinsic role of biorefinery in producing bio-plastic have been elucidated.



منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول
أوابك