نطاق وآثار التقنية الحيوية الصناعية

THE SCOPE AND IMPACT OF INDUSTRIAL BIOTECHNOLOGY

فيم سوتارت و إيريك فاندام

Wim Soetaert and Erick J. Vandamme

مقدمة Introduction

تمكنت التقنية الحيوية الصناعية أو البيضاء في الآونة الأخيرة من التميز بوضوح عن التقنية الحيوية الحمراء التي تستهدف القطاع الطبي، والتقنية الحيوية الخضراء التي تركز على المحاصيل المعدلة وراثياً. وتستخدم التقنية الحيوية الصناعية الأنظمة الحيوية لإنتاج الكيماويات والمواد والطاقة. وتستند هذه التقنية في المقام الأول على التحفيز الحيوي (استخدام الإنزيمات لتحفيز التفاعلات الكيميائية) وعلى تقنية التخمير (استخدام الكائنات الدقيقة)، بالاشتراك مع الاكتشافات في علم الوراثة الجزيئية والتطورات الموجهة، وهندسة الإنزيمات والهندسة الأيضية في الكائنات الدقيقة والخلايا.

وحالياً يكتسب مصطلح "التقنية الحيوية البيضاء"، والذي اقترح في البداية من قبل هيئات صنع القرار في الاتحاد الأوروبي زخماً كبيراً في جميع أنحاء العالم، وهو يغطي مجال التقنية الحيوية الصناعية، حيث تشير "البيضاء" إلى الجوانب البيئية الإيجابية المرتبطة بتطبيق التقنية الحيوية الصناعية. وقد تطورت هذه التقنية الحيوية الجديدة إلى مساهم رئيس فيما يعرف بمجال "الكيمياء الخضراء"، والتي يتم فيها تحويل الموارد المتجددة مثل السكريات والزيوت النباتية إلى الكثير من المواد الكيميائية مثل الكيماويات الدقيقة والضخمة، والمستحضرات الصيدلانية، والملونات الحيوية والمذيبات والبلاستيكات الحيوية، والفيتامينات، وإضافات الأغذية، فضلاً عن الوقود الحيوي مثل الإيثانول الحيوي والديزل الحيوي [١-٥].

وتوفر تطبيقات التقنية الحيوية الصناعية أو "البيضاء" مزايا بيئية عديدة. فبدلاً من تضاؤل الموارد الحفرية مثل النفط الخام والغاز الطبيعي، فإن المحاصيل الزراعية المتجددة تعدُّ المواد البادئة المفضلة. وعليه تمتلك هذه

التقنية تأثيراً مفيداً على إنبعاثات غازات الاحتباس الحراري وفي الوقت نفسه تدعم القطاع الزراعي، والذي يعدُّ المصدر لهذه المواد الخام. وعلاوة على ذلك، فكثيراً ما تظهر التقنية الحيوية الصناعية فوائد عظيمة مقارنة بالتقنيات الكيميائية التقليدية، من حيث ارتفاع معدل التفاعل، وارتفاع كفاءة التحويل، وتحسين نقاوة المنتج، وخفض استهلاك الطاقة، والانخفاض الكبير في إنتاج المخلفات الكيميائية. وقد أدت هذه العوامل مجتمعة إلى التغلغل القوي للتقنية الحيوية الصناعية في جميع قطاعات الصناعة الكيميائية، ولا سيما في الكيماويات الدقيقة، وكذلك على قدم المساواة في مجال الكيماويات الضخمة، مثل المواد البلاستيكية والوقود. وقد قدرت نسبة مشاركة عمليات الإنتاج المعتمدة على التقنية الحيوية في الصناعات الكيميائية في عام ٢٠٠٣م بحوالي ٥٪، ومن المقدر لها أن تصل إلى ١٠٪ بحلول عام ٢٠١٠م [٦].

وتقف حالياً قوانين اقتصاد السوق بشكل أساسي خلف هذا التطور في ضوء الكفاءة العالية لإنتاجية عمليات التقنية الحيوية. ومن المتوقع في المستقبل القريب أن يعزز الكثير من التغيرات الاجتماعية والتقنية هذا الاتجاه بشكل أكبر، مثل نضوب احتياطيات النفط الخام والطلب المتزايد لسكان العالم على الطاقة والمواد الخام والحاجة للاستدامة والكفاءة في أنظمة الإنتاج الكيميائية وكذلك التغيرات في السياسات الزراعية [٧، ٨].

وتهتم الصناعات الكيميائية والزراعية الاقتصادية بشكل مباشر بالتطورات التي تحدث في التقنية الحيوية الصناعية، ويمكن إنشاء أنشطة كيميائية جديدة تماماً في صورة مصافي حيوية من التعاون بين هاتين الصناعتين. كما يمكن للتقنية الحيوية الصناعية أن تسهم أيضاً بدرجةٍ كبيرة في مستقبل الزراعة في جميع أنحاء العالم.

وعلاوةً على ذلك، فإن هناك حاجة لبذل جهود متضافرة لزيادة الوعي العام حول التقنية الحيوية الصناعية، مع الفائدة المضافة أن هذا من المرجح أن يحسن نظرة المستهلك للتقنية الحيوية بصورة كلية؛ نظراً للصلة الواضحة بين التقنية الحيوية الصناعية والتنمية المستدامة في مجتمعنا [٩، ١٠].

الكيمياء المستدامة أو الخضراء Sustainable or Green Chemistry

تعد الصناعة الكيميائية قطاعاً إنتاجياً مهماً جداً، كما تعد في الوقت نفسه مستخدماً كبيراً للمصادر الحفرية ومصدراً مهماً للمخلفات، وينتج هذا القطاع الصناعي نطاقاً واسعاً من المركبات والتي يمكن تقسيمها إلى المجموعات التالية: الكيماويات الدقيقة، والمنتجات الصيدلانية، والكيماويات الضخمة، والبلاستيكات، والوقود.

ويواجه الباحثون والكيميائيون والمهندسون الكيميائيون تحديات كبيرة لتطوير عمليات كيميائية مستدامة تحترم البيئة، وتحسن نوعية حياتنا، وفي نفس الوقت ذات تنافسية في السوق. ويشمل هذا تطوير عمليات إنتاج جديدة تميل إلى الحد من أو منع استخدام المواد الخطرة، والتقليل من استهلاك الطاقة وإنتاج النفايات، وتبدأ على

قدر المستطاع من المصادر الخام المتجددة. ويكمن الهدف النهائي في تطوير تقنية كيميائية نظيفة، بدءاً من المواد الخام والطاقة المتجددة، مع الحد الأدنى من إنتاج المخلفات، والإنتاجية القصوى والقدرة التنافسية.

وتعتمد الكيمياء المستدامة على نطاقٍ من التقنيات المختلفة، بدءاً من العمليات الكيميائية التقليدية الأكثر فعالية، واستخدام المواد الحفازة الأفضل، وطرق الفصل الجديدة مثل العمليات الغشائية، وتقنية إعادة التدوير وإعادة الاستخدام، وأخيراً وليس آخراً، استخدام التقنية الحيوية الصناعية. وتؤثر التقنية الأخيرة بشكل متزايد على القطاع الكيميائي، ويعد هذا انعكاساً لحقيقة أن التقنية الحيوية مناسبة بطبيعة الحال للكيمياء المستدامة [٦، ٧، ١١]. في حين أن استخدام المواد الخام المتجددة يكون صعباً نوعاً ما في عمليات البتروكيماويات التقليدية، فإنه يمكن للتقنية الحيوية الصناعية أن تتعامل مع هذه المواد الخام المتجددة بسهولةٍ مذهلة. وتتحقق استدامة هذه التقنية من خلال انخفاض استهلاك الطاقة وإنتاج المخلفات، واستخدام المواد الخام غير الخطرة، وغير المؤذية، والمتجددة، والكفاءة العالية. وتخترق التقنية الحيوية الصناعية الصناعة الكيميائية بشكلٍ تدريجي، وكانت النتائج إيجابية للغاية فيما يتعلق بالاستدامة وكذلك القدرة التنافسية الصناعية.

وإنه لمن المهم أن نؤكد على أن التقنية الحيوية الصناعية ليست هي التقنية الوحيدة في هذا المسعى لتحقيق الاستدامة. وتتكون معظم الكيمياء المستدامة من تفاعل بين التقنيات المختلفة. في الواقع، فإنه يمكن الحصول على أفضل النتائج من الدمج المناسب للتقنية الكيميائية التقليدية و التقنية الحيوية الصناعية. وتميل العمليات الجديدة بشكلٍ متزايد إلى أن تكون ما يعرف بالتخليقات التجميعية (Combi-syntheses)، والتي تتألف من عدد من الخطوات الكيميائية والتقنية الحيوية. أيضاً تم استخدام تقنيات الفصل المبتكرة مثل تقنية الفصل الغشائي والمذيبات ذات درجات الحرارة فوق الحرجة بشكل متزايد، مما يزيد من الكفاءة البيئية لهذه "الكيمياء الخضراء" [١، ٦، ٧، ١١].

التقنية الحيوية الصناعية كتقنية متعددة التخصصات

Industrial Biotechnology as a Multidisciplinary Technology

تشمل التقنية متعددة التخصصات التطبيق المتكامل لتخصصات الكيمياء الحيوية والمعلوماتية الحيوية والوراثة الجزيئية وتقنية العمليات؛ وذلك بهدف تطوير عمليات ومنتجات مفيدة، معتمدة على الخلايا الميكروبية، أو الحيوانية، أو النباتية، وكذلك عضيات أو إنزيمات هذه الخلايا كمحفزات حيوية. وقد تلقت الكائنات الدقيقة على وجه الخصوص الكثير من الاهتمام بوصفها أداة للتقنية الحيوية، وتستخدم فيما يعرف بعمليات التخمير. ويتواجد الكثير من البكتيريا والخمائر والفطريات المفيدة على نطاقٍ واسع في الطبيعة، ولكن نادراً ما تجد الظروف المثلى للنمو وتكوين المنتج في بيئاتها الطبيعية. وفي الظروف الاصطناعية (في المختبر)، يمكن للتقني الحيوي التدخل في بيئة الخلية الميكروبية (في المخمر أو المفاعل الحيوي)؛ وكذلك في مادتها الوراثية (الحمض النووي)؛ لتحسين

التحكم وتوجيه عمليات الأيض الخلوية خلال عمليات التخمير. وبسبب قدرتها التخليقية المتنوعة العالية، وسهولة استخدامها للمواد الخام المتجددة، ومعدلاتها العالية من التفاعلات الميكروبية، ونموها السريع، والسهولة النسبية لتعديل مادتها الوراثية، فإن الكثير من الكائنات الدقيقة فعالة للغاية، وفي كثير من الحالات لا غنى عنها في مختلف قطاعات التقنية الحيوية الصناعية.

وقد استعملت التقنية الحيوية الصناعية لفترة طويلة في عدد من القطاعات، بما في ذلك الرعاية الصحية، والصناعات الغذائية والكيمياء الدقيقة. وفي الوقت الحاضر، تتغلغل هذه التقنية على نحوٍ متزايد في قطاعات مثل الكيمياء الضخمة وإمدادات الطاقة، وذلك في عالمٍ أصبحت فيه التنمية المستدامة هي كلمة السر.

وقد أشارت دراسة ماكينزي أن حصة السوق الصناعية من التقنية الحيوية الصناعية سوف تتزايد بقوة في جميع المجالات بحلول عام ٢٠١٠م، ولا سيما في إنتاج المواد الكيميائية الدقيقة. وتقدر درجة التغلغل في عام ٢٠١٠م بما يتراوح بين ٣٠-٦٠٪ للمواد الكيميائية الدقيقة وبين ٦-١٢٪ للبوليمرات والمواد الكيميائية الضخمة. وبالنسبة لكامل الصناعات الكيميائية، فقد قدرت نسبة انتشار التقنية الحيوية بنسبة ٥٪ في عام ٢٠٠٣م، وارتفعت إلى ١٠٪ في عام ٢٠١٠م، وستزيد بشدة بعد ذلك. وسوف تعتمد سرعة الانتشار على عدد من العوامل في المقام الأول، مثل أسعار النفط الخام والمواد الخام الزراعية، والتطورات التقنية، والإرادة السياسية اللازمة لدعم وهيكلة هذه التقنيات الجديدة.

استخدام المصادر المتجددة مقابل المصادر الحفرية Use of Renewable Versus Fossil Resources

من المؤكد أن استخدام المصادر المتجددة كمواد خام للأغراض التقنية (غير الغذائية) ليس بالجديد [٨، ١١، ١٢]. وقد استخدم الناس هذه المواد من بدء الحضارات فصاعداً. فقد استخدم البشر المواد الخام المعتمدة على النبات والحيوان لتلبية احتياجاتهم الأساسية، مثل الألياف الطبيعية للملابس، والخشب للتدفئة، والدهون الحيوانية للإضاءة، والأصباغ الطبيعية للمنسوجات والأعمال الفنية، وما إلى ذلك.

واعتمدت الأنشطة الصناعية الأولى بشكلٍ كبير على استخدام الموارد المتجددة. واستمر هذا حتى الثورة الصناعية، عندما كان هناك تغيير جوهري في القرن التاسع عشر بظهور كيمياء الكربون (استناداً على الفحم، المواد العطرية والغاز التخليقي)، وفي القرن العشرين من خلال تطوير البتروكيمياء. وانخفض استخدام المواد الخام المتجددة بشكل ملحوظ، ويرجع ذلك أساساً لانخفاض أسعار الموارد البتروكيميائية. خلال هذه الفترة، اعتمدت الصناعات الكيميائية بشكل أساسي على الموارد البتروكيماوية. وفي أيامنا هذه، فإن جزءاً كبيراً من الصناعات الكيميائية يعتمد على الموارد البتروكيميائية، كما تستند أيضاً احتياجاتنا من الطاقة إلى حد كبير على الوقود الحفري

مثل الفحم، والنفط، والغاز الطبيعي. وحالياً، فإن ٨ , ٩٥٪ من جميع المواد الكيميائية العضوية التي تنتج في أوروبا (بما في ذلك الوقود) تعتمد على المصادر الحفرية.

ومع ذلك، فإن عدداً لا بأس به من الصناعات المهمة لا يزال في الوقت الحاضر يعتمد على المواد الخام المتجددة. لأن نصف الألياف المستخدمة في صناعة الغزل والنسيج هي ألياف طبيعية (القطن، الصوف، الكتان، ...إلخ)، وتمدنا صناعة الزيوت الكيميائية باحتياجاتنا اليومية من الصابون والمنظفات اعتماداً على الزيوت النباتية، ولاتزال صناعة البناء تستخدم الكثير من الأخشاب والألياف الطبيعية الأخرى كمواد البناء، ...إلخ. وعلاوةً على ذلك، لا تقدم البتروكيمياء بديلاً واقعياً لاستخدام المواد الخام في الكثير من التطبيقات المهمة. فعلى سبيل المثال، إن تصنيع كل المضادات الحيوية لا يزال يتم تقريباً عن طريق عمليات التخمير، ابتداءً من السكريات الطبيعية كما أن حوالي نصف احتياجاتنا من الأدوية ما زالت تعزل من الكائنات الحية.

وقد أدت أزمة النفط بين عامي ١٩٧٣ – ١٩٧٩م، عندما رفعت أوبك أسعار النفط من ٢ دولار أمريكي إلى ٣٠ دولاراً للبرميل الواحد (١ برميل = ١٥٩ لتر)، إلى تجدد الاهتمام بالمصادر المتجددة. ونتيجةً لهذه الأزمة، فقد نما قلق كبير إزاء تزايد الاعتماد على الموارد الحفرية، وحقيقة توفر هذه الموارد بصورةٍ دائمة. وقد أدى هذا القلق إلى حد كبير إلى توجيه الاهتمام السياسي بمسألة الطاقة، وأسفر عن الكثير من الدراسات بشأن تطوير مصادر بديلة للطاقة. وأكدت نتائج هذه الدراسات أن المواد الخام المتجددة لم تكن (حتى الآن) تنافسية، وأن الحماس تجاه المواد الخام المتجددة سرعان ما اختفى عندما انخفضت أسعار النفط مرة أخرى، وتحول الاقتصاد مرة أخرى إلى التحكم كالمعتاد.

وفي التسعينيات، أضافت المناقشات حول التنمية المستدامة وتأثير الاحتباس الحراري، وكذلك ظهور الأحزاب السياسية الخضراء نبضاً جديداً. كما كانت المشكلات المتصلة بالفوائض الغذائية في الاتحاد الأوروبي أيضاً قوة دافعة مهمة. فبسبب التكاليف الباهظة المرتبطة بهذه الفوائض الغذائية، فقد تدخل الاتحاد الأوروبي بقوة في السياسة الزراعية المشتركة للاتحاد الأوروبي. ولهذا الغرض، وضعت دول الاتحاد الأوروبي في عام ١٩٩٢م مبدأ "الأرض المجنبة". ووفقاً لهذا المبدأ، تم تقديم إعانات للمزارعين لترك أجزاء من أراضيهم بغير زراعة، من أجل الحد من الإفراط في الإنتاج. وبعد ذلك، وفي إطار السياسة الزراعية المشتركة للاتحاد الأوروبي، تم إنشاء الفرص لاستخدام هذه الأراضي لغير الأغراض الزراعية. وهكذا، يمكن للمزارعين الحصول على إيرادات إضافية من هذه الأرض.

مع زيادة الوعي والاهتمام حول النفايات الصناعية وآثارها على البيئة، نشأت الحاجة للمركبات الوسيطة الأفضل القابلة للتحلل والمنتجات النهائية الأفضل. ويمكن لهذه المنتجات القابلة للتحلل الطبيعي أن تتحلل إلى مكونات، والتي يمكن امتصاصها مرة أخرى إلى الدورة الطبيعية، وذلك على النقيض من المنتجات الثابتة التي لا تختفي (أو فقط و بشكل غير مقبول بعد فترة طويلة) من البيئة أو من خلال السلسلة الغذائية. وقد كانت قابلية

التحلل الحيوي هي النقطة المحورية لكثيرٍ من المنتجات، والتي كانت تعتمد بصورة أكثر على المصادر المتجددة، في ضوء قابليتها للتحلل الحيوي الذاتي. ومن هذه التطبيقات، على سبيل المثال، المواد الكيميائية التي من شبه المؤكد أن تنتهي في البيئة، مثل زيوت التشحيم لمناشير الأشجار والآلات الزراعية، والمنظفات، ...إلخ. ولقد تمكنت بالفعل المنظفات الخضراء مثل الألكيل بولي جلوكوسيدات من الحصول على حصةٍ سوقية كبيرة، وهي مصنوعة بالكامل من الموارد المتجددة (كحولات الأحماض الدهنية، وسكر الجلوكوز).

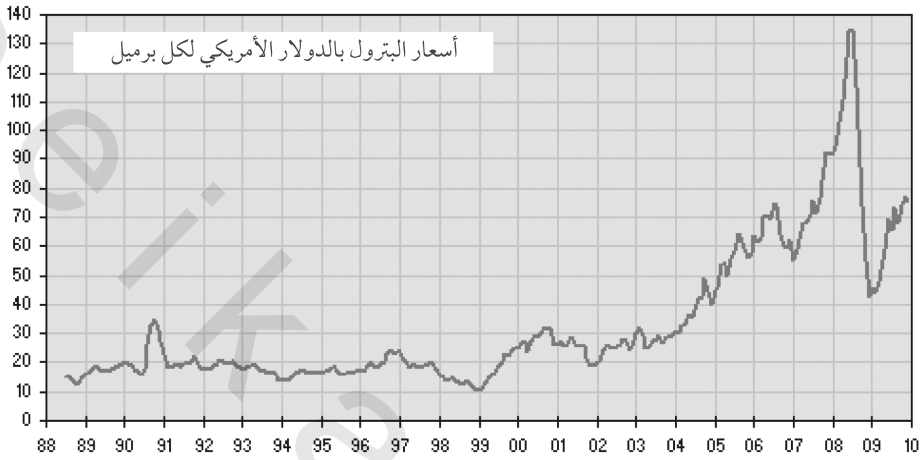
إن احتياطيات العالم من النفط الخام لن تستمر إلى الأبد [١٣، ١٤]. وفيما يتعلق باحتياطيات الوقود الحفري، فإننا نواجه حالياً بالوضع المتناقض التالي، ففي حين يتم استهلاك النفط الخام (البترول) بطريقة أسرع من أي وقت مضى، فإن "احتياطيات النفط المؤكدة" ظلت على المستوى نفسه تقريباً لمدة ٣٠ عاماً؛ وذلك نتيجة للاكتشافات النفطية الجديدة. ومع ذلك، فإن هذه "الاحتياطات النفطية المؤكدة" توجد في أماكن تتزايد صعوبة الوصول إليها. لهذا السبب، ترتفع تكاليف النفط الخام باستمرار، مما ينعكس على زيادة أسعار النفط. وفي تناقضٍ حاد لهذا، فإن المواد الخام الزراعية مثل: القمح والذرة أصبحت أرخص بشكلٍ أساسي؛ نتيجة لارتفاع الإنتاجية الزراعية. ومن الأرجح أن يستمر هذا الاتجاه لبعض الوقت، أيضاً؛ وذلك نتيجةً للإنجازات الموجودة في مجال التقنية الحيوية "الخضراء". ومن الممكن أن يرتبك هذا الاتجاه على المدى الطويل؛ بسبب الآثار العابرة لتوازنات السوق والسياسة، ولكن بالنسبة لعدد متزايد من التطبيقات فإن التوازن الاقتصادي يتجه نحو استخدام الموارد المتجددة، بما في ذلك الجزء الخاص بالمواد الكيميائية الضخمة (غير المكلفة).

على أساس الوزن، فإن الموارد المتجددة تقل في التكلفة بحوالي ٥٠٪ عن الموارد الحفرية (الجدول رقم ١). وحتى المنتجات الزراعية الثانوية مثل القش فإنها أقل ١٠ مرات تكلفة من البترول. ومن اللافت للنظر أيضاً أن أسعار السوق العالمية الحالية للنفط والسكر هي تقريباً متساوية، على الرغم من حقيقة أن السكر هو منتج نقي جداً ومكرر (٩٩,٨٪)، أما البترول فهو منتج خام غير مكرر يتألف من خليط معقد جداً من المواد الهيدروكربونية والمركبات الأخرى. أما على أساس الطاقة، فبما أن المصادر المتجددة تحتوي على حوالي نصف محتوى الطاقة الموجود في الموارد الحفرية، فإن المصادر المتجددة والوقود الحفري متساويان تقريباً في الأسعار.

الجدول رقم (١). متوسط سعر السوق العالمية لبعض المصادر الحفرية والمتجددة.

المصادر الحفرية	السعر (يورو/ طن)	المصادر المتجددة	السعر (يورو/ طن)
البترول	٣٨٠	الذرة / القمح	١٢٠
الفحم	٤٠	القش	٢٠
الإيثيلين	٨٠٠	السكر	٤٠٠

بنهاية عام ٢٠٠٩م، كان سعر النفط حوالي ٧٥ دولاراً للبرميل أي ٣٨٠ يورو للطن، وهو ما يعادل ثلاثة أضعاف سعر السلع الزراعية مثل القمح أو الذرة (حوالي ١٢٠ يورو للطن). وقد بات من الواضح بشكل متزايد أننا سوف نواجه على المدى البعيد بزيادة عالية في أسعار النفط بدلاً من التأثير الانتقالي (الشكل رقم ١)، وأنه من الواضح أن استخدام المواد الخام المتجددة له إمكانات نمو كبيرة.



الشكل رقم (١). أسعار البترول الخام من ١٩٨٨–٢٠١٠م. حقوق النسخ oilenergy.com.

مصادر أولية متجددة للصناعة الكيميائية Renewable Raw Materials for the Chemical Industry

تستند المواد الخام المتجددة أساساً على استخدام "الكتلة الحيوية"، وهي مجموع كل المواد المكونة للعالم الحي. وقاعدتها الأساسية هي نمو وإنتاج النبات، والذي يستمد طاقته من عملية التمثيل الضوئي، وربما خلال الخطوة الوسيطة للإنتاج الحيواني، مما يؤدي إلى مجموعة كبيرة ومتنوعة من الكتلة الحيوية المتاحة.

ويقدر إجمالي إنتاج الكتلة الحيوية السنوي لكوكبنا بنحو ١٧٠ مليار طن، ويتكون من ما يقرب من ٧٥٪ من الكربوهيدرات (السكريات)، ٢٠٪ اللجنين، ٥٪ مواد أخرى مثل الزيوت والدهون والبروتينات والتربينات، القلويدات، ...إلخ [١٤]. ويستخدم حالياً ٦ مليارات طن (٥ ,٣٪) من هذا الإنتاج لتلبية الاحتياجات البشرية، موزعة على النحو التالي:

- ٣ ,٧ مليار طن (٦٢٪) للاستخدام في غذاء الإنسان، ربما من خلال خطوة وسيطة عن طريق تربية الحيوان.
- ٢ مليار طن من الأخشاب (٣٣٪) لإنتاج الطاقة، والورق، واحتياجات البناء.
- ٣٠٠ مليون طن (٥٪) لتلبية الاحتياجات الإنسانية للمواد الخام التقنية، غير الغذائية (الملابس والمنظفات والمواد الكيميائية، ...إلخ).

ويستخدم باقي الكتلة الحيوية المنتجة في الأنظمة البيئية الطبيعية (علف للحيوانات البرية)، ويفقد عند استخدام البشر للكتلة الحيوية (وخاصة عن طريق الحرق)، أو يفقد؛ نتيجة عمليات التمعدن الطبيعية.

والمواد الخام المتجددة التي ذكرت هنا توفرها تقريباً الزراعة والغابات بصورة كلية. كما يساهم أيضاً قطاعا تربية الحيوان ومصايد الأسماك (في المقام الأول الدهون الحيوانية)، ولكن بصورة أقل أهمية من حيث الحجم وكذلك كفاءة التحويل المنخفضة من النبات إلى الحيوان (حوالي ١٠-٢٥٪).

ويمكن استخدام الكثير من التقنيات المختلفة لتحويل الكتلة الحيوية المتوفرة صناعيا إلى مواد خام متجددة أو ناقلات للطاقة. وغالباً ما يكون هذا النشاط الصناعي مرتبطاً أو متصلاً بقطاع الأغذية في ضوء الواقع أن مكونات الغذاء والمواد الخام المتجددة للاستخدام التقني يمكن أن تصنع في المصنع نفسه، ومن نفس المواد الزراعية الخام. فعلى سبيل المثال، يتم إنتاج السكر أو الجلوكوز لغذاء الإنسان وهو كذلك أحد أهم المواد الخام لعمليات التخمير الصناعية.

والقطاعات الصناعية التالية توفر أهم المواد الخام المتجددة في الوقت الحاضر:

- قطاع السكر والنشا: ينتج الكربوهيدرات مثل السكر والجلوكوز والنشا والدبس المتخلف من صناعة السكر، من المواد النباتية الخام مثل بنجر السكر وقصب السكر والقمح والذرة والبطاطس والكسافا الحلوة والأرز، وغيرها.
- قطاع الزيوت ومعاملة الدهون: ينتج الكثير من الكيماويات الزيتية الوسيطة مثل الشحوم الثلاثية والأحماض الدهنية والكحولات الدهنية والجليسرول من المواد النباتية الخام مثل بذور العنب، وفول الصويا وزيت النخيل وجوز الهند، والدهون الحيوانية.
- قطاع معاملة الخشب، لا سيما صناعة السيليولوز والورق: ينتج بالدرجة الأولى السليلوز والورق واللجنين من الخشب.

وتتعامل هذه الصناعات مع المواد الخام النباتية من أجل تحليلها في مكونات منفصلة مثل السكر والنشا والجلوكوز والسيليولوز والبروتينات والزيوت، واللجنين. وهي تستخدم دعامتين تقنيتين:

- تقنية التجزئة: تعتمد هذه التقنية في المقام الأول على طرق فصل فيزيائية وكيميائية لفصل المواد الخام الزراعية لمكونات منفصلة.
- تقنية إنزيمية: تستعمل هذه التقنية خلال تحويل المواد الخام الزراعية. عملياً، يتم استخدام الإنزيمات المحللة بصورةٍ أساسية، على سبيل المثال الأميليز، الذي يحلل النشا إلى جلوكوز.

وعلى الرغم من أن هذه التقنيات مختلفة بشكل واضح جداً في الطبيعة، فإن التفاعل بينهما ضروري للنجاح. فعلى سبيل المثال، تتأثر تقنية التجزئة بقوة باستخدام الإنزيمات المحللة.

ويتم تحويل المنتجات النقية الأساسية التي تم الحصول عليها (السكر والنشا والسيليولوز، والزيوت) إلى مجال واسع جداً من المنتجات، عن طريق استخدام عمليات فيزيائية وكيميائية وتقنية حيوية. فعلى سبيل المثال، يتم تحوير النشا والسليلوز كيميائياً إلى مشتقات تستخدم بصورة كبيرة في حياتنا اليومية. كما تقترن السكريات مثل السكروز والجلوكوز كيميائيا بالكيماويات الزيتية للحصول على المنظفات والمستحلبات.

وفيما يتعلق بعمليات التقنية الحيوية الصناعية، فإنه يجب ذكر تقنيات التخمير على وجه التحديد. تستخدم هذه التقنية المهمة جداً الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا والخمائر، والطحالب الدقيقة والفطريات) لتحويل المواد الخام الأساسية مثل السكريات والزيوت إلى مجال غير محدود تقريباً من المنتجات. ويمكن عن طريق استخدام بسيط لكائن آخر تحويل المادة الخام (على سبيل المثال السكر) إلى منتجات مختلفة تماماً، تتراوح من المنتجات ذات التركيب الكيميائي القريب جداً من المادة الخام (على سبيل المثال، حامض الجلوكونيك من الجلوكوز) إلى المنتجات التي لا تشترك عملياً في شيء مع المادة الخام البادئة (على سبيل المثال، المضادات الحيوية، والإنزيمات، ...إلخ).

الجدول رقم (٢). أرقام الإنتاج العالمي وأسعار السوق العالمية الإرشادية لعدد من المواد الخام المتجددة والبتروكيماويات.

المصادر	الإنتاج العالمي (مليون طن/ العام)	سعر السوق العالمي (يورو/ طن)
المصادر الخام المتجددة:		
السيليولوز	٣٢٠	٥٠٠
السكر	١٤٠	٢٥٠
النشا	٥٥	٢٥٠
الجلوكوز	٣٠	٣٠٠
الكحول الإيثيلي الحيوي	٣٨	٤٠٠
حمض الجلوتاميك	١	١٥٠٠
البتروكيماويات:		
الإيثيلين	٨٥	٥٠٠
البروبيلين	٤٥	٣٥٠
البنزين	٢٣	٤٠٠
حمض التيرفثاليك	١٢	٧٠٠
أيزوبروبانول	٢	٧٠٠
كابرولاكتام	٣	٢٠٠٠

وتحتاج هذه السلسلة الكاملة من الخطوات المختلفة إلى استخدام تقنيات مختلفة جداً، وغالباً ما تكون في المصنع نفسه أو المجمع الصناعي. وهذه ما يشار إليها بالـ"المصافي الحيوية"، مشابهةً لمصافي البتروكيماويات والنفط الخام.

وللتوجيه، يوضح الجدول رقم (٢) أرقام الإنتاج العالمي وأسعار السوق العالمية الإرشادية لعدد من المواد الخام المتجددة والبتروكيماويات. وتبين المقارنة بوضوح أن الأحجام والأسعار قابلة للمقارنة تماماً.

العمليات الحيوية في التقنية الحيوية الصناعية Bioprocesses in Industrial Biotechnology

عمليات التخمير Fermentation Processes

تستخدم التقنية الحيوية الصناعية لإنتاج تشكيلة واسعة من الكيماويات الدقيقة والضخمة مثل الكحول، وحامض اللاكتيك، وحامض الستريك والفيتامينات والأحماض الأمينية، والمذيبات، والمضادات الحيوية، البوليمرات الحيوية، والمبيدات الحيوية، والإنزيمات الصناعية، والملونات الحيوية، والمستحلبات، والمواد الحيوية المقللة للتوتر السطحي، والقلويدات والستيرويدات، ...إلخ. ويعدُّ التخمير الصناعي هو التقنية الرئيسة هنا، حيث تزرع الكائنات الدقيقة (البكتيريا والخمائر والفطريات) التي تحول السكريات إلى منتجات مفيدة. وهذه هي طريقة الإنتاج الصناعية الوحيدة للعديد من هذه المنتجات، وبعضهم ينتج في كميات جيدة [٣، ٤، ١٢]. ويوضح الجدول رقم (٣) أرقام الإنتاج والأسعار لعدد من منتجات التخمير. ويمتد المجال من المنتجات الضخمة غير المكلفة إلى المنتجات الدقيقة باهظة الثمن.

بفضل تكنولوجيا الحمض النووي المؤتلف أو المعدل، يمكن للمرء الآن التدخل بصفة خاصة في المادة الوراثية لهذه الكائنات الدقيقة. ومن ناحية، يمكن تعديل عمليات أيض الكائنات الدقيقة أو حتى تغييرها بصورةٍ كاملة (المعروف بهندسة الأيض)، ومن الناحية الأخرى، يمكن إدخال جينات من كائنات أرقي (النباتات والحيوانات) أو كائنات دقيقة أخرى (الخميرة والبكتيريا والفيروسات، والطحالب) إلى الكائنات الدقيقة الصناعية، ومن ثم يحدث تعبير لهذه الجينات. وهكذا يمكن إنتاج منتجات جينية جديدة بصفة مباشرة، أو إدخال مسارات أيضية جديدة لإنتاج مواد كيميائية ذات كفاءة عالية عبر عمليات التخمير الصناعية.

وعملياً، فإنه تستخدم كائنات منتجة معروفة وغير مؤذية، والتي عند تجهيزها بالمعلومات الوراثية الجديدة سوف تنتج المنتجات الكيميائية المطلوبة بإنتاجية وكفاءة عالية. والميزة الرئيسة هي أن هذه الكائنات الدقيقة المعدلة وراثياً تقوم بعملها تحت ظروف يتم التحكم فيها في المخمر أو المفاعل الحيوي، وهي موجودة ومعزولة بعناية عن العالم الخارجي. ولا يمكنها الهرب من المصنع، وعليه يتم تجنب المشكلات والهموم البيئية فيما يتعلق بإطلاق الكائنات الحية المعدلة وراثياً إلى البيئة.

الجدول رقم (٣). أرقام الإنتاج العالمي والأسعار لعدد من منتجات التخمير.

المنتج	الإنتاج العالمي (طن/ العام)	سعر السوق العالمي (يورو/ كيلوجرام)
الكحول الإيثيلي الحيوي	٥٠,٠٠٠,٠٠٠	٠,٤
حمض الجلوتاميك (MSG)	١,٥٠٠,٠٠٠	١,٥
حمض السيتريك	١,٥٠٠,٠٠٠	٠,٨
الليسين	٨٠٠,٠٠٠	١,٥
حمض اللاكتيك	٢٥٠,٠٠٠	١,٥
فيتامين ج	٨٠,٠٠٠	٨
حمض الجلوكونيك	٥٠,٠٠٠	١,٥
المضادات الحيوية (منتجات ضخمة)	٣٠,٠٠٠	١٥٠
المضادات الحيوية (متخصصة)	٥,٠٠٠	١٥٠٠
الزانسان	٢٠,٠٠٠	٨
هيدروكسي فينيل ألانين	١٠,٠٠٠	١٠
ديكستران	٢٠٠	٨٠
فيتامين ب١٢	٣	٢٥٠٠٠

العمليات الإنزيمية وتقنية الإنزيمات Enzymatic Processes and Enzyme Technology

إن الإنزيمات هي بروتينات حفزية نشطة نشأت وتطورت على مدى مليارات السنين. وبوصفها محفزات متخصصة جداً وفعالة، إلا أنها توجه كيمياء الحياة دون الحاجة إلى درجات حرارة أو ضغوط عالية، أو ظروف التآكل، والتي غالباً ما تكون مطلوبة في عمليات التخليق الكيميائية. والإنزيمات هي آلية العالم الحي، وتستخدم لخصائصها المدهشة بشكل متزايد في التطبيقات الصناعية. ويعرف هذا المجال بالتحفيز الحيوي أو البيولوجي [١٥].

وأصبحت الإنزيمات مهمة جداً في مجموعة واسعة من القطاعات الصناعية لإجراء التفاعلات التحفيزية الحيوية. وعادةً ما تستخدم الإنزيمات الميكروبية، والتي تنتج بعمليات التخمير السابق ذكرها. وتتيح التقنيات الجديدة لهندسة الإنزيمات مثل التطور الموجه تفصيل الإنزيمات الجديدة، في حين توسع تقنيات الوراثة الجديدة بصورة كبيرة مجال الإنزيمات الطبيعية التي يمكن اكتشافها. ويمكن لهذه التطورات أن تحسن كثيراً من هذه التقنية أو حتى توسيعها لتشمل تطبيقات جديدة بصفة كلية.

يعدُّ استخدام الإنزيمات في قطاع النشا على المستوى الكبير من التطبيقات التقليدية، وليس من قبيل الصدفة أنه القطاع الذي يعدُّ مصدراً للجلوكوز، والذي يعد بدوره واحداً من أهم المواد الخام المتجددة. والإنزيم الأساسي

هو إنزيم ألفا-أميليز، وهو إنزيم يتحمل درجات الحرارة ويستخدم لتحليل النشا عند درجة حرارة ١٠٥ درجة مئوية. وتتيح مثل هذه الإنزيمات المتحملة للحرارة للتفاعلات الحيوية أن تتم في درجات الحرارة العالية، ومن ثمَّ زيادة معدل التفاعل إلى حد كبير. وإنزيم مصاوغة الجلوكوز هو إنزيم آخر مهم في هذا القطاع. ويحول هذا الإنزيم الجلوكوز إلى سكر الفواكه (الفركتوز). وهو يستخدم في صورة محملة أو مقيدة ويحافظ على نشاطه الحفزي حتى سنتين عند استخدامه صناعياً. ويتجاوز الإنتاج العالمي من شراب الفركتوز والجلوكوز باستخدام هذا الإنزيم ١٥ مليون طن سنوياً.

وقطاع المنظفات هو مجال آخر وكبير للإنزيمات. وهنا تستخدم إنزيمات البروتييز والليبيز لتكسير البروتينات وبقع الدهون على الملابس.

وتمثل صناعة العلف الحيواني سوقاً مهماً أيضاً. فعلى سبيل المثال، يستخدم إنزيم الفيتيز من فطر الأسبرجلس نيجر لتحرير مجموعة الفوسفات من حمض الفيتيك في أعلاف الحيوانات، مما يحد من الحاجة لإضافة الفوسفات، وهذا له فوائد بيئية جيدة. كما تستخدم إنزيمات أخرى لتحسين تحويل الغذاء بصورة كبيرة، مع استفادة بيئية إيجابية.

وتتغلغل الإنزيمات بشكلٍ متزايد في الصناعة الكيميائية لتحفيز تفاعلات عديدة. وهنا تكون تخصصية التفاعل الإنزيمي مهمة جداً. وعند المقارنة مع المحفزات الكيميائية التقليدية، غالباً ما تكون التخصصية عالية جداً. وبالإضافة إلى الدرجة العالية من تخصصية التفاعل، فقد حفز التركيب الفراغي (Chirality) أيضاً استخدام المحفزات الحيوية في الصناعة الكيميائية. ويتطور استخدام الإنزيمات (بصورة حرة أو محملة أو مقيدة) في تفاعلات عضوية كيميائية خاصة جداً بشكل سريع جداً. وهذه عادة ما تكون في معظمها تفاعلات ذات خطوة واحدة، وتتم بكفاءة وتخصصية عالية وبمعدل تفاعل عالي. وعادة ما يشار إلى هذا المجال العلمي بالتحفيز الحيوي أو البيولوجي، وتوصف العمليات المستخدمة بالتحويلات الحيوية. وتتم هذه التحويلات الحيوية عادة في درجات حرارة عادية وضغط طبيعي، وعليه لا تكون هناك حاجة إلى أي منتجات وسيطة كي لا يتم إنتاج المخلفات الخطرة. وعادة تتم التفاعلات في مذيبات خضراء مثل الماء، والإيثانول، أو ثاني أكسيد الكربون فوق الحرج، على الرغم من أن الإنزيمات تنشط أيضاً في المذيبات الكيميائية "التقليدية" مثل الميثانول، والأسيتون، والمذيبات المكلورة، ...إلخ. وينبغي أيضاً الإشارة إلى أن الإنزيمات المستخدمة في التقنية الحيوية الصناعية والتحفيز الحيوي تنتج عملياً من الكائنات الدقيقة عن طريق التخمير. وتمثل الإنزيمات الصناعية ٢ مليار دولار في قطاع التقنية الحيوية الصناعية [٤، ١٦].

المزايا الاقتصادية والبيئية للتقنية الحيوية الصناعية

Economical and Ecological Advantages of Industrial Biotechnology

غالباً ما يؤدي إدخال خطوات عملية التقنية الحيوية في التخليقات الكيميائية إلى فوائد بيئية كبيرة، مثل الخفض الواضح في المخلفات، وانخفاض متطلبات الطاقة، وانخفاض استخدام المذيبات، ومنع المنتجات

الوسيطة الخطرة، ...إلخ. ولكن هذه المزايا البيئية عادة ليست هي السبب لتبديل التقنية. فدائماً ما تتمثل القوة الدافعة وراء مثل هذا القرار في تحسينات العملية التقنية وخفض التكاليف المصاحبة، والمزايا البيئية تكون هي آثاراً جانبية جذابة، وليست كافية في حد ذاتها لتحفيز متخذي القرار لإدخال تقنية جديدة (مع مخاطر الفشل المرتبطة). والطريقة التي تجمع بها التقنية الحيوية الصناعية ما بين التطور الاقتصادي والبيئي هي نموذجية تماماً: حيث تؤدي زيادة الكفاءة وانخفاض تكاليف الإنتاج لمثل هذه العمليات التقنية الحيوية دائماً إلى تأثير بيئي منخفض بشكل كبير وتؤدي عموماً إلى تحسين القدرة التنافسية.

ففي تقرير صادر من قبل منظمة التعاون والتنمية في عام ٢٠٠١م، قدمت ٢١ دراسة حالة [١٧]، بينت كل منها بشكل مقنع المزايا الاقتصادية والبيئية التي تقدمها التقنية الحيوية الصناعية. ويجب أن يشار إلى أنه في معظم الحالات فإن العمليات التي وصفتها قد تم تنفيذها في الصناعة الفعلية وبقدرة تنافسية، وبشكلٍ قاطع غير مقصورة على الدراسات النظرية أو المشاريع البحثية.

التغيرات المتوقعة في المجتمع والتقنية Expected Changes in Society and Technology

من المتوقع حدوث الكثير من التغييرات في المجتمع والتقنية على حد سواء في السنوات المقبلة والتي قد تعدل بجدية النظام الحالي. وباعتراف الجميع، فإن هذه التغييرات من المرجح أن تتحقق تدريجياً، ولكن، مع ذلك، من الممكن أن تحدث بعض "الصدمات الحقيقية". وإذا أردنا التغلب على هذه التغييرات، فإن الأساس التقني لمجتمعنا يجب أن يتغير جذرياً.

التغيرات في توريد المواد الخام الأولية Changes in the Supply of Primary Raw Materials

تعتمد معظم المواد الكيميائية العضوية في الوقت الراهن على المصادر البتروكيماوية، كما يتم توفير احتياجاتنا من الطاقة إلى حدٍ كبير من الوقود الحفري مثل الفحم، والنفط، والغاز الطبيعي. ويرجع هذا أساساً نتيجة لانخفاض أسعار المصادر البتروكيماوية بصورة كبيرة في الماضي. ولكن احتياطات العالم من النفط الخام لن تستمر إلى الأبد. وتواجه الآن زيادة الطلب على النفط الخام؛ نتيجة تزايد عدد سكان العالم بمعدل إنتاج ثابت. وعلى الرغم من بقاء احتياطيات النفط المعروفة على المستوى نفسه تقريباً لمدة ٣٠ عاماً نتيجة لاكتشافات النفط الجديدة، فإن هذه الاحتياطيات النفطية تقع على نحو متزايد في أماكن يصعب الوصول إليها. ولذلك فإن تكاليف استخراج النفط الخام ترتفع بشكل مستمر، كما انعكس على زيادة أسعار النفط.

وفي تناقض حاد لذلك، فإن أسعار المواد الخام الزراعية المنتجة محلياً مثل القمح والذرة تتضاءل باستمرار نتيجة أساسية لزيادة الغلة الزراعية، مما يؤدي تدريجياً إلى تحول التوازن الاقتصادي تجاه استخدام الموارد المتجددة. ومن الأرجح أن يستمر هذا الاتجاه لبعض الوقت.

حالياً، وعلى أساس الوزن، فإن الموارد الحفرية تكون أكثر تكلفة من الموارد المتجددة المماثلة مثل الذرة بحوالي مرتين إلى ثلاث مرات. في حين أن المنتجات الزراعية الثانوية، مثل القش يكون أرخص ١٠ مرات من البترول. وعليه فإن الموارد المتجددة تقدم مصدراً محتملاً بوصفها مادة خام لكل من احتياجاتنا الكيميائية واحتياجاتنا من الطاقة (الوقود الحيوي)، وذلك لأسباب تتعلق بالتكلفة والاكتفاء الذاتي، والتنمية المستدامة، والحفاظ على الموارد الطبيعية [٥، ١٨، ١٩]. ولكن، لاتزال تقنيات التحويل الفعال لهذه الموارد المتجددة إلى منتجات مفيدة عائقاً كبيراً، وفي هذا الصدد فإن التقنية الحيوية الصناعية هي التقنية الرئيسة. ففي حين أن العمليات الكيميائية التقليدية قد وصلت إلى درجة عالية من النضج التقني والكفاءة في استخدام الموارد الحفرية، فإن هذه العمليات تجد صعوبات جدية في استخدام المواد الخام المتجددة. وعلى النقيض، فإن عمليات التقنية الحيوية الصناعية يمكن أن تتعامل مع هذه الموارد المتجددة بسهولة مذهلة، إذ إن الكائنات الدقيقة لا تجد صعوبة في تحويل المواد الخام، على سبيل المثال الكربوهيدرات إلى تشكيلة واسعة من المنتجات المفيدة. وعلى هذا فإن التقنية الحيوية الصناعية هي تقنية أساسية، وتحتاج إلى تطوير للانتقال من مجتمعنا الحاضر القائم على الوقود الحفري إلى مجتمع مستقبلي قائم على المنتجات الحيوية المستدامة.

الطلب المتزايد للزيادة السكانية على المواد الخام والطاقة

Increased Demand of a Growing Population for Raw Materials and Energy

يستخدم حالياً حوالي ٢٠٪ من سكان العالم ما يقرب من ٨٠٪ من جميع المواد الخام والطاقة المتاحة. وبطبيعة الحال، يمكن توقع أن الـ ٨٠٪ الآخرون من سكان العالم سوف يفعلون كل شيء ممكن لتحسين مستويات معيشتهم، وعليه سوف يتطلبون مواد خام وطاقة أكثر بكثير من قبل. أيضاً، لا ينبغي أن ننسى أن عدد سكان العالم ينمو بمعدل منذر. ولن يؤثر "خفض معدل النمو السكاني"، والذي عادة ما يستشهد به ويفسر بصورة خاطئة، سوى في أجيال قليلة في أقرب وقت ممكن، وهي عاقبة مؤسفة لخصوصيات ديناميكية النمو السكاني. وفي الوقت الحاضر، فإن عدد سكان العالم لا يزال ينمو بمعدل أسرع من أي وقت مضى. فعلى وجه الخصوص، يجب أن تؤخذ ديناميكيات النمو في الصين والهند بعين الاعتبار، في ضوء حقيقة أن هذه الدول الغنية بالسكان من المتوقع أن تحسن مستويات المعيشة في المدى القصير.

كل هذه الآثار سوف تؤدي حتماً إلى زيادة كبيرة في الطلب على المواد الخام والطاقة. ومن غير المرجح حدوث توزيع عادل للمواد الخام المتاحة، مما يؤدي في نهاية المطاف إلى زيادة استخدام المواد الخام على الصعيد العالمي بصورة أكثر. وسوف يؤدي هذا إلى استنزاف الاحتياطات الحفرية المتبقية وغيرها من المواد الخام بصورة أسرع، مما يجلب المواد الخام المتجددة والطاقة والمواد الخام إلى صدارة الاهتمام.

الطلب المتزايد للكفاءة في أنظمة إنتاج المواد الكيميائية

Increased Demand for Efficiency in Chemical Production Systems

تتصارع قوانين اقتصاد السوق لتحسين كفاءة نظم الإنتاج باستمرار. ففي الماضي بقيت نظم الإنتاج التي تنتج كميات كبيرة من النفايات اقتصادية، إما لأن هذه النفايات يمكن تفريغها في البيئة وإما أن تكلفة التنظيف تم تحميلها على المجتمع. أما في الوقت الحاضر، فإن مبدأ "الملوث يدفع" يعني أن هذه العمليات أصبحت محكوماً عليها بالفشل. فالنفايات تكلف الأموال، وذلك للتخلص منها، كما أنها تمثل خسارة للعائد مع جميع التكاليف الإضافية المرتبطة بها. وعليه، هناك حاجة إلى درجة عالية من الكفاءة والأداء لجميع العمليات الكيميائية حالياً. وتتسم طرق التحفيز الحيوية بالكفاءة والتخصصية، مما ينتج عنه نفايات أقل، واستخدام أقل للمواد الخام، واستهلاك أقل للطاقة. ودائماً ما يكون الدافع وراء تغلغل التقنية الحيوية الصناعية في صناعة الكيماويات تقريباً هو المبادئ الاقتصادية الطبيعية مثل تحقيق وفورات في التكلفة، وزيادة الكفاءة، ...إلخ.

وعلاوة على ذلك، حيث إنه من المتوقع أن العوامل التي نوقشت سابقاً ستؤدي حتماً إلى مزيد من زيادة الأسعار للمواد الخام والطاقة، فإن الحاجة إلى عمليات كيميائية فعالة سوف تنمو بصورة أقوى. وبدون شك فإن المزيد من تغلغل التقنية الحيوية الصناعية في صناعة الكيماويات وتعاونها التآزري مع التقنيات الكيميائية التقليدية سوف يتم تنشيطه بقوة.

تزايد الحاجة إلى الاستدامة في نظم الإنتاج Growing Need for Sustainability of the Production Systems

يواجه العالم تحديات كبيرة في تطوير عمليات إنتاج مستدامة ونظيفة، والتي تحترم البيئة، وتحسن نوعية حياتنا وتكون في الوقت نفسه قادرة على المنافسة في السوق. ويشمل هذا تطوير عمليات إنتاج جديدة والتي تقلل أو تقضي على استخدام المواد الخطرة أو السامة، وتقلل استهلاك الطاقة وإنتاج النفايات، وتبدأ بشكل مثالي من المواد الخام المتجددة. والتقنية الحيوية الصناعية مؤهلة بشكل جيد لتؤدي دوراً رئيساً في هذا المسعى لتحقيق الاستدامة. وتنتج العمليات الحيوية عموما نفايات أقل، ويمكن في بعض الأحيان الاستغناء عن استخدام المواد الكيميائية السامة والخطرة تماماً عن طريق استخدام إنزيم. وبصفة عامة، تؤدي التقنية الحيوية الصناعية عادة إلى انخفاض كبير في البصمة البيئية للصناعات التحويلية.

منذ معاهدة كيوتو، تم إلزام معظم الدول الصناعية باحترام عدد من المعايير الأساسية فيما يتعلق باستخدام المواد الخام وسياسة الطاقة. وقد تعهد الكثير من الدول ببذل جهود متضافرة في إطار معاهدة كيوتو. وقد أصبحت تفاوضية حقوق انبعاث ثاني أكسيد الكربون الآن حقيقة، وسوف يتم قريباً تفعيل العقوبات الأولى لتعدي الحدود المسموحة. ومن المتوقع أن يؤدي ذلك إلى تغيير أساسي في مفهوم استخدام المواد الخام واستهلاك الطاقة. فمن الواضح أن المواد الخام المتجددة والتي تكون محايدة بالنسبة لثاني أكسيد الكربون، مثل الكتلة الحيوية، سوف تستفيد من هذا التطور.

تغيير مفاهيم وسلوك المستهلكين Changing Consumer Perceptions and Behavior

في معظم المجتمعات الأكثر تقدماً، هناك طلب متزايد من المستهلكين للحصول على معلومات حول المنتجات التي يشترونها، وهذا أبعد من الجودة والسعر. ففي أيامنا هذه، تهتم شريحة متنامية من المستهلكين بنظم الإنتاج التي تستخدم لإنتاج منتجاتهم (مثل الزراعة العضوية، والرفق بالحيوان، ...إلخ)، وكذلك حول ما يحدث معها بعد استخدامها (النفايات، والتحلل، ...إلخ). ويجري رفض نظم الإنتاج التي تسبب أضراراً بيئية أو معاناة للحيوان أو التي تعتمد على تجارة غير منصفة أو مستغلة (مثل عمالة الأطفال) ...إلخ، على نحو متزايد من قبل المستهلكين، حتى لو حدثت هذه العمليات بعيداً أو لم تسبب لهم عبء أو ضرر بصورة مباشرة. ويبحث المستهلكون عن السلع والخدمات التي يتم الحصول عليها واستخدامها في ظل ظروف اجتماعية واقتصادية مقبولة، ولا تثير أية اعتراضات أخلاقية أو عاطفية.

ورفض الجمهور الأوروبي للمحاصيل المعدلة وراثياً هو من هذا النوع. ومن المفارقات أن المستهلكين الذين يرفضون المحاصيل وراثياً المعدلة هم بالضبط في كثير من الأحيان المستهلكين نفسهم الذين يستخدمون وبدون تذمر، حتى بصورة حماسية، منتجات مصنوعة من خلال عمليات التخمر، مثل منتجات تخمير اللبن أو الكورون (Quorn)، وهو بروتين من الفطريات. كما أن إدراك المستهلك للمنتجات الكيميائية في الأطعمة (المواد الحافظة والملونات، ومضادات الأكسدة) هو أيضاً سلبي للغاية، وتكون البدائل الطبيعية مطلوبة. ولهذا السبب فإن يمكن توقع زيادة استبدال هذه المنتجات "الكيميائية" بمنتجات التقنية الحيوية الصناعية.

التقنية الحيوية الصناعية لديها القدرة على أن ينظر إليها على أنها تعمل بالتنسيق مع الطبيعة. ويحب الناس عموماً فكرة استخدام الكتلة الحيوية بدلاً من العمليات النفطية، والعمليات الحيوية بدلاً من عمليات التخليق التقليدي. وهكذا فإن العمليات الحيوية ليست فقط ذات قدرة تنافسية من حيث التكلفة وذات فوائد بيئية، ولكن لها أيضاً ميزة قبول الجمهور مقارنة بالعمليات الكلاسيكية. وعلاوة على ذلك فإن التقنية الحيوية الصناعية وعملياتها تتم دائماً في أنظمة إنتاج مغلقة وتستعمل الكائنات الدقيقة غير المؤذية، التي لا يمكن لها البقاء على قيد الحياة في الطبيعة.

التغيرات في الأنظمة الزراعية Changes in the Agricultural Systems

من الواضح أن القطاع الزراعي سيحتاج أن يتكيف بصورة مستمرة مع الاحتياجات والمشكلات الجديدة تحت ضغط المستهلكين، والحكومات، فضلاً عن القوي الأجنبية التي ترغب في تخفيض القيود المفروضة على الاستيراد [٢٠]. لا سيما في أوروبا، فإن توسع الاتحاد الأوروبي مع عدد كبير من الأعضاء الجدد من أوروبا الشرقية سوف يؤدي إلى وضع الكثير من الضغوط الإضافية على النظام.

ويمكن تمييز بعض المبادئ التوجيهية للتغيير بوضوح. فما نحن بحاجة إليه هو:

- الزراعة الأقل توجهاً نحو الإنتاج الكمي، ولكن موجهة بصورة أكثر نحو المنتجات الزراعية ذات الجودة العالية.
- الزراعة مع المزيد من الاحترام للبيئة.
- خفض أو إلغاء دعم المزارعين المرتبط بالإنتاج.
- خفض ضرائب الاستيراد لعدد من المنتجات الزراعية بغرض السماح للبلدان النامية بتسويق منتجاتها في أوروبا.
- مزيد من التنوع في النظم الزراعية، مثل المحاصيل الجديدة ونظم الإنتاج الجديدة، مثل الزراعة العضوية.
- تحفيز إنتاج المحاصيل الزراعية لغير الأغراض الغذائية.

ويوافق استخدام المواد الخام الزراعية كمادة خام متجددة في الصناعة الكيميائية والوقود بوضوح الكثير من التوقعات. وعليه، فإن هذه التطورات سوف يرحب بها، ولا سيما من جانب المجتمع الزراعي الذي فهم بوضوح أهمية التقنية الحيوية الصناعية.

استنتاجات ومنظورات مستقبلية Conclusions and Perspectives

يمكن للتقنية الحيوية الصناعية تصنيع مجال واسع من المواد الكيميائية باستخدام كائنات دقيقة مفيدة أو إنزيماتها. ويبدو أن الموجة الأخيرة من التطبيقات الجديدة تشير فقط إلى أن قمة جبل الجليد قد تم مسها. وقد تنبأ الميكروبيولوجي جاكسون فوستر في عام ١٩٦٤م: "لا تقلل أبداً من قوة الكائن الدقيق"، وقد ثبتت مقولته حتى الآن.

في الوقت الراهن، لا تزال بعض الصعوبات موجودة. فمن الواضح أن استبدال "اقتصاد الهيدروكربون" بـ"اقتصاد الكربوهيدرات" لن يكون سهلاً أو رخيصاً ! فبالإضافة إلى إقناع قطاع البتروكيماويات، يبقى من المهم معرفة إجمالي تكاليف الإنتاج وإعادة إنتاج واستخدام الكتلة الحيوية في التطبيقات المختلفة، قبل القيام بالاستثمارات. ويمكن أن يكون للقدرة على تثمين النفايات والكتلة الحيوية والمنتجات الثانوية من المنتجات الحيوية الأخرى في كثير من الحالات تأثير كبير على الجدوى الاقتصادية.

وتتغلل هذه التقنية التي تطورت بقوة في المجالات التقليدية لصناعة الغذاء والرعاية الصحية، بقوة إلى الصناعات الكيميائية ذات التطبيقات في مجال الكيمياء الدقيقة والضخمة، وتخليق البوليمرات، والصناعات الدوائية، وقطاع الطاقة. وحيث إن هذه العمليات والمنتجات تعتمد إلى حد كبير على المواد الخام المتجددة وتتمتع بمنافع بيئية كبيرة، فإن هذا يوفر لها ميزة كبيرة في منظور التنمية المستدامة.

obeikandl.com

ويجب على العلم والصناعة، ورجال السياسة على حد سواء أن يهتموا بهذه الكيمياء الخضراء ومنتجاتها الحيوية. ولا يتم تعريف الابتكار الناجح من منتج عملية التقنية الحيوية فقط بواسطة التقنية والعلم، ولكن، وبقدرٍ مساوٍ، بعوامل أخرى مثل القبول من جانب الجمهور العام، مناخ الابتكار، والدعم من جانب السلطات عن طريق خلال سياسة بحث وتطوير متناسقة.

المراجع References

[١] Dale, B.E. (2003) "Greening" the chemical industry: research and development priorities for biobased industrial products. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **78**, 1093–1103.

[٢] Soetaert, W. and Vandamme, E.J. (2006) The impact of industrial biotechnology. *Biotechnol. J.*, **1** , 756–769.

[٣] De Baets, S., Vandedrinck, S., and Vandamme, E.J. (2000) Vitamins and related biofactors: microbial production, in *Encyclopedia of Microbiology*, vol. **4**, 2nd edn (ed. Joshua Lederberg), Academic Press, San Diego, pp. 837–853 .

[٤] Demain, A.L. (2007) The business of biotechnology. *Ind. Biotechnol.*, **3**, 269–283.

[٥] Soetaert, W. and Vandamme, E.J. (eds) (2008) *Biofuels*, Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

[٦] Gavrilescu, M. and Chisti, Y. (2005) Biotechnology: a sustainable alternative for chemical industry. *Biotechnol. Adv.*, **23**, 471–499.

[٧] Wilke, T. and Vorlop, K.D. (2004) Industrial bioconversion of renewable resources as an alternative to conventional chemistry. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **66**, 13–142.

[٨] Black, M. and Miller, R. (2006) Platform chemicals from crops. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **81**, 1725–1728.

[٩] Brundtland, C.G. (1987) *Our Common Future. The World Commission on Environmental Development*, Oxford University Press, Oxford.

[١٠] Vos, R.O. (2007) Defi ning sustainability: a conceptual orientation. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **82**, 334–339.

[١١] Eggersdorfer, M., Meyer, J., and Eckes, P. (1992) Use of renewable resources for non-food materials. *FEMS Microbiol. Rev.*, **103**, 355–364.

[١٢] Goldberg, I., Rokem, J.S., and Pines, D. (2006) Organic acids: old metabolites, new themes. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **81**, 1601– 1611.

[١٣] Campbell, C. (1998) The future of oil. *Energy Explor. Exploit.*, **16**, 125–152.

[١٤] Okkerse, H. and Van Bekkum, H. (1999) From fossil to green. *Green Chem.*, 107–114.

[١٥] Vandamme, E., Cerdobbel, A., and Soetaert, W. (2006) Biocatalysis on the rise. Biocatalysis on the rise: part 11. Applications. *Chem. Today*, **24**, 57–61.

[١٦] Demain, A.L. (2000) Small bugs, big business: the economic power of the microbe. *Biotechnol. Adv.* ,**18**, 499–514.

[١٧] Griffiths, M. (ed.) (2001) The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability, OECD report, http:// www1.oecd.org/publications/e-book/301061e.pdf.

[١٨] Wuebbles, D.J. and Jain, A.K. (2001) Concerns about climate change and the role of fossil fuel use. *Fuel Proc. Technol.*, **71**, 99–119.

[١٩] Rass-Hansen, J., Falsig, H., Jorgensen, B., and Christensen, C.H. (2007) Bioethanol: fuel or feedstock? *J. Chem.Technol. Biotechnol.*, **82**, 329–333.

[٢٠] Poincet, T. and Parris, K. (eds) (2004) Biomass and Agriculture. Sustainability, Markets and Policies, OECD report, http://www1.oecd.org /publications/e-book/5104011E.PDF.