بسم الله الرحمن الرحيم

أساسيات التقنية الحيوية الغذائية

تأليف

Byong H. Lee

ترجمة

أ. د. السيد أحمد السيد أحمد

أستاذ التقنية الحيوية الصناعية

كرسي أبحاث المنتجات الحيوية – كلية العلوم – جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٣هـ (٢٠٢٢م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

لي، بيونج هـ.

أساسيات التقنية الحيوية الغذائية / بيونج هـ. لي؛ السيد أحمد السيد أحمد - الرياض، ١٤٤٣هـ.

٨٣٦ ص ؛ ١٧ × ٢٤ سم

ردمك: ٠-٠٠٩-٥١٠-٦٠٣-٩٧٨

١- التقنية الحيوية أ. أحمد، السيد أحمد (مُتَرجِم) ب. العنوان

ديوي ٥٧٤ ١٤٤٣/٨٥٧

رقم الإيداع: ١٤٤٣/٨٥٧

ردمك: ٠-٠٠٩-٥١٠-٦٠٣-٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Fundamentals of Food Biotechnology
By: Byong H. Lee
© World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015.
وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه الثامن عشر للعام الدراسي ١٤٢٢ هـ المعقود بتاريخ ١٤/ ٩/ ١٤٤٢ هـ الموافق ٢٦/ ٤/ ٢٠٢١ م.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يُسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأيِّ شكل وبأيِّ وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

نبذة عن المترجم

السيد أحمد السيد أحمد هو أستاذ التقنية الحيوية الصناعية المشارك، بكرسي أبحاث المنتجات الحيوية، قسم علم الحيوان، جامعة الملك سعود. كما يشغل وظيفة أستاذ باحث بقسم كيمياء المنتجات الطبيعية والميكروبية بالمركز القومي للبحوث (جمهورية مصر العربية). لديه اهتمامات واسعة في مجال تطوير العمليات الحيوية، التخمير، المحفزات الحيوية، وتطوير وتحسين إنتاج نواتج الأيض الأولية والثانوية والبروتينات باستخدام تقنيات زراعة الكائنات الدقيقة والخلايا الثديية والنباتية في المخمرات على النطاق المعملي وكذلك النطاق الصناعي حتى ٣٠٠ لتر. لدى الدكتور السيد أحمد السيد العديد من الأبحاث العلمية المتخصصة في مجال التقنية الحيوية الصناعية، كما حصل على براءة اختراع تم تسجيلها في أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية عن فصل الخلايا الثديية في المخمرات متواصلة الزراعة باستخدام الهيدروسيكلون، كما يشارك في هيئات تحرير الكثير من المجلات العلمية المرموقة. حصل الدكتور السيد أحمد السيد على العديد من الجوائز العلمية المرموقة في مجال التقنية الحيوية الصناعية، كما حصل عام ٢٠١٥ على جائزة الملك عبد الله بن عبد العزيز (رحمه الله) العالمية للترجمة عن كتابه "التقنية الحيوية الصناعية: نموٌ مستدام ونجاحٌ اقتصادي" والذي صدر عام ٢٠١٤ عن دار جامعة الملك سعود للنشر بالرياض. كما حصل عام ٢٠١٧ على جائزة جامعة الملك سعود للتميز في الترجمة عن كتابه "تقنيات المعالجة الحيوية في المصافي الحيوية للإنتاج المستدام من الوقود والكيماويات والبوليمرات " والذي صدر عام ٢٠١٧ عن دار جامعة الملك سعود للنشر بالرياض. حصل على درجة البكالوريوس في علم الأحياء الدقيقة من جامعة عين شمس (جمهورية مصر العربية)، ودرجة الماجستير في الكيمياء الحيوية من جامعة القاهرة (جمهورية مصر العربية)، ودرجة الدكتوراه في مجال التقنية الحيوية الصناعية من جامعة براونشفايج

(ألمانيا). عمل الدكتور السيد أحمد السيد بعد الحصول على درجة الدكتوراه في شركة ميلتيني بيوتك للتقنية الحيوية (ألمانيا) على تطوير الإنتاج التخميري للبروتينات البشرية باستخدام الزراعة المتواصلة للخلايا الثديية . وعمل بعد ذلك، قبل التحاقه بجامعة الملك سعود، كأستاذ مشارك في الجامعة الفيدرالية في ريو دي جانيرو (البرازيل).

مقدمة المترجم

منذ بداية القرن الحالي، أدت الاكتشافات الكبرى والتطورات الهائلة في علوم الهندسة الوراثية والتقنية الحيوية إلى زيادة البحوث العلمية وبراءات الاختراع والكتب المخصصة والندوات والمؤتمرات في هذا التخصص. وعلى الرغم من ذلك، لا يزال هناك الكثير المطلوب معرفته عن كيفية تأثير هذه التقنية الحيوية الجديدة على الطرق التقليدية لإنتاج الأغذية والمشروبات. وعلى الرغم من توافر العديد من الكتب المرجعية المتخصصة في علم التقنية الحيوية الغذائية حاليًا، إلا أن معظمها لا يُعَّد مناسبًا كمرجعٍ دراسي متخصص؛ حيث تفتقر معظم هذه الكتب المرجعية إلى الخصائص التعليمية العادية المطلوبة لشرح المصطلحات والمخططات التوضيحية والأطر المرجعية. كما لم تتم أي محاولة لشرح ترجمة المعلومات العلمية الأساسية إلى التطبيقات العملية.

يهدف هذا الكتاب إلى جعل معالجة التقنية الحيوية الغذائية موضوعًا مفهومًا بدلًا من أن يكون شاملاً. كما يقوم الكتاب بتوضيح مختلف المواضيع المتعلقة بالتقنية الحيوية الغذائية، التي عادةً ما تكون منفصلة، وذلك لكي تتناسب معًا في نهاية المطاف لتشكيل صورةٍ أكثر وضوحًا وتثبيتًا في ذاكرة القارئين والدارسين. كما يهدف الكتاب إلى إعطاء القراء وطلاب العلوم العامة، والباحثين المتخصصين، لمحةً عامةً عن السمات الأساسية لعلم التقنية الحيوية الغذائية، التي عادةً ما تكون غير مشمولة في المؤسسات التعليمية الأخرى كمناهج علمية نموذجية.

يبدأ الكتاب بمقدمةٍ بسيطة عن مفهوم التقنية الحيوية وتعريفاتها المختلفة، وسرد مختلف الاكتشافات التاريخية التي حدثت في مجال التقنية الحيوية، وكذلك تعريف مفهوم التقنية الحيوية الغذائية. بعد ذلك يتم تقسيم الكتاب إلى ثلاثة أجزاء رئيسة ومحورية. يتعلق الجزء الأول بالاتجاهات الحديثة والأدوات الجديدة في مجال التقنية الحيوية الغذائية، ويتضمن الفصل الأول من هذا الجزء

شرحًا تفصيليًا للأساسيات والمفاهيم الحديثة التي تشمل علم الأحياء التخليقية، وبيولوجيا الأنظمة، والهندسة الأيضية، والهندسة الحيوية وعمليات تصعيد النطاق، وعلم الديناميكا الحرارية الجزيئية للتقنية الحيوية، وهندسة البروتينات والإنزيمات، وعلم الجينوم، والبروتيوميات والمعلوماتية الحيوية، وأجهزة الاستشعار النانوية الحيوية، والتقنية الحيوية النانوية، وكذلك مفهوم الكبسلة الدقيقة والنانوية. ويتعرض الفصل الثاني لمفاهيم وأدوات تقنية التعديل الوراثي للحمض النووي الديؤكسي ريبوزي (DNA)، مع إعطاء أمثلة على استنساخ الجينات وإنتاج البروتينات المعدلة وراثيًا. ويختص الجزء الثاني من الكتاب بتوضيح مختلف تطبيقات التقنية الحيوية في مجال المنتجات الغذائية، حيث تتعرض الفصول (٣-٥) إلى المنتجات الحيوية القائمة على استخدام الخمائر والسلالات البكتيرية والفطرية، مثل المشروبات، والمخبوزات، والكحولات الصناعية، ومنتجات الألبان واللحوم، ومكسبات الطعم والرائحة، والأحماض الأمينية، والفيتامينات والأصباغ الحيوية، والمضادات الحيوية، والأغذية الوظيفية والمنتجات الغذائية الناتجة من تخميرات الفطريات الصالحة للأكل. ويتم في هذا الجزء شرح هذه العمليات بالتفصيل مع التركيز على عمليات الإنتاج الاقتصادية لها على المستوى الصناعي. ويتعرض الجزء الثالث والأخير من هذا الكتاب إلى التطبيقات الأخرى المحتملة للتقنيات الحيوية الغذائية مثل التقنية الحيوية النباتية، التقنية الحيوية الحيوانية وتطبيقات كلٍ منهما في الاستخدامات اليومية، وكذلك مناقشة القضايا المتعلقة بسلامة الغذاء المعدل وراثيًا الناتج من الكائنات الدقيقة أو النباتات أو الحيوانات المعدلة وراثيًا، وكذلك طرق التقييم والكشف. كما تم أيضًا ادراج بعض الأسئلة والأجوبة في نهاية كل جزءٍ من الأجزاء الثلاثة الرئيسة للكتاب بما يساعد على الفهم الأمثل لمحتوى الكتاب.

تهدف هذه الترجمة إلى اتاحة الفرصة للطلاب المهتمين بدراسة التقنية الحيوية وكذلك الأكاديمين والباحثين المتخصصين في مجال التقنية الحيوية وعلي وجه الخصوص التقنية الحيوية الغذائية للتعرف بصورةٍ شاملة على واحدٍ من أهم تطبيقات التقنية الحيوية، والاتجاهات الحديثة والأدوات المتطورة التي تستخدم في تطبيقات هذا المجال، وكذلك التعرف على مدى تغلغل هذه التقنية في شتى مجالات الحياة اليومية. ونأمل من الله تعالي أن يستفيد منها كل طالب علم يريد أن يتعرف بصورةٍ أدق وأشمل وأعم علي أحد المجالات المهمة المرتبطة بالتقنية الحيوية، وهو مجال التقنية الحيوية الغذائية، والله الموفق.

الرياض ١٣/ ١/ ١٤٤٣ السيد أحمد السيد أحمد

التمهيد

في العقد الماضي حدثت اكتشافات كبرى، وتمَّ إحراز تقدُّم هائل في كلِّ جوانب الهندسة الوراثية والتقنية الحيوية. وينعكس هذا بوضوح في الكم الهائل المنشور من البحوث الأصلية وبراءات الاختراع والكتب العلمية المحكمة، والمؤتمرات العلمية. ومع ذلك، فإن كيفية تأثير هذه التقنية الحيوية الجديدة على الطرق التقليدية لإنتاج الأغذية والمشروبات هي حديث الساعة بصورة مثيرة. في الوقت الحالي تتوفر العديد من الكتب المرجعية المهنية في التقنية الحيوية الغذائية، إلا أنها غير مناسبة للاستخدام كمراجع دراسية. فمعظم هذه الكتب هو نتاج العديد من المشاركين، كما أنها تفتقد المعايير التعليمية العادية اللازمة لتفسير المصطلحات والخرائط والأطر المرجعية. كما أنها لم تحاول شرح وتفسير ترجمة المعلومات العلمية الأساسية إلى التطبيقات العملية. وعلاوةً على ذلك، أصبحت التقنية الحيوية موضوعًا سائدًا، وباعتبارها واحدةً من أكثر العبارات الطنانة التي يُساء استخدامها في العقد الحالي، فإنها الآن تضمُّ مجموعةً ضخمةً من المعلومات. كما يُمثِّل النطاق الواسع لمعلومات هذا الموضوع مشكلةً خطيرةً للمعلمين والطلاب. ما هي الحقائق الأكثر أهميةً للتعلُّم بالنسبة لهم، وما هي الأقل أهميةً؟ كيف يمكنهم تقييم أهمية النظُم الغذائية والمنتجات الغذائية؟ خلال كتابة هذا الكتاب، حاولتُ إبقاء هذه المشاكل نُصب عينيّ، وبالتالي هدفت إلى معالجة التقنية الحيوية الغذائية بصورةٍ مفهومةٍ بدلًا من شاملة. وأرى أنه في نهاية المطاف يمكن أن تتناسب القطع المنفصلة من اللغز معًا، مما يؤدي إلى تشكيل صورةٍ كاملةٍ، تكون أكثر وضوحًا ويسهل حفرها بسهولةٍ في الذاكرة، من التصميم على القطع الفردية. ولقد أوضحت لي الخبرة في تدريس هذا الموضوع أهميةَ شرح المفاهيم الأساسية للتقنية الحيوية – والتي تُعتبر متعددةَ التخصصات بصورةٍ

أساسية – للطلاب الذين يمكن أن يكون لديهم خلفيات محدودة في عمليات تصعيد النطاق في الهندسة الحيوية وأدواتها الجديدة سريعة التطور.

آملُ أن تثبت قيمة هذا الكتاب لكُلٍّ من الطلاب والمعلمين وكذلك للممارسين على المستوى البحثي والصناعي في جوانب محدَّدة من المجال، الذين يبحثون عن رؤية واسعة للتقنية الحيوية الغذائية. يهدف هذا الكتاب إلى إعطاء القرَّاء وطلاب العلوم العامة والباحثين الممارسين، لمحةً عامة عن السمات الأساسية للتقنية الحيوية الغذائية غير المشمولة في المؤسسات الأخرى كمناهج علوم نموذجية. تمت معالجة الموضوعات بانتقائية ضرورية، ولكن يسعى الكتاب لتحقيق التوازن بين التقنيات الحيوية التقليدية مع الجديدة، وكذلك العلوم والهندسة مع تطبيقاتها وإمكاناتها الصناعية. ونظرًا لطبيعة الموضوع متعددة التخصصات، والطبيعة المتداخلة لمبادئ الكيمياء الحيوية وعلم الأحياء الدقيقة والهندسة الكيميائية الحيوية؛ فإن الطبعة الثانية لا تشمل هذا الجزء. بدلًا من ذلك، شمل جزء الاتجاهات والأساليب الجديدة في التقنية الحيوية الغذائية في الباب الأول (الأساسيات والجوانب الحديثة) علم أحياء الأنظمة/ التخليق والهندسة الأيضية، الهندسة الحيوية وعملية تصعيد النطاق، الديناميكا الحرارية الجزيئية للتقنية الحيوية، هندسة البروتينات والإنزيمات، علم الجينومات، البروتيومات والمعلوماتية الحيوية، الحساسات الحيوية والتقنية الحيوية النانوية، استشعار النصاب (تبديد النصاب)، والكبسلة الدقيقة والنانوية. في مفاهيم وأدوات تقنية الحمض النووي الديؤكسي ريبوزي المؤتلف (الفصل الثاني)، تمَّ تضمين أمثلة لاستنساخ الجينات وإنتاج البروتينات المعدَّلة وراثيًّا. في الفصل الخامس، العمليات والمنتجات القائمة على الكائنات الدقيقة الأخرى، تم إضافة جزء جديد للبكتريوسينات (السموم البكتيرية البروتينية) والأغذية الوظيفية والمغذيات، كما تمَّ حذف الجزء الخاص بإدارة النُّفايات وتجهيز الأغذية، والذي سيتم تضمينه في كتابي الذي سيصدر قريبًا بعنوان: "التقنية المتقدمة للتخمير". في الباب الثالث، تضمَّن الفصل السادس التقنية الحيوية النباتية، والتقنية الحيوية الحيوانية، وتقييم السلامة، كما تم تفصيل طُرق الكشف والأقسام الأخرى. وتم إدراج المعلومات الحديثة، وكذلك الأسئلة والأجوبة في جميع الأبواب.

ولا بد لي، بالطبع، من شكر جميع الطلاب الذين ساعدوني في تجميع المواد المستخدمة في التدريس لإنتاج هذا الكتاب. كما أقدِّر كثيرًا مساهمة العديد من العلماء الذين ساعدوا في تجميل

وتنميق هذا الكتاب، عن طريق السماح لي باستخدام جداولهم وأرقامهم في صفحات هذا الكتاب. ولا بد لي من التسليم بجهلي ومحدوديتي المفروضة بطبيعة الحال على كتاب بهذا الحجم، حيث تمت كتابته بواسطة فردٍ واحد.

كما أقدِّم شكري الخاصَّ إلى الطلاب والباحثين في جامعة ماكجيل الذين شاركوني في الطبعة الأولى السابقة؛ الدكتور إس واي بارك والدكتور ج إل بيرجر اللذين ساعداني في كتابة ورسم الأشكال؛ وزملائي الآخرين: ج أرورا، إم توريس، إم بي حبيبي-نجفي؛ وطلاب الدراسات العليا: إم بيليم، إم داجا، ج جيمس، وتي وانج، الذين ساعدوني بطرقٍ عديدة.

الأهم من ذلك كله، أتوجَّه بالشكر إلى البروفيسور جيان تشن (الرئيس)، والبروفيسور جو تشانج دو (العميد)؛ وذلك لدعمهما أثناء إقامتي في كلية التقنية الحيوية في جامعة جيانغنان بالصين وباقي العاملين في الطابق التاسع: الدكتور إف فانج، الدكتور زي كانج، الدكتور إل سونج، الدكتور ج تشانج، الدكتور ج تشو، الدكتور إل ليو، والأستاذ الدكتور ج لي؛ لصداقتهم أثناء غيابي. كما أودُّ خصيصًا أن أشكر الدكتور جازي ساكير؛ لتعليقاته على جزء الهندسة الحيوية/ تصعيد النطاق، وكذلك طلابي: الدكتور تسيشينج دونج، يوسف محمد، ونيستور إيشيموي، وجميع الطلاب الدوليين الذين حضروا مقرراتي في التقنية الحيوية الغذائية والتقنية المتقدمة للتخمير في جامعة جيانغنان.

وأخيرًا وليس آخرًا، أودُّ أن أشكر زوجتي يونج من أجل حبها وتشجيعها؛ كما أشكر وأقدِّر أيضًا أبنائي: إدوارد في تورونتو، وديفيد في نيويورك؛ من أجل صبرهما ومساعدتهما خلال إعداد هذه الطبعة الثانية.

ديسمبر ٢٠١٣ بيونج هـ. لي
ووشي، الصين

ماهي التقنية الحيوية؟
WHAT IS BIOTECHNOLOGY?

نحن في منتصف ثورة صناعية أخرى، تلعب فيها التقنية الحيوية – اعتمادًا على الميكروبات بصورةٍ أساسية – دورًا رئيسًا في إنتاج الأدوية الغريبة والكيماويات الصناعية والمكونات الحيوية والوقود وحتى المواد الغذائية. على الرغم من أن التقنية الحيوية تتضمن الاستخدام المحتمل لجميع الأشكال الحية، إلا أن الكائنات الحية الدقيقة قد لعبت دورًا رئيسًا في تطوُّر هذا المجال، بسبب سهولة النمو الشامل والنمو السريع الذي يحدث في البيئات الغذائية التي تتكون من مواد النُّفايات الرخيصة والتنوُّع الهائل لأنواع التمثيل الأيضي. وتسمح هذه الخصائص بدورها بالاختيار المتنوع من المنتجات المحتملة وتسهيل التلاعب الجيني لتحسين السلالات الميكروبية من أجل المنتجات الجديدة.

وتعني كلمة الحيوية في "التقنية الحيوية" الحياةَ، وتشير إلى الميكروبات والخلايا الحية الأخرى بما في ذلك الخلايا الحيوانية والنباتية. وتشمل التقنية نمو الخلايا الحية في أحواض (مخمرات أو مفاعلات حيوية)، والتي تحتوي على المواد المغذية والأكسجين (إذا لزم الأمر) في الظروف المحددة، ومعاملة المواد الحيوية التي تنتجها الخلايا من خلال تكامُل وتعظيم العملية في ظروف الكفاءة الأعلى بغرض الوصول إلى الاستغلال التجاري. وقد نشأت التقنية الحيوية من خلال التفاعل بين الأجزاء المختلفة لعلم الأحياء والهندسة، واستخدام التقنيات المستمدة من ثلاثة تخصصات معترف بها: الكيمياء الحيوية، والأحياء الدقيقة، وهندسة الكيمياء الحيوية. ومصطلح التقنية الحيوية ليس بجديد، على الرغم من أنه أصبح بالتأكيد سائدًا في السنوات الأخيرة. ويرجع

مصدره إلى الأوقات قبل نزول الإنجيل، ولكن لم يُستخدَم على نطاقٍ واسعٍ حتى فترة ازدهار الجامعة بعد الحرب عام ١٩٥٠-١٩٦٠، عندما ارتفع حجم إنتاج البحوث العلمية والهندسية بشكلٍ كبير. ونتجت تخصصات جديدة من زيادة التخصص. وهكذا نشأت في بدايات ستينيات القرن الماضي، مجموعات بحثية وأقسام جامعية وكذلك مجلات علمية ذات عناوين، مثل: التقنية الحيوية، وهندسة الكيمياء الحيوية، والهندسة الحيوية. ومصطلح "التقنية الحيوية" هو المصطلح الذي استمر عادةً. ويبين جدول (١-أ) أنه قبل القرن العشرين، ضمَّ مجال التقنية الحيوية فقط وتقريبًا العمليات الذاتية. وربما يُعَدُّ إدخال عمليات التغذية الدفعية في إنتاج خميرة الخباز هو نقطة انطلاق العمليات الحيوية المحكومة التي تُسمَّى التقنية الحيوية. وهكذا تشمل التقنيةُ الحيويةُ العديدَ من العمليات التقليدية، مثل: تخمير البيرة والخبز، وصنع النبيذ، وصنع الجبن، وإنتاج صلصة الصويا وتيمبي الصويا (Tempeh)، والعديد من منتجات الأيض الثانوية (المضادات الحيوية، الستيرويدات، السكريات العديدة، إلخ)، والعديد من المكونات الغذائية (الأحماض الأمينية، والنكهات والفيتامينات، والإنزيمات). تقليديًّا، تمَّ تدعيم عملية التقنية الحيوية المعتمدة على التخمر الميكروبي التقليدي، وذلك عن طريق التلاعب الجيني البسيط باستخدام عامل مطفر لتحسين الكائنات الدقيقة من أجل تخمير المواد الغذائية وتعزيز إنتاج المكونات الحيوية. ومع ذلك، لا يمكن تحديد الجين الذي سوف يتأثر بعامل مطفر معين مسبقًا، وسوف يكون من الصعب تفريق العدد القليل من الكائنات المنتجة المتفوقة من بين الكثير من الكائنات متدنية الإنتاج والموجودة بين الناجين من عملية التطفير.

وقد زادت إمكانيات تقنيات التخمير بشكلٍ كبير في أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات من القرن الماضي من خلال الإنجازات في مجال علم الوراثة الجزيئي، التحام الخلايا، وتقنيات الإنزيم. وتأسَّست تقنية حيوية جديدة على أساس هذه الأساليب. ومع ذلك، تمَّ تطوير تقنيات إضافية قوية جدًّا وجديدة تمامًا للتقنية الحيوية من خلال التجارب التي أُجريت في مجال علم الوراثة والبيولوجيا الجزيئية للبكتيريا: المجال الذي يُدعَى الآن الهندسة الوراثية. ويُعَدُّ اكتشاف الهندسة الوراثية عن طريق تقنية الحمض النووي الديؤكسي ريبوزي (الـ DNA) المؤتلف هو المسؤول عن الازدهار الحالي للتقنية الحيوية.

جدول (١-أ). معالم التقنية الحيوية.

التاريخ	المعلم
التقنية الحيوية القديمة	
قبل ٦٠٠٠ قبل الميلاد	خميرة الخبز، المشروبات الكحولية، والخل من العصير المخمر
قبل القرن الرابع عشر	إنتاج البيرة والنبيذ، صناعة الخل (أورليانز)
١٦٥٠	زراعة الفطر القابل للأكل (فرنسا)
١٦٨٠	بداية ظهور خلايا الخميرة بواسطة أنتون فان لوفينهوك
١٨٥٧-١٨٧٦	اكتشاف القدرة التخميرية للميكروبات بواسطة باستير
١٨٨١	الإنتاج الميكروبيولوجي لحمض اللاكتيك
١٨٨٥	النمو الاصطناعي للفطر القابل للأكل (الولايات المتحدة الأمريكية)
القرن التاسع عشر	الإيثانول، حمض الخليك، البيوتانول، إنتاج الأسيتون، معالجة مياه الصرف الصحي، خميرة الخباز، العملية الكبريتية للجلسرين، وحمض الستريك
أربعينيات القرن العشرين	إدخال التعقيم في الزراعة الضخمة للميكروبات لإنتاج المضادات الحيوية (البنسلين، الستربتومايسين، الكلوروتتراسيكلين)، المكونات الحيوية (الأحماض الأمينية، الإنزيمات، الفيتامينات، الستيرويدات، السكريات المتعددة) واللقاحات
١٩٥٣	اكتشاف واطسون وكريك لتركيب الـ DNA
١٩٥٧	تصنيع حمض الجلوتاميك بواسطة كينوشيتا وزملائه
١٩٥٥-١٩٦٠	تصنيع حمض الستريك بواسطة عملية الزراعة المغمورة
التقنية الحيوية الحديثة	
١٩٧٠-١٩٧٢	DNA البلازميد البكتيري وتحويل *E. coli*
١٩٧٣	كسر الحواجز الجينية (إنزيمات التقييد، الليجيز)
١٩٧٤	تعبير الجينات المغايرة في *E. coli*
١٩٧٥	صنع الهيبريدوما (الأجسام المضادة أحادية النسيلة)
١٩٧٨	السوماتوستاتين (أول منتج DNA معدَّل وراثيًّا)
١٩٨٢	الإنسولين البشري المؤتلف (®Humulin)
١٩٨٣	تعبير الجينات المغايرة في النباتات
١٩٨٤	براءة اختراع شركة كوهين/ بوير
١٩٨٥	هرمون النمو البشري المؤتلف (®Protropin)
١٩٨٦	لقاح فيروس الكبد الوبائي ب المؤتلف (Recombivax HB®)، ألفا-إنترفيرون المؤتلف (Roferon A®)
١٩٨٧	منشط بلازمينوجين الأنسجة المؤتلف (®Activase)، التريبتوفان المؤتلف
١٩٨٩	إنترلوكين-٢ المؤتلف (®Proleukin)، جاما-إنترفيرون المؤتلف (®Immuneron)

تابع جدول (١-أ).

التاريخ	المعلم
١٩٨٩-١٩٩١	المنفحة المعدَّلة (جست-بروكاديس، جينينكور، فايزر)، فيتامين ج المؤتلف (جينينكور)، بادئات حمض اللاكتيك المقاوم للفيروس البكتيري
١٩٩٠	خميرة الخباز المحسنة بالنسبة للمالتيز (جست-بروكاديس)
١٩٩٢	الليبيز (Unilever)، أميليز (®Novomil)
١٩٩٤	طماطم الفلافر سافر (كالجين)، السوماتوتروبين البقري المؤتلف، الـ BST (إيلي ليلي، مونسانتو)، خميرة البيرة (كارلسبرج، معهد بحوث التخمير البريطاني)، ديكربوكسيليز الأسيتولاكتات (نوفو ماتوري)
٢٠٠٤	وجود ٤٧ محصولًا معدَّلًا وراثيًّا في الأسواق

وكانت تقنية الـ DNA المؤتلف هي ثمرة البحوث الأساسية على الإنزيمات المقيدة والإنزيمات المشاركة في تضاعف الدنا. ولا توفِّر هذه التقنيات فقط إمكانية تحسين العمليات والمنتجات القائمة فعلًا، ولكنها أيضا تمكِّننا من تطوير منتجات وعمليات جديدة كليًّا لم تكن ممكنة باستخدام تقنيات الطفرة القياسية. وقد أنتجت هذه التقنية الجديدة صناعة جديدة، وحفَّزت إعادة تركيز اتجاهات البحوث للشركات القائمة بصورةٍ مثيرة. لا تُعَدُّ التقنية الحيوية نفسها منتجًا أو مجموعةً من المنتجات مثل الإلكترونيات الدقيقة؛ بدلًا من ذلك، تُعتبر مجموعة من التقنيات التمكينية، والتي سوف تجد التطبيق في العديد من القطاعات الصناعية. وقد تم تعريفها بأشكالٍ كثيرة، ولكنها تنطوي في جوهرها على استخدام الكائنات الحية الدقيقة والخلايا الحيوانية والنباتية:

- لإنتاج السلع والخدمات (التعريف الكندي).
- لاستخدام الجزيئات والتراكيب والخلايا المشتقة من الكائنات الحية، أو الكائنات الحية ذاتها لتنفيذ عملية معينة (تعريف الولايات المتحدة الأمريكية).
- للاستخدام المتكامل للكيمياء الحيوية، الأحياء الدقيقة، والهندسة الكيميائية؛ من أجل تحقيق التطبيق الصناعي للميكروبات وخلايا الأنسجة المزروعة (تعريف الاتحاد الأوروبي).

ما هي التقنية الحيوية الغذائية؟
WHAT IS FOOD BIOTECHNOLOGY?

التقنية الحيوية الغذائية هي استخدام أساليب التقنية الحيوية الحديثة لتصنيع وتجهيز الأغذية. ويُعَدُّ تخمير المواد الغذائية (التي تُعتبر أقدم عملية تقنية حيوية)، والإضافات الغذائية، وكذلك زراعة الخلايا النباتية والحيوانية، من ضمن هذه العمليات. وقد أدخلت التطورات الجديدة في تقنيات عمليات التخمير والإنزيمات والهندسة الوراثية وهندسة البروتينات والهندسة الحيوية والعمليات المشتملة على الأجسام المضادة وحيدة النسيلة، أبعادًا مثيرة للتقنية الحيوية الغذائية. على الرغم من أن الزراعة التقليدية وإنتاج المحاصيل لا تُعتبر من مجالات التقنية الحيوية الغذائية بصورةٍ عامة، إلا أنه من المتوقع أن تصبح التقنية الحيوية الزراعية (مثل الأغذية الحيوانية والنباتية) "محركًا" متزايد الأهمية في التنمية لصناعة الأغذية الزراعية. ومع ذلك، تُعتبر التقنية الحيوية الغذائية حقلًا مزدهرًا يسمو على العديد من التخصصات العلمية.

كيف يمكن لهذه التقنيات الجديدة أن تؤثر في نهاية المطاف على إمدادات الغذاء الخاصة بنا؟ سوف تؤثر التقنية الحيوية على إنتاج المواد الخام والتغيير المخطَّط له من حيث خصائصها الغذائية والوظيفية. وهي تؤثر أيضًا على تطوير الإنتاج/ مساعدات التصنيع والمواد المضافة المباشرة التي يمكن أن تُحسِّن من الاستخدام العام للمواد الخام. ويُوضِّح هذا الطبيعة المتنوعة لمجال التقنية الحيوية الغذائية. كما أن الجوانب الجديدة من التقنية الحيوية الحديثة لن تحقِّق بالضرورة ثورة في صناعة الطعام، ولكن من المؤكَّد أنها سوف تلعب دورًا مفيدًا واقتصاديًّا بصورةٍ متزايدةٍ. وقد بدأت حاليًّا تقنيات مثل تقييد الإنزيمات/ أو الخلايا والهندسة الوراثية في التأثير بصورةٍ كبيرة على تجهيز المواد الخام. كما أن هناك إمكانيةً كبيرةً لتطوير أطقم حساسات حيوية يمكن استخدامها في تحليل الأغذية بصورةٍ سريعة وغير

مكلِّفة وحساسة للغاية. كما يمكن الاستفادة من التطورات الجديدة في هندسة الكيمياء الحيوية في الصناعات التي تستخدم الطرق الميكانيكية أو الفيزيائية التقليدية، والتي سوف يتم استبدالها بعمليات حديثة في استرداد المنتجات والتحكم المتقدم لعمليات التخمير. هناك صعوبات عظيمة في التنبؤ بدقة بالفرص الاقتصادية الناجمة عن التقدُّم التقني. ومن المتوقع أن تصل القيمة السنوية للمنتجات المتصلة بالتقنية الحيوية في صناعات الغذاء والشراب إلى ٣٥ مليار دولار بحلول عام ٢٠٠٠، مقارنةً مع الصناعات الدوائية (٢٤ مليار دولار) والسلع الكيماوية (١٢ مليار دولار).

يجب أن تكون التقنية فعَّالةً من الناحية الاقتصادية، ولكن يجب أن تحافظ على القدرة الكبرى للصناعة في العالم على توليد الثروة. كما يجب أيضًا أن تُلبي السياسات المتغيرة في المواد الغذائية بدون إزعاج الفضائل التقليدية للحكمة والجاذبية الطبيعية. وبالتالي، هناك حاجة إلى سياسات واضحة وعقلانية بشأن الوضع التنظيمي لمنتجات الهندسة الحيوية. فالأحكام التنظيمية تتبع نفس الإجراءات المتبعة لتحديد سلامة المنتجات الغذائية المشتقة تقليديًّا، ولكن لا تزال تخضع للتوضيح فيما يتعلق بسلامة النظُم المستنسخة وراثيًّا. وبسبب الاعتراف بأن بعض منتجات الـ DNA المعدَّلة تتواجد بالفعل في السوق بدون أي آثار جانبية؛ لذا خفَّت المخاوف الأولية حول المخاطر الصحية الممكنة، ولا سيما بالنسبة للمكونات الأحادية أو المخاليط الكيميائية المحدَّدة. ومع ذلك، تُعَدُّ قضية سلامة الأغذية الكاملة أكثر صعوبةً منها في حالة مكون غذائي وحيد. على سبيل المثال، يتم استخدام الكيموسين المعدَّل وراثيًّا والناتج من الكائنات الحية الدقيقة لاستبدال منفحة العجل في صناعة الجبن. وقد تمَّ استخدامه في ٦٠٪ من كلِّ الأجبان المصنَّعة منذ عام ١٩٩٠. وتشمل فوائده النقاء والإمدادات المستمرة وخفض التكلفة بنحو ٥٠٪، والإنتاجية العالية من الجبن. في عام ١٩٩٤ تمَّ تسويق طماطم الفلافر سافر المعدَّلة وراثيًّا بواسطة شركة كالجين في الولايات المتحدة الأمريكية بعد عملية قانونية طويلة. توفِّر طماطم الفلافر سافر نكهةً محسنةً ومدة تخزين طويلة. وتجادل شركة كالجين بأن استخدام التقنية الحيوية في حدِّ ذاته لا يُشكِّل مخاطر محددة؛ ولذلك لا ينبغي تمييز المنتجات على أساس طريقة إنتاجها. من ناحيةٍ أخرى، هناك عددٌ من القضايا مثل حدوث الحساسية، ووضع علامات على كل الأطعمة المعدَّلة وراثيًّا، وإدراك المستهلك، فضلًا عن القضايا الأخلاقية والمعنوية، والتي سوف تحتاج إلى مزيد من الموافقات التنظيمية والنقاش العام.

المحتويات
CONTENTS

نبذة عن المترجم ..... هـ

مقدمة المترجم ..... ز

تمهيد ..... ط

ما هي التقنية الحيوية؟ ..... م

ما هي التقنية الحيوية الغذائية ..... ف

الباب الأول: الاتجاهات والأساليب الجديدة في التقنية الحيوية الغذائية ١

الفصل الأول: الأساسيات والجوانب الحديثة ٣

(١,١) تطبيقات التكنولوجيا الحيوية للحيوانات، والنباتات والميكروبات ٣

(١,٢) التنظيم الخلوي وتركيب الغشاء ٨

(١,٣) النمو البكتيري وأدوات التخمير ١٦

(١,٣,١) تصنيف وتكاثر النظم البكتيرية المهمة في التقنية الحيوية ١٦

(١,٣,٢) النمو البكتيري ٢٠

(١,٣,٣) العوامل البيئية التي تؤثر على نمو البكتيريا ٢٤

(١,٤) النمو الفطري وأدوات التخمير ٢٩

(١,٥) التحسين الكلاسيكي للسلالات والأدوات ٣٣

(١,٥,١) الانتقاء الطبيعي والتطفير ٣٣

(٢ ,٥ ,١) إعادة التركيب الجيني..... ٤٣
ملخص ٤٦
(٦ ,١) بيولوجيا الأنظمة/ الأحياء الاصطناعية والهندسة الأيضية..... ٤٨
ملخص..... ٥٦
(٧ ,١) الهندسة الحيوية وعملية تصعيد النطاق ٥٧
(١ ,٧ ,١) العوامل الميكروبية وعوامل هندسة العمليات المؤثرة على الأداء والاقتصاديات ٥٩
(٢ ,٧ ,١) نظم المخمرات والمفاعلات الحيوية..... ٦١
(٣ ,٧ ,١) مفهوم نقل الكتلة ٧٦
(٤ ,٧ ,١) مفهوم نقل الحرارة ٨٢
(٥ ,٧ ,١) ممارسات ونقل الكتلة والحرارة ٨٧
(٦ ,٧ ,١) تصعيد وتقليص نطاق التخميرات..... ١٠٩
(٧ ,٧ ,١) تحديات تصعيد النطاق ١٢٥
ملخص..... ١٣٠
(٨ ,١) الديناميكا الحرارية الجزيئية للتقنية الحيوية ١٣١
(١ ,٨ ,١) طي وثبات البروتين ١٣٣
ملخص..... ١٤٤
(٢ ,٨ ,١) عمليات التجهيز النهائي في البلورة والفصل االلوني ١٤٥
ملخص..... ١٥٠
(٩ ,١) هندسة البروتينات والإنزيمات ١٥٠
ملخص..... ١٥٦
(١٠ ,١) الجينومات والبروتيومات والمعلوماتية الحيوية..... ١٥٧
ملخص..... ١٧٠
(١١ ,١) الحساسات الحيوية والتقنية الحيوية النانوية..... ١٧١
(١ ,١١ ,١) الحساسات الحيوية ١٧١

(٢, ١١, ١) التقنية الحيوية النانوية والحساس الحيوي النانوي ١٧٨
ملخص ١٨٤
(١٢, ١) استشعار وتبديد النصاب ١٨٤
ملخص ١٨٩
(١٣, ١) الكبسلة الدقيقة والنانوية ١٩٠
(١, ١٣, ١) الكبسلة الدقيقة ١٩٣
(٢, ١٣, ١) الكبسلة النانوية ٢٠٦
ملخص ٢٢١
المراجع ٢٢٣

الفصل الثاني: مفاهيم وأدوات تقنية الحمض النووي الديؤكسي ريبوزي المؤتلف ٢٣١
(١, ٢) مفاهيم الجزيئات الكبيرة: الوظيفة والتخليق ٢٣٢
(١, ١, ٢) تضاعف الحمض النووي ٢٣٢
(٢, ١, ٢) مهام الحمض النووي الريبوزي ٢٣٥
(٣, ١, ٢) الجوانب التفصيلية لتخليق البروتين ٢٤٠
(٢, ٢) مفاهيم تقنية الحمض النووي المؤتلف ٢٥٢
(١, ٢, ٢) نيوكلييزات التقييد الداخلية ٢٥٣
(٢, ٢, ٢) ناقلات البلازميد ٢٥٦
(٣, ٢, ٢) الغرض من الاستنساخ الجيني ٢٦٢
(٣, ٢) تحديد تسلسل الحمض النووي ٢٨٢
(٤, ٢) تفاعل إنزيم البلمرة المتسلسل ٢٨٤
(٥, ٢) تقنيات تعديل الحمض النووي ٢٨٨
(١, ٥, ٢) عزل وتنقية الأحماض النووية ٢٨٨
(٢, ٥, ٢) الفصل الكهربي بهلام الأجاروز ٢٩٠

(٣, ٥, ٢) التبقيع والتهجين ٢٩٢
(٦, ٢) استنساخ الجينات وإنتاج البروتينات المؤتلفة ٢٩٣
(١, ٦, ٢) استنساخ وتعبير عن البيتا-جالاكتوسيديز البكتيري في *E. coli* ٢٩٣
(٢, ٦, ٢) استنساخ وتعبير وإنتاج الكيموسين البقري (المنفحة) في خميرة *K. lactis* ٢٩٦
ملخص ٢٩٩
المراجع ٣٠٠

الباب الأول: أسئلة وأجوبة ٣٠١
الباب الثاني: تطبيقات التقنية الحيوية الغذائية ٣٢١
الفصل الثالث: العمليات والمنتجات القائمة على الخمائر ٣٢٣
(١, ٣) الخمائر الغذائية والمشتقات ٣٢٣
(١, ١, ٣) مقدمة ٣٢٣
(٢, ١, ٣) العمليات الصناعية ٣٢١
ملخص ٣٣١
(٢, ٣) المشروبات الكحولية ٣٣٢
(١, ٢, ٣) مقدمة ٣٣٢
(٢, ٢, ٣) إنتاج ومبيعات المشروبات الكحولية الرئيسة ٣٣٣
(٣, ٢, ٣) عمليات الإنتاج ٣٣٥
ملخص ٣٥٣
(٣, ٣) الكحولات الصناعية ٣٥٤
(١, ٣, ٣) مقدمة ٣٥٤
(٢, ٣, ٣) المواد الخام والكائنات الدقيقة ٣٥٥
(٣, ٣, ٣) عمليات الإنتاج ٣٦١
(٤, ٣, ٣) الاقتصاديات ٣٦٣

ملخص ٣٦٤
(٤ , ٣) الخبز والمنتجات المرتبطة ٣٦٥
(١ , ٤ , ٣) مقدمة ٣٦٥
(٢ , ٤ , ٣) المكونات والتركيبات ٣٦٦
(٣ , ٤ , ٣) عمليات الإنتاج ٣٦٩
(٤ , ٤ , ٣) التطورات الجديدة ٣٧١
ملخص ٣٧٢
المراجع ٣٧٣

الفصل الرابع: العمليات والمنتجات القائمة على البكتيريا ٣٧٥
(١ , ٤) منتجات الألبان ٣٧٥
(١ , ١ , ٤) مقدمة ٣٧٥
(٢ , ١ , ٤) المعرفة الأساسية لتصنيع منتجات الألبان ٣٧٩
(٣ , ١ , ٤) نظم التمثيل الغذائي في بكتيريا حمض اللاكتيك ٣٨٧
(٤ , ١ , ٤) التعديل الجيني لبكتيريا حمض اللاكتيك ٣٩٣
(٥ , ١ , ٤) تطبيقات الهندسة الوراثية ٣٩٥
ملخص ٤٠٨
(٢ , ٤) منتجات اللحوم والأسماك ٤٠٩
(١ , ٢ , ٤) مقدمة ٤٠٩
(٢ , ٢ , ٤) منتجات اللحوم المخمرة ٤١٠
(٣ , ٢ , ٤) التطورات الجديدة ٤١٥
(٤ , ٢ , ٤) منتجات الأسماك المخمرة ٤١٦
ملخص ٤٢١
(٣ , ٤) منتجات الخضراوات ٤٢١

(٤,٣,١) مقدمة ٤٢١
(٤,٣,٢) منتجات الخضراوات المخمرة ٤٢٢
(٤,٣,٣) منتجات الصويا المخمرة..... ٤٢٩
(٤,٣,٤) التطورات الجديدة ٤٣٧
ملخص..... ٤٣٨
(٤,٤) الخل والأحماض العضوية الأخرى..... ٤٣٩
(٤,٤,١) مقدمة ٤٣٩
(٤,٤,٢) حمض الخليك ٤٤١
(٤,٤,٣) حمض الستريك ٤٤٣
(٤,٤,٤) حمض اللاكتيك ٤٤٥
(٤,٤,٥) حمض الماليك..... ٤٤٦
(٤,٤,٦) حمض الفيوماريك..... ٤٤٨
ملخص..... ٤٥٠
(٤,٥) الكتلة الحيوية البكتيرية ٤٥١
(٤,٥,١) مقدمة ٤٥١
(٤,٥,٢) الكائنات الدقيقة لإنتاج الكتلة الحيوية ٤٥٢
(٤,٥,٣) المواد الخام لإنتاج الكتلة الحيوية ٤٥٤
(٤,٥,٤) عملية الإنتاج ٤٥٩
(٤,٥,٥) الجوانب الغذائية ٤٦١
(٤,٥,٦) الاقتصاديات والتطورات الجديدة ٤٦٤
ملخص..... ٤٦٦
(٤,٦) السكريات المتعددة..... ٤٦٦
(٤,٦,١) مقدمة ٤٦٦
(٤,٦,٢) السكريات المتعددة الميكروبية..... ٤٦٨

(٤,٦,٣) عملية التخمير ٤٦٩
(٤,٦,٤) السكريات المتعددة البكتيرية ٤٧٢
(٤,٦,٥) السكريات المتعددة الأخرى ٤٨٠
ملخص ٤٨١
المراجع ٤٨٤

الفصل الخامس: العمليات والمنتجات القائمة على الكائنات الأخرى ٤٩١
(٥,١) الإنزيمات ٤٩١
(٥,١,١) مقدمة ٤٩١
(٥,١,٢) إنتاج الإنزيمات ٤٩٤
(٥,١,٣) التطبيقات ٤٩٩
(٥,١,٤) التطورات الجديدة وهندسة البروتينات ٥١٣
(٥,١,٥) الاقتصاديات ٥١٦
ملخص ٥١٦
(٥,٢) المُحليات ٥١٧
(٥,٢,١) مقدمة ٥١٧
(٥,٢,٢) المُحليات الغذائية ٥١٨
(٥,٢,٣) المُحليات عالية الكثافة ٥٢٤
(٥,٢,٤) المُحليات منخفضة السعرات الحرارية ٥٣٣
(٥,٢,٥) التطورات الجديدة ٥٣٥
ملخص ٥٣٥
(٥,٣) النكهات والأحماض الأمينية ٥٣٦
(٥,٣,١) مقدمة ٥٣٦
(٥,٣,٢) النكهات الميكروبية ٥٣٨

(٥,٣,٣) إنتاج المنكهات الإنزيمية ٥٤٩
(٥,٣,٤) الأحماض الأمينية ٥٥١
(٥,٣,٥) الاقتصاديات ٥٥٤
ملخص ٥٥٦
(٥,٤) الفيتامينات والأصباغ ٥٥٧
(٥,٤,١) مقدمة ٥٥٧
(٥,٤,٢) إنتاج الفيتامينات ٥٥٨
(٥,٤,٣) إنتاج الأصباغ ٥٦٥
(٥,٤,٤) الاقتصاديات ٥٧٠
ملخص ٥٧٠
(٥,٥) الفطر القابل للأكل ٥٧١
(٥,٥,١) مقدمة ٥٧١
(٥,٥,٢) الزراعة ٥٧٣
(٥,٥,٣) حفظ السلالات ٥٧٧
ملخص ٥٧٧
(٥,٦) تخمير الكاكاو والشاي والقهوة ٥٧٨
(٥,٦,١) مقدمة ٥٧٨
(٥,٦,٢) تخمير الكاكاو ٥٧٩
(٥,٦,٣) تخمير القهوة ٥٨٣
(٥,٦,٤) تخمير الشاي ٥٨٧
ملخص ٥٩٢
(٥,٧) البكتيريوسينات (السموم البكتيرية البروتينية) ٥٩٣
(٥,٧,١) مقدمة ٥٩٣
(٥,٧,٢) التصنيف ٥٩٣

(٥,٧,٣) طريقة العمل ٥٩٥
(٥,٧,٤) الهندسة الحيوية للبكتيريوسينات ٥٩٩
(٥,٧,٥) تطبيقات البكتيريوسينات ٦٠٢
(٥,٧,٦) الإنتاج التجاري للبكتيريوسينات ٦٠٩
ملخص ٦١٠
(٥,٨) الأغذية الوظيفية والمغذيات الصيدلانية ٦١١
(٥,٨,١) البروبيوتيك والبريوبيوتيك ٦١٤
(٥,٨,٢) تنظيم الادعاءات الصحية ٦٣٣
ملخص ٦٣٣
المراجع ٦٣٤

الباب الثاني: أسئلة وأجوبة ٦٤٧
الباب الثالث: التطبيقات الأخرى المحتملة للتقنية الجديدة ٦٧٧
الفصل السادس: التقنية الحيوية النباتية، والحيوانية، وتقييم السلامة ٦٧٩
(٦,١) التقنية الحيوية النباتية ٦٧٩
(٦,١,١) مقدمة ٦٧٩
(٦,١,٢) زراعة الخلايا النباتية والأنسجة النباتية ٦٨٢
(٦,١,٣) زراعة النبات ٦٨٥
(٦,١,٤) تطبيقات زراعة الخلايا والأنسجة النباتية ٦٩١
ملخص ٧٠٣
(٦,٢) التقنية الحيوية الحيوانية ٧٠٤
(٦,٢,١) مقدمة ٧٠٤
(٦,٢,٢) الحيوانات المعدلة وراثيًّا ٧٠٥
(٦,٢,٣) زراعة الخلايا الحيوانية ٧١٣

ملخص ٧٣٠
(٦,٣) قضايا سلامة الأغذية في التقنيات الحيوية الجديدة ٧٣١
(٦,٣,١) مقدمة ٧٣١
(٦,٣,٢) تقييم سلامة المنتجات الغذائية الجديدة ٧٣٣
(٦,٣,٣) الكائنات الدقيقة المعدَّلة وراثيًّا ومنتجاتها ٧٣٥
(٦,٣,٤) النباتات المعدَّلة وراثيًّا ومنتجاتها ٧٣٩
(٦,٣,٥) الحيوانات المعدَّلة وراثيًّا ومنتجاتها ٧٤٧
(٦,٣,٦) أساليب الكشف عن المحاصيل المعدَّلة وراثيًّا ٧٤٩
(٦,٣,٧) طُرق الكشف عن الحيوانات والأسماك المعدَّلة وراثيًّا ٧٥٨
(٦,٣,٨) الاحتواء: المادي والبيولوجي ٧٦٠
(٦,٣,٩) الوعود والقيود ٧٦١
ملخص ٧٦٣
المراجع ٧٦٥

الباب الثالث: أسئلة وأجوبة ٧٧١
ثبت المصطلحات ٧٧٩
أولًا: عربي – إنجليزي ٧٧٩
ثانيًا: إنجليزي – عربي ٧٩٣
كشاف الموضوعات ٨٠٧