مجمع الفقه الإسلامي الدولي
International Islamic Fiqh Academy
Académie Internationale du Fiqh Islamique

منظمة التعاون الإسلامي
Organisation of Islamic Cooperation
Organisation de Coopération Islamique

الندوة الفقهية

حكم الشرع في تناول وتسويق اللحوم المستزرعة، والحشرات، والأغذية المحوَّرة وراثيًّا من أصلٍ حيواني

اللّحوم المستزرعة: المفهوم، الإنتاج، التبعات الصحية والحلال

الدكتور أزورا أميد
المعهد الدولي لأبحاث الحلال والتدريب (INHART)
الجامعة الإسلامية العالمية ماليزيا (IIUM)

21 - 22 ربيع الأول 1446هـ، الموافق 24 - 25 سبتمبر 2024م

جدة - المملكة العربية السعودية

اللّحوم المستزرعة: المفهوم، الإنتاج، التبعات الصحية والحلال

أزورا أميد

المعهد الدولي لأبحاث الحلال والتدريب (INHART)

الجامعة الإسلامية العالمية ماليزيا (IIUM)

جولان كومباك، 53100 كوالا لامبور، ماليزيا

البريد الالكتروني: azuraamid@iium.edu.my

بحث مُترجم من الإنجليزية إلى العربية

ملخص

أثار مفهوم اللّحوم المستزرعة، وهو حل مبتكر للمخاوف المتزايدة حول الأمن الغذائي، الاستدامة، والرفق بالحيوان، نقاشات هامة في مجال الفقه الإسلام، ويتمحور المشكل الذي تتناوله هذه الدراسة حول الشك والغموض في تحديد جواز استهلاك اللّحوم المستزرعة بين المجتمعات المسلمة، علما أن انتاجه يتضمن عمليات بيوتكنولوجية حديثة تختلف اختلافا جذريا عن طرق الذبح التقليدية. إن الهدف من هذا البحث هو تحليل وتقييم نقدي لمدى توافق انتاج اللّحوم المستزرعة مع القوانين الغذائية الإسلامية، مع تركيز خاص على مبادئ الحلال والطيّب. منهجيا، تستخدم هذه الدراسة منهجا نوعيا، وتحلل عمليات انتاج اللّحوم المستزرعة جنبا إلى جنب مع المصادر الفقهية التقليدية والفتاوى المعاصرة والآراء العلمية. ويتضمن البحث أيضا تحليلا مقارنة للتبعات الأخلاقية والقانونية والصحية للاستهلاك اللّحوم المستزرعة من منظرور إسلامي وعلمي. وتُظهر النتائج أنه على الرغم من وجود إمكانية لاعتبار اللّحوم المستزرعة حلالا، إلا أنه يجب استيفاء جملة من الشروط الهامة، لا سيما فيما تعلق بمصادر الخلايا ووسائط النمو المستعملة في الإنتاج. تخلص الدراسة إلى أنه، برغم قدرة اللّحوم المستزرعة على تقديم بديل مستدام وأخلاقي للّحوم التقليدية، إلا أن جوازها وفقا للشريعة الإسلامية يتطلب تدقيقا صارما ووضع مبادئ توجيهية واضحة لضمان الالتزام بمبادئ الحلال. تقدم هذه الاستنتاجات أساسا لمزيد من الخطاب بين العلماء المسلمين والعلماء، بهدف سدّ الفجوة بين التطورات التكنولوجية الحديثة والتعاليم الإسلامية التقليدية، والمساهمة أخيرا في تطوير إطار حلال للّحوم المستزرعة.

الكلمات المفتاحية: مختبر، لحم، بيوتكنولوجيا، هندسة الانسجة، حلالا طيبا

Cultured Meat: Concept, Production, Health and Halal Implications

Azura Amid

International Institute for Halal Research and Training (INHART)

International Islamic University Malaysia (IIUM)

Jalan Gombak, 53100 Kuala Lumpur, MALAYSIA

Email: azuraamid@iium.edu.my

Abstract

The concept of cultured meat, an innovative solution to the growing concerns about food security, sustainability, and animal welfare, has raised significant discussions within the realm of Islamic jurisprudence (Fiqh). The problem addressed in this study centers around the uncertainty and ambiguity in determining the permissibility of consuming cultured meat among Muslim communities, given that its production involves modern biotechnological processes that differ substantially from traditional slaughtering methods. The objective of this research is to critically analyze and evaluate the compatibility of cultured meat production with Islamic dietary laws, with a particular focus on the principles of Halal and Tayyib. Methodologically, this study employs a qualitative approach, analyzing the production processes of cultured meat alongside classical Fiqh sources, contemporary fatwas, and scholarly opinions. The research also involves a comparative analysis of the ethical, legal, and health implications of cultured meat consumption from an Islamic and scientific perspective. The findings reveal that while there is potential for cultured meat to be considered Halal, significant conditions must be met, particularly regarding the sources of cells and growth media used in production. The study concludes that, although cultured meat could offer a sustainable and ethical alternative to conventional meat, its permissibility under Islamic law requires rigorous scrutiny and the establishment of clear guidelines to ensure adherence to Halal principles. These conclusions provide a foundation for further discourse among Islamic scholars and scientists, aiming to bridge the gap between modern technological advancements and traditional Islamic teachings, ultimately contributing to the development of a Halal framework for cultured meat.

Keywords: laboratory; meat; biotechnology; tissue engineering; halallan tayyiban

مقدمة

تعريف ومفهوم اللّحوم المستزرعة

يتم انتاج اللّحوم المستزرعة، والمعروفة أيضا باللّحوم المختبرية (Post et al., 2020)، اللّحوم النقية، أو اللّحوم المزروعة في المختبر، عن طريق استزراع الخلايا الحيوانية في بيئة تحت المراقبة. وعلى عكس اللّحوم التقليدية، التي يتم الحصول عليها من الحيوانات المذبوحة، تنشأ اللّحوم المستزرعة عن طريق حصاد خلايا العضلات من حيوان حيّ وتكاثرها في وسط نمو لتشكيل البنية المعقدة لعضلات المواشي (Chriki & Hocquette, 2020). تتضمن هذه العملية عدة خطوات: استخلاص الخلايا الجذعية العضلية، وتزويدها

بالعناصر الغذائية وعوامل النمو، والسماح لها بالتمايز وتشكيل الانسجة العضلية في مفاعل حيوي (Treich, 2021).

كان مفهوم اللّحوم المستزرعة موجودا منذ عقود، مدفوعا بالرغبة في معالجة القضايا الصحية والأخلاقية والبيئية المرتبطة بإنتاج اللّحوم التقليدية (Tuomisto & Teixeira De Mattos, 2011). إن تربية المواشي التقليدية تستهلك الكثير من الموارد، وتساهم بشكل كبير في استخدام الأراضي (Foley et al., 2011)، وانبعاثات الغازات الدفيئة، واستهلاك المياه, وعلى العكس من ذلك، تملك اللّحوم المستزرعة القدرة على التخفيف من حدة الآثار البيئية عن طريق التقليل من الحاجة إلى تربية الحيوانات على نطاق واسع والتقليل من التلوث المرتبط بها وازالة الغابات (Treich, 2021).

علاوة على ذلك، يمكن لانتاج اللّحوم المستزرعة أن يعزز من الأمن الغذائي بتوفير امدادات مستقرة من اللّحوم أقل عرضة لتفشي الأمراض (Espinosa et al., 2020) والاحتباس الحراري. وبما أنها تُنتج في بيئة معقمة، فإن اللّحوم المستزرعة تشكل مخاطر أقل للتلوث بمسببات الأمراض (Jones et al., 2008)، كالإشريكية القولونية (E. coli) والسلمونيلا، وهي شائعة في معالجة اللّحوم التقليدية.

وبالرغم من فوائدها المحتملة، فإن قبول اللّحوم المستزرعة يواجه عدة تحديات. ويمثل التصور العام عقبة كبيرة (Chriki & Hocquette, 2020)، بحيث يبدي الكثير من المستهلكين مخاوفهم حول عدم طبيعية المنتج. وقد أظهرت الدراسات أنه في الوقت الذي يستحسن بعض المستهلكين المزايا الأخلاقية والبيئية للّحوم المستزرعة، يظل البعض الآخر متشككا ويطالب بالمزيد من المعلومات والضمانات حول سلامتها وجودتها (Chriki & Hocquette, 2020).

تمثل اللّحوم المستزرعة ابتكارا واعدا في الصناعة الغذائية، مانحة حلولا لبعض المسائل الملّحة في عصرنا. مع ذلك سيعتمد نجاحها على تجاوز القواعد بما في ذلك البيئة الدينية والتقنية وتحديات قبول المستهلك.

أهمية الدراسة وملائمتها: الإيجابيات والسلبيات

تعرض دراسة اللّحوم المستزرعة إيجابيات وسلبيات بالنسبة للمجتمع المسلم. يتم انتاج هذه اللّحوم عن طريق استزراع الخلايا الحيوانية في بيئة تحت المراقبة، مما يغني عن الحاجة إلى تربية وذبح الحيوانات. ويعالج هذا الابتكار العديد من المخاوف الأخلاقية والبيئية والصحية المرتبطة بإنتاج اللّحوم التقليدية (Treich, 2021).

وتُقدم اللّحوم المستزرعة بديلا أخلاقيا مقنعا لتربية الماشية التقليدية من خلال الاستغناء عن الحاجة إلى ذبح الحيوانات ومن ثمّ التقليل من معاناتها، بما يتماشى والقيم الأخلاقية للعديد من الأديان، بما فيها الإسلام (Hamdan et al., 2018). إضافة إلى ذلك، يتطلب انتاج اللّحوم المستزرعة موارد أقل بكثير كالأرض، الماء والأعلاف، مما يؤدي إلى تأثير بيئي أقل مقارنة بتربية الماشية التقليدية (Tuomisto & Teixeira De Mattos, 2011). ويمكن أن يساعد التقليل من استخدام الموارد في التخفيف من حدّة المشكلات البيئية كانبعاثات الغاز الدفيئ، إزالة الغابات وتلوث المياه (Bryant, 2020). وبالنسبة للمجتمعات المسلمة، يتماشى ذلك مع المبدأ الإسلامي لخلافة الله في الأرض، الذي يؤكد على الاستخدام المسؤول للموارد الطبيعية وحمايتها. علاوة على ذلك ، مع التكنولوجيا المتقدمة، يمكن تطوير اللّحوم المستزرعة لتكون خالية من مسببات الأمراض والملوثات الشائعة في اللّحوم التقليدية، مما يقلل من مخاطر الأمراض المنقولة بالغذاء ومقاومة المضادات الحيوية، وينجم عن ذلك تحسن في نتائج الصحة العامة التي يتردد صداها مع التركيز الإسلامي على النظافة واستهلاك الطعام الصحي (الطيّب) (Treich, 2021; Jones et al, 2008).

ومع ذلك، يواجه قبول اللّحوم المستزرعة داخل المجتمع المسلم العديد من التحديات. ويُعدُ ضمان الحصول على شهادة الحلال أمرا معقدا، حيث يجب أن تستوفي اللحوم المستزرعة شروطا معينة، منها استخدام خلايا من الحيوانات المذبوحة حسب الشعائر الإسلامية واستبعاد المواد المحرمة (المحظورة)، كالدم والمصل المشتق من الحيوانات (Burhanuddin et al., 2023). فضلا عن ذلك، قد يكون بعض المسلمين متشككين (Izhar Ariff Mohd Kashim et al., 2023) حول عدم طبيعية اللّحوم المستزرعة، معتقدين بأن عملية الإنتاج القائمة على المختبر مصطنعة وتثير الشكوك حول مقبوليتها وسلامتها. وهناك أيضًا، نقص محتمل في الوعي والفهم حول اللحوم المستزرعة داخل المجتمع المسلم، مسلطا الضوء على الحاجة إلى توعية حول فوائدها وعمليات إصدار شهادات الحلال الشفافة للحصول على قبول أوسع. وبالنظر إلى هذه الاعتبارات، فإنه من الضروري اجراء مراجعة نقدية أعمق لتقييم شامل للآثار الأخلاقية والبيئية والدينية للّحوم المستزرعة على قبول المستهلكين المسلمين داخل المجتمع الإسلامي.

أهداف البحث

يهدف البحث لدراسة تعريف ومفهوم اللّحوم المستزرعة بفهم عملية انتاجها وتمييزها عن انتاج اللّحوم التقليدية. وسوف يحلل الفوائد البيئية والأخلاقية والصحية المحتملة المرتبطة باللّحوم المستزرعة. إلى جانب ذلك، سيُقوّمُ أهمية وملائمة اللّحوم المستزرعة للمجتمع المسلم من خلال تقييم اعتباراتها الأخلاقية مع المبادئ الإسلامية للرفق بالحيوان، والبحث في الفوائد البيئية وتوافقها مع المفهوم الإسلامي لخلافة الله في الأرض، وتحليل المزايا الصحية للّحوم المستزرعة في سياق قوانين التغذية الإسلامية (الحلال والطيّب). وتبحث الدراسة أيضا تحديد التحديات والمخاوف المرتبطة بقبول اللّحوم المستزرعة بين المسلمين، مركزة على مسائل متعلقة بشهادة الحلال وتصورات الطبيعية ومستوى الوعي والفهم داخل المجتمع المسلم. وأخيرا، تهدف إلى استكشاف العوامل المؤثرة في قبول اللّحوم المستزرعة واقتراح استراتيجيات لتوعية المجتمع المسلم حول فوائدها مع ضمان شفافية عمليات إصدار شهادات الحلال.

المنهجية

تستخدم هذه الدراسة مقاربة نوعية شاملة لمعالجة التقاطع المعقد لانتاج اللّحوم المستزرعة مع الفقه الإسلامي. ويتعمق البحث منهجيا في تعقيدات عمليات انتاج اللّحوم المستزرعة، ممعنا النظر في كل مرحلة من مصادر الخلايا وتكوين وسط النمو إلى المنتج النهائي. ويقترن هذا الفحص التقني مع تحليل شامل لمصادر الفقه الكلاسيكي، التي تقدم المبادئ الأساسية لقوانين التغذية الإسلامية. إضافة إلى ذلك، تستعرض الدراسة الفتاوى المعاصرة الصادرة عن السلطات الإسلامية المعترف بها، وتقدم نظرة شاملة حول كيفية تفسير العلماء المعاصرين وتطبيق الأحكام التقليدية على التكنولوجيات الناشئة كاللّحوم المستزرعة. كما يتم أيضا الأخذ بعين الاعتبار، الآراء العلمية من مختلف التخصصات، بما في ذلك الشريعة الإسلامية والأخلاق وعلم الأغذية، مما يعطي نظرة متعددة التخصصات عن الموضوع. علاوة على ذلك، يُجري البحث تحليلا مقارنا يقارن بين الآثار الصحية والقانونية والأخلاقية المترتبة عن استهلاك اللّحوم المستزرعة من وجهة النظر الإسلامية والآراء العلمية. ويستكشف هذا التحليل الاعتبارات الأخلاقية للرفق بالحيوان والاستدامة البيئية، والتبعات القانونية في ظل الشريعة الإسلامية، والفوائد الصحية والمخاطر المرتبطة باستهلاك اللّحوم المستزرعة. وبدمج هذه الآراء المتنوعة، تهدف الدراسة لتقديم فهم شامل للتحديات والفرص التي تقدمها اللّحوم المستزرعة للمستهلكين المسلمين، والتي تساهم في الأخير في اتخاذ قرارات مستنيرة في اطار قوانين التغذية الإسلامية.

النتائج

تاريخ وتطور اللّحوم المستزرعة

تمت مراجعة تاريخ اللّحوم المستزرعة من قبل (Treich, 2021)، ويعود تاريخ مفهوم اللّحوم المستزرعة إلى بداية القرن العشرين، مع استزراع روس هارسون (Ross Harrison) للخلايا العصبية للضفادع عام 1907 وهي بمثابة تجربة مبكرة مهمة في زراعة الانسجة). لكن لم تبدأ تطورات جادة في مجال اللّحوم المستزرعة حتى أواخر تسعينيات القرن العشرين، مدفوعة إلى حد كبير من قبل وليم فان إيلين (Willem van Eelen) الذي قدم أول براءة اختراع حول طرق انتاج اللّحوم المستزرعة (اللّحوم المستزرعة: وعود). وفي 1998، أجرت وكالة ناسا تجارب لاستزراع لحوم الأسماك الذهبية لاستخدامها المحتمل في السفر إلى الفضاء، مما يمثل لحظة محورية أخرى في أبحاث اللحوم المستزرعة.

وظهرت أولى حالات تقديم اللّحوم المستزرعة للاستهلاك البشري في عام 2003 عندما ابتكر الفنان البيولوجي أورون كاتس (Oron Catts) شرائح لحم ضفادع صغيرة من الخلايا المزروعة، والتي تُقدمت في عشاء متحف في نانت بفرنسا. واكتسب تطوير اللّحوم المستزرعة مزيدا من الزخم في 2005 عندما موّلت الحكومة الهولندية مشروعين بحثيين في هذا المجال. وتم تحقيق انجاز كبير في عام 2013 عندما كشف مارك بوست (Mark Post)، بتمويل من سيرجي برين (Sergey Brin) المؤسس المشارك في غوغل، النقاب عن أول بورغر مستزرع في المختبر بلندن، والذي تم تذوقه علنا والاشادة به لتشابهه مع اللّحوم التقليدية.

منذ ذلك الحين، شهدت صناعة اللحوم المستزرعة تطورات سريعة وازدادت وضوحا. ففي ديسمبر من عام 2020، أصبحت سنغافورة أول دولة توافق على بيع اللّحوم المستزرعة، حيث يتم تقديم دجاج Eat Just (إيت جاست) المستزرع في مطعم. واليوم، تركز العديد من الشركات الناشئة عبر الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي وإسرائيل، وآسيا على تطوير منتجات متنوعة من اللحوم المستزرعة، بما في ذلك لحم البقر ولحم الخنزير والدجاج والأسماك. ويتم دعم هذه الشركات من خلال استثمارات كبيرة من الأفراد وعمالقة صناعة اللّحوم التقليدية.

وعلى الرغم من التقدم الذي حققته الصناعة، ما تزال هناك تحديات، لا سيما ما تعلق بتوسيع نطاق الإنتاج وتخفيض التكاليف، مع ذلك، لا تزال إمكانية تقديم اللحوم المستزرعة لبدائل أخلاقية ومستدامة وقابلة للتوسيع للّحوم التقليدية تدفع عجلة البحث والتطوير المستمرين. يوضح الجدول 1 ملخص تاريخ اللحوم المستزرعة.

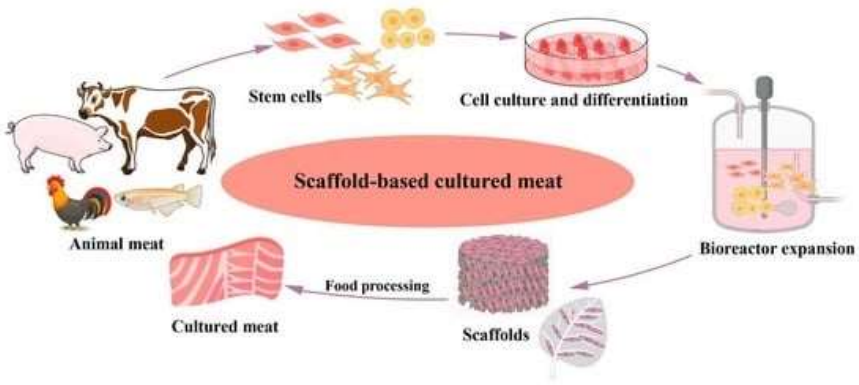
جدول 1: ملخص تاريخ اللحوم المستزرعة

التاريخ/السنة	ملاحظات
1987	أول مرة ذكرت في رواية خيال علمي بعنوان (على كوكبين) Auf Zwei Planeten
1907	قام عالم الأحياء روس هاريسون باستزراع الخلايا العصبية للضفادع في وسط ليمفي (lymph)بجامعة جونز هوبكنز
1931	توقع ونستون تشرشل أنه قد لا تكون هناك حاجة لاستزراع كامل للحيوان من أجل أكل جزء منه فقط.
أواخر 1990	قدم وليم فان إيلين أول براءة اختراع حول طريقة إنتاج اللّحوم المستزرعة.
1998	استزرعت الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (ناسا) لحم السمكة الذهبية في المختبر كجزء من بعض الأبحاث لإنتاج الغذاء للرحلات الطويلة عبر الفضاء
2003	تمكن الفنان البيولوجي أورون كاتس (Oron Catts) من استزراع خلايا من ضفدع وقدمها كشرائح ضفادع صغيرة خلال عشاء متحف في نانت بباريس
2005	موّلت الحكومة الهولندية مشروعين بحثيين حول اللّحوم المستزرعة. حيث تشارك الباحث الطبي مارك بوست (Mark Post) والمؤسس المشارك لشركة Google ، سيرجي برين (Sergei Brin)، لتسريع تطويرها.
2008	أول منشور علمي عن اللّحوم المستزرعة.
2008	نظم معهد البحوث الغذائية في النرويج مؤتمرا حول اللّحوم المستزرعة.
2013	قام بوست في برنامج تلفزيوني بطهي اللحم المستزرع وتذوقه صحفيان علنا، معلنين أنه "كان قريبا من اللّحم".
2020	ظهر أول تسويق لمنتج اللّحوم المستزرعة في ديسمبر 2020 في مطعم بسنغافورة.
مؤخرا	حوالي 50 شركة ناشئة حول اللّحوم المستزرعة وتقع معظم الشركات الناشئة حاليا في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي، مع وجود عدد قليل من الشركات الإضافية في إسرائيل وآسيا.

العلم وراء اللّحوم المستزرعة

عموما، يعتمد انتاج اللّحوم المستزرعة بشكل كبير على التطورات في هندسة الأنسجة وتكنولوجيا الخلايا الجذعية، وتتضمن هندسة الخلايا الجذعية انشاء أنسجة بيولوجية وظيفية من خلال مجموعة من الخلايا والسقالات والجزيئات النشطة بيولوجيا (Tay, 2021). وفي سياق اللّحوم المستزرعة، يمكن الهدف في تكرار البنية المعقدة

وملمس الأنسجة العضلية الحيوانية في بيئة تحت المراقبة دون الحاجة إلى تربية الحيوانات وذبحها. يوضح الشكل 1 الرسم التخطيطي لتطوير اللحوم المستزرعة (Lu et al., 2022).



استزراع الخلايا وتمايزها		خلايا جذعية
اللحوم المستزرعة القائمة على السقالات		
لحوم الحيوانات	توسع المفاعل الحيوي	
	معالجة الأغذية	
لحوم مستزرعة	سقالات	

رسم تخطيطي لتطوير اللحوم المستزرعة (من Lu et al., 2022)

1. استخراج الخلايا الجذعية

تبدأ العملية باستخراج الخلايا الجذعية من حيوان حيّ. ويتم استخدام نوعين أساسين من الخلايا الجذعية: الخلايا الجذعية الجنينية والخلايا الجذعية البالغة. من الناحية النظرية، تتمع الخلايا الجذعية الجنينية بميزة كونها متعددة القدرات، ومعنى ذلك أنها قادرة على التمايز داخل أي نوع من الخلايا. لكن يحدّ الإنجاز التقني والمخاوف الأخلاقية والمسائل التنظيمية من استخدامها (Kadim et al., 2015). بدلا من ذلك، تستخدم أغلب أبحاث اللّحوم المستزرعة الخلايا الجذعية البالغة، وهي متعددة القدرات وقادرة على التمايز داخل مجموعة محدودة من أنواع

الخلايا. إن المصادر الأكثر شيوعا لهذه الخلايا هي خزعات الأنسجة العضلية، حيث يتم حصاد الخلايا الساتلية (وهي نوع من الخلايا الجذعية البالغة).

2. أنواع الخلايا المستخدمة

يتضمن انتاج اللّحوم المستزرعة استخدام أنواع متعددة من الخلايا (Kadim et al., 2015)، ويلعب كل منها دورا أساسيا في تكرار ملمس ونكهة اللّحوم التقليدية. وتمتلك الخلايا العضلية الأولية، وهي خلايا عضلية سليفة، القدرة على التفرع إلى ألياف عضلية ناضجة (خلايا عضلية) وهي أساسية لتطوير الأنسجة العضلية التي تشكل الجزء الأكبر من اللّحوم المستزرعة. في المقابل، تشكّل الخلايا الليفية النسيج الضام وتوفر اطارا هيكليا للخلايا العضلية من خلال انتاج مكونات المصفوفة خارج الخلوية التي تدعم سلامة النسيج ووظيفته. إضافة إلى ذلك، يمكن زرع الخلايا الشحمية، أو خلايا الدهون، مع الخلايا العضلية لتعزيز نكهة وملمس اللحوم المستزرعة، مما يحاكي بشكل فعّال التعرق الدهني الموجود في اللحوم التقليدية.

3. وسائط النمو وشروطه

بمجرد استخراج الخلايا الجذعية، يتم وضعها في وسط نمو يوفر لها العناصر الغذائية الضرورية وعوامل النمو لتكاثر الخلايا وتمايزها. يحتوي وسط النمو عادة على الأحماض الأمينية والفيتامينات والمعادن والجلوكوز والمصل. وتم استخدام مصل الجنين البقري (FBS) على نطاق واسع، لكن أصله الحيواني يثير مخاوف أخلاقية وأخرى تتعلق بالتكلفة (Kolkmann et al., 2022)، ويقوم الباحثون بتطوير وسائط خالية من المصل (Defendi-Cho & Gould, 2023) وبدائل نباتية لمعالجة هذه المسائل.

يتم استزراع الخلايا في المفاعلات الحيوية، والتي توفر بيئة خاضعة للمراقبة لنمو الخلايا. وتنظم المفاعلات الحيوية درجة الحرارة ودرجة الحموضة ومستويات الأكسجين وإمدادات المغذيات لتحسين تكاثر الخلايا وتمايزها. يستخدم إنتاج اللّحم المستزرع أنواعًا مختلفة من المفاعلات الحيوية، حيث يتم تصميم كل منها لتحسين نمو الخلايا وتشكيل الأنسجة (Zhang et al., 2020). إن القوارير الدّوارة هي مفاعلات حيوية بسيطة تثير وسط استزراع الخلايا، وتُبقي الخلايا عالقة وموزعة بالتساوي. وتوفر المفاعلات الحيوية ذات صهريج خفاق نظاما أكثر تقدما مع تحكم أفضل في الظروف البيئية، مما يجعلها مناسبة لرفع مستوى الإنتاج. أما الأنظمة القائمة على السقالات فتستخدم سقالات مصنوعة من مواد قابلة للتحلل الحيوي كالكولاجين أو الألجينات لتوفير بنية ثلاثية الابعاد للخلايا كي تنمو، محاكية بنية الانسجة الطبيعية. إضافة إلى ذلك، تتيح الناقلات الدقيقة – وهي خرزات صغيرة توفر سطحا للخلايا لكي تلتصق وتنمو وهي عالقة – إمكانية استزراع الخلايا بكثافة عالية، مما يعزز من فعالية الإنتاج.

4. التحديات والابتكارات

لا يزال توسيع نطاق انتاج اللّحوم المستزرعة يمثل تحديا كبيرا (Zhang et al., 2020). وينصب التركيز الحالي حول تعزيز فعالية تكاثر الخلايا وتمايزها، وتحسين وسائط النمو، وتطوير أنظمة مفاعلات حيوية فعّالة من حيث التكلفة وقابلة للتوسع. ويتم أيضا استكشاف الابتكارات في مجال الهندسة الوراثية والبيولوجيا التركيبية من أجل تعزيز ... (M. Lee et al., 2024; D. Y. Lee et al., 2022).

5. عملية انتاج اللحوم المستزرعة

تتضمن اللّحوم المستزرعة انتاج اللّحوم عن طريق استزراع خلايا حيوانية في بيئة خاضعة للمراقبة. وتحتوي عملية انتاج اللّحوم المستزرعة على عدة خطوات أساسية. تبدأ بعزل الخلايا، حيث يتم استخراج الخلايا الساتلية

العضلية أو الخلايا الجذعية من حيوان حيّ من خلال خزعة. وهذه الخلايا قادرة على التكاثر والتمايز داخل الخلايا العضلية. وبعد عملية العزل، تتكاثر الخلايا في وسط استزراع غني بالمغذيات، يحتوي على الأحماض الأمينية والفيتامينات والمعادن والكلوكوز وعوامل النمو، ومصل الجنين البقري (FBS) أو بدائله، مما يعزز من نمو الخلايا (Allan et al., 2019). وبمجرد الوصول إلى عدد كاف من الخلايا، يتم حثها على التكاثر داخل الألياف العضلية عن طريق تغيير تركيبة وسط الاستزراع واستخدام عوامل نمو محددة. بعد ذلك، يتم استزراع الخلايا المتمايزة على سقالة، بتوفير البنية الضرورية للخلايا لتشكيل منتج لحوم ثلاثي الأبعاد. وعادة ما تكون هذه السقالات قابلة للتحلل ومصنوعة من مواد مثل الكولاجين والجيلاتين، أو البوليمرات الاصطناعية (Allan et al., 2019) (اعتبارات تصميم المعالجة الحيوية). في الأخير، يتم وضع سقالة البذور الخلوية في مفاعل حيوي، حيث تواصل النمو والنضج لتصبح أنسجة عضلية تحت ظروف خاضعة للمراقبة من حيث درجة الحرارة والأكسجين وإمدادات المغذيات. وتُعتبر المفاعلات الحيوية التي يمكن أن تختلف من حيث التصميم، ضرورية لتوسيع نطاق انتاج اللّحوم المستزرعة. وحالما يصل النسيج العضلي إلى الحجم والنضج المرغوب فيهما، يتم حصاده من المفاعل الحيوي. ويخضع المنتج المحصود للمعالجة ليصل إلى الملمس والنكهة والمظهر المطلوب للّحوم التقليدية.

ومثلما ذكرنا آنفا، تلعب المفاعلات الحيوية دورا أساسيا في استزراع اللحوم المستزرعة بتوفير بيئة خاضعة للمراقبة لنمو الخلايا وتمايزها. ويؤثر اختيار المفاعل الحيوي بشكل كبير على قابلية التوسع وفعالية الإنتاج (Allan et al., 2019). توفّر المفاعلات الحيوية ذات صهريج خفاق (STRs)، الشائعة الاستخدام في انتاج البروتين العلاجي، تحكما جيدا في الخلط والتهوية لكنها تشكل تحديات لانتاج اللّحوم المستزرعة بسبب حساسية القص للخلايا الغضلية المعتمدة على التثبيت. أما المفاعلات الحيوية الموجية، التي توفر خلطا خفيفا عن طريق هزّ كيس الاستزراع، فهي مناسبة للخلايا الحساسة للقص وقابلة للتوسع حتى حجم معين، على الرغم من كونها قد لا تكون مثالية للإنتاج واسع النطاق. وتوفر المفاعلات الحيوية ذات الألياف المجوفة (HFBs) كثافة خلوية عالية وفي ظروف استزراع شبيهة بالاستزراع الحيّ، مما يجعلها واعدة لانتاج اللّحوم المستزرعة، مع ذلك، تتطلب مراقبة دقيقة لمنع المراكز النخرية داخل التجمعات الخلوية. أخيرا، تدعم المفاعلات الحيوية ذات السرير المعبأ (PBBs) كثافات خلوية عالية، وهي مفيدة للخلايا المعتمدة على التثبيت، مما يتيح حلا وسطا بين القابلية للتوسع وحيوية الخلايا. يلخص الجدول 2 مزايا وتحديات نوع المفاعل الحيوي أثناء انتاج اللّحوم المستزرعة.

الجدول 2: نوع المفاعل الحيوي لانتاج اللحوم المستزرعة

نوع المفاعل الحيوي	الوصف	المزايا	التحديات
المفاعلات الحيوية ذات صهريج خفاق (STRs)	الشائعة الاستخدام في انتاج البروتين العلاجي، وتوفر تحكما جيدا في الخلط والتهوية	تحكم جيد في الخلط والتهوية	تحديات مع حساسية القص للخلايا العضلية المعتمدة على التثبيت
المفاعلات الحيوية الموجية	توفر خلطا خفيفا عن طريق هزّ كيس الاستزراع	مناسبة للخلايا الحساسة للقص وقابلة للتوسع حتى حجم معين	قد لا تكون مثالية للإنتاج واسع النطاق
المفاعلات الحيوية ذات الألياف المجوفة (HFBs)	توفر كثافة خلوية عالية وفي ظروف استزراع شبيهة بالاستزراع الحيّ	واعدة لكثافة خلوية عالية وفي ظروف استزراع شبيهة بالاستزراع الحيّ	تتطلب مراقبة دقيقة لمنع المراكز النخرية داخل التجمعات الخلوية
المفاعلات الحيوية ذات السرير المعبأ (PBBs)	تدعم كثافات خلوية عالية وهي مفيدة للخلايا المعتمدة على التثبيت	حل وسط بين القابلية للتوسع وحيوية الخلايا	

يمثل توسيع نطاق انتاج اللّحوم المستزرعة عدة تحديات هامة وجب معالجتها لتحقيق الاستمرارية على نطاق واسع. وتكمن احدى المشكلات الرئيسية في الحفاظ على كثافة خلوية عالية ووظيفتها في أحجام كبيرة، مما يتطلب تصميما دقيقا للمفاعل الحيوي وتحسينه (Zhang et al., 2020). ويُعد التوزيع الفعّال للمغذيات وإزالة النفايات أمرا بالغ الأهمية أيضا، مما يستلزم تصاميم متقدمة للمفاعلات الحيوية تضمن توزيعا موحدا للمغذيات وتسييرا فعالا للنفايات (Allan et al., 2019). إلى جانب ذلك، يجب أن تكون عملية الإنتاج فعالة من حيث التكلفة، مع تركيز الجهود حول التقليل من تكلفة وسائط الاستزراع بتطوير بدائل خالية من المصل وتحسين تركيبات المغذيات

(Defendi-Cho & Gould, 2023). وتعد الأتمتة (التشغيل التلقائي) والمراقبة المستمرة عبر أنظمة المعالجة الحيوية الآلية ضرورية للتقليل من العمالة اليدوية، وتحسين التكاثرية والحفاظ على التحكم في بيئة الاستزراع.

يُعالجُ التقدم التكنولوجي العديد من التحديات في انتاج الحوم المزروعة. ولا يزال تطوير وسائط استزراع خالية من الأمصال وفعالة من حيث التكلفة، والذي يدعم النمو القوي للخلايا، يمثل عقبة رئيسية، حيث أن البدائل الحالية للمصل البقري الجنيني (FBS) غالبا ما تكون ضعيفة الآداء، مما يتطلب مزيدا من البحث والتحسين (D. Y. Lee et al., 2022). ومن الصعب أيضا انشاء سقالات تحاكي بدقة نسيج وملمس اللّحوم الطبيعية، مع كونها قابلة للتحلل الحيوي وآمنة للاستهلاك (Seah et al., 2022). تحتاج المسائل الأخلاقية والتنظيمية، بما في ذلك السلامة، ووضع العلامات، وقبول المستهلك، والمخاوف بشأن استخدام الخلايا الحيوانية والتعديلات الجينية، إلى التعامل معها (Stephens et al., 2018).

تمهد التطورات التكنولوجية الطريق لتحسين إنتاج اللّحوم المستزرعة، وتتيح الابتكارات في البيولوجيا التخليقية (Xu et al., 2024) تصميم خطوط الخلايا المحسنة ووسائط الاستزراع، مما يعزز من الفعالية والقابلية للتوسع. وتعمل تكنولوجيا المفاعل الحيوي، كالمفاعلات الحيوية ذات الاستخدام الوحيد وأنظمة الخلط المتطورة، على تحسين القابلية للتوسع والفعالية من حيث التكلفة (Kurt et al., 2022). يؤدي التشغيل التلقائي (الأتمتة) والذكاء الاصطناعي في المعالجة الحيوية إلى تعزيز التحكم والمراقبة والتحسين، وخفض التكاليف وتحسين اتساق المنتوج (Allan et al., 2019). وعلاوة على ذلك، فإنّ الأبحاث متعددة التخصصات التي تجمع بين هندسة الأنسجة وعلوم المواد وتكنولوجيا الأغذية، تقود الابتكار وتتغلب على تحديات الإنتاج.

بالرغم من أن انتاج اللّحوم المستزرعة يُعد مسعى معقدا وواعدا، إلا أنه يتطلب التغلب على العديد من التحديات التقنية والاقتصادية والتنظيمية. ويُعد التقدم في تصاميم المفاعلات الحيوية، ووسائط الاستزراع، والأتمتة أمرا بالغ الأهمية للإنتاج القابل للتوسع والفعال من حيث التكلفة. وسيكون استمرار البحث المتعدد التخصصات والابتكار التكنولوجي عاملا أساسيا لتحقيق إمكانات اللّحوم المستزرعة كبديل مستدام وأخلاقي، مما يقدم حلولا للمخاوف المرتبطة بالبيئة والأخلاق والصحة العامة في إنتاج اللحوم التقليدية.

جودة وسلامة اللّحوم المستزرعة

تُعد جودة وسلامة اللحوم المستزرعة ضروية من أجل قبولها ونجاحها كبديل حيوي للّحوم التقيدية، ويُعتبر ضمان التزام هذه اللّحوم بالمعايير العالية من حيث المحتوى الغذائي وأنظمة السلامة وتخفيف المخاطر، أمرا أساسيا لكسب ثقة المستهلك وتحقيق اعتماد واسع النطاق.

يمكن تصميم اللّحوم المستزرعة لتتناسب مع المظهر الغذائي للّحوم المستزرعة أو حتى تتجاوزه. ويمكن للباحثين تعديل ظروف النمو والتركيب الجيني للخلايا المستزرعة لتعزيز المحتوى الغذائي للّحوم. على سبيل المثال، يمكن تصميم البروتين في اللّحوم المستزرعة ليكون مشابها للّحوم التقليدية، مما يوفر الأحماض الأمينية اللازمة لصحة الانسان. إضافة إلى ذلك، من خلال مراقبة أنواع الخلايا المستخدمة، مثل دمج المزيد من الخلايا الشحمية وتعديل تكريبة الأحماض الدهنية، يمكن تصميم اللّحوم المستزرعة لتحتوي على دهون صحية كأحماض أوميغا 3 والأوميغا 6 الدهنية، والتي تفيد صحة القلب والأوعية الدموية. علاوة على ذلك، يمكن إضافة الفيتامينات والمعادن كفيتامين B12 والحديد والزنك إلى وسط النمو أو تصميمها في الخلايا، مما يضمن أن توفر اللّحوم المستزرعة نفس محتوى اللّحوم التقليدية من المغذيات الدقيقة أو أحسن منه. لكن يمكن للمصل البقري الجنيني (FBS)

المستخدم أن يتعرض للفيروسات أو البريون المعدي، فضلا عن مخاطر السلامة الأخرى المرتبطة باستخدام الهندسة الوراثية (Hadi & Brightwell, 2021).

ولضمان السلامة، يجب أن يتوافق انتاج اللّحوم المستزرعة مع المعايير والأنظمة الصارمة التي تعالج المخاطر الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية المحتملة. فمن الناحية البيولوجية، يتم انتاج اللّحوم المستزرعة في بيئة معقمة، مما يقلل بشكل كبير من خطر التلوث بمسببات الأمراض كالإشريكية القولونية والسالمونيلا والليستيريا الشائعة في انتاج اللّحوم التقليدية. إن المراقبة المنتظمة ومراقبة الجودة أساسيان للحفاظ على التعقيم طوال العملية. ومن الناحية الكيميائية، يجب أن تكون وسائط النمو والمواد المضافة المستخدمة في انتاج اللّحوم المستزرعة خالية من المواد الكيميائية الضارة ومتوافقة مع أنظمة سلامة الأغذية. ويعمل الباحثون على تطوير وسائط نمو خالية من المصل ونباتية المصدر للتخلص من المكونات المشتقة من الحيوانات، كالمصل البقري الجنيني (FBS)، ومن ثمّ تقليل المخاوف الأخلاقية والملوثات المحتملة (Hadi & Brightwell, 2021). أما من الناحية الفيزيائية، فمن المهم ضمان خلو المعدات والمفاعلات الحيوية من المخاطر كشظايا المعادن والملوثات الأخرى من خلال التفتيش والصيانة المنتظمة لمنشآت الإنتاج.

على الرغم من الفوائد المحتملة، يشكل انتاج اللّحوم المستزرعة بعض المخاطر التي يجب إدارتها. ويُعدُّ الاستقرار الجيني مصدر قلق بما أن استزراع الخلايا المستمر يمكنه أن يؤدي إلى طفرات جينية، والذي من شأنه التأثير على جودة وسلامة اللحوم (Bittante, 2023). يمكن للفحص الجيني المنتظم واستخدام خطوط خلوية قوية التخفيف من حدة هذا الخطر. يمثل نقص المغذيات قضية محتملة أخرى، حيث يمكن للّحوم أن تكون غير كافية من الناحية التغذوية إذا كان وسط النمو يفتقر إلى العناصر التغذوية الأساسية (Treich, 2021). ومن الضروري صياغة ومراقبة وسط النمو بعناية لضمان تلبية اللّحوم المستزرعة للمعايير الغذائية. يلعب التصور العام دورا أيضا، حيث قد تكون لدى المستهلكين مخاوف حول عدم طبيعية اللّحوم المستزرعة وآثارها الصحية على المدى الطويل. ويُعد التواصل الشفاف حول عملية الإنتاج وتدابير السلامة والفوائد التغذوية أمرا أساسيا لبناء ثقة المستهلك. كما يمكن للحملات التوعوية وشهادات الطرف الثالث أن تساعد أيضا في معالجة هذه المخاوف.

تُعتبر جودة وسلامة اللّحوم المستزرعة عوامل أساسية لنجاحها. فمن خلال ضمان مظهر غذائي مماثل أو متفوق، والالتزام بمعايير السلامة وإدارة المخاطر المحتملة بشكل فعال، يمكن لصناعة اللّحوم المستزرعة أن توفر بديلا مستداما وأخلاقيا للّحوم التقليدية. وسيلعب البحث والتطوير المستمران، إلى جانب الاتصال الشفاف والرقابة التنظيمية، أدوارا حاسمة في تحقيق هذه الأهداف وتعزيز قبول المستهلك.

الآثار الصحية لاستهلاك اللّحوم المستزرعة

تقدم اللحوم المستزرعة العديد من الفوائد الغذائية الواعدة، مثل إمكانية الحصول على ملامح دهون مصممة خصيصًا ومحتوى محسن من المغذيات الدقيقة. وبتعديل ظروف النمو والتركيب الجيني للخلايا المستزرعة، يمكن لهذا البديل توفير دهون صحية، كأحماض أوميغا 3 والأوميغا 6 الدهنية والتي تفيد صحة القلب والأوعية الدموية. إضافة إلى ذلك، يمكن إضافة أو تعزيز العناصر الغذائية الأساسية كفيتامينات B12 والحديد والزنك، مما قد يوفر ملامح غذائية فائقة مقارنة باللحوم التقليدية. لكن تظل النقائص المحتملة مصدر قلق (Treich, 2021). إذا كان وسط النمو يفتقر إلى العناصر الغذائية الأساسية، فإن اللّحوم المستزرعة الناتجة قد لا تلبي الاحتياجات الغذائية، مما يستلزم صياغة ومراقبة دقيقية. يتضمن تأثير استهلاك اللّحوم المستزرعة على صحة الانسان آثارا قصيرة وطويلة الأمد. تقترح الدراسات القصيرة المدى أن اللّحوم المستزرعة يمكن أن تكون بديلا صحيا وآمنا للّحوم التقليدية، حيث تشير التجارب الأولى بأنها لا تؤثرسلبيا على المؤشرات الحيوية للصحة أوالحالة الغذائية. وما

تزال التأثيرات طويلة الأمد محل بحث، مع الدراسات الجارية الهادفة إلى تقويم أي تأثيرات محتملة على الصحة العامة ومخاطر المرض على مدى فترات طويلة. وتُعد التجارب السريرية أساسية للتحقق من هذه الادعاءات وضمان سلامة وفعالية اللّحوم المستزرعة كمصدر للغذاء. يرتكز البحث الراهن حول فهم مدى جودة أداء اللّحوم المستزرعة في النظم الغذائية البشرية وتحديد أي مخاطر صحية محتملة. وسيكون التدقيق العلمي المستمر والأدلة من التجارب السريرية أمرا أساسيا لتأكيد السلامة الطويلة الأمد والفوائد الصحية للّحوم المستزرعة، مما يوفر الوضوح حول دورها في الممارسات الغذائية المستقلبية.

قبول المستهلك وإمكانات السوق

يقدم قبول المستهلك وإمكانات السوق بالنسبة للّحوم المستزرعة مجالا مختلطا من الفرص والتحديات لكل من المصنعين والمستهلكين. فالبنسبة للمصنعين، يتمثل التحدي الرئيسي في ارتفاع تكاليف الإنتاج المرتبطة باللّحوم المستزرعة (Ye et al., 2022). ولا تزال التكنولوجيا المطلوبة لاستزراع اللّحوم من خلايا الحيوانات تتطور، ويظل توسيع نطاقها للمستويات التجارية مع ابقائها معقولة التكلفة عقبة كبيرة. إلى جانب ذلك، يُعتبر التعامل مع الأطر التنظيمية المعقدة أمرا بالغ الأهمية، حيث ما تزال الحكومات ووكالات السلامة الغذائية تضع معايير وارشادات لهذا المنتج الغذائي (Post et al., 2020) ويعد ضمان الجودة والسلامة وبناء ثقة المستهلك من المهام الأساسية والصعبة للمنتجين.

أما من وجهة نظر المستهلكين، تتمحور التحديات الرئيسية حول الادراك والقبول (Bryant & Barnett, 2020). فالكثير من المستهلكين ليسوا على دراية باللّحوم المستزرعة، مما يؤدي إلى الشكوكية والمخاوف حول طبيعيتها وسلامتها. ولا تزال هناك شريحة كبيرة من السكان مترددة بشأن استهلاك اللّحوم المستزرعة مخبريا بسبب مخاوف أخلاقية أو بيئية، على الرغم من امكانيتها كبديل أكثر استدامة للّحوم التقليدية (Arango et al., 2023). إنّ حساسية الأسعار هي قضية حرجة أخرى، حيث إذا بقيت اللّحوم المستزرعة أغلى بكثير من اللّحوم التقليدية، فقد تكافح لتحقيق قبول واسع النطاق. ويعد المذاق والملمس عوامل أساسية أيضا والتي ستؤثر على رضى المستهلك، حيث قد يؤدي أي انحراف عن الخصائص المعهودة للّحوم التقليدية إلى رفض من قبل المستهلكين. إن معالجة هذه التحديات أمر ضروري لاعتماد اللّحوم المستزرعة بنجاح، مما يستلزم بذل جهود تعاونية من قِبل كل من المصنعين والمستهلكين لضمان بقائها في المشهد الغذائي في المستقبل.

نقطة التحكم الحرجة، الآفاق المستقبلية والتحديات

1. الحلال ونقاط التحكم الحرجة

يشمل ضمان نزاهة الحلال للّحوم المستزرعة عدة نقاط تحكم حرجة. أولا، تحديد مصادر الخلايا والتحقق من أصالتها، حيث يجب التأكد من أن الخلايا الأولية المستخدمة في الاستزراع تأتي من مصادر حلال أو من أصول غير حيوانية بطريقة متوافقة مع الحلال. ويجب أيضا أن يكون وسط الإستزراع خاليا من المكونات غير الحلال، وخاصة المكونات المشتقة من الحيوانات كالمصل البقري الجنيني (FBS)، لذلك، تحتاج الوسائط النباتية أو الاصطناعية إلى فحص دقيق. بالإضافة إلى ذلك، تُعد نظافة المفاعلات الحيوية والمعدات أمرا حيويا لمنع التلوث بالمواد غير الحلال، مما يستلزم التنظيف والصيانة بشكل منتظم. ويجب أن تضمن عملية المعالجة والتعامل عدم انتقال التلوث بالمنتجات غير الحلال، مما يستلزم مرافق تتوافق مع معايير الحلال. أخيرا، تعدُّ عملية إصدار شهادات حلال قوية، بما في ذلك عمليات التدقيق المنتظمة ووضع العلامات الشفافة، أمرا أساسيا لثقة المستهلك.

2. الآفاق المستقبلية

تعتبر الآفاق المستقبلية للّحوم المستزرعة واعدة بسبب عدة عوامل. ومن المتوقع أن تساهم التطورات التكنولوجية في تصميم المفاعلات الحيوية، وتقنيات استزراع الخلايا، ومواد السقالات في تعزيز فعالية الإنتاج والقابلية للتوسع، مما قد يؤدي إلى خفض التكاليف وتحسين الجودة. ومن المتوقع التوسع في السوق مع تحسن تقنيات الإنتاج، ما يجعل اللحوم المستزرعة أكثر سهولة للوصول إليها وإدخال مجموعة واسعة من المنتجات المتنوعة. وستلعب التطورات التنظيمية دورا محوريا أيضا، حيث ينتظر أن تسهل المبادئ التوجيهية والمعايير الأكثروضوحا دخول السوق وقبولها. كما يمكن لزيادة الوعي والتوعية لدى المستهلكين بشأن فوائد اللّحوم المستزرعة، بما في ذلك المزايا الأخلاقية والبيئية، أن تعزز القبول والتفضيل بشكل أكبر.

3. التحديات

بالرغم من إمكاناتها، تواجه اللّحوم المستزرعة العديد من التحديات. حيث تظّل تكاليف الإنتاج المرتفعة عائقا كبيرا بسبب التكنولوجيا المعقدة ووساط النمو الباهضة الثمن، مما يجعل التقليل من هذه التكاليف للتنافس مع اللّحوم التقليدية أمراً ضروريا. ويعتبر التغلب على الحواجز التنظيمية وإصدار الشهادات تحديا، مما يتطلب جهودا مستمرة لتلبية سلامة الأغذية ومعايير الحلال. ويشكل تصور المستهلك عقبة أخرى، حيث يجب معالجة الشكوك حول طبيعية وسلامة اللّحوم المستزرعة من خلال التواصل والتوعية الفعالين. بالإضافة إلى ذلك ، تعد قابلية التوسع وتطوير البنية التحتية أساسية لتلبية الطلب العالمي مع الحفاظ على الجودة والسلامة، مما يستلزم أنظمة إنتاج وتوزيع قوية.

المراجع

آلان، آس. جي.، دو بانك، بي، آي.، و إليس، أم. جي. (2019). اعتبارات تصميم العمليات الحيوية لانتاج اللّحوم المستزرعة مع التركيز على المفاعل الحيوي التوسعي. في: الحدود في أنظمة الغذاء المستدامة (المجلد3). https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00044

أرانغو ، إل ، سبتيانتو ، ف. ، وبونتيس ، ن. (2023). تحدي تصورات طبيعية اللّحوم المستزرعة: دور عقلية المستهلكين. الشهية ، 190. https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107039

بيتانتي ، ج. (2023). التنوع البيولوجي والجينات الوراثية لجودة لحوم البقر ، مراجعة. في المجلة الإيطالية لعلوم الحيوان (المجلد 22 ، العدد 1).

https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2216712

براينت ، سي ، وبارنيت ، ج. (2020). قبول المستهلك للّحوم المستزرعة: مراجعة محدثة (2018-2020). في العلوم التطبيقية (سويسرا) (المجلد 10 ، العدد 15). https://doi.org/10.3390/app10155201

برهان الدين ، إ. ه. ، محمد شكري ، أ. س. ، أبو بكر ، م. ب. ، محمد شهيد ، م. ، وآدم ، أ. ر. (2023). اللّحوم المستزرعة: تقدير من الفقه والآراء الصوفية للعلماء المسلمين. المجلة الماليزية للشريعة والقانون ، 11 (1). https://doi.org/10.33102/mjsl.vol11no1.373

كريكي ، س. ، وهوكيت ، جي إف (2020). أسطورة اللّحوم المستزرعة: مراجعة. في: الحدود في التغذية (المجلد 7). https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007

ديفندي تشو ، جي ، وجولد ، تي إم (2023). الاستزراع المخبري للخلايا الليفية البقرية باستخدام وسائط مختارة خالية من المصل تستكمل بمستخلص شلوريلا الشائع BMC .التكنولوجيا الحيوية ، 23 .(1)
https://doi.org/10.1186/s12896-023-00774-w

إسبينوزا ، ر. ، تاجو ، د. ، وتريتش ، ن. (2020). الأمراض المعدية وإنتاج اللّحوم. اقتصاديات البيئة والموارد ، 76 (4). https://doi.org/10.1007/s10640-020-00484-3

فولي ، ج. أ. ، رامانكوتي ، ن. ، براومان ، ك. أ. ، كاسيدي ، إي إس ، جربر ، ج. س. ، جونستون ، م. ، مولر ، إن دي ، أوكونيل ، سي ، راي ، دي كيه ، ويست ، بي سي ، بالزر ، سي ، بينيت ، إي إم ، كاربنتر ، إس آر ، هيل ، جي ، مونفريدا ، سي ، بولاسكي ، إس ، روكستروم ، جي ، شيهان ، جي ، سيبرت ، إس ، ... زاكس ، دي بي إم (2011). حلول لكوكب مستزرع. الطبيعة ، 478 (7369).
https://doi.org/10.1038/nature10452

هادي ، ج. ، وبرايتويل ، ج. (2021). سلامة البروتينات البديلة: الجوانب التكنولوجية والبيئية والتنظيمية للّحوم المستزرعة واللّحوم النباتية وبروتين الحشرات والبروتين أحادي الخلية. الأطعمة ، 10 (6).
https://doi.org/10.3390/foods10061226

إزهار عارف محمد كاشيم ، م. ، عبد الحارس ، أ. أ. ، عبد المطلب ، س. ، أنور ، ن. ، وشهيمي ، س. (2023). وجهات نظر علمية وإسلامية فيما يتعلق بالوضع الحلال للّحوم المستزرعة. في المجلة السعودية للعلوم البيولوجية (مج 30، العدد 1)https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103501 .

جونز ، كيه إي ، باتيل ، إن جي ، ليفي ، إم إيه ، ستوريجارد ، إيه ، بالك ، دي ، جيتلمان ، جي إل ، وداسزاك ، ب. (2008). الاتجاهات العالمية في الأمراض المعدية الناشئة. الطبيعة ، 451 .(7181)
https://doi.org/10.1038/nature06536

كاديم ، آي تي ، محجوب ، أو ، باقر ، إس ، فاي ، بي ، وبورشاس ، ر. (2015). اللّحوم المستزرعة من الخلايا الجذعية العضلية: مراجعة للتحديات والآفاق. في مجلة الزراعة التكاملية (المجلد 14 ، العدد 2).
https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60881-9

كولكمان ، إيه إم ، فان إيسن ، إيه ، بوست ، إم جي ، وموتساتسو ، ب. (2022). تطوير وسط محدد كيميائيا للتوسع المخبري للخلايا الساتلية البقرية الأولية. الحدود في الهندسة الحيوية والتكنولوجيا الحيوية، 10 .
https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.895289

كورت ، ت. ، هوينغ ، ت. ، وأوسترهويس ، ن. (2022). التطبيق المحتمل للمفاعلات الحيوية ذات الاستخدام الواحد في إنتاج اللّحوم المستزرعة. كيمي-إنجينيور-تكنيك ، 94 .(12)
https://doi.org/10.1002/cite.202200151

لي ، دي واي ، لي ، إس واي ، يون ، إس إتش ، جيونج ، جي دبليو ، كيم ، جي إتش ، كيم ، إتش دبليو ، تشوي ، جي إس ، كيم ، جي دي ، جو ، إس تي ، تشوي ، آي ، وهور ، إس جيه (2022). مراجعة الأبحاث الحالية حول المصل البقري الجنيني وتطوير اللّحوم المستزرعة. في علوم الأغذية للموارد الحيوانية (المجلد 42 ، العدد 5). https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e46

لي ، إم ، بارك ، إس ، تشوي ، بي ، تشوي ، دبليو ، لي ، إتش ، لي ، جي إم ، لي ، إس تي ، يو ، كيه إتش ، هان ، دي ، بانج ، جي ، هوانج ، إتش ، كوه ، دبليو جي ، لي ، إس ، وهونغ ، ج. (2024). اللّحوم المستزرعة ذات الخصائص الحسية المخصبة عن طريق تنظيم تمايز الخلايا. اتصالات الطبيعة ، 15 .(1) https://doi.org/10.1038/s41467-023-44359-9

لو ، إتش ، ييننغ ، ك. ، شي ، واي ، ليو ، دي ، وتشن ، كيو (2022). المعالجة الحيوية بواسطة المواد الحيوية للسقالة منزوعة الخلايا في اللّحوم المستزرعة: مراجعة. في الهندسة الحيوية (المجلد 9 ، العدد 12). https://doi.org/10.3390/bioengineering9120787

بوست ، إم جيه ، ليفنبرغ ، إس ، كابلان ، دي إل ، جينوفيز ، إن ، فو ، جي ، براينت ، سي جيه ، نيجويتي ، إن ، فيرزيجدين ، ك. ، وموتساتسو ، ب. (2020). التحديات العلمية والاستدامة والتنظيمية للّحوم المستزرعة. في طبيعة الغذاء (المجلد 1 ، العدد 7). https://doi.org/10.1038/s43016-020-0112-z

سيه ، جي إس إتش ، سينغ ، إس ، تان ، إل بي ، وتشودري ، دي (2022). سقالات لصناعة اللحوم المستزرعة. في مراجعات نقدية في التكنولوجيا الحيوية (المجلد 42 ، العدد 2). https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1931803

ستيفنز ، إن ، دي سيلفيو ، إل ، دانسفورد ، آي ، إليس ، إم ، جلينكروس ، إيه ، وسيكستون ، أ. (2018). جلب اللّحوم المستزرعة إلى السوق: التحديات التقنية والاجتماعية والسياسية والتنظيمية في الزراعة الخلوية. في الاتجاهات في علوم وتكنولوجيا الأغذية (المجلد 78). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.010

تاي ، أ. (2021). التحديات والحلول العلمية لتصنيع اللّحوم المستزرعة. في أخبار الهندسة الوراثية والتكنولوجيا الحيوية.

تريش ، ن. (2021). اللّحوم المستزرعة: الوعود والتحديات. اقتصاديات البيئة والموارد ، 79 (1). https://doi.org/10.1007/s10640-021-00551-3

توميستو ، إتش إل ، وتيكسيرا دي ماتوس ، إم جي (2011). الآثار البيئية لإنتاج اللّحوم المستزرعة. العلوم والتكنولوجيا البيئية ، 45 (14). https://doi.org/10.1021/es200130u

شو ، إكس ، ليو ، إل ، وتشن ، ج. (2024). البيولوجيا التخليقية والغذاء في المستقبل. الصين التكنولوجيا الحيوية ، 44 (1). https://doi.org/10.13523/j.cb.2311100

يي ، واي ، تشو ، جي ، جوان ، إكس ، وصن ، إكس (2022). تسويق منتجات اللّحوم المستزرعة: الوضع الحالي والتحديات والآفاق الاستراتيجية. في أغذية المستقبل (المجلد 6). https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100177

تشانغ ، جي ، تشاو ، إكس ، لي ، إكس ، دو ، جي ، تشو ، جي ، وتشن ، ج. (2020). تحديات وإمكانيات التصنيع الحيوي للّحوم المستزرعة. في الاتجاهات في علوم وتكنولوجيا الأغذية (المجلد 97). https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.026

مجمع الفقه الإسلامي الدولي

International Islamic Fiqh Academy

Académie Internationale du Fiqh Islamique

ص.ب 13719 جدة 21414

المملكة العربية السعودية

هاتف: 6900346 - 6900347 - 2575662 - 6980518 (+96612)

فاكس: 2575661 (+96612)

@iifa.aifi

@iifa_aifi

www.iifa-aifi.org

info@iifa-aifi.org