

## التقنيات الحديثة المستخدمة في كشف غش اللحوم ومنتجاتها

د. الاء محمد سدخان البيضاني<sup>1</sup>، حيدر كاطع حبيب القطيفي<sup>2</sup>

<sup>1</sup> مدرس دكتور قسم علوم الأغذية- كلية الزراعة- جامعة البصرة - جمهورية العراق.

<sup>2</sup> باحث مديرية زراعة محافظة البصرة - وزارة الزراعة - جمهورية العراق.

### الملخص:

في الوقت الحاضر، تتضمن الطرق التقليدية المستخدمة للكشف عن لحوم الماشية والدواجن في الغالب التقييم الحسي الذي يجريه الخبراء، والكشف عن المؤشر الكيميائي، والكشف الميكروبي. وعلى الرغم من أن هذه الأساليب تمتلك دقة جيدة بالثناء في الكشف، فإن تطبيقها يصبح أكثر صعوبة عند تطبيقها على الإنتاج على نطاق واسع من قبل الشركات. بالمقارنة مع طرق الكشف التقليدية، يمكن للتقنيات الحديثة المكتشفة في السنوات الأخيرة تكون ذات مزايا تتسم في الكفاءة العالية والدقة في القياس مع قصر وقت الفحص لذلك كانت محل اهتمام الباحثين على نطاق واسع. بناءً على ذلك، تمثل هذه المقالة تحليلاً للاتجاهات في تطوير أنظمة الاختبار لتحديد اللحوم. تُستخدم أنظمة الاختبار هذه بشكل شائع في مختبرات إنتاج الأغذية والأبحاث. إن أهمية تطوير طرق تحديد أنواع اللحوم لا تتعلق فقط بالقيود الغذائية التي تمارس في بعض الأديان والمتعلقة باستهلاك أنواع معينة من اللحوم، ولكن أيضاً بالجوانب الصحية لإنتاج الغذاء. إذ تقدم هذه المقالة نظرة عامة شاملة على الأساليب الحديثة في الكشف عن غش اللحوم والذي يشمل إما إضافة مادة غير غذائية لزيادة كمية المواد الغذائية الخام أو المواد غير الغذائية المضافة دون قصد. ويشمل غش الأغذية أيضاً أي مواد سامة أو ضارة قد تجعل الغذاء ضاراً بالصحة. ويمكن أن يكون القيمة بمواد أقل تكلفة (أرخص) نسبياً لتحقيق مكاسب اقتصادية غير عادلة. قد يكون هذا الفعل من الغش الغذائي مكسباً اقتصادياً للشركة المصنعة التي تغش الغذاء، في حين أنه يمثل خسارة للمستهلك النهائي للمنتجات. أثناء شراء وتقديم الأغذية المغشوشة، يتأثر المستهلكون بطرق مختلفة؛ قد لا يحصلون على العناصر الغذائية المقصودة، وقد تكون الأغذية المغشوشة غير آمنة لصحتهم ويمكن أن تشكل أيضاً خسارة اقتصادية للمستهلكين. وتشمل هذه الأساليب التقنيات الفيزيائية والكيميائية والكيميائية الحيوية وغيرها. يكون اكتشاف المواد الغذائية المغشوشة أكثر صعوبة عندما يكون لكل من المادة المغشوشة والغذاء نفسه نفس التركيب الفيزيائي الكيميائي تقريباً. يتعارض الغش في الأغذية مع حق المستهلكين في الحصول على أغذية آمنة وذات نوعية جيدة. لذلك، يجب على جميع الأفراد المسؤولين والمنظمات، بما في ذلك الحكومة، الوفاء بمسؤوليتهم عن حماية فعل الغش في الأغذية وفضح الأفعال التي تم تحديدها.

الكلمات المفتاحية: غش اللحوم، التقنيات الحديثة ELISA، SEA، PCR

تاريخ الإيداع: 2024/3/15

تاريخ القبول: 2024/4/23



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص CC

BY-NC-SA 04

## Modern technologies used in detecting adulteration of meat and its products (review)

Dr. A. M. Al-Baidhani<sup>1</sup>, Haider K. Al-Qutaifi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lecturer Doctor, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Basra, Iraq.

<sup>2</sup> Researcher - Basra Agriculture Directorate - Ministry of Agriculture - Iraq

### Abstract:

At present, the traditional methods used for the detection of livestock and poultry meat mostly include sensory evaluation by experts, chemical indicator detection, and microbial detection. Although these methods have commendable detection accuracy, their application becomes more difficult when applied to large-scale production by companies. Compared to traditional detection methods, modern techniques discovered in recent years can have advantages in high efficiency and accuracy in measurement with short examination time, so they have been of widespread interest to researchers. Accordingly, this article represents an analysis of trends in the development of test systems for meat identification. These test systems are commonly used in food production and research laboratories. The importance of developing methods for identifying types of meat relates not only to the dietary restrictions practiced in some religions related to the consumption of certain types of meat, but also to the hygienic aspects of food production. This article provides a comprehensive overview of modern methods for detecting meat adulteration, which includes either adding a non-food substance to increase the amount of raw food or unintentionally added non-food substances. Food adulteration also includes any toxic or harmful substances that may make food harmful to health. Food adulteration can be either the process of adding or removing valuable food ingredients or replacing these valuable ingredients with relatively less expensive (cheaper) ingredients for unfair economic gain. This act of food adulteration may be an economic gain for the manufacturer who adulterates the food, while it represents a loss for the ultimate consumer of the products. While purchasing and serving adulterated food, consumers are affected in different

ways; They may not get the intended nutrients, adulterated food may be unsafe for their health and can also pose an economic loss to consumers. These methods include physical, chemical, biochemical and other techniques. Detecting adulterated food is more difficult when both the adulterated substance and the food itself have approximately the same physicochemical composition. Food fraud interferes with consumers' right to safe, good-quality food. Therefore, all responsible individuals and organizations, including the government, must fulfill their responsibility to protect the act of food fraud and expose the identified acts.

**Key Words:** Meat Adulteration, Modern Detection Techniques, Pcr, Sea, Elisa

Received: 15/3/2024

Accepted: 23/4/2024



**Copyright:** Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

**المقدمة:**

تُعتبر اللحوم غذاءً مهماً للإنسان في كل من البلدان المتقدمة والنامية بسبب محتواها العالي من البروتين والأحماض الأمينية الأساسية والفيتامينات والدهون والمعادن والعناصر الغذائية الأخرى (El-Sheikh *et al.*, 2024). في عام 2017 بلغ إجمالي الإنتاج العالمي من الماشية والدواجن 295,193 مليون طن، مما يجعل اللحوم أكبر منتج زراعي يتم إنتاجه من حيث الحجم (FAO, 2020). يعد تصنيع اللحوم والدواجن أكبر قطاع في صناعة الأغذية الأمريكية، حيث ساهم بمبلغ 1020 مليار دولار في الاقتصاد في عام 2016، مما يوفر أكثر من 5.4 مليون فرصة عمل (NAMI, 2020).

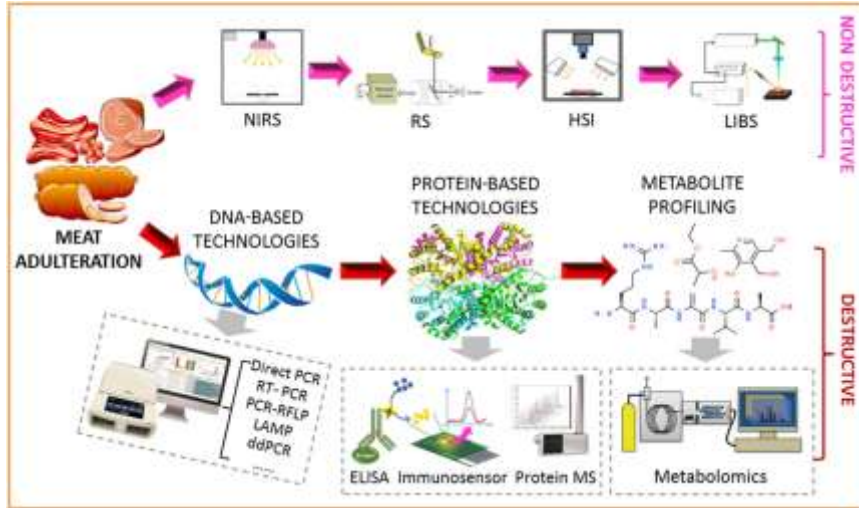
على الرغم من وجود قوانين وطنية ودولية مختلفة للإشراف على جودة وسلامة اللحوم ومنتجاتها، إلا أن غش اللحوم لا يزال منتشرًا على نطاق واسع وان معظم حالات غش اللحوم لها دوافع اقتصادية، مثل إضافة لحم البيط إلى لحم الضأن بتكلفة منخفضة، مما يتسبب في معاناة المستهلكين من خسائر اقتصادية. ترجع كمية صغيرة من الغش إلى التلوث العرضي أثناء المعالجة (Zheng *et al.*, 2019). وفي كلتا الحالتين، قد يؤدي غش اللحوم إلى مخاطر خطيرة على الصحة العامة، مثل التعرض للسموم أو مسببات الأمراض أو المواد المثيرة للحساسية في هذه المنتجات. على سبيل المثال قد تنتقل فيروسات كورونا، مثل متلازمة الشرق الأوسط التنفسية (MERS-CoV) وفيروس كورونا المتلازمة التنفسية الحادة الوخيمة (SARS-CoV)، إلى البشر من خلال استهلاك لحوم الحيوانات البرية المغشوشة بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن ينتهك غش اللحوم أيضًا المخاوف الدينية فمثلًا لحم الخنزير أو المنتجات المرتبطة به غير مقبولة في قوانين الغذاء الحلال والشرائع السماوية (Magiati *et al.*, 2019). بالإضافة إلى ذلك أصبح غش اللحوم مصدر قلق لجميع مصنعي اللحوم على جميع مستويات عملية الإنتاج والتوزيع من المزارعين إلى الجهات التنظيمية ومن المنتجين إلى المستهلكين على الرغم من اعتماد العديد من الاستراتيجيات لضمان صحة اللحوم ومنتجاتها (Abbas *et al.*, 2018).

الغش الغذائي هو فعل متعمد لاستبدال أو إضافة أو التلاعب أو تغيير المواد الغذائية أو المكونات الغذائية أو تغليف المواد الغذائية. ولذلك، يعد منع الغش الغذائي أمرًا ضروريًا لمصنعي المواد الغذائية وتجار التجزئة وسلاسل الوجبات السريعة والمستهلكين. تعد اللحوم من أكثر المواد الغذائية عرضة للغش والذي يكون إما باستبدال اللحوم ذات السعر المرتفع بلحوم أخرى رخيصة في حال اللحم النيء، أو خلطها بلحوم السواقي في حال اللحم المفروم، أو بإضافة بعض المواد النباتية الخام (فول الصويا وغيرها) إلى الخلطات المعدة لتصنيع اللحوم في حال منتجات اللحوم المصنوع (الشيخ واخرون، 2022)، وشهدت صناعة اللحوم طفرة كبيرة في عمليات الغش الغذائي في عام 2013 عندما ظهرت "فضيحة لحم الخيل" تم اكتشافه في أيرلندا وإنجلترا ولوكسمبورغ. كان بركر اللحم المفروم مغشوشًا بما يصل إلى 100% من لحم الخيل المفروم أو لحم الخنزير، وهو ما يتعارض مع بعض الجماعات الأخلاقية والدينية. هذا الحادث أضرت بسمعة منتجي اللحوم وتجار التجزئة في المملكة المتحدة وأيرلندا، وسلطت الضوء أيضًا على الحاجة إلى تقنيات سريعة وفعالة من حيث التكلفة يمكنها التعرف على المواد المغشوشة في اللحوم المفرومة في مراحل المعالجة المبكرة (Spink & Moyer, 2011). تحتوي عضلة اللحم البقري الطازج على ماء 72% بروتين، 21% دهون، 5% كربوهيدرات، 1% ورماد 1%. تشمل منتجات اللحوم المصنعة الرئيسية لحم البقر المفروم، والهامبرغر، وفتائر اللحم البقري، ولحم الخنزير المطبوخ، والنقانق المطبوخة، ولحم الخنزير المقدد، والمنتجات المعلبة، ولحم الخنزير المجفف، والعفن الناضج النقانق، والنقانق شبه الجافة، والنقانق المخمرة الجافة. بالنسبة لفتائر اللحم البقري أو البرغر، تتم إضافة العديد من المكونات إلى اللحم البقري المفروم أثناء المعالجة لتعزيز النكهة واستحلاب الدهون، ولضمان

شكل متناسق عن طريق زيادة خصائص ربط الماء، ولعمل كمواد مائنة وخفض التكلفة، وتشمل هذه المكونات الماء والملح وبروتينات الصويا والقمح الغلوتين، وبروتينات الحليب. عادة ما تتم إضافة المكونات الوظيفية مثل بروتين الصويا المعزول أو بروتينات الحليب المجفف الخالي من الدهون بنسبة 2٪ تقريباً. تتم إضافة موسعات اللحوم وحشوها مثل دقيق الصويا ومركز الصويا والفاصوليا والبالزلاء والعدس ودقيق الحبوب والنشويات بحوالي 15٪. وبالتالي، فإن احتمالية غش منتج اللحوم المصنعة سيتم تحقيقها في الغالب عن طريق إضافة فائض من الحشو مثل القمح بروتينات الغلوتين أو الصويا لأنها أرخص من اللحوم (Rady et al.,2021).

يعد الإشراف الفعال أمراً مهماً للغاية لضمان التطوير المناسب لتصنيع اللحوم، كما تعد تقنيات الكشف السريعة والفعالة والدقيقة والموثوقة بمثابة دعم فني أساسي لتحقيق هذا الهدف. في العقدين الماضيين، تم إنشاء تقنيات الكشف عن أصالة اللحوم ومنتجاتها أو تحسينها لعلامات مختلفة، مثل تفاعلات سلسلة البوليميراز polymerase chain reactions (PCRs) القائمة على الأحماض النووية منقوصة الأوكسجين (DNAs) ، والتقنيات المناعية القائمة على البروتينات، والتقنيات الطيفية الأخرى (الشكل 1) (Li et al.,2020)، وكذلك التقنيات الشائعة لتحديد البروتينات في اللحوم المصنعة مثل الترحيل الكهربائي والمناعي والكروماتوغرافيا. الأمثلة على هذه التقنيات تشمل الكشف عن بروتينات فول الصويا والحليب في فطائر اللحم البقري المعقمة باستخدام SDS-PAGE، واستخدام ELISA لتقدير فول الصويا والبالزلاء. كل هذه التقنيات لها خصائصها الخاصة ولها بعض العيوب فيما يتعلق باكتشاف الغش في اللحوم ومنتجاتها (Rady et al.,2021).

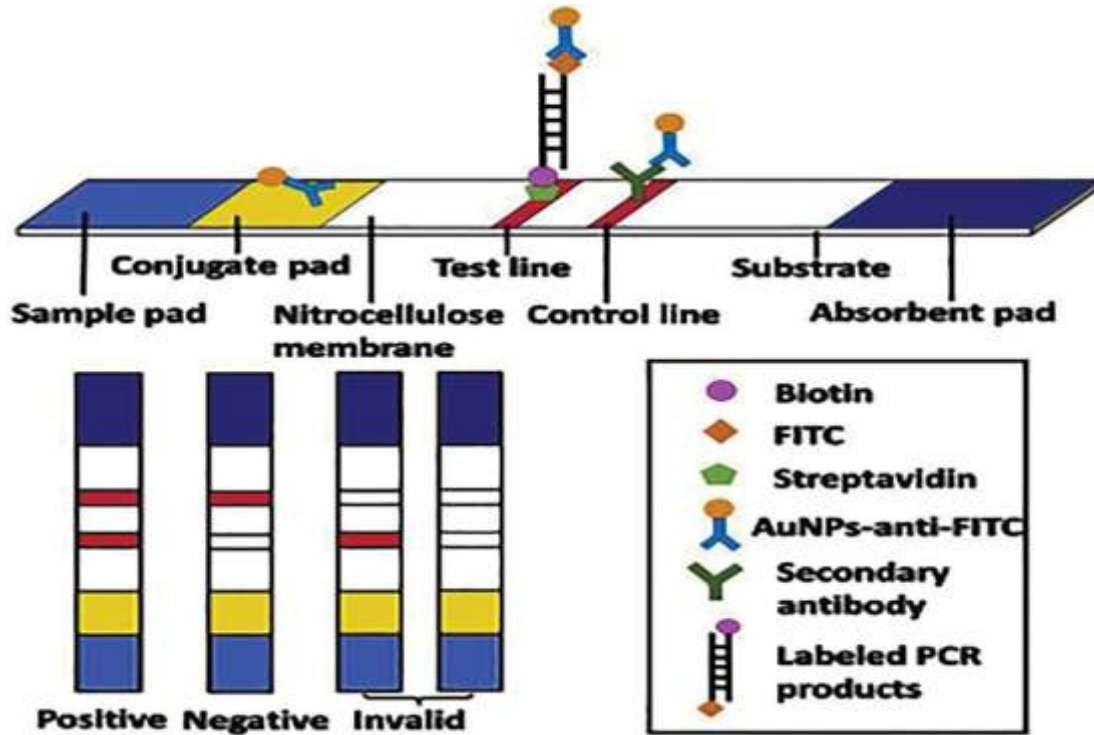
في هذه المقالة تمت مناقشة التطورات الحديثة في تقنيات الكشف بشكل شامل، وتمت مقارنة المزايا والعيوب بين التقنيات. وأخيراً، تمت أيضاً مناقشة وجهات النظر المستقبلية حول تقنيات الكشف عن غش اللحوم. على الرغم من تضمين العديد من الدراسات السابقة، إلا أن هذه المقالة ركزت بشكل أساسي على الدراسات المنشورة منذ ما يقرب من 5 سنوات.



الشكل (1): التقنيات الشائعة المستخدمة للكشف عن غش اللحوم ومنتجات اللحوم (Li et al.,2020)

## من اهم الطرق البيولوجية للتعرف على اللحوم: تفاعلات سلسلة البوليميراز (PCR):

إحدى الطرق الشائعة للبيولوجيا الجزيئية هي تفاعلات سلسلة البوليميراز (PCR)، وهي طريقة معروفة منذ وقت طويل وتتطلب معظم الطرق المعتمدة على تفاعل البوليميراز المتسلسل أو نوع ما من التضخيم متساوي الحرارة، تحضير العينة مباشرة قبل التحليل (التجانس، عزل الحمض النووي). تستخدم بعض أنظمة الاختبار تحديد تسلسل الحمض النووي للميتوكوندريا. في الآونة الأخيرة طور نظام اختبار لتحديد هوية لحم الديك الرومي في المنتجات الغذائية. لم يُظهر هذا النظام التشخيصي أي تفاعل متبادل مع 21 نوعاً آخر من اللحوم الحيوانية الشكل (Zhao et al., 2020). تمكن الباحثون (Yin et al., 2020) من تطوير نظام اختبار PCR على شكل شريط كروماتوغرافي للتعرف السريع على لحم الخنزير. في نظام الاختبار الموصوف، تم إجراء تضخيم وتهجين الأمبليكون (جزء من الحامض النووي أو الحامض النووي الرايبى) مع المسبار خارج شريط الاختبار وتم تحقيق التصور بواسطة شرائط الاختبار من خلال تهجين المنتج الناتج عن تفاعل البوليميراز المتسلسل، إذ اكتشفوا في نظام الاختبار هذا خليطاً بنسبة 0.01% من لحم الخنزير في المنتج الذي تم اختباره خلال 3 دقائق.



الشكل (2): مثال جهاز لنظام اختبار PCR المحمول (Zhao et al., 2020)

ذكروا (Su et al., 2020) بانهم استطاعوا تطوير طريقة للكشف السريع عن منتجات اللحوم المغشوشة للتعرف على لحم الدجاج في منتجات اللحوم المفرومة، إذ اعتمدت الطريقة على تفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR) مع استخدام شريحة (microfluidic). ظهرت حساسية قدرها 0.1 بيكوغرام للحامض النووي للدجاج و0.1% للحوم الدجاج النيئة والمعقمة في عينات مزيج اللحوم الثنائية، استغرقت العملية الكاملة للحصول على النتيجة 25 دقيقة من إعداد العينة حتى الحصول على النتائج. كما قام باحثون

آخرون (2016) Yin *et al.* بتطوير اختبارًا بسيطًا وسريعًا للتعرف على لحم الضأن النيئ والمطبوخ باستخدام شريط اختبار كروماتوجرافي مناعي، اذ بعد PCR تم وضع خليط الاختبار على شريط الاختبار، وكانت نتائج الاختبار متاحة خلال 5 دقائق. كان لهذا النظام حساسية 0.01 بيكوغرام للحامض النووي للأغنام و0.01% للكشف عن اللحوم المغشوشة. تم تطوير طريقة كشف بصري سريعة وحساسة لتحديد أنواع الحوم من قبل (2019) Qin *et al.* اذ جمعت طريقتهم بين تفاعل البوليميراز المتسلسل والتحليل اللوني المناعي للكشف عن لحم البقر في عينات لحم البقر اذ تضمنت الطريقة تضخيم تفاعل البوليميراز المتسلسل المشترك من عينات لحم البقر والبطة وأتاحت هذه الطريقة اكتشاف خليط من اللحوم الأجنبية بنسبة 0.05%. وطورت طريقة تحديد بصري تعتمد على التحليل اللوني المناعي للتعرف على لحوم الخيول ولحم الخنزير، بالإضافة إلى المخاليط الثنائية من لحم البقر والضأن (2019) Magiati *et al.* استخدم المؤلفون البادئات المحتوية على بيوتينيل لتضخيم الحامض النووي للحوم الأنواع الحيوانية المختلفة. تعرضت الأمبليكونات المحتوية على البيوتينيل للمعالجة الحرارية للحصول على الحامض النووي المفرد الذين تقطعت بهم السبل. تم تهجين هذا الحامض النووي المفرد الذي تقطعت به السبل باستخدام مسبار قليل النوكليوتيد التكميلي الذي يتميز بتسلسل poly-A في أحد طرفيه. وتم إدخال المنتج المهجن في منطقة الاقتران لشريط الاختبار اللوني المناعي. تم استخدام تسلسلات Poly-T، المثبتة على منطقتي T و C من الحامض النووي وألبومين المصل البقري، ككواشف لتحديد بيولوجي لوجود البنية المهجنة المطلوبة ونتيجة لهذا الإجراء على نظام اختبار poly-A، شكلت أقسام الحامض النووي هياكل مستقرة مع تسلسلات poly-T، مما أدى إلى إنشاء خط لوني مرئي. بالنسبة لهذه الطريقة، استغرق التحليل من 25 إلى 30 دقيقة. كانت الطريقة لديها حساسية بنسبة 0.01% للحامض النووي للحصان و0.02% للحامض النووي لحم الخنزير في مخاليط اللحوم الثنائية. LAMP (التضخيم متساوي الحرارة بواسطة حلقة) هي طريقة لتضخيم الحامض النووي ولا تتطلب دورة حرارية. في هذه الحالة، يعمل تضخيم الحامض النووي عند درجة حرارة ثابتة تتطلب هذه الطريقة أربعة أو ستة بادئات لإكمالها (Kumar & Narsaiyah, 2021).

طور (2019) Magiati *et al.* نظام اختبار يجمع بين طريقة LAMP والتحليل اللوني المناعي اذ تم في المرحلة الأولى إجراء التضخيم متساوي الحرارة، ومن ثم عرض النتائج على نظام الاختبار على شكل شريط. ومكنت هذه الطريقة من اكتشاف خليط بنسبة 0.1% من لحم البقر في كمية من اللحم المفروم، فيما استغرق التحليل 50 دقيقة.

قام (2017) Shi *et al.* وباستخدام نظام اختبار قائم على LAMP للكشف عن DNA البطة. تضمنت الطريقة تضخيم الحامض النووي عند درجة حرارة ثابتة تبلغ 65 درجة مئوية لمدة 30 دقيقة، اذ تمكن الباحثون من تحقيق حساسية قدرها 3 بيكوغرام للحامض النووي للبطة، اذ لاحظوا أن الحساسية كانت أعلى من حساسية تفاعل البوليميراز المتسلسل. قام الباحثون أيضاً بدمج نوعين من طريقة LAMP (باستخدام صبغتين كعلامات فلورسنت).

### طرق تحديد اللحوم التي لا تستخدم طرق التحليل الكروماتوغرافي

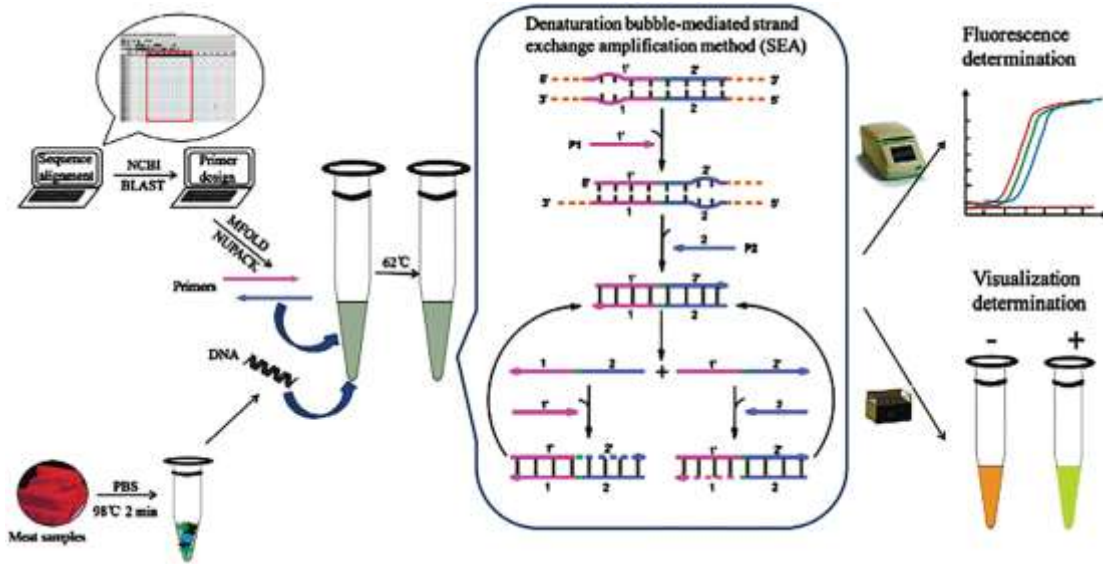
يمكن لأنظمة الاختبار هذه إثبات اكتشاف الألوان للنتائج في الشرائح الدقيقة. أو يمكن على سبيل المثال تشغيل أنظمة الاختبار هذه بمساعدة الجسيمات المغناطيسية. اذ قام (2020) Amine & Seddaoui باستخدام نظام الاختبار هذا وقد سمح باكتشاف خليط لحم الخنزير بنسبة 0.01%، وكان قادرًا على اكتشاف لحم الخنزير على وجه التحديد بين أنواع اللحوم الأخرى (لحم الضأن والديك الرومي والدجاج ولحم البقر).

كما قاموا (Wu *et al.*, 2020) بتطوير نظامًا لونيًا للكشف عن لحم الخنزير في مخاليط اللحوم الثنائية. ومن ميزات نظام الاختبار هذا أنه تم تنفيذ تفاعل البوليميراز المتسلسل في وعاء شعري زجاجي، ويمكن ملاحظة النتائج بعد 20 دقيقة من بدء الاختبار بعد التهجين. بينما تم استخدام صبغة التحليل SYTO 9 لتصوير نتائج PCR.

استخدم (Skouridou *et al.*, 2019) نظام اختبار مطور للكشف عن لحم الخنزير في مخاليط لحم البقر والدجاج باستخدام PCR المدمج والمقاييس المناعية الإنزيمية (اختبار PCR-ELONA). عن طريق تهجين نتائج تفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR)، لاحظ الباحثون تغيرات اللون في خلايا الدرج المناعي، مما جعل من الممكن الحكم على وجود مضافات لحم الخنزير في العينات التي تم تحليلها. تراوحت حساسية الطريقة من 71 إلى 188 بيكوغرام من الحامض النووي الجينومي.

بينو (Lee *et al.*, 2016) طريقة للتعرف السريع باستخدام مقياس الألوان المحمول. اعتمدت هذه الطريقة على طريقة LAMP وكانت قادرة على اكتشاف 1 بيكوغرام من الحامض النووي لحم الخنزير أو 0.1% من خليط لحم الخنزير في اللحم المفروم خلال 30 دقيقة. ووجدوا (Wang *et al.*, 2019) طريقة تعتمد على LAMP للكشف عن كميات ضئيلة من لحوم الخيل في منتجات الأغذية. إذ تمكنت هذه الطريقة من الكشف عن وجود 0.1% من اللحوم الأجنبية ولم تظهر أي تفاعل متبادل مع 14 نوعًا حيوانيًا آخر.

قام (Yan *et al.*, 2020) بابتكار اختبارًا للتعرف على خليط لحم البيط. إذ استخدم الباحثون طريقة SEA كأساس لنظام الاختبار ويمكن لهذه الطريقة السريعة العثور على 10 بيكوغرام/ميكروليتر من الحامض النووي للبط أو 0.1% من لحم البيط بشكل مخاليط ثنائية. وكانت نتائج الاختبار متاحة بعد ساعة واحدة، وفي هذا الاختبار لم تكن هناك حاجة إلى خطوة استخراج الحامض النووي (ولكن لا تزال هناك خطوة تحلل الخلية أثناء التحليل). وقد لاحظوا أن قراءة النتائج بطريقتهم يمكن تنفيذها بدون أدوات أو أدوات خاصة، ويمكن إجراؤها بصريًا (الشكل 3).



الشكل (3): مخطط لتحديد وجود غش في منتج اللحوم شبه النهائي باستخدام SEA (Yan *et al.*, 2020)

وجدو (Wang *et al.*, 2019) نظام اختبار يعتمد على SEA وأكمل نظام الاختبار الخاص بهم التحليل في 50 دقيقة وسمح باكتشاف 1% من خليط لحم البقر في خليط البيط البقري. وقد تم استخدام نظام مماثل من قبل (Liu *et al.*, 2019) لتحديد لحم

الخنزير ، اذ كانت فكرة هذه الطريقة هي تحديد وجود تسلسل الحامض النووي للميتوكوندريا الخاص بأنواع معينة. لاحظ المؤلفون أن طريقتهم كانت سريعة، ويمكنها اكتشاف ما لا يقل عن 30 بيكوغرام/ميكروليتر من الحامض النووي لحم الخنزير. تمكنت هذه الطريقة مع طريقة الكشف اللونية (الفلورية) من العثور على خليط من لحم الخنزير بنسبة 1% في خليط ثنائي. تضمنت الطريقة المقترحة بروتوكولاً لعزل الحامض النووي السريع واستغرقت ساعة واحدة. كما وقاما (Montowska & Pospiech, 2013) باختبار إمكانية استخدام البروتين لتحديد أنواع مختلفة من اللحوم. ونتيجة لذلك تم العثور على علامات البروتين المناسبة لتحديد نوع معين من اللحوم قبل وبعد المعالجة الحرارية. في الشكل 3 تم تمييز البروتينات المحددة بملصقات ملونة. يعطي البروتين نمطاً محدداً مصنوعاً من البروتينات المنفصلة. وهذا يسمح بتمييز نوع واحد من اللحوم عن الآخر. يوضح الشكل 3 أن البروتينات العلامة موجودة في البروتين بعد المعالجة الحرارية.

### المقايسة الامتصاصية المناعية للأنزيم المرتبط:

#### Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)

هناك نوعان من تقنيات المقايسة المناعية المستخدمة في الكشف عن غش اللحوم: الأولى هي المقايسة الامتصاصية المناعية للأنزيم المرتبط (The enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) والثانية أجهزة الاستشعار المناعية immunosensors.

ELISA هي طريقة المقايسة المناعية الأكثر تطبيقاً على نطاق واسع للكشف عن غش اللحوم. أثناء اكتشاف ELISA، يتم تحضير اتحاد الإنزيم أولاً باستخدام مستضد معروف أو جسم مضاد ممتز على سطح الطور الصلب، ويمكن أن يرتبط اتحاد الإنزيم بشكل خاص بالعينات التي تحتوي على أجسام مضادة أو مستضدات. بعد الغسل والحضانة، تتم إضافة الركائز وتفاعل اللون، ويرتبط مدى تطور اللون بشكل إيجابي مع كمية الجسم المضاد أو المستضد في العينات (Ha et al., 2019).

طرق ELISA شائعة الاستخدام للكشف عن غش اللحوم هي المباشر Direct ELISA واللايزا الشطيرية ELISA Sandwich واللايزا التنافسية الغير المباشرة indirect competitive ELISA (Seddaoui & Amine, 2020). وبالمقارنة مع تقنيات الكشف المعتمدة على الحامض النووي، تُظهر طرق ELISA بساطة إعداد العينة والتكلفة المنخفضة واستهلاك وقت أقل. وبالإضافة إلى ذلك، لا يتطلب الكشف معدات معقدة ويمكن تنفيذه بسهولة للمراقبة في الموقع (Thienes et al., 2019). باستخدام طرق ELISA المباشرة التي تم تطويرها للأجسام المضادة IgG متعددة النسيلة المضادة للخنزير، والتي تصل إلى 0.01% (وزن / وزن) غش لحم الخنزير في اللحوم النيئة، يمكن تحديدها خلال 14 ساعة و15 دقيقة، لكن وقت الكشف انخفض إلى 45 دقيقة عند استخدام اختبار ELISA. وان طريقة ELISA التي تم تطويرها عن طريق تثبيت معيار IgG وتنافس مع IgG في العينات. لتنفيذ التحديد الكمي السريع وفي الموقع (Mandli et al., 2018)،

التزم الباحثون بتطوير مجموعات ELISA الخاصة بأنواع معينة من غش اللحوم، وتم تطبيق مجموعات الكشف هذه في مصانع تجهيز اللحوم أو الهيئات التنظيمية للأغذية. على سبيل المثال، تم اقتراح طريقة الشطيرية ELISA كطريقة مرجعية لتحديد غش اللحوم الحيوانية في منتجات اللحوم والدواجن المطبوخة والمعلبة من قبل خدمة سلامة الأغذية والتفتيش التابعة لوزارة الزراعة الأمريكية. بالإضافة الى ذلك، تم تطبيق مجموعة ELISA الشطيرية التي تم تطويرها باستخدام تقنية الأجسام المضادة وحيدة



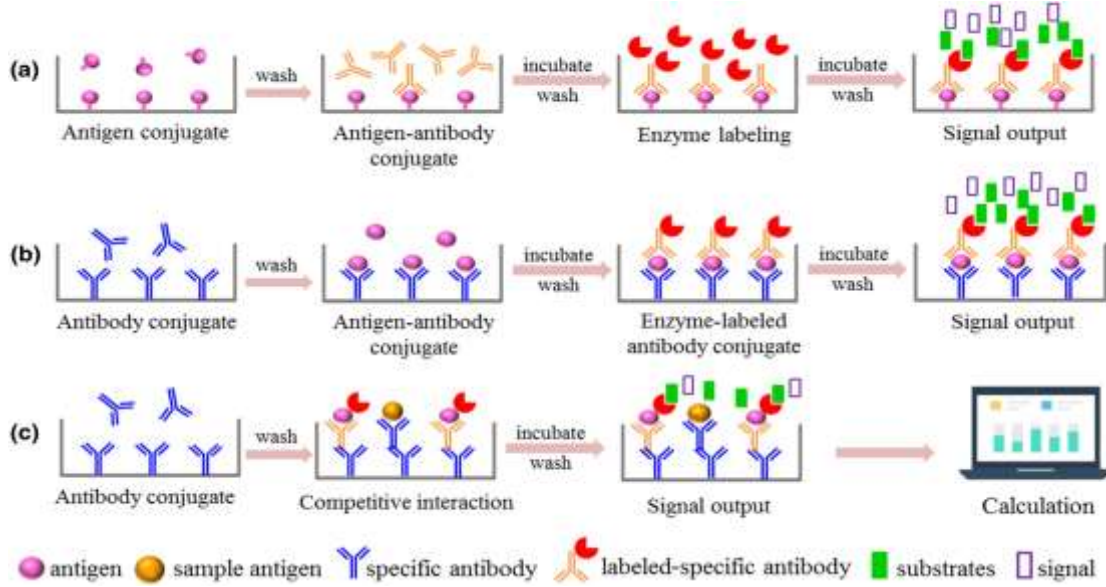
النسيلة (Mab) بنجاح في غش اللحوم لمنتجات اللحوم التجارية في تركيا، وتم تحديد 22% من العينات على أنها غير متوافقة مع معايير ELISA. الدستور الغذائي التركي (Perestam et al., 2017). في الآونة الأخيرة، طورت شركة Microbiologique Inc. سلسلة من مجموعات اختبار ELISA للشطيرية للكشف الكمي عن لحم الخنزير ولحم البقر والدجاج والديك الرومي في اللحوم المطبوخة، ويمكن اكتشاف 0.1% (وزن/وزن) من الأنواع المستهدفة في 70 دقيقة دون الحاجة إلى اكتشافها. تدخل المصفوفات الغذائية الشائعة، مثل البييتزا والبيض والحليب وما إلى ذلك (Thienes et al., 2019).

ولأن طرق ELISA تعتمد على التفاعل المحدد للمستضد والجسم المضاد، يمكنه فقط اكتشاف أنواع اللحوم التي تم بالفعل تطوير أجسام مضادة محددة لها. ولذلك، فإن تطوير علامات البروتين المناسبة لطرق ELISA أمر ضروري. يجب أن تستوفي علامة البروتين المثالية المعايير التالية: (1) التقرد بين الأنواع (2) التركيزات العالية في اللحوم النيئة أو منتجات اللحوم (3) الثبات إلى حد ما أثناء معالجة اللحوم، خاصة أثناء المعالجة الحرارية والتخليل (4) الثبات في وجود المضافات الغذائية، مثل نترات الصوديوم أو النتريت، وكلوريد الصوديوم، والفوسفات الصالحة للأكل، والسيترات، والأسكورات، وما إلى ذلك (Zvereva et al., 2015). التروبونين الهيكلية الأول troponin I (TnI) هو جزء من اللييفات العضلية وهو موجود كمكون لمجمع التروبوميوزين-التروبونين المستقر؛ فهو يعتبر بروتيناً خاصاً بالخلايا العضلية. ومن هذا الأساس طور (Zvereva et al., 2015) طور طريقة ELISA ساندويتش تعتمد على TnI للكشف عن لحوم البقر ولحم الخنزير ولحم الضأن ولحوم الخيول، ولكن لم تتمكن علامة البروتين هذه من التعرف على لحوم الدواجن والديك الرومي والبط. يمكن الاحتفاظ بالهيموغلوبين الخنزيري الحيواني في السلامة الجزيئية والاستقرار بعد المعالجة الحرارية وتبقى مستقرة في ظل الظروف الحمضية والقلوية. لذلك اقترح (Jiang et al., 2018) طريقة تنافسية غير مباشرة تعتمد على ELISA aMAb 13F7 للكشف الكمي عن الهيموغلوبين الخنازير في منتجات اللحوم، وكان حد الكشف (LOD) منخفضاً حتى 1.5 ملغم/كغم. والأهم من ذلك، أن هذه الطريقة لها قيمة تطبيقية محتملة في الكشف عن لحم الخنزير المريض، وهي مشكلة خطيرة تتعلق بسلامة الأغذية في البلدان النامية، من خلال تحديد مستوى الهيموغلوبين المتبقي في لحم الخنزير لأن تركيز الهيموغلوبين أعلى بكثير في لحم الخنزير المريض منه في لحم الخنزير الصحي بسبب عدم فعاليته، بالإضافة إلى ذلك، لا يمكن لطرق ELISA تنفيذ الكشف عن الأنواع المتعددة، وهو أيضاً أحد العيوب الرئيسية لهذه التكنولوجيا.

### أجهزة الاستشعار المناعية:

كما ذكر أعلاه، تظهر طرق ELISA بعض القيود أثناء الكشف عن غش اللحوم بسبب الإيجابيات الكاذبة الناجمة عن التفاعل المتبادل والتحلل البروتيني الناجم عن المعالجة الحرارية. ولذلك، يلتزم الباحثون بتطوير طرق تعتمد على البروتين أكثر حساسية وموفرة للوقت ومنخفضة التكلفة لتحديد غش اللحوم. في الآونة الأخيرة، تم الإبلاغ عن أجهزة الاستشعار المناعية لتحديد اكتشاف غش الأغذية (Ruiz-Valdepeñas Montiel et al., 2019). يشبه مبدأ طرق الاستشعار المناعي مبدأ طرق ELISA، لكن الأول يستخدم جهاز استشعار حيوي لنقل وتضخيم الإشارات الضوئية أو الكهربائية أو غيرها من إشارات الاستجابة المناعية لإشارة يمكن اكتشافها، وبالتالي فإن حساسية الطريقة أفضل من حساسية طريقة ELISA. تم استخدام تقنية المستشعر المناعي على نطاق واسع في تحليلات حساسية الغذاء، وبقايا المبيدات الحشرية، وغش الحليب، وغيرها. ومع ذلك، لم يستخدم سوى عدد قليل من تقارير الاستشعار المناعي للكشف عن غش اللحوم. باستخدام جهاز

استشعار مناعي تنافسي كهروكيميائي يعتمد على جسم مضاد IgG متعدد النسيلة مضاد للخنازير، بنسبة منخفضة تصل إلى 0.01% من غش لحم الخنزير، يمكن التعرف عليه في غضون 20 دقيقة. بالمقارنة مع طرق ELISA التنافسية (0.1% يمكن غش لحم الخنزير تم تحديدها في 45 دقيقة)، وتم تحسين حد الكشف ووقت الكشف بشكل كبير. باستخدام جهاز التدفق الجانبي، يمكن التعرف على 0.01% و 0.1% و 1% من لحم الخنزير من اللحوم النيئة وكرات لحم البقر واللحوم المطبوخة، على التوالي. على الرغم من أن طريقة جهاز الاستشعار المناعي لا تستخدم على نطاق واسع، فإننا نعتقد أن لديها آفاق تطبيق جيدة في مجال تحديد غش اللحوم، وخاصة في مراقبة المصنع في الموقع (Kuswandi et al., 2017).



الشكل (4): أنواع لـ ELISA. (أ): المباشر Direct ELISA (ب): والاليزا الشطيرية ELISA Sandwich الاليزا انتافسية الغير المباشرة indirect (ج): الاليزا انتافسية الغير المباشرة competitive ELISA

### التحليل الطيفي للانهييار المستحث بالليزر:

#### Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)

التحليل الطيفي للانهييار المستحث بالليزر Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) هو تقنية تحليل طيفي تعتمد على التفاعل بين شعاع الليزر والعينة. في LIBS يتم تركيز نبضات الليزر عالية الطاقة على العينة مما يؤدي إلى تكوين عمود البلازما، تبعث هذه البلازما ضوءاً مميزاً، والذي يتم بعد ذلك تحليله لتحديد التركيب العنصري للعينة (Wermer & Im, 2019). يبدأ التحليل الطيفي للانهييار المستحث بالليزر (LIBS) بتوصيل نبضة ليزر عالية الطاقة إلى العينة. يؤدي هذا الانفجار المكثف للطاقة إلى التسخين السريع وتبخير العينة، مما يؤدي إلى توليد عمود بلازما يتكون من الأيونات والإلكترونات والأنواع المحايدة. عندما تعود البلازما إلى حالة طاقة أقل، فإنها تبعث ضوءاً يحمل خطوطاً طيفية مميزة تتوافق مع تركيب للعينة. يتم بعد ذلك جمع الضوء المنبعث وتوجيهه من خلال مقياس الطيف الذي يقوم بتوزيعه إلى الأطوال الموجية المكونة له. يتم تحليل الطيف الناتج لتحديد وقياس العناصر الموجودة في العينة (Rai & Thakur, 2020).

يتيح تعدد استخدامات LIBS تحليل مجموعة متنوعة من العينات، مما يجعلها أداة قيمة في البحث العلمي والتطبيقات المختلفة، بما في ذلك تحديد أنواع اللحوم. بالإضافة إلى تقنيات أخذ العينات الأولية، ويوفر LIBS المرونة في تطبيقه على حالات العينات المختلفة. على سبيل المثال، يمكن تكيفه لتحديد ملامح العمق عن طريق تغيير معاملات الليزر، مما يسمح للباحثين بتحليل التركيب العنصري في طبقات مختلفة داخل المادة (Ytsma & Dyar, 2022). تساهم قدرة LIBS على التكيف في التعامل مع العينات وقدرتها على التحليل عن بعد في استخدامها على نطاق واسع عبر التخصصات العلمية والقطاعات الصناعية. ومع تقدم التكنولوجيا، تهدف الأبحاث الجارية إلى تحسين وتوسيع قدرات LIBS، مما يزيد من تعزيز فائدتها في التطبيقات التحليلية المتنوعة (Liu et al., 2021).

تم استخدام التحليل الطيفي للانهايار المستحث بالليزر (LIBS) في التحليل النوعي والكمي للتركيب العنصري عبر أنواع مختلفة من العينات المتميزة، بما في ذلك عينات اللحوم. يمكن إعداد العينات لتحليل LIBS بطرق مختلفة (Bilge et al., 2016). أبلغ Bilge et al., (2016) عن تحضير العينة من خلال العملية التالية: يتم تحضير مجموعة مختارة من لحوم البقر والدجاج ولحم الخنزير. وفي وقت لاحق، تتم إزالة كافة الدهون الموجودة في العينات يدوياً. يتم بعد ذلك طحن عينات اللحوم الخالية من الدهون والخالية من الدهون باستخدام مطحنة أطباق مقاس 3 مم. تتم عملية خلط عينات لحم البقر ولحم الخنزير والدجاج باستخدام اللحم المفروم لتعزيز كفاءة الخلط المتجانس. في هذه الدراسة الكمية، يتم استخدام أفخاذ الدجاج ولحم الخنزير ولحم البقر بتركيزات تتراوح من 10% إلى 50%. يتم بعد ذلك تجفيف عينات اللحم المفروم في فرن عند درجة حرارة 105 درجة مئوية لمدة ساعتين. للاستخلاص بالمذيبات، يتم وضع 25 جرام من اللحم المفروم المجفف داخل ورق الترشيح ويتم استخلاصه باستخدام الهكسان في جهاز سوكسلت لمدة 4 ساعات. بمجرد تحضير العينات المجففة، يتم طحنها إلى شكل مسحوق باستخدام مطحنة مختبرية. يتم غربلة العينات المسحوقة من خلال منخل 180 شبكة. تتضمن الخطوة الأخيرة تشكيل العينات المجففة إلى كريات باستخدام آلة ضغط الحبيبات Specac. ويمكن بعد ذلك إخضاع هذه الكريات للتحليل باستخدام التحليل الطيفي للتحلل الناتج عن الليزر (LIBS) لتحديد نوع اللحوم.

بينما أفادت دراسة Velioglu et al., (2018) عن تحضير العينة دون تكوين الكريات، ولكن بدلاً من ذلك باستخدام عملية تجميد. تم اختيار عينات اللحوم ومخلفاتها المجمدة لغرضين أساسيين. وكان أحد هذه الأسباب هو ضمان بنية عينة موحدة (ارتفاع وصلابة متسقة) لقياسات LIBS، حيث تؤثر جودة التركيز بشكل كبير على النتائج. ونتيجة لذلك، تم إعداد جميع العينات لتكون لها أشكال متطابقة تقريباً، مما يقلل من الخسائر المحتملة في جودة الإشارة. وكان الأساس المنطقي الثاني هو تقليل محتوى الماء السائل، بهدف تعزيز إشارة LIBS. بينما لم تخضع دراسة Sun et al., (2022) لعملية تشكيل العينة إلى كريات أو تجميد العينة. تم إعداد العملية على النحو التالي: تم تقطيع اللحم الطازج إلى قطع بقياس 40 مم × 20 مم × 10 مم، وتم بذل الجهود لإزالة جزء الدهون قدر الإمكان أثناء إجراء التقطيع لمنع تداخله مع الإشارة الطيفية أثناء عملية التقطيع. تجربة. يمكن استخدام أساليب مختلفة في إعداد العينات، وتبسيط الضوء على ميزة استخدام LIBS الذي لا يقتصر على طريقة إعداد واحدة. وهذا مفيد للغاية حيث يمكن تعديل البحث وفقاً لطريقة الإعداد المناسبة.

### تحديد أنواع اللحوم باستخدام التحليل الطيفي للتحلل الناتج عن الليزر (LIBS):

يُعد التحليل الطيفي للانفجار المستحث بالليزر (LIBS) تقنية متطورة تستخدم لتحديد التركيب العنصري للعينة. تبدأ العملية بتوصيل نبضة ليزر قصيرة ومكثفة (ليزر Q-switched Nd:YAG) إلى العينة، مما يؤدي إلى تكوين بلازما عالية الطاقة على سطح العينة. هذه البلازما، التي تتميز بدرجة حرارتها العالية للغاية، تولد انبعاثاً عنصرياً عندما تبرد. ويحمل الضوء المنبعث بصمة طيفية فريدة لكل عنصر موجود في العينة. يقوم مجمع الضوء بتجميع هذا الضوء المنبعث، ويقوم بقياس الطيف بتشتيته إلى أطوال موجية فردية، على غرار المنشور. ثم يتم إخضاع أطياف الانبعاث الناتجة لتحليل شامل.

أبلغت العديد من الدراسات عن بيانات طيفية LIBS على عينات من أنواع مختلفة من اللحوم. إذ افاد Sezer *et al.*, (2022) عن نتائج أطياف LIBS على عينة من لحم البقر والدجاج ولحم الخنزير وكشفت الأطياف التي تم الحصول عليها عن وجود عناصر ومركبات عضوية مختلفة في اللحوم، بما في ذلك العناصر الكبيرة (K، Na، Ca، Mg)، والعناصر الصغيرة (Fe، Zn)، والمركبات العضوية (C، H، O، N). ومن خلال التركيز على صفات البروتين، نجحت الدراسة في تحديد أنواع اللحوم المختلفة بناءً على الاختلافات في التركيب العنصري، في حين لوحظت أنماط طيفية مماثلة للحوم البقر والدجاج ولحم الخنزير، تباينت شدة الأطياف، مما يشير إلى تكوين عنصري وبروتيني فريد لكل نوع من أنواع اللحوم، وأكدت الدراسة على هيمنة عناصر Ca و K و Mg في أطياف LIBS، بكثافة أعلى مقارنة بعناصر Zn و Fe. ذكرت دراسة سابقة نفس النتيجة التي تظهر شدة مختلفة لأطياف LIBS بين ستة عينات (الروبيان، الدجاج، لحم البقر، كبد الخنزير، وعينة مختلطة من الجمبري والسرطان) (Sezer *et al.*, 2022). وتظهر النتيجة أن K، Mg، و Na تم تضمينهما كعنصر كبير، في حين أن المركب العضوي المنفصل هو C، H، O، N والروابط الجزيئية (C-N). وانعكست الاختلافات في تركيز هذه العناصر في عينات اللحوم في الكثافة الطيفية لأطياف LIBS الخاصة بها. وقد وفر هذا الاختلاف في الكثافة الطيفية الأساس للتمييز الفعال بين أنواع اللحوم المختلفة. كما أظهرت نتائج أطياف LIBS لغش الاحشاء الداخلية في عينات اللحم البقري نتائج مماثلة. وتم في الدراسة تحليل أطياف عينات الكلى والكبد والقلب والرئة والطحال. تم تحديد أبرز النطاقات في الأطياف، مما يدل على وجود اختلافات كبيرة في تركيز العناصر بين العينات. على وجه التحديد، لوحظت الاختلافات في نطاقات Na و Ca و K و Mg. سمحت هذه الاختلافات في التركيب العنصري بالتمييز الناجح لعينات الاحشاء الداخلية للحيوان. استخدام LIBS في تحديد أنواع اللحوم ليس فقط بالنسبة للحوم النيئة ولكن أيضاً للحوم المصنعة إذ استخدمت دراسة أطياف LIBS لتحديد العناصر الكلية والجزيئية (K، Ca، Mg، Na، Zn، Fe) والعناصر العضوية (C، O، N) في عينة السلامي والنقانق المخمرة (لحم البقر والدجاج ولحم الخنزير). كانت الاختلافات في شدة الذروة بين هذه العناصر حاسمة لتمييز العينة وتصنيفها. على وجه التحديد، الاختلافات في كثافة العناصر، بما في ذلك Ca، K، و Mg، ولعب المغنيسيوم دوراً أكثر أهمية في التمايز مقارنةً بالصوديوم والزنك والحديد. نجح هذا النهج في فصل عينات اللحوم بناءً على تركيبها العنصرية (Zhang *et al.*, 2021).

يمكن استخدام أطياف LIBS لتمييز أنواع اللحوم بناءً على كثافة الذروة لأن أنواع اللحوم المختلفة تظهر تركيبات عنصرية فريدة. يعمل LIBS باستخدام نبضات الليزر لتوليد البلازما من العينة، ويتم تحليل طيف الضوء المنبعث لتحديد العناصر الموجودة. في سياق تحليل اللحوم، تساهم العناصر الكبيرة (مثل K و Na و Ca و Mg) والعناصر الصغيرة (مثل Fe و Zn) في التوقيع الطيفي. تتوافق شدة الذروة في أطياف LIBS مع وفرة عناصر محددة في العينة (Harmon & Senesi, 2021).

نظرًا لأن أنواع اللحوم المختلفة لها تركيبات عنصرية مميزة، فإن شدة القمم المرتبطة بهذه العناصر ستختلف بين الأنواع. ومن خلال تحليل هذه الاختلافات في الكثافة، يمكن للباحثين تحديد وتمييز أنواع اللحوم المختلفة. على سبيل المثال، إذا كانت أطياف LIBS للدجاج ولحم البقر ولحم الخنزير تظهر اختلافات في شدة القمم المتعلقة بعناصر مثل البوتاسيوم (K)، والكالسيوم (Ca)، والمغنيسيوم (Mg)، فهو يشير إلى التركيبات العنصرية الفريدة لكل نوع من أنواع اللحوم. هذه الاختلافات في كثافة الذروة بمثابة بصمة لكل أنواع اللحوم، مما يسمح بتحديد دقيق من خلال تحليل LIBS (Sezer et al., 2021 & Chu et al., 2018). يتطلب تحليل أطياف LIBS لتحديد اللحوم التطبيق الماهر لتحليل البيانات متعدد المتغيرات (MVDA). يولد LIBS أطيافاً معقدة ذات قمم عديدة تمثل مكونات عنصرية مختلفة في العينة. تدخل تقنيات MVDA مثل تحليل المكون الرئيسي (PCA) أو المربعات الصغرى الجزئية (PLS) لفك هذا التعقيد عن طريق تقليل أبعاد البيانات (Pagnin et al., 2020). يتم التنقل بشكل فعال من خلال MVDA التباين المتأصل في عينات اللحوم، الناشئة عن الاختلافات في التركيب والمصادر، مما يساعد في تمييز الأنماط والميزات الرئيسية داخل الأطياف. أثبت MVDA أيضاً أنه لا يقدر بثمن في الكشف عن الارتباطات والتفاعلات بين النطاقات الطيفية، وتبسيط الضوء على مساهمات عناصر أو مركبات محددة في قمم متميزة. بالإضافة إلى ذلك، تلعب هذه التقنيات دوراً حاسماً في تقليل الضوضاء، وغرلة البيانات لتحسين جودة الإشارة. في نهاية المطاف، تمكن MVDA من إنشاء نماذج تصنف وتنبأ بأنواع اللحوم بناءً على توقيعاتها الطيفية الفريدة، على غرار صياغة وصفة لتحديد الهوية بدقة من خلال تمييز المكونات الأساسية داخل المزيج الطيفي. ومن خلال مقارنة الخطوط الطيفية المرصودة مع قاعدة بيانات معروفة لأطياف العناصر، يمكن للعلماء تحديد العناصر الموجودة داخل العينة وقياسها كميًا. توفر شدة الخطوط الطيفية وموضعها نظرة ثاقبة حول تركيز كل عنصر تم تحديده، مما يجعل LIBS أداة قوية لتحديد أنواع اللحوم (Klus et al., 2016). تم الإبلاغ عن العديد من الدراسات حول التحليل الطيفي للانهيار المستحث بالليزر (LIBS) لتكون قادرة على تحديد أنواع اللحوم بدقة عالية كما أبلغ عنه Bilge et al., (2016) في دراستهم التي تهدف إلى استخدام التحليل الطيفي للانهيار الناجم عن الليزر (LIBS) لتحديد أنواع اللحوم وتقييم إمكاناتها كوسيلة سريعة في الموقع للتمييز بين أنواع اللحوم المختلفة، إذ تم جمع عينات لحم الخنزير ولحم البقر والدجاج من مصادر متنوعة وتحويلها إلى كريات لقياسات LIBS. تم تحليل أطياف LIBS المكتسبة باستخدام طرق القياس الكيميائي، وتحديدًا تحليل المكونات الرئيسية (PCA) والمربعات الصغرى الجزئية (PLS). حققت طريقة PCA، مع الأطياف التي تم الحصول عليها، تمييزًا جيدًا بمعدل 83.37%، مما أدى إلى التمييز بشكل فعال بين أنواع اللحوم المختلفة. من ناحية أخرى، قدمت طريقة PLS معاملات تحديد وحدود قيم الكشف عن الغش، مما يدل على فعاليتها في الكشف الكمي عن غش اللحوم. أظهرت النتائج أن طريقة PLS يمكنها تحديد نسبة الغش بدقة، حيث بلغت معاملات التحديد (R2) 0.994 للحم البقر المغشوشة و0.999 للحم الدجاج المغشوشة، بالإضافة إلى الحد المقابل لقيم الكشف. تمت الإشارة أيضًا إلى قيمة R2 الجيدة من خلال الدراسة التي تم اجراها من قبل Velioğlu et al., (2018) وهي 0.947 إذ هدفت الدراسة إلى استخدام التحليل الطيفي الناتج عن الليزر (LIBS) وتحليل البيانات متعددة المتغيرات للتمييز بين أجزاء الحيوانات الصالحة للأكل ولحوم البقر وتحديد نسب الغش بناءً على التركيبات الأولية. تم الحصول على عينات، بما في ذلك لحوم البقر وأنواع مختلفة من أحشائها الداخلية، من مسلخ محلي تركيا. إعداد العينة يختلف عن Bilge et al., (2016) الذين شكلوا عينات على شكل كريات، في حين في هذه الدراسة جمعت العينات لتحليلها باستخدام LIBS. استخدمت هذه الدراسة أيضًا نفس التحليل متعدد المتغيرات (PCA و PLS). لم يتم

البحث بحساب R2 فحسب، بل قام أيضاً بحساب LOD لتحديد مدى حساسية الطريقة المستخدمة ووصلت نسبة LOD التي تم الحصول عليها إلى 3.8% لغش المخلفات باستخدام PLS.

ذكر (Chu et al., 2018) في دراستهم أيضاً عن عينات أخرى ولكن مع عينات أكثر تنوعاً وتحليلات مختلفة متعددة المتغيرات (MVA). كان الهدف من الدراسة هو تحسين دقة واستقرار تحديد أنواع اللحوم باستخدام التحليل الطيفي الناجم عن الليزر (LIBS) عن طريق القضاء على تأثير تبعثر الأطياف. العينة المستخدمة في هذا البحث شملت أنواع متنوعة من اللحوم مثل (الروبيان والدجاج ولحم البقر والمحار وكبد الخنزير وعينة مركبة من الجمبري والمحار) التي تم تشكيلها في كريات. تضمنت الطريقة استخدام تصحيح الانتثار المضاعف (MSC) كطريقة معالجة طيفية لتصحيح الانتثار، وتم تحديد الأطياف المصححة بناءً على نموذج أقرب جار (KNN). أظهرت النتائج أنه بعد معالجة MSC، تحسن معدل التعرف على الأنواع الستة من كريات اللحم بشكل ملحوظ. تم استخدام دقة مجموعة الاختبار ومعامل التباين لتقييم دقة وثبات تحديد اللحوم. وانخفض متوسط معامل التباين من 5.16% إلى 0.56%، مما يشير إلى تحسن الاستقرار. تم حساب الموقع النسبي لكل طيف ومتوسط طيفها، مما يدل على أن تكرار التعرف على أنواع اللحوم تحسن بشكل ملحوظ.

ذكرت دراسة أخرى تم إجراءها من قبل (Sun et al., 2019) تم الجمع فيها بين LIBS مع التحليل الطيفي رامان لتحديد عينات من لحم البقر والضأن ولحم الخنزير. الهدف من هذا البحث هو تطوير طريقة لتحديد وتصنيف أنسجة اللحم بناءً على مزيج من التحليل الطيفي LIBS-Raman ومقارنة دقته مع LIBS و Raman وحدهما. وكانت العينات المستخدمة للكشف هي ثلاثة أنواع من اللحوم (لحم البقر، الضأن، ولحم الخنزير). أظهرت نتائج LIBS-Raman أعلى دقة تصنيف تصل إلى 99.42%. علاوة على ذلك، أشارت النتائج إلى أن دقة LIBS (93.92%) كانت متفوقة على طريقة رامان (92.67%). وكانت نتائج الدقة باستخدام رامان مماثلة لدراسة تم الإبلاغ عنها سابقاً، بدقة 80% (PLSDA) و 92% (SVM). ولذلك، فمن الواضح أنه يتم تحقيق أفضل دقة باستخدام LIBS. تم أيضاً إجراء أبحاث سابقة لتعزيز دقة واستقرار تحديد أنواع اللحوم باستخدام LIBS مع تصحيح التشتت المضاعف (MSC). وشملت اللحوم المستخدمة في هذه الدراسة الجمبري والدجاج ولحم البقر والمحار وكبد الخنزير وعينة مختلطة من الجمبري والمحار. أظهرت نتائج هذا البحث تحسين الدقة والثبات في تحديد أنواع اللحوم باستخدام LIBS و MSC. ارتفعت نسبة التعرف على عينة الجمبري والمحار المختلطة من 94.17% إلى 100%، وانخفض معامل التنبؤ بالتباين من 5.16% إلى 0.56%. بالإضافة إلى عينات لحوم البقر، تم أيضاً الإبلاغ عن أجزاء مختلفة من أعضاء لحوم البقر مثل الكبد والكلى والقلب والرئتين والطحال. تم خلط عينات الأعضاء من الماشية مع لحم البقر للتعرف على كليهما. وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها قيمة LOD قدرها 3.8% في تلك العينة المختلطة.

## رامان الطيفي (RS) Raman spectroscopy :

رامان الطيفي (RS) Raman spectroscopy هي تقنية لتحليل تركيبية المادة وبنيتها بناءً على تأثير تشتت رامان (Hu et al., 2019). نطاقات رامان مستقلة عن شدة الضوء الساقط وترتبط بقابلية استقطاب مكونات العينة نفسها. يمكن تطبيق بصمة التردد الاهتزازي وكثافته في RS في تحليل طبيعة الجزيئات وتركيزاتها (Lee et al., 2017)، والأهم من ذلك، هذه التقنية غير غزوي، ويتطلب كميات صغيرة من العينات، وغير حساس للماء، ولا يتطلب تحضير العينة، ومناسبة للعينات غير الشفافة (Lee

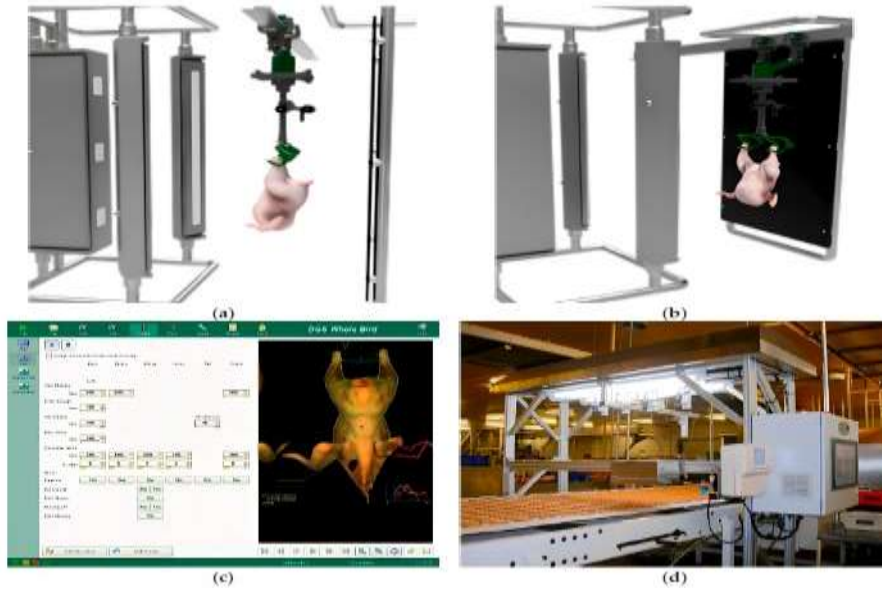
(et al., 2017). باستخدام RS ونموذج PLS-DA استناداً إلى المجموعات الوظيفية من الأحماض الأمينية والدهون والبروتينات، ويمكن تحديد المكونات التي تكون من غير اللحم مثل كلوريد الصوديوم وترايبوليفوسفات الصوديوم والكاراجينان في منتجات لحم الخنزير (Nunes et al., 2019).

في الآونة الأخيرة نجح Lee et al. (2018) في إنشاء طريقة RS للتمييز بين شحم البقر وشحم الخنزير ودهن الدجاج وزيت البط عندما تراوحت محتويات شحم الخنزير من 0% إلى 100% (حجم/حجم)، وأظهرت النتائج ارتباطاً خطياً جيداً بين العلاقات. على غرار الطرق الطيفية الاهتزازية الأخرى، تعد العمليات الكيميائية، مثل المعالجة المسبقة للبيانات الطيفية والتحليل متعدد المتغيرات، مهمة جداً أيضاً لطرق رامان الطيفية. تشمل تقنيات المعالجة المسبقة الشائعة بشكل أساسي الاشتقاق الأول، والاشتقاق الثاني، وMSC، وSNV، وما إلى ذلك، وتشمل الأساليب التحليلية متعددة المتغيرات شائعة الاستخدام PCA، والتحليل العنقودي الهرمي، وPLS-DA، ولنموذج المستقلة السانعة للقياس الطبقي (SIMCA)، والشبكات العصبية الاصطناعية (Teixeira & Sousa, 2019).

طبق Chen et al., (2019) طرقاً مختلفة للمعالجة المسبقة للبيانات لتحديد غش في سمك السلمون الأطلسي، وأشارت النتائج إلى أن طريقة MSC كانت أفضل من الاشتقاق الأول (FD)، والاشتقاق الثاني (SD) وSNV. باستخدام RS جنباً إلى جنب مع PLS DA وSIMCA، يمكن صنع برقر لحم البقر الأصلي والمغشوش تم تحديدها وكان معدل الدقة يصل إلى 90%.

### تقنية رؤية الآلة : Machine Vision Technology

تتضمن تقنية الرؤية الآلية النقاط صور الكائنات من خلال الكاميرات وتحويل المعلومات المرئية إلى بيانات رقمية من خلال استخراج الميزات، وذلك للحصول على ميزات مختلفة في الصورة المصدر، وأخيراً فهم الكائن المكتشف واتخاذ القرارات بشأنه وفقاً لمعايير التمييز. في سياق لحوم الماشية والدواجن، أثبتت تقنية الرؤية الآلية فعاليتها في اكتشاف الخصائص مثل القوام (Pinto et al., 2023)، والطرارة (Kato et al., 2019)، واللون (Kim et al., 2023). يوضح الشكل (5) الكشف غير المدمر لنظام رؤية الآلة (Xu et al., 2024).

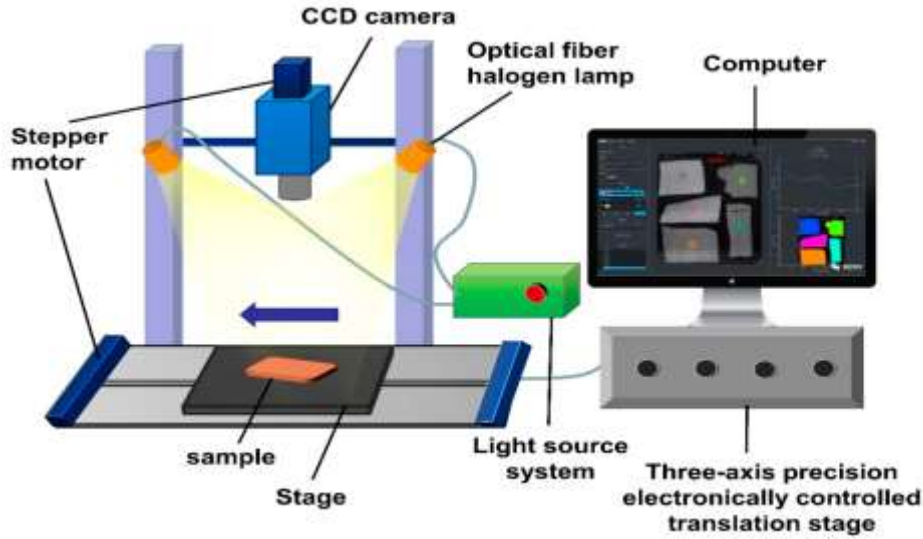


الشكل (5): الكشف غير المدمر لنظام رؤية الآلة (a,b) الجزء المادي من الجهاز نظام فحص الرؤية للدجاج. (c) الجزء البرمجي من فحص رؤية الآلة (Xu et al.,2024).

التكنولوجيا الفائقة الطيفية، كنوع من التكنولوجيا الطيفية، تجمع بين مزايا الرؤية الآلية والتصوير متعدد الأطياف. إنها تمتلك قدرة التصوير عالية البكسل للكاميرا العادية وقدرة التصوير عالية الدقة للمطياف. ويمكنه التقاط صور مستمرة للعينات بمئات الأطوال الموجية، والحصول في الوقت نفسه على معلومات الصورة والمعلومات الطيفية للعينات. في النهاية يتم إنشاء مكعب بيانات ثلاثي الأبعاد يتكون من صور ثنائية الأبعاد بأطوال موجية مختلفة (Dixit et al., 2017).

يحتوي كل بكسل في مكعب البيانات هذا على بيانات طيفية بأطوال موجية مختلفة، تمثل معلومات الصورة للعينة عند كل طول موجي. يمكن أن تعكس معلومات الصورة ميزات النسيج المرئي للعينة، بينما يمكن للمعلومات الطيفية أن تكشف عن بنيتها الفيزيائية وتركيبها الكيميائي. ولذلك، فإن استخدام تقنية الطيف الفائقة للكشف عن جودة اللحوم يتيح التقييم الحسي استنادًا إلى الخصائص الفيزيائية السطحية ويوفر نظرة ثاقبة لمحتوى المكونات الداخلية. تم توضيح تكوين نظام التصوير الفائقة الطيفي النموذجي في الشكل (6) (Liu et al.,2021).





الشكل (5): أنظمة التصوير الطيفي المشترك (Liu et al., 2021).

تعد مطياف الأشعة تحت الحمراء Infrared spectroscopy (IRS) ورامان الطيفي Raman spectroscopy (RS) طرق الكشف أحادية النقطة ولا تجمع سوى معلومات حول المناطق المحلية للعينات، مما يشير إلى أن المعلومات الطيفية لا يمكن أن تمثل معلومات العينات بشكل كامل بسبب التوزيع غير المتساوي للمكونات المغشوشة (Zhao et al., 2019). علاوة على ذلك، فإن هذه الأساليب أيضاً لا يمكن أن تعكس بشكل حدسي الجانب الحقيقي للعينات. لذلك، فإن التطبيق المشترك للتقنيات الطيفية وتقنيات التصوير، مثل التصوير متعدد الأطياف (MSI) و HSI، الذي تم تطويره في السنوات الأخيرة يتغلب على أوجه القصور هذه (Ropodi et al., 2017). تقنية MSI محدودة في اكتشاف غش اللحوم لأنه يمكن تطبيق عدد قليل من الأطوال الموجية. لقد أثبتت تقنية HSI أنها طريقة واعدة في الكشف عن غش اللحوم (Zheng et al., 2019).

تحتوي الصورة فوق الطيفية على قدر كبير من المعلومات في شكل ثلاثي الأبعاد (D3) يسمى "المكعب الفائق": اثنان من الأبعاد عبارة عن معلومات إحصائية للبيانات المكانية (x و y)، والبعد الثالث ( $\lambda$ ) هي معلومات الطول الموجي (Wang et al., 2018) (الشكل 5). وكمزيج وامتداد للتحليل الطيفي التقليدي والتصوير الرقمي، يوفر HSI معلومات مفصلة حول السمات الخارجية (مثل شكل العينات وحجمها ولونها) والسمات الداخلية (مثل التركيب الكيميائي) (Wang et al., 2018).

استخدم Kamruzzaman et al., (2015) نظام التصوير الطيفي المرئي القريب من الأشعة تحت الحمراء (Vis/NIR-HSI) للكشف عن غش لحم الخنزير في لحم البقر المفروم. تم اختيار الأطوال الموجية 430 و 605 و 665 و 705 نانومتر لتحل محل الأطياف كاملة المدى لبناء نموذج MLR. استطاعت هذه الطريقة التنبؤ بنسبة 2% إلى 50% من غش لحم الخنزير في لحم البقر المفروم، وكان معامل الارتباط والأخطاء المعيارية 0.985 و 4.172% على التوالي. في الآونة الأخيرة أنشأ Zheng et al., (2019) نظام Vis/NIR-HSI للكشف عن لحم البقر في لحم الضأن المفروم. باستخدام المشتق الثاني بواسطة مرشحاً رقمياً

Savitzky-Golay لتقليل الأبعاد، تم تحديد 14 طولاً موجياً فعلاً لإنشاء نموذج الانحدار الجزئي الأصغر (PLSR)، وكان معامل الارتباط والأخطاء المعيارية 0.98 و 2.51% على التوالي.

حتى الآن، نادراً ما يتم تطبيق تقنية HSI في إعدادات الصناعة بسبب التحديات التقنية. واحدة من أكثر الجوانب الصعبة هي معالجة البيانات (Reis et al., 2018). تؤدي المعلومات الغنية في الصور فائقة الطيف أيضاً إلى صعوبات في معالجة البيانات، وهناك حاجة إلى نماذج بيانات معقدة لتقليل الأبعاد وبالإضافة إلى ذلك، فإن إنشاء نموذج التنبؤ الكمي يتطلب عدداً كبيراً من العينات (Ropodi et al., 2016).

طور (Al-Sarayreh et al., 2018) استخلاصاً ذاتياً للميزات الطيفية والمكانية باستخدام نموذج الشبكة العصبية للكشف عن غش اللحوم الحمراء الطازجة والمصنعة. أظهر هذا النموذج دقة تصنيف إجمالية قدرها 94.4%، وهو أبسط وأكثر توفيراً للوقت من الاستخراج اليدوي للميزات الطيفية والمكانية باستخدام نموذج SVM.

في الآونة الأخيرة، قارن (Zhao et al., 2019) تطبيق أربع طرق تحليل إحصائي متعددة المتغيرات، بما في ذلك PLSR و SVM والمربعات الصغرى (LS-SVM) وآلة التعلم المتطرفة، في غش لحوم البقر. أشارت النتائج إلى أن نموذج LS-SVM أظهر معاملات تحديد جيدة (0.94 و 0.94 على التوالي) و RMSEs (5.39% و 6.29% على التوالي) للمعايرة والتنبؤ.

### الاستنتاج:

إن غش اللحوم، الذي يتم استخدامه بشكل رئيسي لأغراض اقتصادية، منتشر على نطاق واسع ويؤدي إلى مخاطر جسيمة على الصحة العامة، وانتهاكات دينية. تعد تقنيات الكشف السريعة والفعالة والدقيقة والموثوقة هي المفتاح للإشراف الفعال على غش اللحوم ومنتجاتها. وبالنظر إلى أهمية تقنيات الكشف عن غش اللحوم والتقدم السريع فيها، فمن المفيد إجراء مراجعة شاملة لتلخيص التقدم الأخير في هذا المجال واقتراح اتجاهات للتقدم المستقبلي. في هذه المراجعة، تم تحليل تقنيات غش اللحوم المدمرة المستندة إلى تحليلات الحمض النووي والبروتين والمستقلبات والتقنيات غير المدمرة المعتمدة على التحليل الطيفي نسبياً. تمت مناقشة المزايا والعيوب وحالات تطبيق هذه التقنيات. في المستقبل، يعد تحديد المؤشرات أو العلامات المناسبة أمراً مهماً لتحسين الحساسية وتوفير الوقت، تعد التقنيات الجديدة متعددة التخصصات، مثل الرقائق الحيوية وأجهزة الاستشعار الحيوية، واعدة للتطبيق في المستقبل.

## References:

1. الشيخ، بنان وعزيزية، عبد الحكيم وقاسم عصام (2022). تحديد هوية أنواع اللحوم الداخلة في خلطات تصنيع أغلب أنواع اللانشون (المرتديلا) الموجودة في الاسواق السورية باستخدام تقنية PCR-RFLP. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 38(4).
2. Abbas, O., Zadavec, M., Baeten, V., Mikuš, T., Lešić, T., Vulić, A. & Pleadin, J. (2018). Analytical methods used for the authentication of food of animal origin. *Food Chemistry*, 246, 6-17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.007>.
3. Al-Sarayreh, M., M. Reis, M., Qi Yan, W., & Klette, R. (2018). Detection of red-meat adulteration by deep spectral-spatial features in hyperspectral images. *Journal of Imaging*, 4(5), 63. <https://doi.org/10.3390/jimaging4050063>.
4. Bilge, G., Velioglu, H. M., Sezer, B., Eseller, K. E., & Boyaci, I. H. (2016). Identification of meat species by using laser-induced breakdown spectroscopy. *Meat science*, 119, 118-122. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.035>.
5. Chen, Z., Wu, T., Xiang, C., Xu, X., & Tian, X. (2019). Rapid identification of rainbow trout adulteration in Atlantic salmon by Raman spectroscopy combined with machine learning. *Molecules*, 24(15), 2851. <https://doi.org/10.3390/molecules24152851>.
6. Chu, Y. W., Tang, S. S., Ma, S. X., Ma, Y. Y., Hao, Z. Q., Guo, Y. M., Guo, L.B., Lu, Y.F. & Zeng, X. Y. (2018). Accuracy and stability improvement for meat species identification using multiplicative scatter correction and laser-induced breakdown spectroscopy. *Optics Express*, 26(8), 10119-10127. <https://doi.org/10.1364/OE.26.010119>.
7. Dixit, Y., Casado-Gavalda, M. P., Cama-Moncunill, R., Cama-Moncunill, X., Markiewicz-Keszycka, M., Cullen, P. J., & Sullivan, C. (2017). Developments and challenges in online NIR spectroscopy for meat processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(6), 1172-1187. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12295>.
8. El-Sheikh, S. H., Whab, R. M. A., ElDaly, R. A., Raslan, M. T., Fahmy, H. A., & El-Demerdash, A. S. Bacteriological evaluation and advanced SYBR-green multiplex real-time PCR assay for detection of minced meat adulteration. *Open Veterinary Journal*, Vol. 14(1): 389–397. Doi: <http://dx.doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i1.35>.
9. FAO, (2020). Livestock primary [cited 2020 22/1/2020]; Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>.
10. Ha, Y., Thienes, C. P., Agapov, A. A., Laznicka, A. V., Han, S., Nadala, C., & Samadpour, M. (2019). Comparison of ELISA and DNA lateral flow assays for detection of pork, horse, beef, chicken, turkey, and goat contamination in meat products. *Journal of AOAC International*, 102(1), 189-195.
11. Harmon, R. S., & Senesi, G. S. (2021). Laser-induced breakdown spectroscopy—a geochemical tool for the 21st century. *Applied Geochemistry*, 128, 104929. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.104929>.
12. Hu, R., He, T., Zhang, Z., Yang, Y., & Liu, M. (2019). Safety analysis of edible oil products via Raman spectroscopy. *Talanta*, 191, 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.08.074>.
13. Jiang, X., Fuller, D., Hsieh, Y. H. P., & Rao, Q. (2018). Monoclonal antibody-based ELISA for the quantification of porcine hemoglobin in meat products. *Food Chemistry*, 250, 170-179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.032>.
14. Kamruzzaman, M., Makino, Y., & Oshita, S. (2015). Hyperspectral imaging in tandem with multivariate analysis and image processing for non-invasive detection and visualization of pork

- adulteration in minced beef. *Analytical Methods*, 7(18), 7496-7502. <https://doi.org/10.1039/C5AY01617G>.
15. Kato, T., Mastelini, S. M., Campos, G. F. C., da Costa Barbon, A. P. A., Prudencio, S. H., Shimokomaki, M., ... & Barbon Jr, S. (2019). White striping degree assessment using computer vision system and consumer acceptance test. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(7), 1015. <https://doi.org/10.5713/2Fajas.18.0504>.
  16. Kim, D. E., Nando, Y. A., & Chung, W. Y. (2023). Battery-Free Pork Freshness Estimation Based on Colorimetric Sensors and Machine Learning. *Applied Sciences*, 13(8), 4896. <https://doi.org/10.3390/app13084896>.
  17. Klus, J., Mikysek, P., Prochazka, D., Pořízka, P., Prochazková, P., Novotný, J., Trojek, T., Novotný, K., Slobodník, M., & Kaiser, J. (2016). Multivariate approach to the chemical mapping of uranium in sandstone-hosted uranium ores analyzed using double pulse laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 123, 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.08.014>.
  18. Kumar, Y., & Narsaiah, K. (2021). Rapid point-of-care testing methods/devices for meat species identification: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(1), 900-923. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12674>.
  19. Kuswandi, B., Gani, A. A., & Ahmad, M. (2017). Immuno strip test for detection of pork adulteration in cooked meatballs. *Food bioscience*, 19, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.05.001>.
  20. Lee, J. Y., Park, J. H., Mun, H., Shim, W. B., Lim, S. H., & Kim, M. G. (2018). Quantitative analysis of lard in animal fat mixture using visible Raman spectroscopy. *Food Chemistry*, 254, 109-114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.185>.
  21. Lee, S. Y., Kim, M. J., Hong, Y., & Kim, H. Y. (2016). Development of a rapid on-site detection method for pork in processed meat products using real-time loop-mediated isothermal amplification. *Food Control*, 66, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.01.041>.
  22. Lee, T. H., Wani, W. A., Koay, Y. S., Kavita, S., Tan, E. T. T., & Shreaz, S. (2017). Recent advances in the identification and authentication methods of edible bird's nest. *Food research international*, 100, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.036>.
  23. Liu, C., Ling, Z., Zhang, J., Wu, Z., Bai, H., & Liu, Y. (2021). A stand-off laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) system applicable for martian rocks studies. *Remote Sensing*, 13(23), 4773. <https://doi.org/10.3390/rs13234773>.
  24. Liu, R., Wang, X., Wang, X., Shi, Y., Shi, C., Wang, W., & Ma, C. (2019). A simple isothermal nucleic acid amplification method for the effective on-site identification for adulteration of pork source in mutton. *Food Control*, 98, 297-302. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.11.040>.
  25. Liu, X., Sun, Z., Zuo, M., Zou, X., Wang, T., & Li, J. (2021). Quantitative detection of restructured steak adulteration based on hyperspectral technology combined with a wavelength selection algorithm cascade strategy. *Food Science and Technology Research*, 27(6), 859-869. <https://doi.org/10.3136/fstr.27.859>.
  26. Magiati, M., Myridaki, V. M., Christopoulos, T. K., & Kalogianni, D. P. (2019). Lateral flow test for meat authentication with visual detection. *Food Chemistry*, 274, 803-807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.063>.
  27. Magiati, M., Myridaki, V. M., Christopoulos, T. K., & Kalogianni, D. P. (2019). Lateral flow test for meat authentication with visual detection. *Food Chemistry*, 274, 803-807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.063>.

28. Mandli, J., Fatimi, I. E., Seddaoui, N., & Amine, A. (2018). Enzyme immunoassay (ELISA/immunosensor) for a sensitive detection of pork adulteration in meat. *Food chemistry*, 255, 380-389. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.184>.
29. Montowska, M., & Pospiech, E. (2013). Species-specific expression of various proteins in meat tissue: proteomic analysis of raw and cooked meat and meat products made from beef, pork and selected poultry species. *Food chemistry*, 136(3-4), 1461-1469. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.072>.
30. NAMI, (2020). The United States meat industry at a glance [cited 2020 22/1/2022]; Available from: <https://www.meatinstitute.org/index.php?ht=d/sp/i/47465/pid/47465>.
31. Nunes, K. M., Andrade, M. V. O., Almeida, M. R., Fantini, C., & Sena, M. M. (2019). Raman spectroscopy and discriminant analysis applied to the detection of frauds in bovine meat by the addition of salts and carrageenan. *Microchemical Journal*, 147, 582-589. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.076>.
32. Pagnin, L., Brunnbauer, L., Wiesinger, R., Limbeck, A., & Schreiner, M. (2020). Multivariate analysis and laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS): a new approach for the spatially resolved classification of modern art materials. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 412, 3187-3198. <https://doi.org/10.1007/s00216-020-02574-z>.
33. Perestam, A. T., Fujisaki, K. K., Nava, O., & Hellberg, R. S. (2017). Comparison of real-time PCR and ELISA-based methods for the detection of beef and pork in processed meat products. *Food Control*, 71, 346-352. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.017>.
34. Pinto, D. L., Selli, A., Tulpan, D., Andrietta, L. T., Garbossa, P. L. M., Vander Voort, G. & Ventura, R. V. (2023). Image feature extraction via local binary patterns for marbling score classification in beef cattle using tree-based algorithms. *Livestock Science*, 267, 105152. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105152>.
35. Qin P., Qiao D., Xu J., Song Q., Yao L., Lu J. & Chen W. (2019). Rapid visual sensing and quantitative identification of duck meat in adulterated beef with a lateral flow strip platform. *Food chemistry*. 1: 294:224-30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.030>.
36. Rady, A. M., Adedeji, A., & Watson, N. J. (2021). Feasibility of utilizing color imaging and machine learning for adulteration detection in minced meat. *Journal of Agriculture and Food Research*, 6, 100251. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100251>.
37. Rai, V. N., & Thakur, S. N. (2020). Physics and dynamics of plasma in laser-induced breakdown spectroscopy. In *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (pp. 71-106). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818829-3.00004-6>.
38. Reis, M. M., Van Beers, R., Al-Sarayreh, M., Shorten, P., Yan, W. Q., Saeys, W., Klette, R. & Craigie, C. (2018). Chemometrics and hyperspectral imaging applied to assessment of chemical, textural and structural characteristics of meat. *Meat science*, 144, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.020>.
39. Ropodi, A. I., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. (2016). Data mining derived from food analyses using non-invasive/non-destructive analytical techniques; determination of food authenticity, quality & safety in tandem with computer science disciplines. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.011>.
40. Ropodi, A. I., Panagou, E. Z., & Nychas, G. J. E. (2017). Multispectral imaging (MSI): A promising method for the detection of minced beef adulteration with horsemeat. *Food Control*, 73, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.048>.
41. Ruiz-Valdepenas Montiel, V., Povedano, E., Benedé, S., Mata, L., Galán-Malo, P., Gamella, M., Reviejo, A.J., Campuzano, S. & Pingarrón, J. M. (2019). Disposable amperometric immunosensor for the detection of adulteration in milk through single or multiplexed

- determination of bovine, ovine, or caprine immunoglobulins G. *Analytical chemistry*, 91(17), 11266-11274. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b02336>.
42. Seddaoui, N., & Amine, A. (2020). A sensitive colorimetric immunoassay based on poly (dopamine) modified magnetic nanoparticles for meat authentication. *LWT*, 122, 109045. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109045>.
  43. Seddaoui, N., & Amine, A. (2020). A sensitive colorimetric immunoassay based on poly (dopamine) modified magnetic nanoparticles for meat authentication. *LWT*, 122, 109045. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109045>.
  44. Sezer, B., Bjelak, A., Velioglu, H. M., & Boyaci, I. H. (2022). Identification of meat species in processed meat products by using protein based laser induced breakdown spectroscopy assay. *Food Chemistry*, 372, 131245. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131245>.
  45. Shi, Y., Feng, Y., Xu, C., Xu, Z., Cheng, D., & Lu, Y. (2017). Loop-mediated isothermal amplification assays for the rapid identification of duck-derived ingredients in adulterated meat. *Food Analytical Methods*, 10, 2325-2331. <https://doi.org/10.1007/s12161-016-0767-0>.
  46. Skouridou, V., Tomaso, H., Rau, J., Bashammakh, A. S., El-Shahawi, M. S., Alyoubi, A. O., & O'Sullivan, C. K. (2019). Duplex PCR-ELONA for the detection of pork adulteration in meat products. *Food Chemistry*, 287, 354-362. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.095>.
  47. Spink, J., & Moyer, D. C. (2011). Defining the public health threat of food fraud. *Journal of food science*, 76(9), R157-R163. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02417.x>.
  48. Sul, S., Kim, M. J., Lee, J. M., Kim, S. Y., & Kim, H. Y. (2020). Development of a rapid on-site method for the detection of chicken meat in processed ground meat products by using a direct ultrafast PCR system. *Journal of Food Protection*, 83(6), 984-990. <https://doi.org/10.4315/JFP-19-583>.
  49. Sun, H., Song, C., Lin, X., & Gao, X. (2022). Identification of meat species by combined laser-induced breakdown and Raman spectroscopies. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 194, 106456. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2022.106456>.
  50. Sun, H., Song, C., Lin, X., & Gao, X. (2022). Identification of meat species by combined laser-induced breakdown and Raman spectroscopies. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 194, 106456. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2022.106456>.
  51. Teixeira, A. M., & Sousa, C. (2019). A review on the application of vibrational spectroscopy to the chemistry of nuts. *Food chemistry*, 277, 713-724. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.030>.
  52. Thienes, C. P., Masiri, J., Benoit, L. A., Barrios-Lopez, B., Samuel, S. A., Meshgi, M. A., Cox D.P., Dobritsa, A.P., Nadala C. & Samadpour, M. (2019). Quantitative detection of chicken and turkey contamination in cooked meat products by ELISA. *Journal of AOAC International*, 102(2), 557-563. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0136>.
  53. Velioglu, H. M., Sezer, B., Bilge, G., Baytur, S. E., & Boyaci, I. H. (2018). Identification of offal adulteration in beef by laser induced breakdown spectroscopy (LIBS). *Meat science*, 138, 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.12.003>.
  54. Wang, J., Wan, Y., Chen, G., Liang, H., Ding, S., Shang, K., Li M., Dong J., Du F., Cui X., & Tang, Z. (2019). Colorimetric detection of horse meat based on loop-mediated isothermal amplification (LAMP). *Food Analytical Methods*, 12, 2535-2541. <https://doi.org/10.1007/s12161-019-01590-9>.
  55. Wang, W., Peng, Y., Sun, H., Zheng, X., & Wei, W. (2018). Spectral detection techniques for non-destructively monitoring the quality, safety, and classification of fresh red meat. *Food Analytical Methods*, 11, 2707-2730. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1256-4>.
  56. Wang, X., Yan, C., Wei, M., Shi, C., Niu, S., & Ma, C. (2019). On-site method for beef detection based on strand exchange amplification. *Analytical Sciences*, 35(3), 337-341. <https://doi.org/10.2116/analsci.18P425>.

57. Wermer, L., & Im, S. K. (2019). Plasma and flow induced by single-and dual-pulse laser-induced breakdown in stationary air. *Plasma Sources Science and Technology*, 28(6), 065004. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab1cfe>.
58. Wu, H., Qian, C., Wang, R., Wu, C., Wang, Z., Wang, L., Zhang M., Ye Z., Zhang F., He J.S., & Wu, J. (2020). Identification of pork in raw meat or cooked meatballs within 20 min using rapid PCR coupled with visual detection. *Food Control*, 109, 106905. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106905>.
59. Xu, Z., Han, Y., Zhao, D., Li, K., Li, J., Dong, J. Shi, W., Zhao, H. & Bai, Y. (2024). Research Progress on Quality Detection of Livestock and Poultry Meat Based on Machine Vision, Hyperspectral and Multi-Source Information Fusion Technologies. *Foods*, 13(3), 469. <https://doi.org/10.3390/foods13030469>.
60. Yan, C., Wang, X., Zhao, X., Wei, M., Shi, C., & Ma, C. (2020). Development of a direct and visual isothermal method for meat adulteration detection in low resource settings. *Food chemistry*, 319, 126542. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126542>.
61. Yin R., Sun Y., Yu S., Wang Y., Zhang M., Xu Y., Xue J. & Xu N. (2016). A validated strip-based lateral flow assay for the confirmation of sheep-specific PCR products for the authentication of meat. *Food Control*, 1; 60:146-50. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.030>.
62. Yin, R., Sun, Y., Wang, K., Feng, N., Zhang, H., & Xiao, M. (2020). Development of a PCR-based lateral flow strip assay for the simple, rapid, and accurate detection of pork in meat and meat products. *Food chemistry*, 318, 126541. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126541>.
63. Ytsma, C. R., & Dyar, M. D. (2022). Calculations of and effects on quantitative limits for multivariate analyses of geological materials with laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 191, 106395. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2022.106395>.
64. Zhang, H., Liu, Z., Zhang, J., Zhang, L., Wang, S., Wang, L., Chen, J., Zou, C. & Hu, J. (2021). Identification of edible gelatin origins by data fusion of NIRS, fluorescence spectroscopy, and LIBS. *Food Analytical Methods*, 14, 525-536. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01893-2>.
65. Zhao L., Wang K., Yan C., Xiao J., Wu H., Zhang H., Zhang X., Zhang C., Hu Y., Lu X., & Zheng W. (2020). A PCR-based lateral flow assay for the detection of Turkey ingredient in food products. *Food Control*, 107, 106774. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106774>.
66. Zhao, H. T., Feng, Y. Z., Chen, W., & Jia, G. F. (2019). Application of invasive weed optimization and least square support vector machine for prediction of beef adulteration with spoiled beef based on visible near-infrared (Vis-NIR) hyperspectral imaging. *Meat science*, 151, 75-81. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.010>.
67. Zheng, X., Li, Y., Wei, W., & Peng, Y. (2019). Detection of adulteration with duck meat in minced lamb meat by using visible near-infrared hyperspectral imaging. *Meat Science*, 149, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.005>.
68. Zheng, X., Li, Y., Wei, W., & Peng, Y. (2019). Detection of adulteration with duck meat in minced lamb meat by using visible near-infrared hyperspectral imaging. *Meat science*, 149, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.005>.
69. Zvereva, E. A., Kovalev, L. I., Ivanov, A. V., Kovaleva, M. A., Zherdev, A. V., Shishkin, S. S., Lisitsyn, A.B., Chernukha, I.M. & Dzantiev, B. B. (2015). Enzyme immunoassay and proteomic characterization of troponin I as a marker of mammalian muscle compounds in raw meat and some meat products. *Meat science*, 105, 46-52. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.03.001>.

