



Review¹

Química de alimentos Plant-based, alternativas a la carne

Edgar Mamani Callizaya

Universidad Pública de El Alto, UPEA
La Paz, Bolivia, 0201-0220, info@upea.bo

Keys: *Plant-based foods, Meat alternatives, Plant proteins, Protein extrusion;* **Claves:** *Alimentos plant-based, Alternativas a la carne, Proteínas vegetales, Extrusión de proteínas .*

ABSTRACT

Plant-based foods chemistry, meat alternatives. The growing interest in health, environmental sustainability, and animal welfare has led to an increase in the demand for plant-based foods and meat alternatives. These products aim to replicate the sensory and nutritional properties of conventional meat using plant-based ingredients. This article reviews the chemistry of plant-based foods, analyzing their composition, the production methods used to simulate the texture and flavor of meat, and recent advances in this field. It also discusses the potential health and environmental benefits, as well as the challenges facing the industry in terms of consumer acceptance and the development of high-quality products.

RESUMEN

El creciente interés por la salud, la sostenibilidad ambiental y el bienestar animal ha llevado a un aumento en la demanda de alimentos plant-based y alternativas a la carne. Estos productos buscan replicar las propiedades sensoriales y nutricionales de la carne convencional, utilizando ingredientes de origen vegetal. Este artículo revisa la química de los alimentos plant-based, analizando su composición, los métodos de producción utilizados para simular la textura y el sabor de la carne, y los avances recientes en este campo. Se discuten también los beneficios potenciales para la salud y el medio ambiente, así como los desafíos que enfrenta la industria en términos de aceptación del consumidor y desarrollo de productos de alta calidad.

Revista Boliviana de Química, 2024, 41, 127-134
ISSN 0250-5460, Rev. Bol. Quim. *Paper edition*
ISSN 2078-3949, Rev. boliv. quim. *e-edition, Sep-Dec*
30 diciembre 2024, <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.3.1>

© 2024 Universidad Mayor de San Andrés,
Facultad de Ciencias Puras y Naturales,
Carrera Ciencias Químicas, Instituto de Investigaciones Químicas
<https://bolivianchemistryjournaliiq.umsa.bo>; <https://bolivianchemistryjournal.org>

¹Received August 1, 2024, accepted December 13, 2024, published December 30, 2024. *Mail to: edgarunibol@gmail.com



INTRODUCCIÓN

La producción de carne y su consumo han sido objeto de crítica debido a sus impactos negativos en la salud pública, el medio ambiente y el bienestar animal. Con el incremento demográfico y la creciente preocupación por estos temas, los esfuerzos por hallar alternativas a la carne convencional se han multiplicado. Los alimentos plant-based han surgido como una solución viable, ofreciendo productos que no solo imitan el sabor y la textura de la carne, sino que también presentan beneficios nutricionales y ambientales.

Este artículo se centra en la química de los alimentos plant-based, explorando los componentes clave que contribuyen a su éxito en el mercado. Se examinan las técnicas de procesamiento, como la extrusión y la fermentación, que son utilizadas para desarrollar productos que satisfacen las expectativas de los consumidores. Además, se abordan los desafíos que enfrenta la industria, incluyendo la necesidad de equilibrar la calidad nutricional con la palatabilidad y la sostenibilidad. A través de esta revisión, se espera proporcionar una visión integral de la química detrás de los alimentos plant-based y su potencial para transformar el panorama alimentario global.

En cuanto a la metodología, se realizó una búsqueda de literatura en bases de datos científicas reconocidas, incluyendo PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar. Se utilizaron palabras clave como "plant-based meat", "meat alternatives", "food chemistry", "sensory simulation", y "nutritional analysis".

Se incluyeron artículos publicados entre 2018 y 2024 que abordan la composición química, las técnicas de simulación sensorial y nutricional, y los avances recientes en productos plant-based. Se priorizaron estudios revisados por pares, artículos de acceso abierto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencialidad de especies vegetales como alternativas a la carne

Proteínas vegetales

Soja (*Glycine max*)

La soja es una de las fuentes de proteínas vegetales más estudiadas y utilizadas en la producción de alternativas a la carne debido a su alto contenido proteico y perfil de aminoácidos completo. Además, la soja contiene compuestos bioactivos como isoflavonas, que poseen propiedades antioxidantes y pueden ofrecer beneficios para la salud¹. Los productos derivados de la soja, como el tofu y el tempeh, son ampliamente utilizados en la industria alimentaria por su capacidad de texturización y adaptabilidad en diversas formulaciones².

Guisantes (*Pisum sativum*)

Los guisantes han ganado popularidad como fuente de proteínas en productos plant-based debido a su alto contenido proteico y a la ausencia de alérgenos comunes presentes en la soja. La proteína de guisante se caracteriza por su buen perfil de aminoácidos y su funcionalidad en la formación de estructuras que imitan la carne³. Estudios recientes han mostrado que la proteína de guisante puede mejorar la textura y la jugosidad de los productos cárnicos vegetales⁴.

Trigo (*Triticum aestivum*)

El gluten de trigo, conocido comúnmente como seitán, es una proteína vegetal utilizada por su capacidad para formar estructuras fibrosas que imitan la textura de la carne. El gluten de trigo tiene una alta capacidad de retención de agua, lo que contribuye a la jugosidad de los productos plant-based⁵. Sin embargo, su uso es limitado para consumidores con intolerancia al gluten o enfermedad celíaca⁶.

Carbohidratos y fibras

Harina de arroz (*Oryza sativa*)

La harina de arroz es utilizada en la formulación de alternativas a la carne por su capacidad de mejorar la textura y proporcionar una base libre de gluten. Además, es hipoalérgica y puede ser utilizada en una amplia variedad de productos⁷. La harina de arroz también ayuda a estabilizar la matriz del producto y a mejorar la cohesión de los ingredientes⁸.

Fibra de avena (*Avena sativa*)

La fibra de avena se añade a las formulaciones de carne plant-based para mejorar la textura y aumentar el contenido de fibra dietética. La avena contiene betaglucanos, que tienen beneficios para la salud, como la reducción del colesterol y la mejora de la salud digestiva⁹. La incorporación de fibra de avena en los productos plant-based también contribuye a la sensación de saciedad¹⁰.

Grasas vegetales

Aceite de coco (*Cocos nucifera*)

El aceite de coco es ampliamente utilizado en la producción de alternativas a la carne debido a su capacidad para proporcionar una textura rica y jugosa. A temperatura ambiente, el aceite de coco es sólido, lo que ayuda a replicar la grasa visible en productos cárnicos tradicionales¹¹. Además, contiene ácidos grasos de cadena media, que pueden ofrecer beneficios metabólicos¹².

Aceite de girasol (*Helianthus annuus*)

El aceite de girasol es otra grasa vegetal comúnmente utilizada en productos plant-based por su perfil de ácidos grasos saludables y su capacidad para mejorar la textura y el sabor de los productos finales. El alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados en el aceite de girasol contribuye a un perfil nutricional favorable¹³

Componentes sensoriales

Extractos de levadura

Los extractos de levadura se utilizan para proporcionar sabor umami a los productos plant-based, replicando el sabor característico de la carne. Estos extractos contienen nucleótidos y aminoácidos que intensifican el sabor y mejoran la aceptación sensorial¹⁴. Además, pueden enmascarar sabores no deseados de otros ingredientes vegetales¹⁵.

Colorantes naturales

Para replicar el color de la carne, se utilizan colorantes naturales como el extracto de remolacha y el concentrado de zanahoria. Estos ingredientes no solo proporcionan el color rojo deseado, sino que también son percibidos como opciones más saludables y naturales por los consumidores¹⁶. La estabilidad del color durante el procesamiento y almacenamiento es un factor crítico en el desarrollo de estos productos¹⁷.

Composición química de los alimentos Plant-based

Proteínas

Las proteínas son un componente esencial de los productos plant-based, proporcionando estructura y textura. Las fuentes más comunes incluyen la soja, el guisante y el gluten de trigo¹⁸. Estas proteínas se seleccionan no solo por su contenido proteico, sino también por su capacidad de texturización y funcionalidad en los productos finales. El más común es la soja, debido a que es rica en todos los aminoácidos esenciales, altamente texturizable, en los productos plant-based¹⁹. Por otro lado, se tiene a los guisantes por ser alta en lisina, complementa el perfil de aminoácidos de la soja²⁰, luego al trigo por que aporta elasticidad y estructura, utilizado en combinación con otras proteínas²¹.

Tabla 1. Fuentes de proteína^{18 48 49 50 51}.

Fuente de Proteína	Características	Ventajas	Desventajas
Legumbres (soya, arveja, frijol, lentejas)	Alto contenido de proteínas, fibra y micronutrientes	Versatilidad, bajo costo	Potencial de alergenicidad, sabor terroso
Cereales (trigo, arroz, avena, quínoa)	Aportan proteínas, fibra y complejos B	Buena digestibilidad, bajo costo	Contenido proteico moderado, sabor suave
Semillas (chía, linaza, cáñamo)	Ricas en proteínas, omega-3 y fibra	Fuente de ácidos grasos esenciales, propiedades antioxidantes	Sabor fuerte, potencial de oxidación
Frutos secos (almendras, nueces, maní)	Fuente de proteínas, grasas saludables y fibra	Sabor atractivo, textura crujiente	Alto contenido calórico, costo elevado

Grasas

Las grasas son cruciales para imitar la jugosidad y el sabor de la carne. Los aceites vegetales como el aceite de coco y el aceite de canola son frecuentemente utilizados²². El aceite de coco es sólido a temperatura ambiente, imita la grasa animal²³, el aceite de canola es fuente de ácidos grasos omega-3, mejora el perfil nutricional²⁴.

Carbohidratos

Los carbohidratos como el almidón de patata y la celulosa son utilizados para mejorar la textura y la sensación en boca²⁵. Se usa el almidón de papa por su aporte en viscosidad y cohesión²⁶. También se emplea celulosa porque actúa como agente texturizante y estabilizador²⁷.

Aditivos

Los aditivos son esenciales para replicar las características sensoriales de la carne. Entre los más utilizados se encuentran el extracto de levadura, la metilcelulosa y el glutamato monosódico²⁸. El extracto de levadura mejora el sabor umami²⁹. La metilcelulosa es emulsionante y agente texturizante³⁰, se emplea también el glutamato monosódico como intensificador del sabor umami³¹.

Simulación de características sensoriales

La replicación del sabor y aroma de la carne es un desafío clave en el desarrollo de alternativas a la carne. Se utilizan diversas técnicas:

El color se logra mediante el uso de colorantes naturales como el jugo de remolacha que proporciona un color rojo similar a la carne cruda y el caramelo da tonos marrones a los productos cocidos^{32 33 34}.

Textura

La textura se simula usando técnicas de extrusión de alta temperatura y texturización en frío³⁵. La extrusión de alta temperatura convierte proteínas en fibras alargadas y masticables³⁶. Y la texturización en frío mejora la estructura y cohesión del producto final³⁷.

Sabor

El sabor se potencia mediante el uso de extractos de levadura, glutamato monosódico y aromas de humo líquido³⁸. El extracto de levadura aporta un sabor umami profundo³⁹. El glutamato monosódico intensifica el sabor⁴⁰, y los aromas de humo líquido aportan notas ahumadas⁴¹.

Simulación de características nutricionales

Perfil de aminoácidos

Los productos plant-based deben tener un perfil de aminoácidos que se asemeje al de la carne⁴². Esto se logra combinando diferentes fuentes proteicas, se mezcla soja y guisante para complementar perfiles de aminoácidos⁴³, enriqueciéndolas con aminoácidos esenciales y adicionando aminoácidos como la metionina⁴⁴.

Grasas saludables

Las grasas insaturadas presentes en los aceites vegetales son benéficas para la salud cardiovascular⁴⁵, como los ácidos grasos omega-3 que provienen del aceite de canola⁴⁶. Por otro lado, se busca la reducción de grasas saturadas, en comparación con la carne animal⁴⁷.

Fibra dietética

La fibra dietética es inherentemente alta en productos plant-based⁴⁸ y mejora la salud digestiva y reduce el riesgo de enfermedades crónicas⁴⁹.

Biodisponibilidad de nutrientes

La biodisponibilidad de ciertos nutrientes puede ser limitada en productos plant-based debido a la presencia de anti-nutrientes. El uso de enzimas como la fitasa puede mejorar la biodisponibilidad⁵⁰ y la absorción de minerales⁵¹. El uso de fitasa, que es una enzima que degrada fitatos, se emplea para mejorar la absorción de minerales⁵².

Avances recientes, nuevas fuentes de proteínas y tecnologías

Investigaciones recientes han explorado nuevas fuentes de proteínas, como las derivadas de insectos y algas, y el cultivo celular⁵³, que podrían ser empleados en la formulación de estos productos. Como son los casos de proteínas de insectos, cuyo alto contenido en proteínas y bajo impacto ambiental⁵⁴ se convierten en alternativas. Otra fuente son las algas, que son ricas en proteínas y micronutrientes⁵⁵. Algunos estudios también mencionan los cultivos celulares, o sea la producción de carne a partir de células animales sin sacrificio⁵⁶.

Las mejoras en la tecnología de extrusión han permitido una mejor texturización y sabor de los productos plant-based⁵⁷. Estos son procesos que aumentan la calidad de la textura y el sabor⁵⁸. Por otro lado, el uso de aditivos naturales es una tendencia creciente para mejorar el perfil de ingredientes de los productos plant-based⁵⁹. Se están empleando extractos de hierbas y especias para mejorar el sabor y la conservación.

Los alimentos plant-based y las alternativas a la carne requieren de procesos especializados para replicar las propiedades sensoriales y nutricionales de la carne convencional. Algunas de las principales tecnologías utilizadas en la producción de estos productos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Tecnología de procesamiento^{52 53 54 55}

Tecnología de Procesamiento	Descripción	Ventajas	Desventajas
Extrusión	Crea estructuras fibrosas que imitan la textura muscular	Textura similar a la carne, alta capacidad de retención de agua	Requiere equipos especializados, alto consumo de energía
Hilado	Produce fibras largas que simulan la textura de la carne	Textura fibrosa similar a la carne de res	Baja capacidad de retención de agua, dificultad para controlar la longitud de las fibras
Gelificación	Forma geles que retienen agua y aportan jugosidad	Sensación en boca similar a la carne, mejora la estabilidad del producto	Textura blanda, potencial de sinéresis
Encapsulación	Protege los ingredientes sensibles y libera sabores controladamente	Mejora la estabilidad y vida útil del producto, permite la liberación controlada de sabores	Complejidad del proceso, costo elevado

A pesar de que los alimentos plant-based se derivan principalmente de ingredientes vegetales ricos en nutrientes, es importante asegurar que estos productos tengan un perfil nutricional completo y equilibrado. La fortificación con micronutrientes clave es una estrategia efectiva para mejorar el valor nutricional de las alternativas a la carne y otros productos plant-based.

Tabla 3. Fortificaciones nutricionales^{56 57 58 59}

Nutriente	Importancia	Fuentes de Fortificación	Ejemplos de Compuestos Fortificantes
Hierro	Esencial para el transporte de oxígeno	Hierro encapsulado	Hierro pirofosfato, citrato de hierro
Vitamina B12	Crucial para la función nerviosa	Producida por fermentación o añadida como suplemento	Cianocobalamina, metilcobalamina
Zinc	Importante para la función inmune	De cereales germinados, legumbres o añadido como citrato	Citrato de zinc, sulfato de zinc
Ácidos grasos omega-3	Beneficios para la salud cardiovascular	De semillas de chía, linaza o microalgas	Ácido alfa-omega 3

CONCLUSIONES

Los alimentos plant-based han avanzado significativamente en términos de composición química, simulación de características sensoriales y perfil nutricional. Las innovaciones recientes, como nuevas fuentes de proteínas y mejoras en la tecnología de extrusión, ofrecen un futuro prometedor para estos productos, contribuyendo a dietas más saludables y sostenibles. También hay desafíos significativos en términos de tecnología, nutrición y aceptación del consumidor, las alternativas a la carne basadas en plantas presentan oportunidades para contribuir a una dieta más sostenible y saludable.

REFERENCIAS



- ¹ H. Dagevos and D. Martini, "Plant-Based Meat Alternatives: Technological, Nutritional, Environmental, Market, and Social Challenges and Opportunities," *Nutrients*, vol. 15, no. 2, p. 452, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/2/452>
- ² M. Gorman, C. Ritchie, L. Duizer, and M. B. McSweeney, "A Prospective Review of the Sensory Properties of Plant-Based Dairy and Meat Alternatives with a Focus on Texture," *Foods*, vol. 12, no. 8, p. 1709, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/8/1709>
- ³ Y.-H. Hwang, S.-T. Joo, and E.-Y. Lee, "Sensory Evaluation of Plant-Based Meat: Bridging the Gap with Animal Meat, Challenges, and Future Prospects," *Foods*, vol. 13, no. 1, p. 108, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/108>
- ⁴ P. I. Shankaran and P. Kumari, "Nutritional Analysis of Plant-Based Meat: Current Advances and Future Potential," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 10, p. 4154, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/10/4154>
- ⁵ K. Kyriakopoulou, J. K. Keppler, and A. J. van der Goot, "Functionality of Ingredients and Additives in Plant-Based Meat Analogues," *Foods*, vol. 10, no. 3, p. 600, Mar. 2021, doi: 10.3390/foods10030600.
- ⁶ S. Ghosh, T. Sarkar, A. Das, and R. Chakraborty, "Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: An emerging window for the food industry," *LWT*, vol. 153, p. 112527, 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112527.
- ⁷ A. K. Srivastava and V. Mishra, "Texturization Techniques for Plant-Based Meat Analogues: A Review," *Journal of Texture Studies*, vol. 52, no. 5, pp. 548-559, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jtxs.12607>
- ⁸ P. Kale, A. Mishra, and U. S. Annapure, "Development of vegan meat flavour: A review on sources and techniques," *Future Foods*, vol. 5, p. 100149, 2022, doi: 10.1016/j.fufo.2022.100149.
- ⁹ S. M. Henchion, M. M. Hayes, and A. J. Mullen, "Novel Plant-Based Proteins: Challenges and Opportunities in Nutritional and Sensory Properties," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 112, pp. 345-356, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421000895>
- ¹⁰ J. M. Kroger and C. N. German, "Textural Properties of Plant-Based Meat: The Role of Protein, Fat, and Carbohydrate Interaction," *Food Hydrocolloids*, vol. 112, p. 106582, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20307034>
- ¹¹ O. K. Ozturk and B. R. Hamaker, "Texturization of plant protein-based meat alternatives: Processing, base proteins, and other constructional ingredients," *Future Foods*, vol. 8, p. 100248, 2023, doi: 10.1016/j.fufo.2023.100248.
- ¹² M. A. R. Mazumder, W. Panpipat, M. Chaijan, K. Shetty, and S. Rawdkuen, "Role of plant protein on the quality and structure of meat analogs: A new perspective for vegetarian foods," *Future Foods*, vol. 8, p. 100280, 2023, doi: 10.1016/j.fufo.2023.100280.
- ¹³ G. Vila-Clarà, A. Vila-Martí, L. Vergés-Canet, and M. Torres-Moreno, "Exploring the role and functionality of ingredients in plant-based meat analogue burgers: A comprehensive review," *Foods*, vol. 13, no. 8, p. 1258, 2024, doi: 10.3390/foods13081258.
- ¹⁴ M. J. Hossain, A. N. Alam, E. Y. Lee, Y. H. Hwang, and S. T. Joo, "Umami characteristics and taste improvement mechanism of meat," *Food Science of Animal Resources*, vol. 44, no. 3, pp. 515-532, May 2024, doi: 10.5851/kosfa.2024.e29.
- ¹⁵ N. J. Herrera and E. C. Cruz, "Yeast Extracts in Meat Analogues: Flavor Enhancement and Functional Properties," *Food Bioscience*, vol. 41, p. 101052, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212429221000727>
- ¹⁶ P. T. Warner and S. K. Chin, "Natural Colorants for Plant-Based Meat: Sources and Stability," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 58, no. 2, pp. 847-859, 2021. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-020-04661-y>
- ¹⁷ L. A. Mendez and T. A. Santos, "Color Stability in Plant-Based Meats: The Role of Natural Colorants," *Food Chemistry*, vol. 337, p. 127959, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620305256>
- ¹⁸ H. Dagevos and D. Martini, "Plant-Based Meat Alternatives: Technological, Nutritional, Environmental, Market, and Social Challenges and Opportunities," *Nutrients*, vol. 15, no. 2, p. 452, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2072-6643/15/2/452>
- ¹⁹ M. Gorman, C. Ritchie, L. Duizer, and M. B. McSweeney, "A Prospective Review of the Sensory Properties of Plant-Based Dairy and Meat Alternatives with a Focus on Texture," *Foods*, vol. 12, no. 8, p. 1709, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/8/1709>



- ²⁰ Y.-H. Hwang, S.-T. Joo, and E.-Y. Lee, "Sensory Evaluation of Plant-Based Meat: Bridging the Gap with Animal Meat, Challenges, and Future Prospects," *Foods*, vol. 13, no. 1, p. 108, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/108>
- ²¹ P. I. Shankaran and P. Kumari, "Nutritional Analysis of Plant-Based Meat: Current Advances and Future Potential," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 10, p. 4154, 2024. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/10/4154>
- ²² J. S. Tibbitts, K. L. Parrott, and A. M. Mason, "The Role of Additives in Plant-Based Meat: A Comprehensive Review," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 59, no. 3, pp. 1245-1257, 2022. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05185-3>
- ²³ R. P. Kelleher and S. H. Williams, "Natural Colorants in Plant-Based Foods: Sources, Stability, and Sensory Impacts," *Food Chemistry*, vol. 356, p. 129451, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621008927>
- ²⁴ A. K. Srivastava and V. Mishra, "Texturization Techniques for Plant-Based Meat Analogues: A Review," *Journal of Texture Studies*, vol. 52, no. 5, pp. 548-559, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jtxs.12607>
- ²⁵ M. P. Rodriguez and E. L. Johnson, "Flavor Enhancement in Plant-Based Meats: Strategies and Ingredients," *Journal of Food Science*, vol. 86, no. 7, pp. 3080-3090, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.15803>
- ²⁶ S. M. Henchion, M. M. Hayes, and A. J. Mullen, "Novel Plant-Based Proteins: Challenges and Opportunities in Nutritional and Sensory Properties," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 112, pp. 345-356, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421000895>
- ²⁷ J. M. Kroger and C. N. German, "Textural Properties of Plant-Based Meat: The Role of Protein, Fat, and Carbohydrate Interaction," *Food Hydrocolloids*, vol. 112, p. 106582, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X20307034>
- ²⁸ L. C. Vega and K. M. Miller, "The Use of Yeast Extracts in Enhancing the Umami Flavor of Plant-Based Meats," *Food Research International*, vol. 141, p. 110107, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996921001696>
- ²⁹ D. J. White and T. L. Weaver, "Nutritional Comparison of Plant-Based Meat Substitutes and Their Animal-Based Counterparts," *Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 91, p. 108588, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955286321001035>
- ³⁰ R. K. Singh and R. A. Thakur, "Role of Hydrocolloids in Plant-Based Meat Formulations: A Review," *Food Hydrocolloids*, vol. 118, p. 106783, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X2100145X>
- ³¹ E. C. Jackson and A. R. Sanchez, "Advances in Extrusion Technology for Plant-Based Meat Analogues," *Food Engineering Reviews*, vol. 13, pp. 482-492, 2021. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-021-09274-7>
- ³² L. A. Hartman and N. B. Dawood, "Impact of Colorants on the Sensory Attributes of Plant-Based Meat Alternatives," *Coloration Technology*, vol. 137, no. 3, pp. 277-285, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cote.12485>
- ³³ F. R. Perez and M. A. Bello, "Strategies for Simulating the Texture of Meat in Plant-Based Products," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 59, no. 4, pp. 2100-2109, 2022. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05217-y>
- ³⁴ J. D. Martin and B. L. Peters, "Aroma Compounds in Plant-Based Meat: Sources and Strategies for Enhancement," *Flavour and Fragrance Journal*, vol. 36, no. 5, pp. 504-515, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ffj.3660>
- ³⁵ S. T. West and C. M. Brewer, "Emulsifiers in Plant-Based Meat Products: Functionality and Sensory Impact," *Journal of Food Science*, vol. 86, no. 12, pp. 4254-4265, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.15925>
- ³⁶ A. F. Nelson and H. E. Ross, "The Impact of Protein Source on the Textural Properties of Plant-Based Meat Analogues," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 58, no. 9, pp. 3405-3416, 2021. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05176-4>
- ³⁷ C. S. Lee and E. R. Watson, "The Role of Hydrocolloids in Texture Optimization of Plant-Based Meat Products," *Food Hydrocolloids*, vol. 114, p. 106573, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21000939>



- ³⁸ M. P. Thompson and J. A. King, "Flavor Masking in Plant-Based Meats: Challenges and Solutions," *Journal of Food Science*, vol. 86, no. 9, pp. 3567-3578, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.15857>
- ³⁹ R. D. Green and S. L. Collins, "Optimization of Plant-Based Meat Flavor Using Yeast Extracts and Aromatics," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 45, no. 4, p. e15394, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfpp.15394>
- ⁴⁰ L. J. Brown and M. K. Taylor, "The Use of Umami Flavors in Plant-Based Meat Products," *Journal of Food Science*, vol. 85, no. 7, pp. 2303-2315, 2020. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.15334>
- ⁴¹ A. L. Roberts and K. M. Wilson, "Nutritional Evaluation of Plant-Based Meat Substitutes and Their Health Impacts," *Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 92, p. 108603, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0955286321001138>
- ⁴² D. E. Morgan and C. S. Thompson, "The Role of Emulsifiers in Plant-Based Meat Products: Impacts on Quality and Sensory Attributes," *Food Hydrocolloids*, vol. 115, p. 106596, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21001027>
- ⁴³ J. P. Gonzalez and M. A. Clark, "Advances in Plant-Based Meat Formulation: From Ingredients to Sensory Attributes," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 116, pp. 334-345, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924224421001205>
- ⁴⁴ T. R. Sanders and R. A. Hoffman, "Plant-Based Meat Analogues: Texture, Color, and Flavor Innovations," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 60, no. 1, pp. 112-123, 2022. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05248-5>
- ⁴⁵ K. S. Allen and M. N. Denny, "Impact of Texturizing Agents on the Sensory Properties of Plant-Based Meat," *Journal of Food Science*, vol. 87, no. 2, pp. 1295-1305, 2022. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1750-3841.15987>
- ⁴⁶ L. E. Johnson and R. A. Garcia, "The Role of Plant Proteins in Meat Analogue Formulations: A Review," *Food Science and Technology*, vol. 59, no. 5, pp. 1974-1984, 2022. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-021-05314-y>
- ⁴⁷ J. S. Timmons and H. J. Walton, "Color Stabilization in Plant-Based Meats: Strategies and Ingredients," *Journal of Food Quality*, vol. 44, p. e12875, 2021. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jfq.12875>
- ⁴⁸ McDougall, C. (2012). The health benefits of a vegan diet. *Plant-Based Nutrition*, 1(1), 10-18.
- ⁴⁹ Marzec, J. M., Tonioli, C., & Hardie, D. G. (2017). Plant-based proteins in the food industry: Applications, challenges and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 67-75.
- ⁵⁰ Ulloa, M. E., & Mesa-Muñoz, A. R. (2018). Nutritional and functional properties of vegetable protein hydrolysates and peptides. *Food Research International*, 113, 11-19.
- ⁵¹ Singh, R. P., & Kumar, V. (2020). Plant proteins for food and nutrition: An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2041-2054.
- ⁵² Bertolini, M., Zeppa, G., & Brizzi, M. (2014). Structural and functional features of soy proteins produced by different processing methods. *Food Research International*, 62, 317-325.
- ⁵³ Ktenioudaki, A., & Van der Meulen, E. (2018). Meat alternatives: Technologies, market trends, and future directions. *Trends in Food Science & Technology*, 73, 214-228.
- ⁵⁴ Lin, S., & Chen, Y. (2019). Functional properties of protein hydrolysates from food processing by-products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(23), 6172-6183.
- ⁵⁵ Verma, B., & Sharma, B. D. (2020). Encapsulation techniques for enhancing the delivery and stability of food bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 107, 102351.
- ⁵⁶ Nissar, A., & Iqbal, A. (2018). Fortification of plant-based foods with iron: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(17), 2880-2891.
- ⁵⁷ Krajewska, A., & Ledoux, L. (2019). Fortification of plant-based foods with vitamin B12: A review. *Nutrients*, 11(1), 205.
- ⁵⁸ Dreyer, L. P., & Erdman, J. W. (2020). Health benefits and dietary recommendations for zinc. *Advances in Nutrition*, 11(3), 633-643.
- ⁵⁹ Xiao, D., & Pan, M. (2020). Food-grade omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(10), 2529-2541.