



ARTÍCULO ORIGINAL

Efecto del uso de diferentes ácidos orgánicos como antimicrobianos en carne molida

Effect of Different Organic Acids as Antimicrobials on Ground Beef

Autores: Sabrina E. Blandón y Jerrad F. Legako

Efecto del uso de diferentes ácidos orgánicos como antimicrobianos en carne molida

Effect of Different Organic Acids as Antimicrobials on Ground Beef

Autor: 1. Sabrina E. Blandón (ORCID: 0000-0002-5814-0044)

2. Jerrad F. Legako (ORCID: 0000-0001-5384-4248)

Sobre el autor: 1,2 Texas Tech University, Lubbock, Texas

Información del manuscrito: Recibido/Received: 14-10-24

Aceptado/Accepted: 19-12-24

Contacto de correspondencia: sablando@ttu.edu

Resumen

Introducción: Los patógenos transmitidos por los alimentos, como *E. coli* productora de toxinas Shiga (STEC) y *Salmonella* spp. son la principal causa de enfermedad e incluso de muerte en todo el mundo. En las plantas de procesamiento se utilizan numerosas intervenciones antimicrobianas para reducir los patógenos presentes en alimentos y específicamente, en la carne. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de intervenciones antimicrobianas comunes, y observar el efecto en la calidad de la carne molida de tres diferentes porcentajes de grasa. **Metodología:** Se inocularon 10 recortes de vacuno con aislados específicos de cepas de STEC y *Salmonella*. Los cortes se intervinieron con ácido peracético o láctico, mediante aerosol e inmersión. Los enjuagues de carne se diluyeron en series, y se sembraron siguiendo el método de dilución en gotas. Para comunicar los resultados, se utilizó un intervalo numerable de 2-30 colonias, tras un proceso de transformación logarítmica. Y finalmente, se evaluó el olor y microorganismos de deterioro en el producto final. Un aumento del 1 % en el porcentaje de absorción incrementará la reducción de patógenos en 0.16 LogCFU/g. **Resultados:** En la evaluación de la carne molida para detectar organismos en deterioro, se observó una diferencia significativa a lo largo del tiempo ($P < 0.001$). No se encontró diferencias notables para la evaluación del olor. **Conclusiones:** La calidad no se vio afectada por los porcentajes (alto y bajo) de utilización de la intervención antimicrobiana, por lo cual, se recomienda un aumento en los porcentajes y, así, incrementar la inocuidad de la carne molida.

Palabras clave: ácido orgánico, carne molida, *Escherichia coli*, *Salmonella*

Abstract

Introduction: Foodborne pathogens such as Shiga toxin-producing *E. coli* (STEC) and *Salmonella* spp. are the leading cause of illness and even death worldwide. Numerous antimicrobial interventions are used in processing plants to reduce pathogens in food and specifically meat products. The objective of this study was to evaluate the effect of common antimicrobial interventions and to observe the effect on ground beef of three different lean levels. **Methodology:** Beef trimmings were inoculated with specific isolates of STEC or *Salmonella* strains. Trimmings were intervened with peracetic or lactic acid by spray or dip. Meat rinses were serially diluted and plated following the drop dilution method, and an enumerable range of 2-30 colonies was used to report results after log transformation. Odor and spoilage organisms were analyzed for the quality part of ground beef. A 1 % increase in percent uptake will increase pathogen reduction by 0.16 LogCFU/g. **Results:** In the evaluation of ground beef for spoilage organisms, a significant difference was observed over time ($P < 0.001$). No significant differences were found for the evaluation of odor. **Conclusions:** Quality was not affected by high and low percentages of antimicrobial intervention utilization.

Keywords: *Escherichia coli*, Ground beef, *Salmonella*, Organic Acids

Introducción

El consumo de carne molida se ha identificado como una de las principales causas de enfermedades e infecciones transmitidas por los alimentos en numerosas investigaciones y evaluaciones de brotes (Bogard et al. 2013). Si los patógenos están presentes cuando la carne se muele, entonces una mayor parte de la superficie de la carne queda expuesta a las bacterias. Además, la molienda permite que cualquier bacteria presente en la superficie, se mezcle en toda la carne (Food Safety and Inspection Service 2016).

Las intervenciones más utilizadas que han demostrado ser eficaces contra los patógenos son los ácidos orgánicos, ácido láctico (LA) y ácido peracético (PAA) (Belanger 2014). El ácido láctico se utiliza ampliamente en la industria cárnica debido a su bajo costo (Wheeler, Kalchayanand, and Bosilevac 2014), y a su capacidad para inhibir el crecimiento de organismos que alteran los alimentos (Alakomi et al. 2000). Además, el ácido peracético, se degrada a mayor velocidad en períodos cortos de tiempo (Davenport 2016). Ellebracht et al. (1999) mostraron en su estudio la reducción de *E. coli* O157:H7 y *Salmonella* typhimurium con el uso de ácidos orgánicos.

Los cortes utilizados para preparar la carne molida se obtienen de muchos animales y, como se mezclan y trituran, esta carne es muy susceptible a la contaminación microbiana y tiene una vida útil muy corta, por lo que sigue siendo una fuente potencial de enfermedades transmitidas por los alimentos (Jimenez-Villarreal et al. 2003). Por estas razones, se han aplicado muchas intervenciones antimicrobianas en las plantas de procesamiento para reducir el riesgo potencial de contaminación por patógenos como, *E. coli* productora de Shiga-Toxina y *Salmonella*.

Junto con la eficacia de los tratamientos antimicrobianos, es importante entender cómo estos tratamientos impactan en la calidad de la carne (Eastwood et al. 2018). Desafortunadamente, sigue sin conocerse qué efecto podrían tener los antimicrobianos en las reducciones microbianas, el color y las características sensoriales de la carne molida de vacuno (Pohlman et al. 2002). Los consumidores consideran la decoloración como un indicador de frescura y salubridad. Utilizan estos atributos como base de sus decisiones de compra (Mancini and Hunt 2005); a pesar que, en ocasiones, el color está poco relacionado con la calidad de la carne, sigue siendo uno de los factores más influyentes en las decisiones de compra de los

consumidores (Cornforth y Jayasingh 2004). En la industria cárnica se están evaluando actualmente diversas soluciones antimicrobianas que reducen los patógenos (Quilo et al. 2009), y no tienen efectos adversos en las propiedades sensoriales o en el color de la carne (Mancini et al. 2002).

Basándose en la problemática especificada anteriormente, el objetivo del estudio es evaluar la eficacia de las intervenciones antimicrobianas comunes para la seguridad alimentaria, mediante aplicaciones por aerosol e inmersión a muestras de carne molida de vacuno; además de determinar cualquier influencia sobre la calidad del producto en respuesta al tratamiento antimicrobiano.

Métodos

Inoculación de recortes de carne

Se utilizaron siete aislados de *Escherichia coli* productora de toxina Shiga (STEC) (ECRC S0.1302, ECRC 97.1377, ECRC 2.0164, ECRC 3.1009, ECRC 3.1064, ECRC 9.0538 y ATCC 51657) y tres de *Salmonella* (ATCC 14028, ATCC 6962 y ATCC 31194) para inocular y evaluar la eficacia de los tratamientos.

Los aislados individuales congelados se transfirieron con un asa de inoculación (1 µL) a un tubo de ensayo con 5 ml de Caldo de Infusión de Cerebro y Corazón (CICC) y se incubaron a 37° C durante 18-24 horas. A continuación, se transfirió el aislado del cultivo y se filtró con un asa de inoculación (1 µl) en una placa con Agar de Soja (AS), la cual, se incubó durante 18-24 horas a 37° C. Se transfirió una colonia individual de la placa con un bastoncillo de algodón esterilizado a un tubo de ensayo con 5 ml de agua esterilizada. La concentración del patógeno se evaluó con la turbidez de la solución utilizando un nefelómetro y calibrándola con un estándar McFarland a 0.5 McF. Una turbidez de 0.5 McFarland equivale a 1-2 x 10⁸ UFC/ml. Después de confirmar la concentración con el nefelómetro, los 5 ml de cada tubo se transfirieron a un tubo falcon de 50 ml que contenía 45 ml de Agua de Peptona Tamponada (APT), para diluir la concentración de patógenos en un factor de 10. Cada tubo de 50 ml que contenía *Salmonella* se vertió en un atomizador para utilizarlo durante la fase de inoculación. Siguiendo el mismo procedimiento para la inoculación de STEC, se utilizó una botella pulverizadora separada; el protocolo para la preparación del cóctel de patógenos debe iniciarse 48 horas antes.

Producción de carne molida

Los recortes utilizados fueron de 90/10 y 50/50 (proporción entre magro y grasa), para producir carne molida de tres niveles diferentes de magro (90/10, 80/20 y 73/37). De cada lote, se colocaron nueve porciones de 1 libra de carne en bandejas de espuma de poliestireno y se envolvieron con película de PVC. Los recipientes se expusieron en una vitrina de venta bajo luz fluorescente continua, durante 4 días.

Evaluación de calidad

Se entrenaron a siete panelistas de acuerdo con las directrices para cuatro olores: oxidado, pútrido, agrio y químico. Los panelistas cuantificaron las muestras en una escala lineal no estructurada de 0 a 100, en la que “0” representaba ausencia de olor y “100” olor intenso. Cada paquete se abrió en una pequeña esquina para evaluar el olor en los días 0, 2 y 4 de exposición.

Se evaluó la carne molida en busca de organismos de deterioro a las 0, 2 y 4 de exposición. Tras el análisis de color y olor, se colocó una porción de carne picada en una bolsa whirl pak de 700 ml con filtro, cambiándose los guantes entre muestra y muestra, para evitar la

la contaminación cruzada. Después se pesaron 10 gr de muestra y se transfirieron a otra bolsa con filtro de 700 ml, donde se añadieron 90 ml de APT. La carne molida se evaluó para recuentos aeróbicos de Enterobacteriaceae y bacterias lácticas, utilizando el sistema de enumeración TEMPO. Las tarjetas TEMPO se incubaron a 35° C durante 24 horas. Los recuentos en placa de aerobios psicrotróficos (APC-P) se realizaron utilizando petrifilms, y se incubaron a 7° C durante 10 días. Los recuentos se realizaron utilizando el 3M Petrifilm Plate Reader y fueron comprobados en un contador de colonias estándar.

Análisis estadístico

En el primer modelo de regresión lineal, se utilizó la función incorporada lm de R para el análisis y el paquete ggplot2 para la visualización de datos (versión 4.0.4). El primer modelo general tenía la Reducción Log como variable dependiente y el Porcentaje de absorción como variable independiente.

$$(1) \text{LogReducción} = \beta_0 + \beta_1 \text{Absorción} + \varepsilon$$

Donde log (Reducción) representa las reducciones de STEC y *Salmonella* (es un coeficiente), Absorción es el porcentaje de agua retenida de los cortes (%) y ε es el término de error.

En el segundo modelo, β_i son parámetros, OA significa ácido peracético, Método significa método de aerosol, Corte es para corte 90/10, y ε_i es el término de error. Las variables base son el ácido láctico, el método de inmersión y el corte 50/50; por tanto, las variables ficticias son el ácido peracético, el método de aerosol y el recorte 90/10, respectivamente.

$$(2) \text{LogReducción} = \beta_0 + \beta_1 \text{Absorción} + \beta_2 \text{Ácido} + \beta_3 \text{Método} + \beta_4 \text{Corte} + \varepsilon$$

Para el modelo 3, se consideró las distintas interacciones de las variables explicativas, como puede observarse en la ecuación 3.

$$(3) \text{LogReducción} = \beta_0 + \beta_1 \text{Absorción} + \beta_2 \text{Ácido} + \beta_3 \text{Método} + \beta_4 \text{Corte} + \beta_5 \text{Ácido} \times \text{Método} + \beta_6 \text{Ácido} \times \text{Corte} + \beta_7 \text{Método} \times \text{Corte} + \varepsilon$$

Donde β_5 - β_7 corresponde a los coeficientes de interacción de la combinación de las variables explicativas (ácido, método y recorte).

La evaluación de la calidad de la carne molida se analizó mediante el procedimiento GLIMMIX de SAS (versión 9.4, SAS Institute, Cary, NC). Se utilizó la estructura de covarianza con el criterio de información de Akaike (AIC) más bajo. Los valores de probabilidad (valores P) inferiores o iguales a $\alpha = 0.05$ se consideraron significativos.

Resultados

Existe una diferencia significativa en la reducción de *Escherichia coli* productoras de toxina Shiga y *Salmonella* en relación con el porcentaje de absorción ($P < 0.01$). Como se muestra en la Tabla 1 y 2, cuando se combinan todos los tratamientos para STEC y *Salmonella*, se estima que por cada aumento del 1 % en la absorción de antimicrobiano se produce un aumento de 0.16 LogCFU/g en reducción de patógenos. Por ejemplo, la reducción estimada de STEC utilizando ácido peracético es 0.13 LogCFU/g mayor, que, utilizando ácido láctico. En cuanto al método, la aplicación por spray tiene un efecto negativo en la reducción de 0.26 LogCFU/g, en comparación con la aplicación por inmersión. Del mismo modo, el corte 50/50 tiene un efecto negativo en la reducción, que es inferior a 0.28 LogCFU/g, en comparación al corte 90/10 (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Coeficientes de regresión lineal estimados para la reducción de STEC con efectos principales e interacciones entre variables explicativas

Modelo 1			Modelo 2		Modelo 3	
Variable	Coeficiente (Error Estándar)	P-Value	Coeficiente (Error Estándar)	P-Value	Coeficiente (Error Estándar)	P-Value
Intercepto	0.2364 (0.0505)	<.0001	0.6793 (0.0720)	<.0001	0.5622 (0.0912)	<.0001
% Absorción	0.1646 (0.0198)	<.0001	0.0634 (0.0211)	0.0029	0.0722 (0.0233)	0.0021
Ácido			0.1326 (0.0369)	0.0004	0.0888 (0.0619)	<0.0001
Método			-0.2649 (0.0441)	<.0001	-0.1697 (0.0806)	0.0363
Corte			-0.2845 (0.0372)	<.0001	-0.1594 (0.0634)	0.0126
Ácido*Método					-0.1221 (0.0769)	0.1136
Ácido*Corte					-0.1958 (0.0721)	0.0071
Método* Corte					-0.476 (0.0741)	0.5213
Tamaño de la muestra		240		240		240
R2		0.2254		0.4436		0.4682
Pr>F		<.0001		<.0001		<.0001

a) Base ácido orgánico es ácido láctico. b) Base método es aplicación por inmersión. c) Base corte es 50/50
Fuente: Blandón y Legako, 2024.

Tabla 2. Coeficientes de regresión lineal estimados para la reducción de *Salmonella* spp. con efectos principales e interacciones entre variables explicativas

Modelo 1			Modelo 2		Modelo 3	
Variable	Coeficiente (Error Estándar)	P-Value	Coeficiente (Error Estándar)	P-Value	Coeficiente (Error Estándar)	P-Value
Intercepto	0.1455 (0.0392)	<.0001	0.3809 (0.0707)	<.0001	0.4082 (0.0790)	<.0001
% Absorción	0.1612 (0.0178)	<.0001	0.1249 (0.0226)	<.0001	0.1119 (0.0229)	<.0001
Ácido			0.0459 (0.0295)	0.1206	0.0888 (0.0483)	0.0670

Método	-0.0606 (0.0419)	0.1492	0.0184 (0.0619)	0.7659
Corte	-0.2518 (0.0296)	<.0001	-0.3571 (0.0507)	<.0001
Ácido*Método			-0.2440 (0.0557)	<.0001
Ácido*Corte			0.1537 (0.0556)	0.0062
Método*Corte			0.0514 (0.0590)	0.3847
Tamaño de la muestra	240	240	240	240
R2	0.2558	0.4371		0.4965
Pr>F	<.0001	<.0001		<.0001

Así mismo, en la Tabla 1 y 2, se puede observar el R2 de cada modelo explicado para los patógenos. De acuerdo con los resultados obtenidos, al incrementar las variables se obtiene un incremento en el R2. Al agregar más variables al modelo, esencialmente, se están introduciendo más potenciales predictores que pueden explicar la varianza de la variable dependiente.

Los resultados para los organismos en deterioro se presentan en la Tabla 3, donde todos los niveles de magro fueron significativos a lo largo del tiempo ($P < 0.001$), con relación a todas las bacterias evaluadas en el estudio. Los resultados de este análisis muestran un aumento gradual de los recuentos de APC a las 48h, y recuentos de hasta 7.54 LogCFU/g a las 96h. Los conteos de EB comenzaron a las 0h desde 2.22 LogCFU/g hasta 2.65 LogCFU/g y aumentaron hasta 5.52 LogCFU/g a las 96h. Las bacterias lácticas se encontraron entre 1.63 – 2.86 LogCFU/g a las 0h y alcanzaron 4.18 LogCFU/g a las 96h.

Tabla 3. Medias para organismos de deterioro¹ en tres puntos de muestreo diferentes² para todos los niveles de magro³

	Punto de Muestreo			SEM4	P-Value
	0h	48h	96h		
90/10					
APC	3.91 ^c	5.51 ^b	6.92 ^a	0.17	< 0.001
EB	2.22 ^c	3.83 ^b	5.52 ^a	0.20	< 0.001
LAB	1.63 ^c	2.98 ^b	3.89 ^a	0.22	< 0.001
APC-P	1.91 ^a	1.98 ^b	2.59 ^a	0.07	< 0.001
80/20					
APC	5.08 ^b	5.34 ^b	7.54 ^a	0.17	< 0.001
EB	2.65 ^c	4.07 ^b	4.07 ^b	0.17	< 0.001

LAB	2.86 ^c	3.26 ^b	3.26 ^b	0.18	< 0.001
APC-P	2.11 ^b	2.47 ^a	2.57 ^a	0.04	< 0.001
73/27					
APC	5.51 ^c	6.41 ^b	7.47 ^a	0.23	< 0.001
EB	2.59 ^c	6.86 ^b	5.50 ^a	0.16	< 0.001
LAB	1.77 ^c	3.02 ^b	3.97 ^a	0.18	< 0.001
APC-P	2.24 ^c	2.44 ^b	2.64 ^a	0.04	< 0.001

1. Conteo aerobios totales (APC), Enterobacteriaceae (EB), bacteria ácido láctica (LAB), y Conteo aerobios totales- psicrotrofas (APC-P)

2. 0h, 48h y 96h

3. 90/10, 80/20 y 73/27 (relación magro-grasa)

4. Error estándar de la media (mayor) A-C Medias dentro de una fila sin un superíndice común difieren (P < 0,05)

Fuente: Blandón y Legako, 2024.

La carne molida fue evaluada por panelistas entrenados para identificar atributos específicos de olor —agrio, oxidado, pútrido y químico—, relacionados con la vida útil del producto (Tabla 4). A las 0h los atributos de olor no eran tan reconocibles en comparación con las 96h. Las puntuaciones aumentaron a medida que avanzaba el período de exposición. Cabe mencionar, que las puntuaciones de los panelistas en la evaluación del olor de los productos químicos, no fueron superiores a 6.90; por lo tanto, el uso de intervenciones antimicrobianas en porcentajes de absorción más altos, no tiene un impacto negativo en los malos olores de la carne molida.

Tabla 4. Medias de los atributos de olor para cada nivel de magro¹ a lo largo del tiempo²

Olor	Punto de muestreo y nivel magro		
	0h	48h	96h
Químico			
90/10	4	7	7
80/20	6	0	10
73/27	5	0	10
Ácido			
90/10	0	6	8
80/20	0	6	12
73/27	0	6	12
Pútrido			
90/10	0	0	0
80/20	0	0	0
73/27	0	0	0

Oxidado			
90/10	6	6	8
80/20	0	0	9
73/27	0	0	9

1. 90/10 (proporción entre carne magra y grasa), 80/20 (proporción entre carne magra y grasa) y 73/27 (proporción entre carne magra y grasa)

2. 0h, 48h y 96h

3. Escala lineal de 0 a 100, donde “0” representa ausencia de olor y “100” olor intenso

Fuente: Blandón y Legako , 2024.

Discusión

En un estudio realizado por Koohmaraie et al. (2005), el ácido orgánico redujo la prevalencia de patógenos en un 35 %, de forma similar a los resultados mostrados en este estudio. Del mismo modo, los resultados obtenidos por Harris et al. (2006) demostraron que, los tratamientos antimicrobianos reducían eficazmente las cargas de patógenos los cortes de carne. Otros estudios como los de Castillo et al. (2001) y Kang, Koohmaraie y Siragusa (2001), se observa que, cuando se realiza un efecto antimicrobiano continuado durante el almacenamiento de la carne después de rociarla con soluciones antimicrobianas, este proceso antimicrobiano “multihurdle” puede reducir el nivel natural de bacterias en la carne molida, ofreciendo una reducción inmediata con un efecto inhibidor residual (Wolf et al. 2012). También mencionan que las reducciones en los cortes de carne sumergidos, podían atribuirse a un efecto de lavado, que no se habría producido con un tratamiento de spray. Durante el tratamiento de inmersión, la carne puede haber adsorbido parte de la solución del tratamiento de intervención en la superficie, permitiendo así, una exposición más prolongada del patógeno a la solución del tratamiento de intervención y proporcionando una mayor inhibición del patógeno.

Los resultados de los microorganismos en deterioro concuerdan con Scanga et al. (2000), donde a mayor contenido de grasa, se encontró un mayor recuento de placas aeróbicas. Westhoff y Feldstein (1976) informan de un aumento del APC debido a la manipulación, el procesado y el tiempo transcurrido desde el sacrificio. Se ha probado la eficacia del ácido láctico para reducir los recuentos bacterianos, este antimicrobiano muestra un efecto positivo en la reducción (Castillo et al. 2001). También el ácido peracético puede ser viable para su uso en un enfoque múltiple para la reducción de bacterias (Davenport 2016). En otra investigación realizada por Stiles y Ng (1981), se afirmó que la fuente de Enterobacteriaceae en carnes, está asociada con las superficies de trabajo de manipulación de carnes. Las bacterias lácticas están relacionadas con la carne fresca, pero representan una cohorte controvertida con especies microbianas que contribuyen a la degradación de la carne o sirven como agente protector contra las bacterias de deterioro (Pothakos et al. 2015).

Los productos de la oxidación lipídica se han asociado a los malos olores de la carne (Berruga, Vergara y Gallego 2005). El atributo agrio puede asociarse a bacterias de deterioro de productos cárnicos refrigerados que causan sabores agrios (Borch, Kant-Muermans y Blixt 1996). El resultado de la presencia de bacterias lácticas es la aparición de sabores agrios, hinchazón del envase y color verdoso (Zhang et al. 2009). El olor químico puede deberse al uso de antimicrobianos como intervención para reducir el recuento bacteriano. En un estudio realizado por Walsh et al. (2018), se demostró que el nivel de ácido orgánico decae rápidamente y disminuirá si se deja transcurrir un período de espera suficiente antes de tomar muestras.

Conclusiones

Un aumento del porcentaje de intervención antimicrobiana en los recortes de vacuno, provocó un aumento de la reducción de patógenos como la *E. coli* productora de toxina Shiga y la *Salmonella*, mejorando así, la seguridad microbiana de los productos cárnicos, que es ahora una preocupación creciente entre los consumidores de carne. Así mismo, los resultados de este estudio implican que los porcentajes de absorción del 1.5 % —aplicados a los cortes—, no parecen tener un gran impacto en el color y el olor de la carne molida. Por lo tanto, el aumento de los porcentajes de absorción se puede utilizar para los objetivos de seguridad alimentaria, sin tener que disminuir la calidad general o la vida útil de la carne.

Referencias

- Alakomi, H-L, E. Skytta, Maria Saarela, Tiina Mattila-Sandholm, Kyösti Latva-Kala, and I. M. Helander. 2000. "Lactic Acid Permeabilizes Gram-Negative Bacteria by Disrupting the Outer Membrane". *Applied and Environmental Microbiology* 66, no. 5. <https://doi.org/10.1128/aem.66.5.2001-2005.2000>.
- Belanger, Samantha Elizabeth. 2014. "Effects of Novel Antimicrobials on the Quality Characteristics of Ground Beef". Master's thesis. University of Georgia. <https://openscholar.uga.edu/record/20090?v=pdf>.
- Berruga, Isabel, Herminia Vergara, and L. Gallego. 2005. "Influence of Packaging Conditions on Microbial and Lipid Oxidation in Lamb Meat". *Small Ruminant Research* 57, no. 2-3: 257–64. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2004.08.004>.
- Bogard, April, Candace C. Fuller, Vincent Radke, Carol A. Selman, and Kirk E. Smith. 2013. "Ground Beef Handling and Cooking Practices in Restaurants in Eight States". *Journal of Food Protection* 76, no. 12: 2132–40. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-13-126>.
- Borch, Elisabeth, Marie-Louise Kant-Muermans, and Ylva Blixt. 1996. "Bacterial Spoilage of Meat and Cured Meat Products". *International Journal of Food Microbiology* 33, no. 1: 103–20. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01135-x](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01135-x).
- Castillo, Alejandro, Lisa M. Lucia, I. Mercado, and G. R. Acuff. 2001. "In-Plant Evaluation of a Lactic Acid Treatment for Reduction of Bacteria on Chilled Beef Carcasses". *Journal of Food Protection* 64, no. 5: 738–40. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-64.5.738>.
- Cornforth, Daren P, and P. Jayasingh. 2004. "Chemical and Physical Characteristics of Meat/Color and Pigment". *Encyclopedia of Meat Sciences* 1: 249-246. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00084-2>.
- Davenport, Caroline. 2016. "Peracetic Acid Effects on Shelf Life and Survival of Escherichia Coli on Beef Steaks". Master's thesis. Auburn University. <http://hdl.handle.net/10415/5036>.
- Eastwood, L. Clay, Ashley N. Arnold, Rhonda K. Miller, Kerri B. Gehring and Jeffrey W. Savell. 2018. "Impact of Multiple Antimicrobial Interventions on Ground Beef Quality". *Meat and Muscle Biology* 2, no. 1. <https://doi.org/10.22175/mmb2017.07.0039>.

- Ellebracht, E. A., A. Castillo, L. M. Lucia, R. K. Miller, and G. R. Acuff. 1999. "Reduction of Pathogens Using Hot Water and Lactic Acid on Beef Trimmings". *Journal of Food Science* 64, no. 6: 1094–99. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb12289.x>.
- Food Safety and Inspection Service. 2016. "Ground Beef and Food Safety". <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/meat/ground-beef-and-food-safety>.
- Harris, K., Marcus F. Miller, G. H. Loneragan and Mindy M. Brashears. 2006. "Validation of the Use of Organic Acids and Acidified Sodium Chlorite to Reduce Escherichia Coli O157 and *Salmonella* Typhimurium in Beef Trim and Ground Beef in a Simulated Processing Environment". *Journal of Food Protection* 69, no. 8: 1802–7. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-69.8.1802>.
- Jimenez-Villarreal, J. R., F. W. Pohlman, Z. B. Johnson, A. H. Brown Jr and R. T. Baublits. 2003. "The Impact of Single Antimicrobial Intervention Treatment with Cetylpyridinium Chloride, Trisodium Phosphate, Chlorine Dioxide or Lactic Acid on Ground Beef Lipid, Instrumental Color and Sensory Characteristics". *Meat Science* 65, no. 3: 977–84. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00315-7](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00315-7).
- Kang, Dong-Hyun, Mohammad Koohmaraie and Gregory R Siragusa. 2001. "Application of Multiple Antimicrobial Interventions for Microbial Decontamination of Commercial Beef Trim". *Journal of Food Protection* 64, no. 2: 168–71. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-64.2.168>.
- Koohmaraie, M., T. M. Arthur, J. M. Bosilevac, M. Guerini, S. D. Shackelford, and T. L. Wheeler. 2005. "Post-Harvest Interventions to Reduce/Eliminate Pathogens in Beef". *Meat Science* 71, no. 1: 79–91. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2005.03.012>.
- Mancini, R. A, and M.C. Hunt. 2005. "Current Research in Meat Color". *Meat Science* 71, no. 1: 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>.
- Mancini, R. A., Melvin C. Hunt, Donald H. Kropf, K. A. Hachmeister, D. E. Johnson and John A. Fox. 2002. "Maximizing Desirable Ground Beef Color with Cold Storage and Display Temperatures". *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports* 0, n. 1. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.1776>.
- Pohlman, F. W., M. R. Stivarius, K. S. McElyea, Z. B. Johnson and M. G. Johnson. 2002. "The Effects of Ozone, Chlorine Dioxide, Cetylpyridinium Chloride and Trisodium Phosphate as Multiple Antimicrobial Interventions on Microbiological, Instrumental Color, and Sensory Color and Odor Characteristics of Ground Beef". *Meat Science* 61, no. 3: 307–13. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(01\)00198-x](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(01)00198-x).
- Pothakos, Vasileios, Frank Devlieghere, Francesco Villani, Johanna Björkroth and Danilo Ercolini. 2015. "Lactic Acid Bacteria and Their Controversial Role in Fresh Meat Spoilage". *Meat Science* 109: 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.04.014>.
- Quilo, S. A., F. W. Pohlman, P. N. Dias-Morse, A. H. Brown, P. G. Crandall, R. T. Baublits and J. L. Aparicio. 2009. "The Impact of Single Antimicrobial Intervention Treatment with Potassium Lactate, Sodium Metasilicate, Peroxyacetic Acid, and Acidified Sodium Chlorite on Non-Inoculated Ground Beef Lipid, Instrumental Color, and Sensory Characteristics". *Meat Science* 83, no. 3: 345–50. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.05.015>.

- Scanga, J. A., A. D. Grona, K. E. Belk, J. N. Sofos, G. R. Bellinger and G. C. Smith. 2000. "Microbiological Contamination of Raw Beef Trimmings and Ground Beef". *Meat Science* 56, n. 2: 145–52. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00032-2](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00032-2)
- Stiles, Michael E. and Lai Kong Ng. 1981. "Enterobacteriaceae Associated with Meats and Meat Handling". *Applied and Environmental Microbiology* 41, no. 4: 867–72. <https://doi.org/10.1128/aem.41.4.867-872.1981>
- Walsh, Richard J., Bruce White, Lauren Hunker, Oriana Leishman, John Hilgren, and Deborah Klein. 2018. "Peracetic Acid and Hydrogen Peroxide Post-Dip Decay Kinetics on Red Meat and Poultry". *Food Protect Trends* 38, no. 2: 96–103. <https://www.foodprotection.org/publications/food-protection-trends/archive/2018-03-peracetic-acid-and-hydrogen-peroxide-post-dip-decay-kinetics-on-red-meat-and-poultry/>
- Westhoff, Dennis and Faye Feldstein. 1976. "Bacteriological Analysis of Ground Beef". *Journal of Milk and Food Technology* 39, no. 6: 401–4. <https://doi.org/10.4315/0022-2747-39.6.401>
- Wheeler, T. L., N. Kalchayanand and J. M. Bosilevac. 2014. "Pre- and Post-Harvest Interventions to Reduce Pathogen Contamination in the U.S. Beef Industry". *Meat Science* 98, no. 3: 372–82. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2014.06.026>
- Wolf, M. J., M. F. Miller, A. R. Parks, G. H. Loneragan, Andrea J. Garmyn, L. D. Thompson, Alejandro Echeverry and M. M. Brashears. 2012. "Validation Comparing the Effectiveness of a Lactic Acid Dip with a Lactic Acid Spray for Reducing Escherichia Coli O157: H7, *Salmonella*, and Non-O157 Shiga Toxigenic Escherichia Coli on Beef Trim and Ground Beef". *Journal of Food Protection* 75, no. 11: 1968–73. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-12-038>
- Zhang, Huiyun, Baohua Kong, Youling L Xiong, and Xu Sun. 2009. "Antimicrobial Activities of Spice Extracts against Pathogenic and Spoilage Bacteria in Modified Atmosphere Packaged Fresh Pork and Vacuum Packaged Ham Slices Stored at 4 °C". *Meat Science* 81, n.o 4: 686–92. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.11.011>