



Productividad y características de la canal de ovinos suplementados con propionato de calcio

Ever Flores-Santiago¹ ; González-Garduño Roberto¹ ; Mario Cobos-Peralta² ; Sergio Mendoza-Pedrosa² ; José Alejos de la Fuente³ ; Said Cadena-Villegas⁴ ; Erick Díaz-Sánchez¹ ; José Bárcena-Gama^{2*} .

¹Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria Sur Sureste, Teapa, Tabasco, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Programa Posgrados en Recursos Genéticos y Productividad – Ganadería, Texcoco, Estado de México, México.

³Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia, Texcoco, Estado de México, México.

⁴Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Programa de Maestría en Ciencias de la Producción Agroalimentaria en el Trópico, Cárdenas, Tabasco, México.

*Correspondencia: rbarcena@colpos.mx

Recibido: Noviembre 2021; Aceptado: Julio 2022; Publicado: Julio 2022.

RESUMEN

Objetivo. Evaluar el efecto de la inclusión de propionato de calcio (PCa) sobre variables productivas y características de la canal en corderos en finalización. **Materiales y métodos.** Se utilizaron 24 corderos machos de la cruce Dorper x Pelibuey de 5 meses de edad, con un peso corporal promedio ($\mu \pm SD$) de 27 ± 2.7 kg. Fueron asignados a uno de tres tratamientos (control [CON] y dos niveles de PCa: 10 y 20 g/kg de MS) en un diseño completamente al azar (3 tratamientos, 8 repeticiones por tratamiento, considerando cada cordero como una unidad experimental). Las variables de respuesta se redujeron a 1 valor medio para cada cordero, y los datos se analizaron en SAS versión 9.4 usando Proc Mixed. **Resultados.** La ganancia diaria de peso (GDP), conversión (CA) y eficiencia alimenticia (EF) fueron mayores en 13, 20 y 24%, respectivamente por la inclusión de 20 g de PCa/kg MS ($p \leq 0.05$). El peso de la canal fría (PCF), rendimiento en canal caliente (RCC) y rendimiento en canal fría (RCF) fueron mayores al incrementar el nivel de inclusión de PCa ($p \leq 0.05$). **Conclusiones.** La suplementación con PCa en dosis de hasta 20g/kg en dietas de finalización puede mejorar los parámetros productivos y de rendimiento en canal sin afectar el consumo de materia seca (CMS).

Palabras clave: Corderos; propionato; rendimiento (*Fuente: USDA*).

ABSTRACT

Objective. Evaluate the effect of the inclusion of calcium propionate (CaP) on productive variables and carcass characteristics in finishing lambs. **Materials and methods.** 24 male lambs of the Dorper x Pelibuey cross of 5 months of age were used, with an average body weight ($\mu \pm SD$) of 27 ± 2.7 kg. Were assigned to one of three treatments (control [CON] and two CaP levels: 10 and 20 g/kg DM) in a completely randomized design (3 treatments, 8 repetitions per treatment, considering each lamb as an experimental unit). Response variables were reduced to 1 mean value for each lamb,

Como citar (Vancouver).

Flores-Santiago E, González-Garduño R, Cobos-Peralta MA, Mendoza-Pedrosa SI, Alejos de la FJI, Cadena-Villegas S, et al. Productividad y características de la canal de ovinos suplementados con propionato de calcio. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(Supl):e2525. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2525>



©El (los) autor (es) 2022. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

and data were analyzed in SAS version 9.4 using Proc Mixed. **Results.** Daily weight gain (DWG), conversion (FCE) and feed efficiency (FEU) were higher by 13, 20 and 24%, respectively, due to the inclusion of 20 g CaP/kg DM ($p \leq 0.05$). Chilled carcass weight (CCW), hot carcass dressing (HCD) and cold carcass dressing (CCD) were higher when increasing the inclusion level of CaP ($p \leq 0.05$). **Conclusions.** Supplementation with CaP in doses of up to 20g / kg in finishing diets can improve production parameters and carcass performance without affecting dry matter intake (DMI).

Keywords: Lambs; propionate; yield (*Source: USDA*).

INTRODUCCIÓN

El Propionato de Calcio (PCa) es una sal orgánica formada por la reacción entre el hidróxido de calcio y ácido propiónico (AP) (1). Se utiliza ampliamente como aditivo antifúngico para conservar la calidad de los alimentos con alto grado de humedad durante su almacenamiento (2). En rumiantes el PCa se puede hidrolizar en Ca^{2+} y AP en rumen (1). El AP se absorbe a través del epitelio ruminal y funciona como precursor primario para la síntesis hepática de glucosa (3) y puede suministrar hasta el 95% de este azúcar (4). La glucosa es un nutriente fundamental para la producción de energía (5), ya que proporciona casi el 80% de la energía metabolizable consumida por los animales.

La suplementación con PCa en la producción animal depende de la especie, edad y estado fisiológico. Por ejemplo, en bovinos se puede incluir en un rango de 50 a 300 g/d (6,7,8) y en ovinos en crecimiento de 10 a 30 g/kg de MS (9,10). El potencial gluconeogénico del PCa permite contrarrestar los efectos del balance energético negativo y cetosis que ocurre al inicio de la lactancia en vacas lecheras (11), cuando las necesidades energéticas para la síntesis láctea no se satisfacen con la dieta (12). También se ha utilizado para mejorar el aumento de peso corporal en terneros y favorecer el desarrollo de los órganos internos y tracto gastrointestinal (13). Lee-Rangel et al (14) indican que el PCa puede reemplazar parcialmente la energía suministrada por el grano en dietas para corderos de engorde.

Por consiguiente, el incremento en la concentración de AP, derivado de la entrada exógena de PCa puede reducir el pH ruminal, mejorar la digestibilidad de la MS, materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN) y ácida (FDA), e incrementar la disponibilidad de nutrientes y energía (8); favoreciendo la ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), rendimiento y composición de

la canal. Además, puede actuar como mediador metabólico con un efecto hipofágico en el animal, producto de su capacidad para estimular la oxidación de acetil CoA hepática (15). Sin embargo, los resultados para consumo de materia seca (CMS) han sido inconsistentes, y son atribuidos al nivel de nutrición del animal, al valor nutricional dieta, al nivel de incorporación de PCa y al grado de pureza del producto (6,16,17). Nuestra hipótesis plantea que la inclusión de PCa en dietas para corderos en crecimiento mejora los parámetros productivos, sin afectar el CMS. Por consiguiente, el objetivo del presente estudio es determinar la respuesta productiva y características de la canal en corderos suplementados con una sal cálcica de ácido propiónico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Aspectos éticos. Todos los procedimientos realizados en animales estuvieron en estricto apego a la NOM-062-ZOO 1999. El periodo experimental inició cuando el protocolo de uso y manejo de animales fue aprobado.

Área experimental. El experimento tuvo lugar en la granja experimental del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en el área de nutrición de rumiantes (19° 27' 35" N 98° 54' 24" W y 2244 m de altitud) en Texcoco, México. El clima del sitio, según la clasificación de Köppen, es Cw (templado subhúmedo) con estaciones lluviosas (primavera-verano). La temperatura anual promedio y precipitación son 15°C y 500 mm, respectivamente.

Diseño experimental y dietas. 24 corderos (Dorper × Pelibuey) de 21 semanas de edad y un peso corporal ($\mu \pm \text{SD}$) de 27 ± 2.7 kg, se utilizaron en un diseño completamente al azar y fueron asignados a uno de tres tratamientos (control [CON] y dos niveles de PCa: 10 y 20 g/kg de MS) con 8 repeticiones cada uno, considerando cada cordero como una unidad

experimental. Las dietas experimentales (Tabla 1) consistieron en una ración totalmente mezclada (RTM) con una relación 60% forraje y 40% concentrado, cubriendo los requerimientos nutricionales para corderos en crecimiento y finalización (18).

Las dietas se formularon para proporcionar un nivel similar de energía y proteína. En la RTM se reemplazó un porcentaje de maíz molido por la misma cantidad de PCa (10 y 20 g/kg) para establecer los tratamientos experimentales.

El PCa se mezcló completamente según las proporciones propuestas con 1 kg de maíz molido (vehículo), posteriormente con el resto del concentrado y luego con el forraje durante 25 min en una mezcladora horizontal de cintas marca AZTECA®. Los corderos se alimentaron en dos servicios (8:00 y 15:00 h), ofreciendo 70% del alimento por la mañana y 30% por la tarde. Se proporcionó un excedente diario de 10% de alimento.

Tabla 1. Proporción de ingredientes en la ración.

Ingredientes (g/kg MS)	Nivel de incorporación de PCa (g/kg MS)		
	CON	10	20
Rastrojo de maíz	300	300	300
Heno de alfalfa	300	300	300
Maíz molido	270	260	250
Harina de soya	70	70	70
Melaza de caña	50	50	50
Premix Vit + Min ¹	10	10	10
Propionato de calcio ²	-	10	20

¹ Vitasal Engorda Ovino Plus® cada kg contiene: S 0.5%, Ca 24 %, Cl 12%, P 3%, Mg 2%, K 0.5%, Na 8%, Zn 5000 mg, Co 60 mg, Cr 5 mg, Fe 2000 mg, Mn 4000 mg, Se 30 mg, I 100 mg, Vitamina A 500,000 UI, Vitamina D 150,000 UI, Vitamina E 1,000 UI, Lasolacida 2000 mg y antioxidante 0.05%.

² Propical® sal de calcio de AP con 94% de pureza.

Manejo de animales. Para garantizar el confort, los corderos se ubicaron individualmente en corrales de 2x2 m² equipados con comederos y bebederos. Toda la infraestructura se ubicó en un edificio cerrado con piso de concreto. A los corderos se les administró previamente vía intramuscular vitamina ADE (2 mL por cordero; 1 mL contiene = vitamina A: 500 mil UI; vitamina D3: 75 mil UI; vitamina E1: 50 mg) e ivermectina (0.5 mL por animal; 1

mL=10 mg de ivermectina). Se proporcionó agua *ad libitum* a todos los corderos. Durante 15 días previo al inicio del experimento, los corderos fueron alimentados con la dieta CON para adaptarlos y obtener valores de referencia sobre el CMS. Al inicio de la prueba, el CMS ($\mu \pm SD$) fue de 1.10±0.13 kg/d. Los corderos se pesaron utilizando una báscula electrónica (TORREY TIL/S: 107 2691, TORREY electronics Inc., Houston, TX, USA) después de un ayuno de sólidos de 14 h, con intervalos de 2 semanas para determinar la GDP.

Variabes de respuesta. Se evaluó el CMS (alimento ofrecido - alimento rechazado), GDP (Peso final - peso inicial/42), ganancia total (GT; Peso final - peso inicial), CA (relación entre el total de alimento consumido / GT), eficiencia alimenticia (EF; GDP/CMS promedio), peso corporal final (PCF), peso vivo al sacrificio (PVS). La matanza se realizó después de un ayuno de 24 h en un matadero comercial apegándose a la NOM-033-SAG/ZOO-2014. Inmediato a la matanza se registró el peso de la canal caliente (PCC), y se refrigeraron las canales a 4 °C; trascurridas 24 h se registró el peso de canal fría (PCF). El rendimiento de la canal caliente (RCC) y fría (RCF) se obtuvo mediante: RCC = ((PCC/PVS) *100) y RCF= ((PCF/PVS) *100). El grosor de grasa dorsal (BTh) y el área de chuleta (ChA) se determinaron por ultrasonografía al inicio y final del periodo experimental.

Colecta de datos y análisis químico. Diariamente se colectaron muestras representativas de alimento por tratamiento y se determinó el contenido de MS parcial utilizando una estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 h, en consecuencia, la RTM se ajustó cada tercer día cuando fue necesario. Cada muestra se colocó en bolsas de plástico y se almacenó en un lugar libre de humedad para evitar contaminación por hongos. Al final del periodo experimental las muestras individuales se mezclaron para cada tratamiento, y se tomó una alícuota de 15% para su análisis químico (Tabla 2).

Las muestras de alimento se molieron a través de un tamiz de 2 mm en un molino Thomas Wiley® (Thomas-Scientific; Filadelfia, PA) y se analizaron por triplicado para determinar la MS absoluta (mediante secado a 100 °C durante 24 h), cenizas a 600°C durante 2 h para calcular MO (método 942.05) (19), nitrógeno total a través del método de combustión (LECO® serie CN-2000 3740, LECO® Instruments Inc., St. Joseph,

MI, EUA), extracto etéreo mediante el método de hidrólisis ácida usando éter de petróleo como solvente (EE; método 922.06) (19). Los contenidos de FDN y FDA se determinaron de acuerdo con Van Soest et al (20) utilizando sulfito de sodio, sin amilasa termoestable.

Tabla 2. Contenido de nutrientes de las dietas experimentales.

Composición química (g/kg MS)	NPCa			SE	Contrast	
	CON	10	20		L	Q
Materia seca	904	906	901	2.38	0.41	0.28
Proteína cruda	118	112	111	2.69	0.10	0.51
Fibra detergente neutro	711	709	718	10.07	0.64	0.63
Fibra detergente ácido	527	535	536	4.12	0.20	0.48
Extracto etéreo	15	13	13	0.84	0.21	0.30
Cenizas	87	92	99	0.43	0.01	0.07

NPCa=Nivel de incorporación de PCa (g/kg MS); SE = Error estándar. L = Contraste lineal; Q = Contraste cuadrático.

Análisis estadístico. Todas las variables de respuesta se redujeron a 1 valor medio para cada cordero, y los datos se analizaron en SAS (21) usando PROC MIXED. El modelo utilizado fue siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

dónde:

Y_{ijk} = variable dependiente,

μ = media,

T_i = efecto fijo del tratamiento ($i= 1, \dots, 3$),

E_{ij} = error aleatorio asumiendo $E_{ij} \sim N(0, \delta^2)$.

Las medias se compararon con la prueba de Tukey y se consideraron estadísticamente significativas a un $p < 0.05$. Adicionalmente, se analizó la tendencia de respuesta al tratamiento mediante contrastes (lineales y cuadráticos) mediante el procedimiento PROC MIXED (SAS) (21).

RESULTADOS

En el presente estudio las concentraciones de nutrientes fueron similares entre tratamientos ($p > 0.05$) (Tabla 2). El PF, CMS, PT, ChA y BTH no fueron modificadas por la inclusión de PCa

($p > 0.05$) (Tabla 3). La GDP y EF incrementaron linealmente ($p \leq 0.05$) (Tabla 3) mejorando en 13 y 24%, respectivamente por la inclusión de 20 g de PCa. Una mejor EF mejoró recíprocamente la CA, reduciendo linealmente ($p \leq 0.01$) (Tabla 3) la ingesta de alimento para formar un kg de carne en 11 y 20% cuando el nivel de PCa fue de 10 y 20 g/kg, respectivamente. La inclusión de PCa no modificó el PVS y PCC ($p > 0.05$) (Tabla 4). Sin embargo, el PCF ($p \leq 0.04$), el RCC y RCF presentaron un incremento lineal ($p \leq 0.01$) (Tabla 4) conforme aumentó la concentración de PCa en el alimento.

Tabla 3. Efecto del PCa sobre consumo y variables productivas en corderos Dorper x Pelibuey.

Variables	NP			SE	Contrast	
	CON	10	20		L	Q
Peso vivo inicial (kg ^{0.75})	11.6	12.2	11.7	0.97	-	-
Peso vivo final (kg ^{0.75})	15.0	15.7	15.5	1.18	0.32	0.30
CMS (kg d ⁻¹)	1.42	1.34	1.31	0.06	0.19	0.72
Ganancia de peso total (kg)	10.6	11.3	12.1	0.50	0.06	0.89
Ganancia diaria de peso (g d ⁻¹)	253	268	287	11.8	0.05	0.87
Conversión alimenticia (kg/MS)	5.7	5.1	4.60	0.26	0.01	0.86
Eficiencia alimenticia (g/MS)	179	211	222	9.12	0.01	0.92
Área de chuleta (mm ²)	825	832	874	40.4	0.40	0.74
Espesor de grasa dorsal (mm)	3.0	2.8	3.1	0.16	0.59	0.13

NP=Nivel de incorporación de propionato de calcio (g/kg MS); SE=Error estándar. L=Contraste lineal; Q=Contraste cuadrático.

Tabla 4. Características de la canal de corderos alimentados con niveles crecientes de PCa.

Variables	NP			SE	Contraste	
	CON	10	20		L	Q
Peso vivo al sacrificio (kg)	35.4	37.5	36.8	1.23	0.43	0.35
Peso canal caliente (kg)	19.1	21.0	21.1	0.72	0.06	0.30
Peso canal fría (kg)	18.5	20.3	20.7	0.71	0.04	0.44
Rendimiento en canal caliente (%)	53.8	56.1	57.4	0.50	<0.01	0.40
Rendimiento en canal fría (%)	52.3	54.3	56.2	0.49	<0.01	0.89

NP=Nivel de incorporación de propionato de calcio (g/kg DM); SE=Error estándar. L= Contraste lineal; Q = Contraste cuadrático.

DISCUSIÓN

El AP es un producto final derivado de la fermentación ruminal de carbohidratos que ingresa al torrente sanguíneo y sirve como fuente de energía y como sustrato para las funciones anabólicas en los rumiantes, puede actuar como un mediador metabólico y suprimir el CMS (22). Reducciones en el CMS pueden derivarse de una mayor producción de AP en respuesta al propionato exógeno de la dieta. El AP es un metabolito anaplerótico y sus efectos hipofágicos probablemente se deben a su capacidad de estimular la oxidación hepática de acetil-CoA (15). Una mayor oxidación de acetil-CoA contribuye a la saciedad del animal (23). Informes previos hipotetizan que el umbral para causar efecto hipofágico es de alrededor de 12 moles/animal/día (24). En ganado lechero se ha reportado que la infusión en abomaso de una solución de propionato de sodio equivalente a 1.68 mol/día no alteró el CMS (16). Inclusiones de 0.22 y 0.43 mol/día de PCa en raciones para terneros Jersey no disminuyó el CMS (8).

En contraste Bradford y Allen (25) reportan una disminución en la ingesta por la infusión ruminal de propionato de sodio a razón de 19 mol/día en vacas lactantes. En el presente estudio, la concentración molar estimada fue 0.067 y 0.132 mol/día para los dos niveles de PCa, concentraciones que se encuentran por debajo del umbral para ocasionar cuellos de botellas a nivel hepático que alteren el metabolismo del AP y afecten el CMS (26). Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos en ovinos criollos y cruzados (Hampshire × Suffolk) en los cuales no se reporta efecto del PCa sobre el CMS cuando se incluyó en un rango de 0.064 a 0.207 mol/día (9,14,24). Investigadores refieren que los resultados inconsistentes sobre el CMS por la adición de PCa, se deben al efecto del estado fisiológico y nutricional del animal, la relación forraje: concentrado en la dieta, el nivel de inclusión PCa (6,17), así como, a la pureza del producto utilizado.

Los resultados reportados en el estudio actual para las variables PF, PT, ChA y BTh, concuerdan con los reportados por investigaciones previas (9,14,24). Sin embargo, Martínez-Aispuro et al (9) reportan incrementos en la GDP en 17.2 y 13.8% por la inclusión de PCa en 10 y 20 g/kg de MS; de igual forma, los requerimientos de alimento para formar un kg de peso vivo fueron menores en 14.6 y 11.9% con dichas concentraciones; los resultados concuerdan con los reportados en nuestro estudio,

en el cual la EF también se vio favorecida. Se ha informado una mayor EF luego de la inclusión de precursores gluconeogénicos (5).

Zhang et al (8) reportan GDP superiores a 300 g/día en terneros suplementados con 0.43 mol/día de PCa. Otros investigadores no encontraron diferencias con la adición de PCa a raciones de ovinos sobre la GDP y CA (10,14,24). Una mejor GDP, CA y EF se puede deber a que la suplementación con PCa puede mejorar la utilización de nutrientes (27) y proporcionar energía adicional fácilmente disponible, por una mayor síntesis hepática de glucosa (3,6,11,17). En el presente estudio el valor estimado de energía metabolizable (EM) para el PCa fue de 4.463 MCal/kg, valor superior al informado por Mendoza-Martínez et al (24) de 3.766 MCal/kg. Se estima que las raciones del estudio actual aumentaron su energía metabolizable (EM) en promedio 1% cuando se incluyó 10 y 20 g/kg de PCa. Al respecto, Mendoza-Martínez et al (24) y Berthelot et al (28) reportan aumentos de 2.5 y 10% en la EM de la ración con la inclusión de 50 g/kg de propionato de sodio y 20 g/kg de PCa, respectivamente.

Un incremento en la concentración energética puede generar aumentos en el peso corporal. Basándose en la GDP del estudio, se predijo el CMS y los requerimientos de energía neta (EN). El coeficiente de EN estimado para ganancia para las raciones con 10 y 20 g PCa/kg MS fue de 1.12 y 1.05, respectivamente; valores >1 indican un uso eficiente de la EN que teóricamente contenían las dietas (29). El coeficiente de CMS estimado fue de $1.03 < 0.90 < 0.85$ para las dietas CON, 10 y 20 g de PCa, respectivamente; valores <1 indican aumentos en la eficiencia de retención de EN por kg de MSC, equivalente a un menor consumo de alimento para formar un kg de peso vivo (29). La relación entre el consumo observado vs estimado permite calcular el grado de eficiencia en el uso de la energía de los tratamientos (30), la cual al parecer fue mejor aprovechada por los corderos cuando se incluyó PCa lo que favoreció la GDP, CA y EF.

Se ha demostrado que la densidad energética de la ración puede influir sobre el rendimiento y composición de la canal (31). Nuestros resultados concuerdan con investigaciones donde no se obtuvo diferencias en PCC en corderos suplementados con 10 y 20 g de PCa (14,24). Un incremento lineal en PCF pudo ser un efecto indirecto de la suplementación con

PCa, ya que el propionato exógeno favoreció la GDP (Tabla 3) e incremento en promedio 2 kg el PCF en ovinos que recibieron 10 y 20 g de PCa, por lo tanto, la deposición de grasa en músculo también pudo ser favorecida. Por otra parte, se sabe que el músculo animal está compuesto en promedio por 75% de agua (32) y que después del sacrificio el contenido de agua se reduce por evaporación, como consecuencia del corte sobre los tejidos. Sin embargo, un mayor contenido de grasa intramuscular en la canal derivado de una mayor disponibilidad de glucosa para la lipogénesis (33) redujo las pérdidas por deshidratación en los tratamientos donde se incluyó PCa con respecto al tratamiento CON.

Resultados de otros estudios sobre RCC y RCF, concuerdan con los reportados en el presente trabajo (33); al encontrar una disminución lineal en dichas variables cuando incrementó la concentración de glicerina cruda en las dietas. La mejora en RCC y RCF al incluir PCa en la alimentación de corderos, puede estar relacionada con las características de la dieta y el aporte exógeno de AP. Por ejemplo, estudios reportan que el uso de concentrado o precursores de glucosa en la finalización de

corderos favorece la producción de AP en rumen e incrementa el rendimiento de la canal (34) en comparación con corderos alimentados con forrajes, los cuales presentan fermentaciones de tipo acética.

En conclusión, los resultados de este estudio indican que la inclusión de 20 g/kg de PCa en la dieta de corderos en finalización mejora la GDP, CA y EF, sin afectar el CMS. El PCa se puede utilizar para mejorar la productividad en corderos, debido a que favorece la disponibilidad de energía y mejora el uso de los nutrientes que componen la dieta; además, puede mejorar significativamente el rendimiento en canal.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen ningún conflicto de intereses que informar.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

REFERENCIAS

- Zhang F, Nan X, Wang H, Guo Y, Xiong B. Research on the Applications of Calcium Propionate in Dairy Cows: A Review. *Animals*. 2020; 10(8):1336. <https://doi.org/10.3390/ani10081336>
- Dong Y, Bae HD, McAllister TA, Mathison GW, Cheng K-J. Lipid-induced depression of methane production and digestibility in the artificial rumen system (RUSITEC). *Can J Anim Sci*. 1997; 77(2):269-278. <https://doi.org/10.4141/A96-078>
- Kennedy KM, Donkin SS, Allen MS. Effect of uncouplers of oxidative phosphorylation on metabolism of propionate in liver explants from dairy cows. *J Dairy Sci*. 2021; 104(3):3018-3031. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19536>
- Larsen M, Kristensen NB. Precursors for liver gluconeogenesis in periparturient dairy cows. *Animal*. 2013; 7(10):1640-1650. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001171>
- Loncke C, Nozière P, Vernet J, Lapierre H, Bahloul L, Al-Jammal M, et al. Net hepatic release of glucose from precursor supply in ruminants: a meta-analysis. *Animal*. 2020; 14(7):1422-1437. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003410>
- Liu Q, Wang C, Guo G, Yang WZ, Dong KH, Huang YX, et al. Effects of calcium propionate on rumen fermentation, urinary excretion of purine derivatives and feed digestibility in steers. *J Agric Sci*. 2009; 147(2):201-209. <https://doi.org/10.1017/S0021859609008429>

7. Liu Q, Wang C, Yang WZ, Guo G, Yang XM, He DC, et al. Effects of calcium propionate supplementation on lactation performance, energy balance and blood metabolites in early lactation dairy cows. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2010; 94(5):605-614. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00945.x>
8. Zhang X, Wu X, Chen W, Zhang Y, Jiang Y, Meng Q, et al. Growth performance and development of internal organ, and gastrointestinal tract of calf supplementation with calcium propionate at various stages of growth period. *PLoS One.* 2017; 12(7):e0179940. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179940>
9. Martínez-Aispuro JA, Sánchez-Torres MT, Mendoza-Martínez GD, Mora JLC, Figueroa-Velasco JL, Ayala-Monter MA, et al. Addition of calcium propionate to finishing lamb diets. *Vet México.* 2018; 5(4):1-9. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2018.4.470>
10. Cifuentes-Lopez O, Lee-Rangel HA, Mendoza GD, Delgado-Sanchez P, Guerrero-Gonzalez L, Chay-Canul A, et al. Effects of Dietary Calcium Propionate Supplementation on Hypothalamic Neuropeptide Messenger RNA Expression and Growth Performance in Finishing Rambouillet Lambs. *Life.* 2021; 11(6):566. <https://doi.org/10.3390/life11060566>
11. Orellana Rivas RM, Gutierrez-Oviedo FA, Komori GH, Beihling VV, Marins TN, Azzone J, et al. Effect of supplementation of a mixture of gluconeogenic precursors during the transition period on performance, blood metabolites and insulin concentrations and hepatic gene expression of dairy cows. *Anim Feed Sci Technol.* 2021; 272:114791. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114791>
12. Churakov M, Karlsson J, Edvardsson Rasmussen A, Holtenius K. Milk fatty acids as indicators of negative energy balance of dairy cows in early lactation. *Animal.* 2021; 15(7):100253. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100253>
13. Cao N, Wu H, Zhang XZ, Meng QX, Zhou ZM. Calcium propionate supplementation alters the ruminal bacterial and archaeal communities in pre- and postweaning calves. *J Dairy Sci.* 2020; 103(4):3204-3218. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16964>
14. Lee-Rangel HA, Mendoza GD, González SS. Effect of calcium propionate and sorghum level on lamb performance. *Anim Feed Sci Technol.* 2012; 177(3-4):237-241. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.08.012>
15. Maldini G, Kennedy KM, Allen MS. Temporal effects of ruminal infusion of propionic acid on hepatic metabolism in cows in the postpartum period. *J Dairy Sci.* 2019; 102(11):9781-9790. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16437>
16. Zhang XZ, Meng QX, Lu L, Cui ZL, Ren LP. The effect of calcium propionate supplementation on performance, meat quality, and mRNA expression of finishing steers fed a high-concentrate diet. *J Anim Feed Sci.* 2015; 24(2):100-106. <https://doi.org/10.22358/jafs/65634/2015>
17. Zhang Q, Koser SL, Bequette BJ, Donkin SS. Effect of propionate on mRNA expression of key genes for gluconeogenesis in liver of dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2015; 98(12):8698-8709. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9590>
18. National Research Council. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids.* Washington, DC: The National Academies Press, 2007. <https://doi.org/10.17226/11654>
19. AOAC International. *Official Methods of Analysis: 20th ed.* Rockville, Maryland, USA, 2016: AOAC International; 2016.
20. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *J Dairy Sci.* 1991; 74(10):3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
21. SAS. *User's guide Statistics. Version 9.0* Cary: SAS Institute Inc., 2002.
22. Radojičić B, Joksimović-Todorović M, Bukvić M, Simeunović P, Kakishev M, Pračić N. The influence of sodium propionate on blood glucose, insulin and cortisol concentrations in calves of different ages. *Acta Vet Brno.* 2016; 85(2):127-132. <https://doi.org/10.2754/avb201685020127>

23. Gualdrón-Duarte LB, Allen MS. Fuels derived from starch digestion have different effects on energy intake and metabolic responses of cows in the postpartum period. *J Dairy Sci.* 2018; 101(6):5082-5091. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13607>
24. Mendoza-Martínez GD, Pinos-Rodríguez JM, Lee-Rangel HA, Hernández-García PA, Rojo-Rubio R, Relling A. Effects of dietary calcium propionate on growth performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Anim Prod Sci.* 2016; 56(7):1194-1198. <https://doi.org/10.1071/AN14824>
25. Bradford BJ, Allen MS. Phlorizin administration does not attenuate hypophagia induced by intraruminal propionate infusion in lactating dairy cattle. *J Nutr.* 2007; 137(2):326-330. <https://doi.org/10.1093/jn/137.2.326>
26. Kennedy KM, Allen MS. Hepatic metabolism of propionate relative to meals for cows in the postpartum period. *J Dairy Sci.* 2019; 102(9):7997-8010. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15907>
27. King TM, Beard JK, Norman MM, Wilson HC, Macdonald JM, Mulliniks JT. Effect of supplemental rumen undegradable protein and glucogenic precursors on digestibility and energy metabolism in sheep. *Transl Anim Sci.* 2019; 3(1):1714-1718. <https://doi.org/10.1093/tas/txz064>
28. Berthelot V, Bas P, Schmidely P, Duvaux-Ponter C. Effect of dietary propionate on intake patterns and fatty acid composition of adipose tissues in lambs. *Small Rumin Res.* 2001; 40(1):29-39. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(00\)00217-0](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(00)00217-0)
29. Cannas A, Tedeschi LO, Atzori AS, Lunesu MF. How can nutrition models increase the production efficiency of sheep and goat operations? *Anim Front.* 2019; 9(2):33-44. <https://doi.org/10.1093/af/vfz005>
30. Zinn RA, Barreras A, Owens FN, Plascencia A. Performance by feedlot steers and heifers: daily gain, mature body weight, dry matter intake, and dietary energetics. *J Anim Sci.* 2008; 86(10):2680-2689. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0561>
31. Wang Y, Wang Q, Dai C, Li J, Huang P, Li Y, et al. Effects of dietary energy on growth performance, carcass characteristics, serum biochemical index, and meat quality of female Hu lambs. *Anim Nutr.* 2020; 6(4):499-506. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.008>
32. Junkuszew A, Nazar P, Milerski M, Margetin M, Brodzki P, Bazewicz K. Chemical composition and fatty acid content in lamb and adult sheep meat. *Arch Anim Breed.* 2020; 63(2):261-268. <https://doi.org/10.5194/aab-63-261-2020>
33. Carvalho VB, Leite RF, Almeida MTC, Paschoaloto JR, Carvalho EB, Lanna DPD, et al. Carcass characteristics and meat quality of lambs fed high concentrations of crude glycerin in low-starch diets. *Meat Sci.* 2015; 110:285-292. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.001>
34. Brant LMS, de Freitas Júnior JE, Pereira FM, Pina D dos S, Santos SA, Leite LC, et al. Effects of alternative energy and protein sources on performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot lambs. *Livest Sci.* 2021; 251:104611. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104611>