

El Elemento Silencioso

16

Azufre

El azufre (S) es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza que desempeña un papel clave en diversos procesos biológicos. Existe un gran interés científico por comprender mejor la influencia de este elemento en la microbiota, la inflamación intestinal y la salud intestinal.

POR DIRK SCHAUMLÖFFEL, DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN DEL CNRS/UNIVERSIDAD DE PAU, FRANCIA Y ARTURO PIÑÓN Al-Chemia GV

En la geosfera, el azufre es el decimoquinto elemento más abundante. En la biosfera, el azufre es aún más abundante ya que está incorporado en muchos compuestos orgánicos como aminoácidos y proteínas y, por tanto, es esencial para la vida.

Químicamente, el átomo de S se puede encontrar en todos los estados de oxidación entre (-II) y (+VI), pero sólo algunos de ellos son estables. Los estados de oxidación comunes del átomo de S se enumeran en la Tabla 1. Las bacterias desempeñan un papel importante en la conducción de las reacciones de oxidación y reducción que conducen a estas diferentes formas de S.

Table 1-Common oxidation states of sulphur.

Oxidation state	Compound	Name	State generally found	Use / role
-2	H ₂ S	Hydrogen sulphide	In sulphide, ore minerals, natural gas, amino acids (Met and Cys)	H ₂ S is mildly acidic in water and is extremely toxic to animals
-1	R-S-S-R'	Disulphide	The cysteine dimer of cystine	Disulfide bonds an important linkage role on the structure of proteins
0	S ₈	Octasulfur	Elemental S	Used in production of sulphuric acid
2	SO ₂	Sulphur dioxide	Very instable	Precursor to several inorganic sulphur compounds
4	H ₂ SO ₃	Sulphurous acid	Sulphites (SO ₃ ²⁻)	Use in winemaking industry & in food preservation to control bacterial development
6	H ₂ SO ₄	Sulphuric acid	Sulphates (SO ₄ ²⁻)	Use in animal nutrition as "ligand" for minerals and amino acids (eg: L-Lys sulphate)

Necesidades de azufre para especies pecuarias.

El contenido de azufre en el cuerpo es de aproximadamente 0,15%. Los vertebrados no son capaces de producir metionina, tiamina y biotina (vitaminas B1 y B8) a partir del S inorgánico presente en la dieta. En los monogástricos, estos nutrientes esenciales deben ser suministrados y no existe ningún requerimiento dietético de azufre inorgánico.

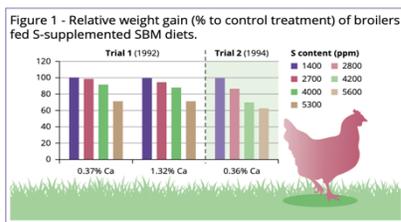
Sin embargo, las dietas para rumiantes deben contener de 1000 a 3000 ppm de S/kg MS, ya que las bacterias ruminales pueden metabolizar fuentes de nitrógeno no proteicas, así como S elemental, inorgánico y orgánico para sintetizar los aminoácidos azufrados, las vitaminas B1 y B8 que el huésped puede absorber más tarde. Aún así, es importante considerar el S en la dieta y el suministro de agua potable para evaluar el nivel de ingesta total de azufre.

Azufre en el intestino: ¿amigo o enemigo?

Para evitar la toxicidad, el azufre absorbido se oxida rápidamente en el hígado y los riñones. En caso de exceso, el sulfato presente en la sangre puede crear una acidosis transitoria que afecta el equilibrio ácido-base del organismo. Según el NRC (2005), los niveles máximos tolerables de S en la dieta son:

- 3000 ppm para vacas lecheras y ganado de carne
- 4000 ppm para cerdos y aves de corral

Nota: Las dietas basadas en maíz y harina de soja generalmente pueden contener de 100 a 3500 ppm de S.



En los años 90, la Universidad de Guelph (Canadá) llevó a cabo varios ensayos para evaluar la respuesta de los pollos de engorde al S inorgánico. En relación con el aumento del contenido de S, se reportó una depresión lineal en el aumento de peso como consecuencia de la reducción del consumo de alimento y del deterioro del equilibrio catiónico (Figura 1).

Figura 1 - Aumento de peso relativo (%) con respecto al tratamiento de control) de pollos de engorde alimentados con dietas SBM suplementadas con S.

En las aves de corral, también se demostró que la toxicidad del S afecta el contenido de cenizas en los huesos, así como la función de los ovarios en ponedoras y reproductoras. En los cerdos, la Universidad de Illinois ha informado de una buena tolerancia al S en la dieta, donde el rendimiento del crecimiento o las características de la canal no se vieron afectados por hasta 4000 ppm de S en dietas de maíz-pasta de soja y DDGS. Sin embargo, el USDA ha descubierto que un exceso en la dieta de S (8200 y 12100 ppm para lechones y 6400 ppm para primerizas) ha llevado a una reducción de la GMD.

Además, las cantidades crecientes de S dieron como resultado en cerdas primerizas un aumento en la acidez del estiércol, el contenido de N y S y compuestos relacionados con el olor como el H₂S. Los efectos tóxicos de las sales S inorgánicas (p. ej., SO₄²⁻) en especies monogástricas suelen estar relacionados con anomalías en el equilibrio hídrico en el tracto gastrointestinal, que generalmente se manifiestan como diarrea resultante de la atracción osmótica del agua hacia la luz intestinal.

Además, en condiciones anaeróbicas (por ejemplo, en el pozo de estiércol o en la cama), las bacterias reductoras de sulfato convierten rápidamente la excreción de S en H₂S. La presencia de este gas en los graneros afecta al tracto respiratorio y el bienestar de los animales, ya que el H₂S es extremadamente tóxico.

En rumiantes, durante mucho tiempo, la polioencefalomalacia (PEM) se asoció con la deficiencia de tiamina. Hoy en día se sabe que la condición PEM está relacionada con una producción ruminal excesiva en H₂S cuando se ingiere S en exceso. El gas se absorbe a través de la pared ruminal e interfiere con la energía celular producida a nivel mitocondrial. Dado que el cerebro tiene un alto requerimiento energético, es uno de los órganos más afectados. Los efectos neurotóxicos del H₂S también pueden estar mediados por los eructos, con otros gases, desde el rumen y la absorción a través de los pulmones.

Impacto negativo en el uso de butirato a nivel intestinal

Recientemente se ha identificado una relación entre el azufre y diversas enfermedades del colon en humanos. Hay pruebas contundentes que demuestran que las dietas ricas en proteínas animales (que contienen carne y huevos) aumentan la abundancia de bacterias reductoras de sulfato y la producción de H₂S, al tiempo que inhiben las especies productoras de butirato (por ejemplo, *Ruminococcus*).

En los colonocitos sanos, las mitocondrias pueden oxidar bajas concentraciones extracelulares de H₂S para desintoxicarlas. Pero en concentraciones excesivas, el H₂S inhibe la actividad del citocromo C oxidasa impactando la cadena respiratoria mitocondrial y, por lo tanto, la utilización de oxígeno por los colonocitos.

También se sabe que el H₂S limita la oxidación del butirato (responsable de aproximadamente el 70% de la energía de los colonocitos). Esta deficiencia de energía a menudo se asocia con la prevalencia de colitis ulcerosa y alteración de la permeabilidad intestinal.

¿Azufre en el radar del futuro?

Desde que la industria de los piensos comenzó a adoptar la denominada nutrición “libre de antibióticos”, la salud intestinal se ha convertido en un pilar clave para mantener la rentabilidad de toda la producción ganadera. Por lo tanto, se ha prestado cada vez más atención al papel de la microbiota y su interacción con las células epiteliales intestinales y a la incidencia de trastornos inflamatorios intestinales.

A este respecto, es necesario comprender mejor los efectos potenciales del S en el metabolismo del huésped y en la configuración de la microbiota a lo largo del tracto gastrointestinal de especies monogástricas y rumiantes.

La cantidad dietética adecuada de compuestos S inorgánicos y orgánicos, así como la consideración de los estados de oxidación y especiación del S, pueden ayudar a mantener la estructura del ecosistema intestinal y la función de la barrera epitelial.

