

La energía en la nutrición de los cerdos en crecimiento: el animal, la dieta y el medio de producción

Se hace un intento para mostrar que la noción clásica de "requerimientos" como una característica del animal, y que el "valor energético" como una característica del alimento debe ser revaluada. En esta reevaluación, los modelos matemáticos deben asumir un papel importante y es esencial que los usuarios del modelo entiendan los conceptos subyacentes

Miércoles 2

Se hace un intento para mostrar que la noción clásica de "requerimientos" como una característica del animal, y que el "valor energético" como una característica del alimento debe ser revaluada. En esta reevaluación, los modelos matemáticos deben asumir un papel importante y es esencial que los usuarios del modelo entiendan los conceptos subyacentes. Finalmente, este artículo quiere discutir brevemente las dificultades que encontramos (encontraremos) cuando nosotros tratemos de analizar temas relacionados con los efectos del medio de producción en los modelos de respuesta. En este artículo nosotros nos fijaremos, sobretodo, en los resultados obtenidos en nuestro laboratorio.

El animal

Los cerdos raramente retienen mas del 50% de la energía que se les proporciona, lo que sugiere un ineficiente uso de la energía de la dieta. En la mayoría de las dietas, aproximadamente del 80 al 90 % de la dieta energética es digerida, y está potencialmente disponible para el animal. No toda la energía que se digiere (y absorbe) puede ser retenida, ya que el animal perderá energía en la orina (principalmente en la urea) y como metano. Aparte de estas pérdidas "físicas" de energía, una gran parte de la energía se pierde como calor.

La energía se almacena en el cuerpo del animal como glicógeno, proteína, o lípidos. Las reservas de glicógeno tienen un papel en el metabolismo energético a corto plazo. El glicógeno del hígado y del músculo es sintetizado a partir de la glucosa después de una comida, y se utiliza para otros propósitos más tarde. A largo plazo, las reservas de glicógeno varían poco y representan una pequeña proporción de almacenamiento de energía. Al peso normal de sacrificio, el tejido adiposo será el más importante almacén de energía. A pesar de que a igual peso la masa de músculo es mucho mayor que la masa de tejido adiposo, la densidad energética del tejido adiposo (mayormente lípidos) es de tres a cuatro veces mayor que la del tejido magro (agua, proteína y lípidos inter- e intramusculares). La densidad energética de los lípidos típica se condidera de 39.8 kJ/g y la proteína como 23.8 kJ/g.

Excepto para su termorregulación, los cerdos no necesitan energía en forma de calor. Parte del calor que está producido por el animal proviene de la conversión de los nutrientes en productos finales. Por ejemplo, la conversión bioquímica de la glucosa en lípidos tiene una eficiencia del 84%; el resto se pierde como calor. Aparte de estos "costes de conversión", una fracción considerable del calor producido por los animales

es debido a la utilización del ATP. El ATP es necesario para numerosos procesos como son la contracción del músculo (actividad física), el bombeo de Na/K, y la síntesis de proteína. Toda la energía que se utiliza para la síntesis de ATP se pierde como calor.

La energía de mantenimiento necesaria es en realidad una necesidad en ATP. Nutrientes tales como proteína, lípidos y carbohidratos pueden ser utilizados para la síntesis de ATP. La eficiencia con que esto ocurre varía mucho. Por consiguiente, los requerimientos de energía de mantenimiento dependen de la eficiencia de convertir un nutriente en ATP, y la subsiguiente utilización del ATP, de ambas cosas el resultado es la emisión de calor. Se han realizado algunos esfuerzos para expresar el mantenimiento de energía como "requerimientos de ATP". A pesar de que esto puede ayudarnos a entender los costes subyacentes de calor extra, es difícil pensar que esta aproximación pueda ser aplicada en un futuro próximo.

Asumiendo que ningún otro nutriente (suplemento de lisina) limita el crecimiento, los resultados productivos de un animal están determinados esencialmente por la energía que será suministrada por encima del mantenimiento y por la partición de la energía entre la deposición de proteína y la deposición de lípidos. Ambos, la capacidad de ingestión de alimento y las necesidades de energía aumentan con el peso del animal. En la mayor parte de las situaciones los requerimientos de mantenimiento energético se asumen proporcionales a una función del peso ($MEM = a BW^b$). En lugar de asumir que las diferencias en BW son la causa última de los cambios en los gastos de la energía de mantenimiento, la ecuación debe mirarse y utilizarse como una forma conveniente de escalar los valores de MEM. En muchos libros tradicionales sobre energía metabólica, el valor de "b" suele ser 0.75. Este valor proviene de la comparación del gasto energético entre diferentes especies para animales maduros. La energía metabólica puede ser diferente entre animales de diferentes especies y para diferentes estadios del crecimiento. En consecuencia, la energía metabólica de un cerdo de 25 kg. es diferente de la de un perro del mismo peso. Cuando el gasto de mantenimiento energético se compara entre animales de diferente BW entre especies, el valor de "b" es normalmente mucho menor que 0.75. Para cerdos en crecimiento, un valor cercano a 0.60 es el obtenido (Brown & Mount, 1982; Noblet et al., 1999). El valor de "a" depende del genotipo y también del valor de alimentación del animal. Los requerimientos de la energía de mantenimiento para los cerdos en crecimiento varía entre 850 - 1000 $\text{kJ}/(\text{kgBW}^{0.60})/\text{d}$ (Noblet et al., 1999; van Milgen & Noblet, 1999).

Cuando el valor de la capacidad de ingestión es expresado por una ecuación similar ($VFI = a BW^b$), el valor de "b" es con frecuencia inferior a 0.60. A pesar de que VFI y MEM aumentan con BW, MEM aumenta más rápidamente. Los requerimientos relativos de MEM con relación al suministro total de energía pueden incrementarse con el valor de BW. Para los animales maduros, la capacidad de ingestión es igual (como mínimo teóricamente) a las necesidades de mantenimiento energético. Cuando se incrementa BW, el mantenimiento representa un peso cada vez más importantes sobre las necesidades de energía total. Adicionalmente la partición de la energía entre la deposición de proteínas y lípidos puede cambiar con el incremento de BW. Cuanto más pesados son (o más viejos) los animales más elevada es la fracción depositada de energía por encima del mantenimiento como lípidos. Consecuentemente, los animales son más grasos con la edad.

Hay diferentes aproximaciones a la modelización de la respuesta de la deposición de proteínas y lípidos cuando cambia el suministro de energía. Kielanowski (1965) propuso hace más de 35 años que la ingestión de ME de un animal puede verse como la suma de las necesidades de mantenimiento energético requeridas y la energía requerida para la deposición de proteínas y lípido:

$$ME = MEm + 1/kp PD + 1/kf LD$$

donde PD y LD son la deposición de proteína y lípido (kj/d), respectivamente, kp es la eficiencia energética de la deposición de proteína y kf la eficiencia energética para el depósito de lípidos. A pesar de que se reconoce que hay una considerable variación en los valores de kp y kf, el valor de kp es habitualmente mucha más pequeño que kf (Noblet et al.), 1999). En consecuencia, se necesita más energía para depositar 1 kJ de energía como proteína que como lípido. Debido a la mayor densidad de energía de los lípidos, aproximadamente 50 kJ (39.8/0.80) es necesario para depositar 1 g. de lípidos, mientras que aproximadamente 40 kJ (23.8/0.60) se necesita para depositar 1 g. de proteína.

El hecho de sintetizar proteínas a partir de aminoácidos requiere al menos 5 ATP y el valor experimental de kp es de aproximadamente 0.60 sugiriendo que más cantidad de ATP (~ 20 ATP) es necesaria. Se ha sugerido que la circulación de proteína (para la síntesis repetida y el fraccionamiento de las unidades de péptido) es una de las causas de esta diferencia. Las vísceras pueden contribuir considerablemente a esta circulación de energía.

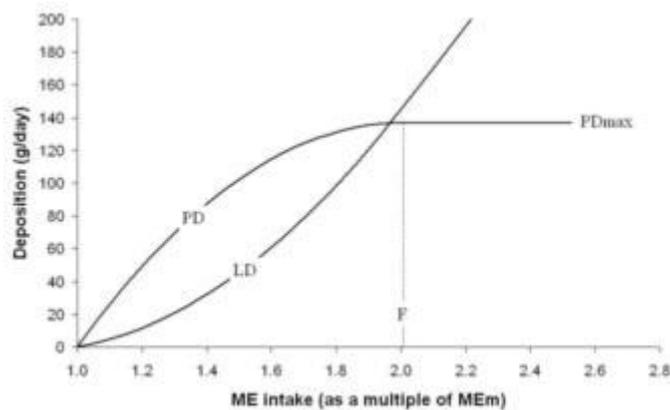
A pesar de que la aproximación mencionada anteriormente indica cuanta energía es necesaria para depositar 1 kJ de proteína o lípido, no nos da información sobre cuanto suministro de energía se divide entre la deposición de proteína y lípidos. Esto es debido parcialmente a que PD y LD son vistos como una causa (parte derecha de la ecuación) y la ingesta de ME como un resultado (parte izquierda de la ecuación) de la respuesta observada. Nosotros hemos recientemente estudiado este aspecto reorganizando la fórmula de Kielanowski y dando un papel explícito a la partición de la energía (van Milgen & Noblet, 1999):

$$PD = kp X (ME - MEm) \text{ y}$$

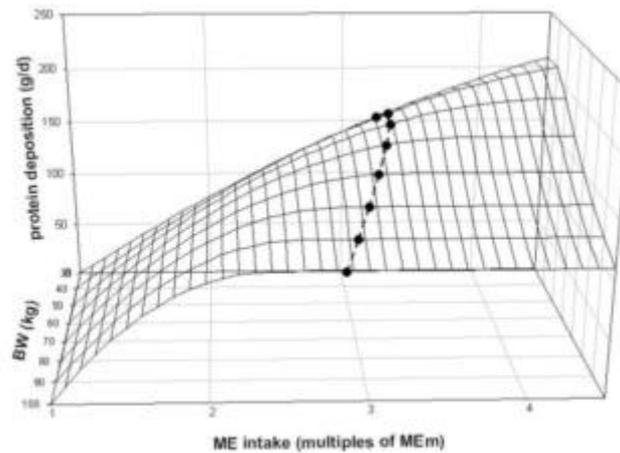
$$LD = kf (1 - X) (ME - MEm)$$

En esta ecuación, el suministro de energía por encima del mantenimiento (ME - MEm) se divide en una fracción asignada a la deposición de proteína (X), mientras que la parte complementaria (1 - X) está designada hacia la deposición de lípidos. Estas ecuaciones son funcionalmente las mismas que las de Kielanowski (que tiene unos resultados similares de los valores de kp y kf como en la ecuación original), pero requiere tener en cuenta la partición de energía (aquí especificada como "X"). En un estudio inicial (Van Milgen & Noblet, 1999), utilizamos datos de animales alimentados casi ad libitum en engorde. Los machos enteros extremadamente magros tienen una proporción constante de la energía entre la BW observada, mientras que para otros 5 grupos de animales, X bajaba linealmente cuando incrementaba BW. Para los últimos grupos este resultado implicaba un aumento del engrasamiento para los animales pesados.

La restricción energética puede cambiar la partición de energía. Una imposición de la reducción de la ingesta de energía puede reducir tanto la deposición de proteína como la deposición de lípidos, pero la última resulta más afectada. Esto significa que, a pesar de un suficiente suministro de energía, los animales se esfuerzan por mantener un equilibrio entre la deposición de proteína y lípido. En la mayor parte de los modelos que describen el crecimiento en cerdos, este fenómeno se ha incluido como una limitación que termina una ratio mínimo de deposición de lípidos relacionando proteínas o la relación de lípidos respecto a la masa de proteína.



Aparte de esta relación específica entre lípidos y proteínas (deposición o masa), un límite máximo de deposición proteica es asumido (PDmax). Toda la energía suministrada en exceso sobre la que es requerida para alcanzar PDmax se depositará como lípido. Combinando los conceptos de partición energética y PDmax nos encontramos con el llamado "plato-lineal" en la relación entre la ingesta de energía y la deposición de proteína. Utilizamos una distinta aproximación entre la relación de la deposición de proteína y la ingestión de energía la cual es curvi-lineal hasta llegar a un punto en que PDmax empieza a limitar el depósito de proteína (Figura 1; van Milgen et al.; 2000). Con relación a la descripción previa de X (la fracción de ME designada a la deposición de proteína), asumimos que la misma X es una función lineal de la ingesta de ME por encima del mantenimiento hasta el punto en que PDmax empieza a limitar la PD. Cuanto más pequeño es el suministro de ME por encima del mantenimiento, mayor es la fracción asignada a la deposición de proteína. Para un animal de un determinado peso o edad, la respuesta de PD con relación a la ingesta de ME viene determinada por 3 parámetros: el límite máximo de deposición proteica (PDmax), la ingesta de ME necesaria para alcanzar este PDmax (F; expresado como múltiplo de MEm), y la eficiencia energética de deposición proteica (kp). La respuesta LD viene determinada por el PDmax y F, por la eficiencia energética de la deposición de lípido (kf). Ambos kp y kf parecen afectadas más por la dieta que por el animal (edad, BW) mismo. Por otra parte PDmax y F pueden cambiar durante el crecimiento de los animales.



La figura 2 ilustra los cambios en la respuesta de PD como consecuencia de la ingesta de ME durante el periodo de engorde y finalización en cerdos. La figura es esencialmente la misma que la curva de respuesta de PD con relación a ME (Figura 1), y ilustra los cambios en PD_{max} y F a lo largo del periodo de crecimiento. Los animales jóvenes tienen un alto PD_{max}, pero esto está por debajo de la capacidad de ingesta de los animales. Un apetito reducido puede afectar al PD el cual es más pequeño que el PD_{max}. Para los animales más pesados el PD_{max} está dentro del "rango del apetito", pero el PD_{max} es considerablemente inferior.

El resultado es que el depósito total de proteína no necesariamente cambia mucho durante el periodo de crecimiento. A pesar de ello, la sensibilidad hacia los cambios en el suministro de energía es mayor en los animales más pequeños respecto a los más pesados. Una reducción moderada en la ingesta de alimento puede implicar una reducción tanto en PD como en LD en los animales jóvenes, mientras que puede afectar sobretodo a LD en los animales más pesados.

La aplicación y la teoría anterior en la práctica es un reto importante, ya que las curvas de PD_{max} se relacionan con el potencial de depósito proteico, esto quiere decir que no siempre puede medirse. Hay numerosas indicaciones que este potencial se ve afectado por factores ambientales como puede ser las condiciones de cría y el estatus sanitario. Consecuentemente, el termino de PD_{max} operativo se utiliza frecuentemente para indicar que puede ser calibrado para su aplicación práctica (ver la sección "ambiental"). Independientemente del modelo de expresión (plato-lineal o plato-curvilíneo), es esencial para determinar el potencial de deposición de proteína del cerdo a lo largo del tiempo. Es evidente que este potencial solamente puede ser estimado en una situación en que ningún otro nutriente limita PD y los cerdos tienen un buen estatus sanitario. La determinación del potencial de deposición proteica es necesaria ya que determina en gran parte las necesidades de aminoácidos esenciales. Entonces, la capacidad de ingesta de los cerdos en ME o NE determinará el potencial de depósito proteico, el cual, a su vez, determina (en parte) las necesidades de aminoácidos. Debido a que la respuesta proteica a los cambios energéticos varía en BW, así también la ratio óptima entre aminoácidos y energía. Es evidente que este tipo de razonamientos pueden hacerse solamente teniendo en cuenta consideraciones cualitativas. Con el fin de explotar este aspecto en la formulación de alimentos, sus conceptos deben ser incorporados en modelos matemáticos.

La dieta

La energía se suministra a los animales mayoritariamente como carbohidratos (almidón y azúcar), lípidos, proteínas y fibra. Hay numerosos estudios sobre la digestibilidad de estos componentes (o sobre los ingredientes alimentarios), pero este tema no lo vamos a tratar aquí y nos centraremos en la utilización de la energía después de la absorción.

El contenido de energía digestible (DE) de una dieta puede ser fácilmente calculado a partir de la composición de nutrientes digestibles. Por ejemplo, Noblet (1996) calculaba los valores de DE como:

$$\text{DE} = 0.0229 \times \text{DCP} + 0.0389 \times \text{DEE} + 0.0115 \times \text{DCF} + 0.0175 \times \text{ST} + 0.0169 \times \text{Azúcares} + 0.0183 \times \text{DRes}$$

donde DCP es el contenido de proteína digestible, DEE el extracto etéreo digestible, DCF el contenido en fibra digestible, ST el contenido de almidón, azúcar el contenido de azúcar y RDes el contenido de residuo digestible (la materia orgánica menos los otros nutrientes digestibles), todo expresado en g/kg. DM. Debemos tener en cuenta que tanto el almidón como el azúcar se consideran 100% digestibles y que estos coeficientes corresponden (aproximadamente) a los valores de GE para cada nutriente.

El contenido de energía metabolizable es igual al contenido de DE menos la energía perdida en la orina y en forma de metano. En la mayor parte de las dietas para cerdos en crecimiento y finalización las pérdidas en metano son menos del 0.5%. Las pérdidas de energía en la orina son considerablemente mayores (aproximadamente 3%), la mayoría de las cuales son debidas a la secreción de urea. El nitrógeno proporcionado en exceso sobre el que puede ser depositado será excretado. La mayor parte de este nitrógeno se convertirá en urea en el hígado, y será excretado como urea. La urea tiene un valor energético de 22.6 kJ/g N. Entonces cada gramo adicional de proteína que no puede ser utilizado para la deposición de proteína teóricamente derivará en una pérdida de energía urinaria adicional de $0.16 \times 22.6 = 3.6$ kJ/g de proteína. Este valor corresponde a un valor experimental de 3.5 kJ/g (Le Bellego et al., 2001b). Teóricamente, el valor de ME de las proteínas de la dieta que son depositadas como proteína será igual a los valores de DE (23.8 kJ/g), mientras que los valores de ME de las proteínas desaminadas serán de cerca de $23.8 - 3.6 = 20.2$ kJ/g. Consecuentemente, el valor de ME de la proteína no es propiamente del contenido de la proteína per se, sino también del camino en que esta proteína será utilizada por el animal. A pesar de ello, los valores de ME para la mayor parte de las dietas pueden ser aproximados a partir de los nutrientes digestibles o de DE (Noblet, 1996). Las diferencias entre los valores de DE y ME son debidas en su mayor parte al CP y a las fracciones de fibra (Noblet, 1996).

El conocimiento de que los nutrientes son utilizados con diferentes eficiencia energética a llevado al desarrollo de los sistemas de energía neta (NE). NE se define como la NE de mantenimiento (la producción de calor durante el ayuno) mas la energía retenida (PD y LD). Noblet (1996) y Noblet et al. (1994) han propuesto diferentes ecuaciones para calcular los valores de las NE de los alimentos. De media, el 74% de la ME puede ser utilizada por la NE; el resto se pierde como calor. Es importante constatar que no toda la NE es retenida, ya que el coste de mantenimiento de la NE se pierde como calor. Cuando calculamos el valor de NE a partir de los valores de ME, el almidón y los lípidos tienen un efecto positivo sobre el valor de NE, mientras que la proteína y la fibra tienen un efecto negativo. Aparentemente, las primeras fuentes pueden ser utilizadas mucho mas eficientemente que las segundas. El bajo valor NE de la fibra se debe

parcialmente a la baja eficiencia (bioquímica) de la utilización de los productos finales de la fermentación por el cerdo. Adicionalmente, los nutrientes son utilizados por las poblaciones de microorganismos para el crecimiento y el mantenimiento. Estas necesidades son indistinguibles de los gastos de energía del animal huésped, pero reduce los valores de NE de los alimentos ricos en fibra. En los últimos años, ha habido un interés creciente en la determinación de los valores de energía de las dietas ricas en fibras, especialmente para la alimentación de cerdas. Las dietas ricas en fibra parece que reducen la actividad física de los animales (Schrama et al., 1998; Ramonet et al., 1999), mientras que (parcialmente) compensadas por el valor bajo de la energía.

El coste asociado a la deposición de proteína es esencialmente ATP. Hemos estimado recientemente que estas necesidades asociadas pueden ser equivalentes a 0.48 kJ PD (van Milgen et al., 2001). Esto implica que la deposición de 1 kJ de proteína puede costar 1.48 kJ NE. La proteína de la dieta es una fuente de energía ineficiente cuando se utiliza para otros propósitos que no sean la deposición de proteína. Aparte de la pérdida de material de energía (como la urea), 4 ATP son necesarios para sintetizar 1 mol de urea (2 ATP/mol N). Esto expresa parte, pero lejos del total de las pérdidas de energía asociadas para la utilización de dietas ricas en proteína. Bellego et al. (2001b) observan que reemplazando 1 gr. de proteína (dado en exceso de PD) por 1 gr. de almidón disminuye la producción de calor en 7 kJ. Una parte considerable de la producción de calor parece debida a la circulación de proteína de la dieta inducida (Reeds et al., 1981; Roth et al., 1999). Las eficiencias metabólicas en la utilización de la proteína de la dieta para la deposición de proteína o para otros propósitos energéticos (deposición de lípidos o ATP) tienen unos valores similares (~0.52; van Milgen et al., 2001). Los aminoácidos suficientes deben ser administrados para explotar el potencial de los animales, para el depósito de tejido magro, pero el exceso debe ser evitado (tanto desde una perspectiva energética como desde una perspectiva medioambiental). Esto favorece las dietas con un suministro balanceado de aminoácidos y la fórmula de estas dietas requiere el uso de aminoácidos sintéticos. Se ha demostrado que las dietas con unos valores de CP tan bajos como de 12.3% pueden ser utilizados en cerdos en crecimiento sin afectar al mismo (Le Bellego et al., 2001b, Noblet et al., 2001).

Teóricamente, el valor de DE para la proteína (digestiva) dada en exceso por encima de las necesidades es del 35% superior que la del almidón (23.7 vs 17.5 kJ/g). Sobre una base de ME, las diferencias se reducen a un 15%, mientras que el valor de NE para el almidón es un 25% superior que el de la proteína. Este ejemplo ilustra que la selección de un sistema de energía (cuando se formulan las dietas) tiene un impacto considerable sobre los valores energéticos de los diferentes alimentos. Los alimentos ricos en fibra o proteína (soja) son "penalizados" mientras que los ricos en almidón o lípidos tienen un valor de NE más favorable (Noblet et al., 1994). Como en el caso de la ME, también los valores de NE de un alimento no son solamente unas características del mismo, sino que dependen de los nutrientes que son utilizados por el animal. Sin embargo, valores aproximados pueden ser calculados y se ha probado que pueden ser extremadamente útiles en la formulación de alimentos. Con el fin de tener en cuenta la interacción del animal y el alimento, las tablas clásicas de valores y alimento y de necesidades nutricionales son insuficientes. Modelos matemáticos son instrumentos con los cuales esta interacción puede ser cuantificada y son frecuentemente establecidos sobre la misma base conceptual que las tablas de alimentación (la noción de suministro y la relación necesidades/potencial). Con el fin de explotar el potencial de los modelos, es esencial que el utilizador entienda los conceptos subyacentes.

El ambiente de producción

El ambiente de producción en el cerdo es uno de los aspectos más importante que debe ser tenidos en cuenta en los modelos de crecimiento. Algunas variables de criterios ambientales pueden ser fácilmente cuantificados (temperatura, humedad, espacio por cerdo), mientras que variables como el estrés y el estatus sanitario pueden ser más difíciles de medir. A pesar de que algunas de estas variables pueden ser medidas, su relación con los resultados productivos no siempre es fácil de establecer. En consecuencia, en la mayor parte de los modelos coinciden en los criterios agregados para tener en cuenta los factores ambientales sobre el crecimiento.

La ingestión es uno de los criterios agregados, que puede verse afectado por los aspectos ambientales tales como el estrés por el calor. Mas que predecir el efecto del ambiente sobre la ingestión, es más fácil utilizar la ingestión como un input del modelo. El nivel máximo de deposición de proteína (PDmax) es el otro criterio afectado por el ambiente. Dos genotipos idénticos en diferentes granjas y comiendo la misma alimentación pueden tener diferentes resultados. Con el fin de tener en cuenta estos factores ambientales sobre los resultados, PDmax se ajusta manualmente (de aquí el termino PDmax operativo), que resulta de un cambio de las relaciones en la partición de la energía (entre PD y LD) en el modelo. Si medimos la ingestión del alimento y el crecimiento de diario, PDmax se ajusta de tal forma que los resultados observados y "predecibles" se aproximen lo máximo posible. Es evidente que, en este contexto, nosotros no podemos realmente decir que estos modelos predicen el crecimiento. El uso potencial de estos modelos esta mas en identificar que factores pueden limitar el crecimiento.

Nos encontramos en los inicios de la incorporación de los factores ambientales en los modelos de crecimiento, y puede haber un largo camino que correr. Algunos experimentos llevados a cabo en nuestra estación de investigación ilustran la complejidad del problema. Es bien conocido que las temperaturas ambientales altas reducen la ingestión de los cerdos. La reducción de ingestión de alimento no es constante y los cerdos pesados son más sensibles a las altas temperaturas que los cerdos pequeños (Quiniou et al., 2000). Ya que la respuesta en los cambios en el suministro de energía es tenida en cuenta en los modelos de crecimiento, se puede tratar de considerar el efecto del estrés calórico como una restricción en la alimentación. Para probar esta idea los cerdos en crecimiento que pesaban aproximadamente unos 25 Kg. fueron colocados bien a 33°C y alimentados ad libitum o fueron colocados a 23°C y alimentados con la misma cantidad de alimentos que sus hermanos de camada (Collin et al., 2001). La retención energética (en particular, deposición de lípidos) fue mayor en los animales alimentados ad libitum a 33°C que los que fueron alimentados con la misma cantidad de alimentos a 23°C. Ya que la producción de calor debida a la actividad física fue similar en ambos grupos se deduce que la temperatura afecta la energía del metabolismo per se, además del efecto sobre la reducción de la ingesta de alimento.

Contrariamente, en estudios sobre cerdos de sacrificio con animales de peso elevado, Le Bellego et al. (datos no publicados) observaron un más elevado PD en los cerdos que se mantenían a 23°C (con igual alimento) que los que estuvieron a 30°C (ad libitum) con la misma ingesta de alimento. No obstante, cuando una elevada restricción en la alimentación se impuso en ambos grupos, se observo una respuesta contraria. Esto

ilustra la complejidad de esta materia y las dificultades que nos encontraremos en la construcción de curvas de respuesta en ambientes variables.

Anteriormente se mencionó que los cerdos en crecimiento no necesitan energía como calor. En la mayor parte de los casos, el calor se desprende como resultado de la utilización de ATP (mantenimiento) o como ineficiencias de crecimiento puede ser suficiente para mantener una temperatura constante en el cuerpo. Cuando la temperatura baja o cuando la pérdida de calor aumenta el animal utilizará parte de la ingestión de energía para mantener la temperatura del cuerpo. Si el uso de esta "pérdida de energía" es insuficiente para mantener la temperatura del cuerpo, la energía será desviada del crecimiento a generar calor (o los cerdos tendrán que comer más). Esto implica que la producción de calor es un proceso esencial para mantener la temperatura del cuerpo. El calor que es considerado una pérdida en condiciones termo neutrales entonces se transforma en un "producto" útil. Consecuentemente, los alimentos que producen un aumento alto de temperatura, tales como la proteína y la fibra, pueden ser usados con gran eficiencia (para la termogénesis) en condiciones de bajas temperaturas (Quiniou et al., 2001). Contrariamente, estos alimentos pueden limitar el potencial de crecimiento en una situación donde la pérdida de calor para el animal es perjudicial (bajo condiciones de estrés calórico). Le Bellego et al. (2001a) muestran que esta reducción en la ingesta de NE deriva de la exposición a ambientes con una temperatura elevada fue menor para las dietas que aumentan poco la temperatura que para las dietas clásicas.

Conclusión

En la formulación de alimentos las ratios entre nutrientes se definen de tal forma que optimicen los resultados productivos (lisina digestible a NE). La partición de la energía entre el depósito de proteína y el depósito de lípidos determina esencialmente las necesidades de aminoácidos. Debido a que las relaciones a partición de la energía cambia durante el crecimiento y están afectadas por factores ambientales, es necesario una ratio óptimo entre aminoácidos y energía. Tradicionalmente, las necesidades de nutrientes que provienen de tablas de recomendaciones alimentarias y alimentos se formulan para alcanzar o extender estas necesidades. A medida que los sistemas de utilización de energía y aminoácidos son más refinados, la noción clásica de "necesidades" y "valor del alimento" es menos claro. Modelos matemáticos pueden ser usados fácilmente para cuantificar la respuesta del crecimiento de un animal a cambios en el suministro de alimento. Se ha comentado que considerar los factores ambientales (las consecuencias de un estrés calórico o una enfermedad) en los modelos de crecimiento requerirá unos considerables esfuerzos en investigación.

Jaap van Milgen

Unité Mixte de Recherches sur le Veau et le Porc, Institut National de la Recherche Agronomique - France