

Análisis retrospectivo de modelos de crecimiento estacionales en cerdos de destete y finalización

Fuente

WU F, LIAO J, TOKACH MD, ET AL. A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF SEASONAL GROWTH PATTERNS OF NURSERY AND FINISHING PIGS IN COMERCIAL PRODUCTION. *J SWINE HEALTH PROD.* 2019; 27(1): 19-33.

RESUMEN

Objetivo: Determinar los modelos estacionales en el desempeño del crecimiento en el destete y la finalización en tres sistemas de producción comercial del medio oeste de los Estados Unidos.

Materiales y métodos: Se recogieron cinco años de registros de producción, incluyendo 5.039 grupos de producción de destete y 5.354 grupos de producción de finalización, de tres sistemas de producción. Las variables descriptivas incluyeron el sistema, tipo de flujo de cerdos, tipo de comedero, tamaño del grupo, semana de llegada, promedio de días en alimento, duración de llenado, número de granjas de origen, energía dietética, mortalidad y peso corporal inicial. La semana de colocación sirvió como la unidad para los modelos estacionales. Se analizó el desempeño de destete y finalización (ganancia media diaria [GMD], ingesta media diaria de alimento [IMAD], y relación ganancia/alimento [G/A]) en grupos separados de datos utilizando un modelo multi-nivel lineal mixto. Se utilizó un método de selección paso a paso guiado para seleccionar variables fijas y sus interacciones. Se generaron curvas estacionales utilizando promedios móviles con bloques de cinco semanas y un paso de una semana.

Resultados: En destete, el efecto de temporada fue significativo ($P < .001$) para GMD, IMAD pero no para G/A. La GMD e IMAD en destete disminuyó al avanzar la semana de llegada de la primera a la vigésima semana del año pero se aumentó a partir de entonces. Todas las respuestas del crecimiento en finalización fueron afectadas por la semana de llegada ($P < .001$) pero el modelo y la magnitud de la variabilidad de temporada difirieron entre los sistemas, (sistema \times interacción de la semana, $P < .02$).

Conclusión: La variabilidad de estación del desempeño del destete y finalización pueden cuantificarse utilizando registros de producción con un modelo multi-nivel lineal mixto. Los efectos de estación en el desempeño de finalización fueron dependientes del sistema, mientras que los efectos estacionales en destete compartieron una mayor semejanza entre los sistemas investigados.

Palabras clave: porcino, estacionalidad, rendimiento de crecimiento, criadero, finalizador.

Una estimación precisa de la variabilidad estacional en el consumo de alimento y la tasa de crecimiento es esencial para que los productores comerciales estimen el uso de alimento y las proyecciones de comercialización. Las estimaciones aproximadas de la curva de estacionalidad a veces se generan en función de los medios brutos del rendimiento de producción semanal. Sin embargo, la precisión de este método puede ser cuestionada ya que no se tiene en cuenta los factores relacionados con la estacionalidad. Por ejemplo, algunos programas nutricionales alimentan a los cerdos con una mayor energía alimentaria durante el verano para contrarrestar la disminución de la ingesta de alimento. Además, los cerdos crecen más lentamente y, por lo tanto, los productores probablemente extiendan su período de alimentación y cambien su estrategia de comercialización en el verano en comparación con otras épocas del año. También se sabe que estos factores de confusión junto con otras variables de producción, como los diferentes flujos de cerdos, los tipos de comederos, los diseños de ventilación y las densidades de población, causan variaciones en el crecimiento y, por lo tanto, deben tenerse en cuenta en un análisis de estacionalidad. En un estudio retrospectivo realizado en 1995 por Bahnsen y Dial, se determinaron tres patrones estacionales de ganancia media diaria (GMD) y de ingesta media diaria de alimento (IMAD) en la producción porcina comercial utilizando modelos de regresión lineal múltiple. Sin embargo, el alcance de la inferencia de este estudio se limita a un solo sistema de producción y tales patrones estacionales requieren validación y actualización utilizando los datos actuales de los sistemas de producción modernos.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un enfoque de modelado sistemático para estimar los efectos de estacionalidad (expresados como la semana de colocación en un año) en el rendimiento de crecimiento de los cerdos de destete y finalización utilizando registros de producción comercial retrospectivos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Recopilación de datos

Se recopilaron cinco años de registros de producción desde enero de 2013 hasta diciembre de 2017 de tres sistemas de producción porcina ubicados en el medio oeste de los Estados Unidos. Se incluyeron un total de 5.039 lotes de producción de cerdos de destete y 5.354 finalizadores que representan casi 28 millones de cerdos de mercado en el conjunto de datos sin procesar. La estructura del conjunto de datos consta de tres niveles: sistema, sitio y lote. El lote se definió como una cohorte de cerdos por espacio aéreo en un determinado lugar. En la mayoría de los casos, el espacio aéreo se definió a nivel del corral. Algunos sitios consistían en corrales múltiples, de los que los registros de producción se informaron como lotes separados; sin embargo, el tamaño de los sitios (p. ej., número de corrales por zona o habitaciones por lote) no estaba disponible para el análisis. Había 25, 49 y 126 sitios de criadero; 513, 142 y 126 sitios de acabado; y 398, 52 y 130 sitios de destete para terminar en los sistemas A, B y C, respectivamente. Las variables explicativas recopiladas a nivel de sitio fueron los tipos de flujo de cerdos y el diseño del comedero. Los tipos de flujo de criadero incluyeron el criadero convencional, la fase del flujo de destete a finalización (criadero DF) y las instalaciones de destete a fin que solo albergaban los flujos de vivero (criadero convertido). Los tipos de flujo de acabado incluyeron acabado convencional (acabado) y fase de acabado del flujo de destete a finalización (acabado WF). A nivel de lote, los datos recopilados incluyeron el inventario inicial y final, la fecha de inicio, la fecha de cierre, la media de días de alimentación (MDA), la duración del período de llenado, el número de cerdas en granja, la energía neta media de la dieta (EMD), la mortalidad, el peso corporal inicial (PCI), final (PCF), GMD, IMAD y relación ganancia/alimentación (G/A). El PCI final de los lotes de cerdos de destete y el PCI inicial de los lotes de acabado se determinaron en base a los cerdos que se cargaron en camiones, se pesaron y se transfirieron del establo de destete a otro finalizador; se supone que el lote de cerdos que se quedó en el establo de destete tuvo un PCI promedio similar al de los que fueron transferidos. La fecha de inicio y la fecha de cierre se refieren al primer y último día, respectivamente, que los cerdos del lote estaban en la instalación. La media de días de alimentación (MDA) se calculó como la suma de los días de alimentación de cada cerdo (definido como un cerdo vivo que se alimenta durante un día) dividido por el número total de cerdos iniciados. La energía media de la

Item	Sistema de producción		
	A	B	C
Datos de criadero			
Lotes de producción en datos sin procesar, N°	2632	1125	1282
Supresión de la observación			
Recuento erróneo de cerdos	1	1	9
Promedio DOF <21 d	14	2	0
Final BW >50 Kg	26	0	2
Estimación de errores sospechados	7	2	0
Supuestos errores de recuento de alimento	11	1	0
Supuestos errores de registro de fecha	1	2	0
Lotes de producción en el conjunto de datos final	2572	1117	1271
Eliminación del valor			
Errores de registro de alimento	45	0	4
Tasa de eliminación %	4.0	0.7	1.2
Datos de finalización			
Lotes de producción en el conjunto de datos sin procesar	2862	1076	1416
Eliminación de la observación			
Flujo de cerdo inusual	2	0	1
Inicial BW <10 kg	9	1	1
Inicial BW >70 kg	30	1	0
Inicial BW <100 kg	16	6	0
Inicial BW >150 kg	1	0	0
Supuestos errores de contabilidad de alimento	14	1	2
Lotes de producción en la datación final	2790	1067	1412
Eliminación del valor			
Errores de registro de alimento	2	1	0
Sospecha de errores en el registro de energía alimentaria	23	0	0
Tasa de eliminación	3.4	0.9	0.3

Incluyendo lotes con inventario anormal y mortalidad <0.

† La asignación de alimento se registró incorrectamente entre lotes consecutivos, lo que resultó en una variabilidad anormal en G: F. Solo se eliminaron los valores de ADFI y G: F

‡ La mitad del inventario total se completó 90 días después del llenado de la primera mitad.

§ Incluyendo lotes con ADFI > 4 kg, ADFI <1.5 kg, o G: F > 1000 g / kg.

¶ Solo se eliminaron los valores de energía neta.

DOF = días en alimentación; BW = peso corporal; ADG = ganancia media diaria; G: F = relación ganancia / avance; ADFI = ingesta media diaria de alimento.

TABLA 1 Criterios de selección para la exclusión de lotes de cerdos de destete y finalización de tres sistemas de producción porcina ubicados en el medio oeste de los Estados Unidos desde enero de 2013 hasta diciembre de 2017.

dieta (EMD) se calculó en función del uso de ingredientes principales por lote y la densidad energética estimada de los ingredientes.

Procesamiento de datos

El conjunto de datos sin procesar se dividió en dos subconjuntos para un análisis separado del rendimiento del destete y del finalizador. Debido a que los datos dietéticos de EMD solo estaban disponibles desde 2015 en el sistema A, el análisis del conjunto de datos del finalizador se limitó a tres años (2015 a 2017) de observaciones para evitar efectos confusos entre el sistema y el año. Sin embargo, dado que los programas nutricionales de los tres sistemas no alteraron el contenido de energía de las dietas de destete durante las >

➤ estaciones, la EMD no se consideró en los modelos de guardería para que el conjunto de datos de guardería pudiera incluir datos de cinco años y proporcionar un mayor número de repeticiones para la estacionalidad. El diagnóstico inicial se realizó utilizando gráficos de dispersión para cada variable explicativa y de resultado para identificar valores atípicos. Los criterios de selección y el número de observaciones eliminadas se presentan en la *Tabla 1*. Para el conjunto de datos de criadero, observaciones con sospechas de errores en la estimación del peso corporal (es decir, GMD <0), uso de alimento registrado (es decir, GA >1000 g/kg), o el registro de la fecha (es decir, longitud de llenado >MDA), así como los recuentos de cerdos inexactos (es decir, mortalidad <0) se eliminaron del conjunto de datos. Además, se eliminaron las observaciones si MDA <21 do PCI final> 50 kg porque no representaban el flujo de cerdo estándar entre los sistemas. Para el conjunto de datos del finalizador, se eliminaron las observaciones con sospechas de errores en el uso de alimento registrado (es decir, IMAD > 4 kg, GMD <1.5 kg o G/A >1000 g/kg). Las observaciones del finalizador con PCI <10 kg o > 70 kg, o PC final <100 kg o >150 kg, se consideraron flujos de producción no normales y se eliminaron del conjunto de datos. Se identificaron errores de registro de entrega de alimento cuando la asignación de alimento se registró incorrectamente entre lotes consecutivos, lo que resultó en una variabilidad anormal de GA (por ejemplo, GA <300 g / kg en un lote y G/A >1000 g/kg en el lote posterior debido para trasladar o asignar mal la alimentación entre lotes o cuando hubo un valor extremadamente alto y extremadamente bajo entre lotes dentro de un sitio). Los valores IMAD y G/A de estas observaciones se eliminaron, pero los valores de la GMD no cambiaron.

Para cada observación, la semana de colocación (semana; año calendario que comienza el 1 de enero) se designó de acuerdo con la fecha de inicio y sirvió como la unidad para el efecto de estacionalidad. Los recuentos de inventario porcino se clasificaron para formar clases de tamaño de lote para evitar la multicolinealidad con la longitud de llenado, porque los lotes con mayor inventario a menudo requerían un período de llenado más largo. Los tamaños de los lotes de vivero incluyen <3000, 3000 a 6000 y >6000, y los tamaños de los lotes de acabado incluyen <1500, 1500 a 3500 y >3500. Estas categorías de inventario se seleccionaron para representar las capacidades comunes de las instalaciones comerciales. Sin embargo, la información sobre la asignación de espacio, la densidad de existencias o la dimensión del corral no estaba disponible en todos los sistemas de producción para el análisis. Además, los diseños de alimentadores se clasificaron en tres tipos: seco, tubo y húmedo-seco. A las instalaciones equipadas con tipos de alimentadores mixtos se les asignó un valor

perdido debido al número limitado de observaciones (n=137) con tipos de alimentadores mixtos.

Análisis estadístico

Los conjuntos de datos de vivero y finalizador se analizaron por separado. La ganancia media diaria (GMD) y relación ganancia/alimento (G/A) se evaluaron como variables de respuesta. El sistema, el flujo, el tamaño, el año, el tipo de alimentador y la semana se trataron como variables categóricas, mientras que la longitud de llenado, media de días de alimentación (MDA), mortalidad y la energía media de la dieta (EMD) se trataron como variables continuas. Se evaluaron los términos cuadráticos de MDA y mortalidad para detectar posibles efectos no lineales sobre las respuestas de crecimiento de los cerdos. La energía media de la dieta (EMD) solo estaba disponible para los modelos de finalización. En el conjunto de datos del criadero, el criadero convertido fue exclusivo del sistema A, lo que provocó efectos confusos entre el sistema y el flujo. Por lo tanto, el sistema y las variables de flujo se fusionaron en el conjunto de datos del criadero para formar una variable de 7 categorías denominada flujo del sistema.

Para cada variable de respuesta, modelos de regresión de mínimos cuadrados ordinarios de primer orden, que involucran variables predictoras del sistema (o flujo del sistema en el conjunto de datos del vivero), año, semana, tamaño, longitud de llenado, MDA, PCI inicial, mortalidad, NE (solo para conjunto de datos del finalizador) y tipo de alimentador, se construyeron para el diagnóstico de regresión siguiendo los procedimientos descritos por Chen et al. Las observaciones sospechosas se evaluaron para determinar la precisión biológica y se registraron en la lista de selección si se eliminaron del conjunto de datos (*Tabla 1*). La multicolinealidad entre las variables predictoras se probó usando el factor de inflación de varianza (VIF); Las variables con valores de VIF superiores a 6 se diagnosticaron adicionalmente mediante diagramas de dispersión bidireccionales. Hubo evidencia que mostró multicolinealidad entre el finalizador PCI inicial y MDA debido a una fuerte correlación lineal negativa ($r = -0.83$). Debido a que la alteración de MDA a menudo se consideraba una parte del cambio de estacionalidad en el final de la producción de cerdos (por ejemplo, los cerdos criados durante el verano tenían un período de alimentación más largo que en el invierno), se incluyó PCI en los modelos de acabado. Sin embargo, el MDA de los lotes de criadero no varió significativamente con las estaciones y, por lo tanto, se utilizó en los modelos. Se encontró heterocedasticidad entre los sistemas ya que las observaciones del sistema A tenían una varianza residual consistentemente mayor en comparación con los sistemas B y C en

todas las variables de respuesta; por lo tanto, se creó una variable ficticia (“grupo de varianza”; grupo de varianza = 1 si sistema = A, grupo de varianza = 0 si sistema = B ó C) y se tuvo en cuenta en el análisis.

Los modelos mixtos lineales multinivel para cada variable de respuesta se construyeron con lotes que sirven como unidad de observación, sitio como efecto aleatorio y sistema (flujo del sistema en el conjunto de datos de vivero) como efecto fijo. Se incluyó un término residual aleatorio de lote dentro del grupo de varianza en todos los modelos para tener en cuenta la varianza heterogénea entre los sistemas. Se empleó un enfoque guiado de selección por pasos para seleccionar variables y sus términos de interacción. Específicamente, un modelo saturado de primer orden se ajustó primero a todas las variables fijas candidatas. Luego, este modelo se redujo de forma gradual en función del nivel de significación variable ($P > .10$) y la mejora del criterio de información bayesiano (BIC). Las posibles interacciones bidireccionales entre las variables fijas restantes se introdujeron para formar un modelo bidireccional saturado. El modelo final se logró mediante la eliminación gradual de los términos de interacción en función de su nivel de significación ($P > .10$) y la mejora en el modelo BIC. El criterio de información bayesiano se usó como un indicador de la idoneidad del modelo⁶. El método de máxima verosimilitud restringida se usó en la selección del modelo para evaluar la importancia de los términos de efectos fijos. El procedimiento de Kenward-Roger se utilizó para estimar los grados de libertad y ajustar el SE estimado para la corrección de sesgos. Además, en cada paso de selección del modelo, se evaluaron los residuos estudiados. Todos los análisis se realizaron con el *software* estadístico *Stata* (versión 15; *StataCorp LLC, College Station, Texas*).

Los medios de mínimos cuadrados para la semana de colocación se generaron utilizando el comando de márgenes con las opciones “desequilibrado” y “células vacías (repeo)”. Para generar una curva de estacionalidad suave para cada respuesta de crecimiento, se calcularon promedios de los medios de mínimos cuadrados utilizando un método centrado *Ventana* de cinco semanas con tamaño de paso de una semana. Los

promedios móviles de las semanas 1, 2, 51 y 52 se generaron mediante la extensión recursiva de la serie de semanas (por ejemplo, el promedio móvil de la semana 1 representa la media de las semanas 51, 52, 1, 2 y 3). Finalmente, los patrones estacionales se estandarizaron utilizando respuestas de crecimiento en la semana 1 como punto de referencia y el de otras semanas se expresaron como cambios en la respuesta con respecto a la semana 1.

RESULTADOS

Estadísticas descriptivas

La mayoría (>80%) de los lotes de vivero se llenaron dentro de 20 días con el sistema A con una longitud de llenado promedio mayor que los sistemas B y C. En contraste, la mayoría de los lotes de acabado se llenaron en dos días. En los conjuntos de datos de vivero y finalizador, más del 65% de los lotes de producción obtuvieron cerdos de una sola granja de cerdas, mientras que aproximadamente el 30% de los lotes obtuvieron cerdos de 2 a 6 fuentes de granjas de cerdas. El número de observaciones por semana de colocación varió a lo largo del año y promedió 95 y 101 lotes por semana en los conjuntos de datos de destete y finalizador, respectivamente. Los valores medios del PC inicial fueron 5.5 y 27.0 kg, el PC final fue 26.6 y 125.3 kg, el MDA fue 55.3 y 112.4 días, y las mortalidades fueron 4.1% y 4.0% en los conjuntos de datos de vivero y finalizador, respectivamente. Los valores medios de GMD fueron 370 y 871 g, la ingesta media diaria (IMAD) fueron 630 y 2436 g, y la relación ganancia/alimento fue de 602 y 358 g/kg en destete y finalizador, respectivamente. Estas respuestas de crecimiento estuvieron razonablemente en línea con los niveles promedio de la industria para el mismo período de tiempo.

Estacionalidad del criadero

Se utilizaron un total de 4.960 observaciones de criadero en el modelo final para GMD y 4365 observaciones en los modelos IMAD y (G/A) (las observaciones con variables descriptivas codificadas como valores faltantes no estaban disponibles para el análisis si las variables descriptivas se incluían en el modelo). Los efectos del



► flujo del sistema, tamaño, año, semana, longitud de llenado, MDA, mortalidad, granja de cerdas y tipo de alimentador, así como algunas de sus interacciones significativas ($P < .10$), contribuyeron a la variabilidad en las respuestas de crecimiento entre las observaciones.

DISCUSIÓN

Se han observado variaciones estacionales en la producción porcina, principalmente debido a los cambios estacionales en la temperatura ambiental. En este estudio, construimos un modelo mixto lineal multinivel que determinó los patrones estacionales de GMD, IMAD y (G/A) en tres sistemas de producción de Estados Unidos mientras se controla la variabilidad en el rendimiento del crecimiento resultante de las diferencias en el sistema, tipo de flujo de cerdos, tamaño de lote, año, estrategia de llenado del establo, tipo de alimentador y energía media de la dieta (EMD). Debido a que los tres sistemas generalmente se ubicaban cerca y dentro del medio oeste de los Estados Unidos, los factores geográficos no se consideraron en el modelo debido a la disponibilidad de datos y se hipotetizaron inicialmente patrones estacionales similares entre los sistemas. Además, debido a que la información genética no estaba disponible a nivel de lote para el análisis, se supuso que las líneas genéticas y la tasa de mejora eran consistentes dentro del sistema y que la variabilidad genética podía ser controlada por los efectos fijos del sistema y el año. También vale la pena señalar que, aunque nuestros conjuntos de datos proporcionaron una gran cantidad de observaciones por semana (promedio de 95 y 101 lotes por semana en los conjuntos de datos de destete y finalizador, respectivamente), la replicación dentro del sitio por semana fue limitada porque relativamente pocos sitios se llenan durante la misma semana en varios años.

En otro estudio retrospectivo realizado en 1995, Bahnson y Dial determinaron los patrones de crecimiento



estacional en un sistema comercial de producción porcina ubicado en el medio oeste de los Estados Unidos; Curiosamente, los cambios estacionales en el finalizador GMD e IMAD informados por estos autores compartieron un patrón y una magnitud casi idénticos a los del sistema A y generalmente estuvieron de acuerdo con los otros dos sistemas del presente estudio. No fue sorprendente que la GMD y la IMAD disminuyeron a medida que el tiempo de colocación pasó del invierno a la primavera, porque la temperatura ambiente promedio probablemente aumentó durante los períodos de alimentación correspondientes. Por ejemplo, los cerdos que fueron colocados en el establo alrededor de la semana 10 a la 20 habrían experimentado el clima de verano durante junio, julio y agosto, correspondiente a la estación más calurosa de un año en esa región. Está bien demostrado que los cerdos reducen la ingesta voluntaria de alimento en respuesta a la temperatura ambiente alta⁹⁻¹¹. Como se esperaba, las curvas estacionales de GMD e IMAD alcanzaron el mínimo aproximadamente 5 semanas más tarde en el vivero que en el finalizador debido a una longitud de alimentación más corta y el retraso de la hora de entrada durante el tiempo de verano. Sin embargo, el rendimiento de crecimiento del finalizador se recuperó más rápido que el de destete y aumentó más allá del nivel de la semana 1 a medida que la semana de colocación llegaba al otoño (después de la semana 25). Curiosamente, se observó un segundo período de disminución en GMD e IMAD en vivero desde la semana 35 a la 40; A pesar de que la magnitud de esta disminución fue marginal, se observó consistentemente en todos los sistemas. También se observó un patrón similar al terminar los cerdos del sistema A. Suponiendo un período de lactancia de 21 días, los cerdos de cría que se colocaron alrededor de la semana 35 a 40 habrían nacido y amamantado durante agosto y también podrían haber experimentado estrés por calor en el útero durante Junio y Julio. Es posible que las temperaturas extremas durante el verano hayan afectado negativamente el rendimiento de la gestación tardía y de las cerdas lactantes y, posteriormente, hayan disminuido el rendimiento de crecimiento de los lechones. Se ha demostrado que el estrés por calor durante la gestación tardía disminuye la cantidad de lechones nacidos vivos y el peso al nacer de los lechones¹², y muchos estudios han reportado una disminución en el consumo de alimento para cerdas lactantes y el peso del destete de los lechones durante la lactancia bajo estrés por calor.

La magnitud de la variabilidad estacional (diferencia entre el desempeño más alto y más bajo del año) representó aproximadamente el 5%.