**Capítulo 4**

**Aplicación de los coproductos de proteína fermentada de maíz en la alimentación porcina**

# Introducción

Los coproductos de proteínas fermentadas de maíz (CFP) son ingredientes atractivos para utilizarse en dietas de cerdos destetados, debido a su alto contenido de energía metabolizable (EM) y de aminoácidos y fósforo digestibles. Esta alta energía y densidad nutricional permite utilizar menos cantidad para suministran cantidades importantes de energía y nutrientes en las dietas con “espacio de formulación” limitado. Además, las dietas de cerdos destetados deben formularse para estar altamente concentradas en energía y aminoácidos, lo cual solo se logra con el uso de ingredientes con alto contenido de EM y aminoácidos digestibles, porque es más probable que sustenten un crecimiento aceptable durante una etapa estresante en la vida del cerdo, cuando a menudo el consumo de alimento es bajo y variable. Debido a la levadura residual en las proteínas fermentadas de maíz, es probable que la alimentación de cerdos destetados con dietas que contengan estos coproductos también brinde beneficios para la salud al añadirse a tasas de inclusión relativamente altas, fruto de los mananooligosacáridos, β-glucanos y nucleótidos de la pared celular de la levadura (Shurson, 2018). Por lo tanto, este capítulo resume los resultados de varios estudios recientes que determinaron la energía digestible (ED), la EM, la digestibilidad ileal estandarizada (DIE) de los aminoácidos y la digestibilidad estandarizada total del tubo digestivo (DETT) del fósforo (P) de los tres tipos diferentes de tecnologías utilizadas para la producción de proteínas fermentadas de maíz, y un resumen de los resultados del desempeño del crecimiento en pruebas de alimentación en cerdos lactantes.

# Perfil nutricional de los coproductos de proteínas fermentadas de maíz para cerdos

# Hay tres tipos diferentes de tecnologías patentadas de procesamiento utilizadas para producir coproductos de proteínas fermentadas de maíz: Advanced Processing Package™ (APP™) de ICM; Maximized Stillage Co-Products Technology™ (MSC™) de FluidQuip y Marquis ProCap Technology™. Aunque cada uno de estos tipos de tecnologías concentra la proteína y la levadura en el coproducto final, sus perfiles nutricionales difieren. Por lo tanto, para optimizar la eficiencia energética y nutricional al incluirlos en las dietas porcinas, es fundamental el uso de valores adecuados de EM, DIE de los aminoácidos y de DETT del fósforo en la formulación de alimentos. Afortunadamente, se han llevado a cabo estudios de digestibilidad para determinar el contenido de ED y EM, así como el DIE de los aminoácidos en cerdos de cada uno de estos tipos de coproductos de proteínas fermentadas de maíz.

## Composición nutricional

El **cuadro 1** muestra el contenido de proteína, lípidos, fibra y cenizas de diferentes marcas de proteínas fermentadas de maíz. Hágase notar que estos coproductos contienen concentraciones similares de proteína cruda (PC). En contraste, el contenido de extracto etéreo (grasa cruda) y de extracto etéreo hidrolizado con ácido, de fibra neutrodetergente (FND), fibra total dietética (FTD) y de cenizas es altamente variable entre las fuentes. Al igual que en los DDGS, el contenido de calcio de los coproductos de proteínas fermentadas de maíz es bajo y el de P varía de 0.68 a 1.04%. Estos resultados indican que debido a la variabilidad de perfiles nutricionales entre las fuentes, es fundamental que el usuario final conozca la fuente específica a utilizar en la formulación del alimento porcino para optimizar la eficiencia nutricional y el desempeño del animal.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro 1.** Comparación de la composición de proteína, lípidos, fibra y cenizas de las fuentes de proteínas fermentadas de maíz (con base como se alimenta) | | | | |
| **Componente** | **ANDVantage 50Y1** | **A+Pro2** | **NexPro3** | **ProCap Gold4** |
| Materia seca, % | 93.76 | 91.73 | 93 | 88 |
| Proteína cruda, % | 51.79 | 50.20 | 50.1 | 49.09 |
| Lisina:proteína cruda | 3.46 | 3.96 | 3.95 | 3.93 |
| Extracto etéreo, % | 9.60\* | 4.62 |  | - |
| EEA5, % | 9.90 | - | 5.6 | 9.49 |
| Fibra neutrodetergente, % | 27.50\* | 24.33 | - | - |
| Fibra ácidodetergente, % | 20\* | 4.83 | - | - |
| Fibra dietética soluble, % | 2.8 | - | 3.4 | 1.02 |
| Fibra dietética insoluble, % | 29.2 | - | 24.4 | 21.77 |
| Fibra dietética total, % | 32 | - | 27.8 | 22.79 |
| Cenizas, % | 1.44 | 5.49 | 7.9 | 7.38 |
| Ca, % | 0.01\* | 0.04 | - | 0.04 |
| P, % | 0.68\* | 0.82 | - | 0.77 |

1Datos inéditos de Lee y Stein (2021) con autorización de The Andersons, Inc.

2Datos publicados de Yang et al. (2021).

3Datos publicados de Acosta et al. (2021).

4Datos publicados de Cristóbal et al. (2020).

5EEA = extracto etéreo hidrolizado con ácido

\* Valores obtenidos de las fichas de especificaciones de nutrientes del proveedor, proporcionadas con autorización de The Andersons, Inc.

## Energía metabolizable

Debido al amplio rango de contenido de lípidos, fibra y cenizas entre las fuentes de proteínas fermentadas de maíz, el contenido de ED y EM también varía entre 3,837 y 3,643 kcal/kg, respectivamente en A+ Pro, y de 4,560 y 4,306 kcal/kg, respectivamente en ProCap Gold (**cuadro 2**). No obstante, el contenido de EM de estas fuentes es de 117 a 150% del contenido de EM de las fuentes convencionales de DDGS. La proporción de EM a energía bruta (EB) es similar entre las fuentes de coproductos, excepto en ProCap Gold, que es de 0.84, lo que indica que los cerdos utilizan una proporción mucho mayor de energía bruta, se supone debido al contenido de aceite relativamente más alto y menor contenido de fibra, en comparación con otros productos de maíz.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro 2.** Comparación de energía bruta (EB), energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) y proporciones de energía de las fuentes de proteínas fermentadas de maíz para cerdos (base como se alimenta) | | | | |
| **Componente** | **ANDVantage 50Y1** | **A+Pro2** | **NexPro3** | **ProCap Gold4** |
| Materia seca, % | 93.76 | 91.73 | 93 | 88 |
| EB, kcal/kg | 5,284 | 4,908 | 4,937 | 5,100 |
| ED, kcal/kg | 4,421 | 3,837 | 4,070 | 4,560 |
| EM, kcal/kg | 4,085 | 3,643 | 3,705 | 4,306 |
| EM:ED | 0.92 | 0.95 | 0.91 | 0.94 |
| ED:EB | 0.84 | 0.78 | 0.82 | 0.89 |
| EM:EB | 0.77 | 0.74 | 0.75 | 0.84 |

1Datos inéditos de Lee y Stein (2021) con autorización de The Andersons, Inc.

2Datos publicados de Yang et al. (2021).

3Datos publicados de Acosta et al. (2021).

4Datos publicados de Cristóbal et al. (2020).

## Aminoácidos digestibles

Los perfiles de aminoácidos de los coproductos de proteínas fermentadas de maíz varían, pero como era de esperarse, un mayor contenido de PC resulta en mayores concentraciones de aminoácidos (**cuadro 3**). Mejoran las proporciones de aminoácidos relacionados al contenido de lisina en comparación con el perfil de aminoácidos de las fuentes convencionales de DDGS (no se muestran los datos), resultado del mayor contenido de levadura residual y de su perfil de aminoácidos (Shurson, 2018). Hágase notar que por lo general la digestibilidad ileal estandarizada es mayor que la que se encuentra en las fuentes de DDGS convencionales, pero varía entre las fuentes de proteínas fermentadas de maíz. Por ejemplo, la DIE de Lys va de 61% (A+ Pro y NexPro) al 85% en ProCap Gold. Una vez más, debido a estas diferencias, es fundamental que el usuario final conozca la fuente específica utilizada en la formulación del alimento porcino para optimizar la eficiencia nutricional y el desempeño del cerdo.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro 3.** Comparación del contenido de proteína cruda y aminoácidos, y digestibilidad ileal estandarizada de fuentes de proteínas fermentadas de maíz para cerdos (base como se alimenta) | | | | |
| **Componente1** | **ANDVantage 50Y2** | **A+Pro3** | **NexPro4** | **ProCap Gold5** |
| Materia seca, % | 93.76 | 91.73 | 93 | 88 |
| Proteína cruda, % | 51.79 (80) | 50.20 (70) | 50.1 (75) | 48.09 (84) |
| Lisina:Proteína cruda | 3.46 | 3.96 | 3.95 | 3.93 |
| Arg | 2.37 (90) | 2.36 (81) | 2.31 (81) | 2.47 (92) |
| His | 1.41 (84) | 1.44 (77) | 1.33 (80) | 1.40 (88) |
| Ile | 2.01 (81) | 2.26 (74) | 2.19 (75) | 2.03 (87) |
| Leu | 6.44 (89) | 6.30 (84) | 5.68 (85) | 5.57 (90) |
| Lys | 1.79 (72) | 1.99 (61) | 1.98 (61) | 1.89 (85) |
| Met | 1.28 (89) | 1.07 (81) | 1.01 (84) | 1.09 (89) |
| Phe | 2.75 (86) | 2.66 (81) | 2.49 (81) | 2.51 (89) |
| Thr | 2.00 (80) | 2.01 (67) | 2.00 (70) | 1.89 (83) |
| Trp | 0.58 (83) | 0.37 (75) | 0.42 (81) | 0.49 (90) |
| Val | 2.54 (82) | 2.94 (74) | 2.83 (74) | 2.84 (85) |
| Ala | 3.82 (86) | 3.75 (78) | 3.47 (79) | 3.41 (86) |
| Asp | 3.49 (78) | 3.57 (67) | 3.55 (69) | 3.38 (82) |
| Cys | 1.12 (81) | 0.98 (70) | 0.87 (73) | 1.00 (84) |
| Glu | 8.87 (87) | 8.15 (82) | 7.39 (83) | 7.52 (89) |
| Gly | 1.96 (81) | 2.00 (56) | 2.01 (65) | 2.06 (76) |
| Pro | 4.17 (100) | - | 3.50 | 3.52 (73) |
| Ser | 2.39 (86) | 2.27 (77) | 2.17 (77) | 2.20 (86) |
| Tyr | 2.32 (90) | 2.04 (83) | 1.98 (82) | 1.90 (90) |

1Los valores entre paréntesis son coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada (%) de los aminoácidos de cada fuente de coproductos para cerdos.

2Datos inéditos de Lee y Stein (2021) proporcionados con autorización de The Andersons, Inc.

3Datos publicados de Yang et al. (2021)

4Datos publicados de Acosta et al. (2021).

5Datos publicados de Cristóbal et al. (2020).

## Fósforo digestible

La proteína fermentada de maíz contribuye a una cantidad significativa del P digestible en las dietas porcinas, que se puede captar formulándolas con base en una DETT del P. El contenido total relativamente alto de P en los coproductos de maíz y su alta digestibilidad permite reducir la cantidad de suplementos inorgánicos (por ejemplo, fosfato monocálcico) necesarios para cubrir los requerimientos de P del cerdo, al mismo tiempo que disminuye su excreción en el estiércol, así como el costo de la dieta. No obstante, solo se ha realizado un estudio para determinar la DETT del P en los coproductos de proteínas fermentadas de maíz. Cristóbal et al. (2020) determinaron y compararon la DETT del P y la digestibilidad aparente total del tubo digestivo (DATT) del calcio (Ca) en DDGS reducidos en aceite y proteínas fermentadas de maíz (ProCap Gold). La DETT del fósforo en estas proteínas fue menor que en los DDGS convencionales, pero significativamente mayor que en el grano de maíz (**cuadro 4**). Este resultado indica que después de la fermentación y procesamiento queda algo de fitato y que la adición de la fitasa puede ser útil para liberar más P para que el cerdo utilice. De forma similar, la DATT del Ca en las proteínas fermentadas de maíz fue menor que en los DDGS convencionales, pero es de mínima importancia debido al Ca total muy bajo que los DDGS reducidos en aceite y estas proteínas de maíz contribuyen a la dieta. No se han llevado a cabo estudios que determinen la digestibilidad del P en otras fuentes de proteínas fermentadas de maíz, pero se supone que la DETT del P es comparable a los resultados obtenidos con ProCap Gold. No obstante, es importante hacer notar que varias plantas de etanol agregan fitasa durante el proceso de fermentación, lo cual incrementa aún más la conversión de fitato indigestible a fósforo digestible (Reis et al., 2018). Por lo tanto, es importante que los nutricionistas conozcan la fuente de coproductos de maíz que utilizan y determinen si durante el proceso de producción se utiliza fitasa, porque esto afecta los valores de digestibilidad del fósforo.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Cuadro 4.** Comparación de la digestibilidad total aparente del tubo digestivo del calcio y de la digestibilidad estandarizada total del tubo digestivo del fósforo entre los DDGS convencionales reducidos en aceite y la proteína fermentada de maíz (ProCap Gold) en cerdos (base como se alimenta; adaptado de Cristóbal et al., 2020) | | |
| **Medición** | **DDGS reducidos en aceite** | **Proteínas fermentadas de maíz** |
| Ca, % | 0.04 | 0.04 |
| P, % | 1.01 | 0.77 |
| DATT de Ca, % | 83 | 66 |
| DETT de P, % | 81 | 56 |

# Resumen de las pruebas de alimentación de proteínas fermentadas de maíz en cerdos destetados

El uso más adecuado de los coproductos de proteínas fermentadas de maíz es en las dietas para cerdos destetados de fase 1 y 2, debido a su alto contenido de EM y aminoácidos digestibles en comparación con el maíz. Las proteínas de origen animal altamente digestibles, como el plasma animal secado por aspersión (PASA) y las proteínas vegetales como la harina de soya tratada con enzimas son ingredientes comunes en las dietas de cerdos lactantes, pero son costosas. Además, lo que los nutricionistas desean es minimizar la cantidad de harina de soya en las dietas de fase 1 debido a los efectos antigénicos de la proteína de esta oleaginosa en el consumo inicial. Por lo tanto, en las dietas de cerdos recién destetados hay un gran interés por el uso de fuentes de proteínas y de energía más económicas y altamente digestibles como alternativas a la harina de soya, la harina de soya tratada con enzimas y PASA.

Martindale et al. (2018) realizaron un estudio inicial para determinar los efectos de niveles crecientes (0, 8, 16 y 24%) de proteínas fermentadas de maíz (NexPro) en dietas fase 1 (de 0 a 14 días después del destete) y fase 2 (de 14 a 28 días después del destete), con una dieta común de maíz-harina de soya en la fase 3 (de los días 28 al 35 después del destete) en el desempeño del crecimiento de cerdos destetados a los 21 días de edad. Durante la fase 1 no se observaron diferencias de ganancia diaria promedio (GDP), consumo de alimento diario promedio (CDPA) y la ganancia:alimento (G:A) entre los tratamientos de la dieta, pero los cerdos alimentados con la dieta de 24% de proteínas fermentadas de maíz durante la fase 2 tuvieron menor GDP y CDPA comparado con los alimentados con la dieta control (0% de proteínas fermentadas de maíz). No hubo efecto en el desempeño del crecimiento durante la fase 3 y durante la prueba general de 35 días. No obstante, es cuestionable la potencia estadística de este estudio para detectar diferencias entre los tratamientos de la dieta debido a que solo se utilizaron 4 repeticiones (corrales) por tratamiento, cada una con 5 cerdos, lo cual no representa las condiciones de la producción comercial. Los investigadores concluyeron que añadir hasta 16% de dichas proteínas fermentadas en las dietas de cerdos lactantes en fase 1 y fase 2 no afecta negativamente el desempeño del crecimiento.

Acosta et al. (2021) evaluaron las respuestas al desempeño del crecimiento y las calificaciones fecales al alimentar dietas que contenían distintas cantidades de proteínas fermentadas de maíz para sustituir parcialmente PASA y la harina de soya tratada con enzimas (SE) durante la fase 1 y 2 después del destete (**cuadro 5**). La alimentación de la dieta control fase 1 con 5% de SE y 2.5% de PASA durante los primeros 7 días posteriores al destete resultó en mayores GDP y G:A que con las dietas que contenían 4.5% SE + 5% de proteínas fermentadas de maíz y la de 10% de las mismas proteínas, pero no hubo diferencias significativas en CADP entre los tratamientos de la dieta. No obstante, la cantidad de proteínas fermentadas de maíz (de 0 a 10%) en las dietas fase 2, alimentadas del día 8 al 21 después del destete, no tuvo efecto sobre la GDP, el CADP y G:A. Durante la fase 3 (del día 22 al 35 después del destete) todos los cerdos fueron alimentados con dietas comunes de maíz y harina de soya y no se observaron diferencias en el desempeño del crecimiento subsecuente. Estos resultados indican que la adición de 5% de proteínas fermentadas de maíz en las dietas de fase 1 en cerdos destetados puede proporcionar un desempeño del crecimiento aceptable si también se incluye 2.5% de PASA, pero no cuando se incluye 4.5% de SE en la dieta. Parece excesiva la adición de 10% de esta fuente de proteínas en las dietas de lactación de fase 1 para apoyar el desempeño del crecimiento óptimo sin la adición de PASA o SE. No obstante, la adición de 10% a las dietas de la fase 2 apoya el desempeño del crecimiento aceptable comparado con la alimentación de la dieta control que contenía 7.5% de SE.

Los resultados de estos estudios indican que la proteínas fermentadas de maíz (NexPro) puede añadirse con éxito a las dietas de fase 1 y fase 2 hasta niveles del 16%, dependiendo de los otros ingredientes utilizados. Sin embargo, muchos investigadores reconocen el desafío nutricional de estos coproductos de maíz que contienen altas concentraciones de leucina (Leu), la cual afecta negativamente el uso y metabolismo de la valina (Val) e isoleucina (Ile) (Harris et al., 2004; Cemin et al., 2019; Kwon et al., 2019; Yang et al., 2019). Además, el exceso de Leu compite con el transporte de triptófano (Trp) en la sangre hacia el cerebro, lo cual reduce la síntesis de serotonina y por ende, también el CADP (Kwon et al., 2019; Yang et al., 2019). Además, es probable que el alto contenido de fibra en la dieta de la proteínas fermentadas de maíz incremente la producción de mucina y la pérdida de treonina (Thr) en el intestino delgado, lo cual podría aumentar el requerimiento de treonina en los cerdos (Mathai et al., 2016). Por eso, parece requerirse de la adición de Thr, Trp, Val e Ile cristalinos para optimizar el rendimiento del crecimiento de cerdos destetados alimentados con dietas que contengan estas proteínas.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cuadro 5.** Desempeño del crecimiento de cerdos destetados alimentados con dietas que contienen cantidades variables de proteínas de plasma animal (PP), harina de soya tratada con enzimas (SE) y proteína fermentada de maíz (CFP, NexPro) durante las fases 1 y 2 posteriores al destete (adaptado de Acosta et al., 2021) | | | | |
| **Medición** | **Control – sin CFP** | **CFP baja** | **CFP moderada + SE** | **CFP alta** |
| Peso corporal inicial, kg | 5.86 | 6.03 | 6.02 | 6.02 |
| Peso corporal final, kg | 18.53 | 18.58 | 18.51 | 18.20 |
| **Fase 1 (del día 1 al 7)** | **5% SE + 2.5% PP** | **2.5% PP + 5% CFP** | **4.5% SE + 5% CFP** | **10% CFP** |
| GDP, kg | 0.134a | 0.106ab | 0.088bc | 0.074c |
| CADP, kg | 0.162 | 0.146 | 0.147 | 0.136 |
| Ganancia:Alimento | 0.836a | 0.731ab | 0.604bc | 0.538c |
| **Fase 2 (del día 8 al 21)** | **7.5% SE** | **5% SE + 2.5% CFP** | **1% SE + 7.5% CFP** | **10% CFP** |
| GDP, kg | 0.285 | 0.292 | 0.277 | 0.267 |
| CADP, kg | 0.433 | 0.430 | 0.418 | 0.404 |
| Ganancia:Alimento | 0.662 | 0.681 | 0.663 | 0.661 |
| **Fase 3 (del día 22 al 35) – dietas comunes de maíz-harina de soya** | | | | |
| GDP, kg | 0.554 | 0.552 | 0.572 | 0.566 |
| CADP, kg | 0.837 | 0.848 | 0.851 | 0.859 |
| Ganancia:Alimento | 0.663 | 0.653 | 0.672 | 0.662 |
| **General (del día 1 al 35)** | | | | |
| GDP, kg | 0.362 | 0.359 | 0.357 | 0.348 |
| CADP, kg | 0.541 | 0.540 | 0.537 | 0.533 |
| Ganancia:Alimento | 0.673 | 0.666 | 0.666 | 0.656 |

a,b,c Las medias dentro del mismo renglón con diferentes superíndices son diferentes (P < 0.05).

# Resumen de los estudios de alimentación con proteína fermentada de maíz en cerdos en crecimiento-finalización

Un estudio inédito (datos proporcionados con autorización de POET) llevado a cabo por Clizer et al. en la Universidad del Estado de Dakota del Sur evaluó las proporciones de Ile a Lys y Val a Lys en las dietas de cerdos en crecimiento/finalización (59.5 kg al mercado) que contenían concentraciones dietéticas bajas (de 10 a 15%) de proteínas fermentadas de maíz (NexPro). Los resultados de este estudio mostraron que durante la etapa inicial de crecimiento se requirió de un ajuste en los niveles de Val e Ile DIE con harina de soya o aminoácidos cristalinos para superar los efectos negativos de las concentraciones en exceso de Leu aportadas por la proteínas fermentadas de maíz. Aunque los cerdos alimentados con dietas de 10 a 15% de proteínas fermentadas de maíz tuvieron un desempeño del crecimiento similar a los alimentados con dietas control de maíz y harina de soya, el suministro de soya en dietas con dichas proteínas de maíz para brindar mayores cantidades de Val e Ile resultó en un desempeño del crecimiento general similar al compararlo con los alimentados con la dieta control de maíz y harina de soya. Por lo tanto, aunque la adición del 10% al 15% de proteínas fermentadas de maíz en dietas de cerdos en crecimiento-finalización tuvo un efecto negativo mínimo en el desempeño del crecimiento y composición de la canal, debe utilizarse la harina de soya en lugar de los aminoácidos cristalinos para aumentar las concentraciones de Val e Ile DIE para mitigar los efectos negativos de Leu en exceso.

# Conclusiones

Los coproductos de proteína fermentada de maíz son un ingrediente con alto contenido de energía, aminoácidos y fósforo digestible que son más adecuados para dietas de fase 1 y 2 en cerdos recién destetados. Debido a la variabilidad de perfiles nutricionales entre las fuentes, es fundamental que el usuario final conozca la fuente específica utilizada en la formulación del alimento porcino para optimizar la eficiencia nutricional y el desempeño del animal. Para lograr un óptimo desempeño del crecimiento en cerdos añadiendo proteínas fermentadas de maíz en las dietas de lactación, se deben calcular y ajustar las concentraciones de Thr, Trp, Val e Ile con relación al contenido de lisina mediante el uso de aminoácidos cristalinos.

# Bibliografía

Acosta, J.P., C.D. Espinosa, N.W. Jaworski, and H.H. Stein. 2021. Corn protein has greater concentrations of digestible amino acids and energy than low-oil corn distillers dried grains with solubles when fed to pigs but does not affect the growth performance of weanling pigs. J. Anim. Sci. 99:1-12. doi:10.1093/jas/skab175

Cemin, H.S., M.D. Tokach, J.C. Woodworth, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and R.D. Goodband. 2019. Branched-chain amino acid interactions in growing pig diets. Transl. Anim. Sci. 3:1246-1253. doi:10.1093/tas/txz087

Cristobal, M., J.P. Acosta, S.A. Lee, and H.H. Stein. 2020. A new source of high-protein distillers dried grains with solubles (DDGS) has greater digestibility of amino acids and energy, but less digestibility of phosphorus, than de-oiled DDGS when fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 98:1-9. doi:10.1093/jas/skaa200

Harris, R.A., M. Joshi, and N.H. Jeoung. 2004. Mechanisms responsible for regulation of branched-chain amino acid catabolism. Biochem. Res. Commun. 313:391-396. doi:10.1016/j.bbrc.2003.11.007

Kwon, W.B., K. Touchette, A. Simongiovanni, K. Syriopoulos, A. Wessels, and H.H. Stein. 2019. Excess dietary leucine in diets for growing pigs reduces growth performance, biological value of protein, protein retention, and serotonin synthesis. J. Anim. Sci. 97:4282-4292. doi:10.1093/jas/skz259

Martindale, A., M. Trenhaile-Grannemann, S. Barnett, P. Miller, and T. Burkey. 2018. Growth performance of weaned pigs fed a high-protein corn co-product. J. Anim. Sci. 96(Suppl. S3):295.

Mathai, J.K., J.K. Htoo, J.E. Thomson, K.J. Touchette, and H.H. Stein. 2016. Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible thronine:lysine ratio for twenty-five to fifty kilogram growing pigs. J. Anim. Sci. 94:4217-4230. doi:10.2527/jas.2016-0680

NRC. 2012. Nutrient Requirements of Swine, 11th rev. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

Reis, C.E.R., Q. He, P.E. Urriola, G.C. Shurson, and B. Hu. 2018. Effects of modified processes in dry-grind ethanol production on phosphorus distribution in coproducts. Ind. Eng. Chem. Res. 57:14861-14869. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b02700>

Shurson, G.C. 2018. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. Anim. Feed Sci. Technol. 235:60-76. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010>

Yang, Z., A. Palowski, J.-C. Jang, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2021. Determination, comparison, and prediction of digestible energy, metabolizable energy, and standardized ileal digestibility of amino acids in novel maize co-products and conventional dried distillers grains with solubles for swine. Anim. Feed Sci. Technol. 282:115149. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115149>

Yang, Z., P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2019. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles. Transl. Anim. Sci. 3:350-358. Doi:10.5713/ajas.2010.90513