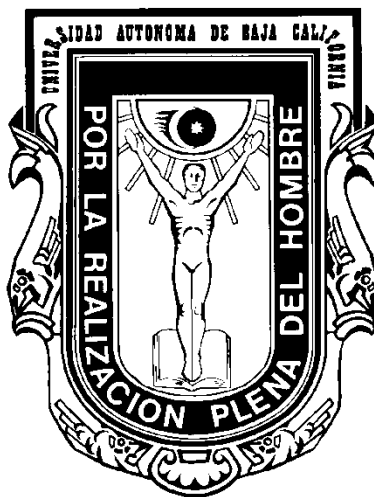


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



“Comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes en cerdos destetados alimentados con pasta de canola”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA:
JOSÉ LUIS LANDERO VIERA

DIRECTOR DE TESIS:
Ph.D. MIGUEL CERVANTES RAMIREZ

Ejido Nuevo León, Mexicali, B.C. Noviembre de 2010

La presente tesis titulada **“Comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes en cerdos destetados alimentados con pasta de canola”** realizada por el **M.C. José Luis Landero Viera** y dirigida por el **Ph.D. Miguel Cervantes Ramírez**, fue aprobada por el consejo particular abajo indicado y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

Director _____
Dr. Miguel Cervantes Ramírez, Instituto de Ciencias Agrícolas, UABC

Secretario _____
Dra. Adriana Morales Trejo, Instituto de Ciencias Agrícolas, UABC

Sinodal _____
Dr. Benedicto Alfonso Araiza Piña, Instituto de Ciencias Agrícolas, UABC

Sinodal _____
Dr. Ruurd T. Zijlstra, Universidad de Alberta

Sinodal _____
Dr. Hugo Bernal Barragán, Universidad Autónoma de Nuevo León

“POR LA REALIZACION PLENA DEL HOMBRE”

CONTENIDO

Introducción General.....	1
I. Efecto de pasta de canola regular en el comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes en cerdos destetados.....	3
1.1. Resumen.....	3
1.2. Abstract.....	4
1.3. Introducción	5
1.4. Materiales y métodos.....	6
1.4.1. Diseño experimental y dietas.....	6
1.4.2. Análisis químico	10
1.4.3. Análisis estadístico.....	11
1.5. Resultados	11
1.6. Discusión.....	16
1.7. Conclusión.....	18
1.8. Literatura citada.....	19
II. Efecto de pasta de canola extruida en el comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes en cerdos destetados.....	22
2.1. Resumen.....	22
2.2. Abstract.....	23
2.3. Introducción	24
2.4. Materiales y métodos.....	25
2.4.1. Diseño experimental y dietas.....	25
2.4.2. Análisis químico	29
2.4.3. Análisis estadístico.....	30

2.5.	Resultados	30
2.6.	Discusión.....	35
2.7.	Conclusión.....	38
2.8.	Literatura citada.....	38

INDICE DE CUADROS

1.1.	Composición de ingredientes y contenido analizado de nutrientes de las dietas experimentales (Exp. 1)	8
1.2.	Contenido analizado de nutrientes de la pasta de canola incluida en las dietas experimentales (Exp 1)	12
1.3.	Coefficientes de digestibilidad aparente en tracto total (DATT) de nutrientes y contenido de ED de las dietas (Exp. 1)	14
1.4.	Comportamiento productivo de cerdos destetados alimentados con niveles crecientes de pasta de canola en sustitución por pasta de soya (Exp. 1)	15
2.1.	Composición de ingredientes y contenido analizado de nutrientes de las dietas experimentales (Exp. 2)	27
2.2.	Contenido analizado de nutrientes de la pasta de canola incluida en las dietas experimentales (Exp. 2)	32
2.3.	Coefficientes de digestibilidad aparente en tracto total (DATT) de nutrientes y contenido de ED de las dietas (Exp. 2)	34
2.4.	Comportamiento productivo de cerdos destetados alimentados con niveles crecientes de pasta de canola en sustitución por pasta de soya (Exp. 2)	35

Introducción General

El alimento representa comúnmente el costo variable mayoritario en producción porcícola. En años recientes, estos costos por concepto de alimentación se han incrementado aún más como consecuencia del incremento del precio de ingredientes tradicionalmente empleados en la formulación de dietas. Uno de los factores que han influenciado este incremento, es el crecimiento explosivo en la utilización de fuentes energéticas renovables para la producción de biodiesel. Es necesario por tanto, incorporar a las dietas para animales, ingredientes alimenticios alternativos que ayuden a reducir los costos por alimentación y por ende, las ganancias para los productores.

La pasta de canola extraída mecánicamente (pasta de canola extruida) y la pasta de canola extraída con solventes (también referida como pasta de canola regular) son subproductos de la industria de la extracción de aceite de la semilla de canola (baja en ácido erúico y contenido de glucosinolatos). Ambos subproductos son considerados de mejor valor nutricional que cualquier otro ingrediente al mismo precio.

Experimentos conducidos hace más de 20 años con cerdos jóvenes alimentados con pasta de canola regular en sustitución de pasta de soya, evidencian efectos perjudiciales de este subproducto sobre el comportamiento productivo, reduciendo ganancia de peso y consumo de alimento (Baidoo et al., 1986; Baidoo et al., 1987; McIntosh et al., 1986). Para el caso de pasta de canola extruida, existe información muy limitada sobre estudios de comportamiento productivo en cerdos jóvenes. Información reciente en cerdos destetados indica que tanto pasta de canola extruida, así como pasta de canola regular, pueden reemplazar parcialmente a pasta de soya hasta un nivel de inclusión de 150 g de pasta de canola/kg alimento en dietas formuladas con contenido similar de energía neta y aminoácidos digestibles estandarizados sin afectar

ganancia de peso aún cuando el consumo de alimento se redujo (Seneviratne et al., 2010a). Con base en esta respuesta con el uso de sistemas de formulación modernos empleando el sistema energía neta y aminoácidos digestibles estandarizados, se investigaron mayores niveles de inclusión, usando una valoración de hasta 200 g/kg de pasta de canola (regular y extruida) por kg alimento.

En total, 2 experimentos fueron conducidos con el objetivo de determinar si existía una relación dosis-respuesta en comportamiento productivo y coeficientes de digestibilidad aparente en tracto total de energía y proteína dietética, en cerdos destetados alimentados con dietas que contenían de 0 hasta 200 g de pasta de canola regular (Exp. 1) y extruida (Exp. 2) en sustitución de pasta de soya. La hipótesis planteada en el presente estudio fue que cerdos alimentados con dietas conteniendo 50 a 200 g de pasta de canola (regular o extruida)/kg alimento y formuladas con contenidos similares de energía neta y aminoácidos digestibles estandarizados tendrían un comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes similar a los cerdos alimentados con dietas sin pasta de canola.

I. Efecto de pasta de canola regular en el comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes en cerdos destetados

1.1. Resumen

Se evaluó el efecto de alimentar niveles crecientes de pasta de canola (extraída con solventes) en sustitución de pasta de soya como fuente de energía y aminoácidos, en 220 cerdos destetados con un peso inicial de 8.1 ± 1.8 kg. Cinco dietas base-trigo peletizadas con 0, 50, 100, 150, o 200 g/kg de pasta de canola fueron formuladas para contener 9.74 MJ/kg energía neta (EN) y 1.21 g lisina (Lys) ileal digestible estandarizada (SID)/MJ EN y fueron alimentados por 4 semanas iniciando 1 semana posterior al destete, realizado a los 19 días de edad. La pasta de canola fue adicionada a expensas de pasta de soya y las dietas balanceadas para EN usando aceite de canola y para aminoácidos usando lisina, treonina y triptofano cristalinos. El incremento en la inclusión de pasta de canola redujo linealmente ($P < 0.001$) la digestibilidad aparente en tracto total de energía, materia seca y proteína cruda, mientras que el contenido de energía digestible en las dietas se redujo cuadráticamente ($P < 0.001$). En general (d 0-28), el incremento en la inclusión de pasta de canola no afectó ($P > 0.05$) ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia y peso de los cerdos al final de la prueba. En conclusión, niveles crecientes de hasta 200 g/kg de pasta de canola extraída con solventes pueden reemplazar a pasta de soya en dietas formuladas para similar contenido de EN y aminoácidos SID, sin efectos negativos en comportamiento productivo de cerdos destetados.

Palabras clave: Pasta de canola, Digestibilidad, Comportamiento productivo, Cerdos destetados

1.2. Abstract

The effects of feeding increasing levels of solvent-extracted canola meal in substitution for soybean meal as an energy and amino acid source were evaluated in 220 weaned pigs with an initial body weight (BW) of 8.1 ± 1.8 kg. Five pelleted wheat-based diets containing 0, 50, 100, 150, or 200 g/kg of canola meal were formulated to contain 9.74 MJ net energy (NE)/kg and 1.21 g standardised ileal digestible lysine/MJ NE and were fed for 4 wk starting 1 wk after weaning at 19 d of age. Canola meal was added at the expense of soybean meal and the diets were balanced for NE using canola oil and for amino acids using crystalline lysine, threonine, and tryptophan. Increasing inclusion of canola meal linearly reduced ($P < 0.001$) the apparent total tract digestibility of energy, dry matter, crude protein and quadratically reduced ($P < 0.001$) the digestible energy content of diets. For d 0-28, increasing inclusion of canola meal did not affect ($P > 0.05$) BW gain, feed intake, feed efficiency and pig weight at the end of the trial. In conclusion, increasing levels of solvent-extracted canola meal up to 200 g/kg can replace soybean meal in diets formulated to equal NE and standardised ileal digestible amino acid content fed weaned pigs without detrimental effects on growth performance.

Keywords: Canola meal, Digestibility, Performance, Weaned pig

1.3. Introducción

El alimento representa el costo mayor en producción porcícola. La incorporación de ingredientes alternativos a las dietas para cerdos, como subproductos alimenticios, pueden ofrecer oportunidades para reducir los costos alimenticios. La pasta de canola extraída con solventes (de aquí en adelante referida como pasta de canola), es el principal subproducto de la semilla de canola, a la que se le extrae el aceite principalmente para consumo humano. El contenido de aminoácidos y energía dietética es más bajo en pasta de canola que en pasta de soya, no solo por su menor contenido de proteína cruda (PC), sino también por su mayor contenido de fibra, la cual reduce la digestibilidad de nutrientes (Bell, 1993). La pasta de canola es por tanto comercializada a un precio menor que el de la pasta de soya, basado en su menor contenido de PC y nutrientes disponibles.

Resultados de experimentos previos en dietas para cerdos jóvenes muestran que la inclusión de pasta de canola reduce el comportamiento productivo, si se compara con cerdos alimentados con dietas que contenían pasta de soya (Baidoo et al., 1986; Baidoo et al., 1987; McIntosh et al., 1986). Sin embargo, en estos experimentos, las dietas no fueron formuladas usando métodos de formulación modernos y probablemente el contenido de glucosinolatos en la pasta de canola usada en aquel entonces era mayor que en la producida actualmente. De hecho, resultados recientes en cerdos destetados alimentados con dietas formuladas con contenido similar de energía neta (EN) y aminoácidos digestibles estandarizados (SID), prueban que la inclusión de 150 g de pasta de canola/kg alimento, reemplazando parcialmente a pasta de soya, no reduce la ganancia de peso aunque el consumo de alimento se redujo (Seneviratne et al., 2010). La respuesta productiva en cerdos jóvenes fue entonces, mucho mejor de lo previsto basándose en la

evidencia histórica. Niveles de inclusión aun mayores fueron por tanto investigados, usando una valoración de hasta 200 g/kg de pasta de canola.

La hipótesis planteada en el presente estudio fue que cerdos alimentados con dietas conteniendo 50 a 200 g de pasta de canola/kg y formuladas con contenidos similares de energía neta (EN) y aminoácidos digestibles estandarizados (SID) tendrían un comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes similar a los cerdos alimentados con dietas sin pasta de canola. El objetivo fue determinar si existía una relación dosis-respuesta en comportamiento productivo y coeficientes de digestibilidad aparente en tracto total (DATT) de energía y proteína dietética, en cerdos destetados alimentados con dietas que contenían de 0 hasta 200 g de pasta de canola/kg.

1.4. Materiales y métodos

1.4.1. Diseño experimental y dietas

Los procedimientos para el estudio de los animales fueron aprobados por la Comisión de Uso y Cuidado de Animales de la Universidad de Alberta, siguiendo los principios establecidos por el Consejo Canadiense de Protección de los Animales (CCAC, 2009). El experimento se llevó a cabo en el Centro Tecnológico y de Investigación Porcina de la Universidad de Alberta (Edmonton, Alberta, Canadá).

En total, 220 cerdos (Duroc x Large White/Landrace F₁; Hypor, Regina, Saskatchewan, Canadá) fueron destetados a 19 ± 1 d de edad, seleccionados en base a su ganancia de peso durante los primeros 7 días postdestete y a su peso vivo (PV) en el día 7 postdestete (8.1 ± 1.8 kg), y divididos entonces dentro de género en ligeros y pesados. La alimentación de los cerdos durante los 7 días post-destete consistió de una dieta comercial (Unifeed, Edmonton, Alberta,

Canadá). Cerdos de ambos sexos agrupados en categoría ligeros y pesados fueron colocados aleatoriamente a cada uno de 55 corrales, para un total de 4 cerdos por corral.

Una dieta testigo a base de trigo y pasta de soya, así como cuatro dietas con 50, 100, 150, o 200 g/kg de pasta de canola, fueron formuladas reemplazando pasta de soya. Los principales ingredientes en dietas fueron trigo, pasta de soya, lactosa, proteína de soya y harina de pescado (Cuadro 1.1). Las dietas (sin antibióticos) fueron formuladas para proporcionar 9.74 MJ EN/kg y 1.21 g Lys SID/MJ EN, con los demás aminoácidos formulados en la proporción ideal a Lys (treonina, 0.65; metionina, 0.35; triptofano, 0.22; isoleucina, 0.63; NRC, 1998), usando valores establecidos de EN (Sauvant et al., 2004) y aminoácidos SID (NRC, 1998). Para la pasta de canola, un contenido de 7.33 MJ/kg EN y 1.56 g Lys SID fueron usados para la formulación de las dietas. Las vitaminas y minerales cubrieron o excedieron los requerimientos de los cerdos (NRC, 1998). Se incluyó también 0.8% de cenizas insolubles en ácido (Celite 281; World Minerals, Santa Barbara, California, USA) como marcador indigestible en dietas. Las dietas fueron mezcladas y peletizadas a 70°C (70 hp; CPM, Crawfordsville, Indiana, USA).

El estudio se condujo como un diseño en bloques completos al azar con 55 corrales en tres salas de destete. Las salas de destete fueron ventiladas usando presión negativa y mantenidas a una temperatura controlada y dentro de la zona termoneutral de los cerdos, con 12-h de luz (0600 a 1800 h) y 12-h de oscuridad. Los corrales de cerdos dentro de bloques (representando áreas de la sala de destete) fueron asignados aleatoriamente a una de cinco dietas durante 4 semanas de estudio, iniciando el estudio 7 días postdestete, para un total de 11 repeticiones o corrales. Los corrales (1.1 × 1.5 m) estaban equipados con su propio comedero con cuatro boquillas, bebedero automático y piso de plástico térmico ranurado. Los cerdos tuvieron libre acceso al agua y alimento durante todo el estudio de 4 semanas.

Cuadro 1.1

Composición de ingredientes y contenido analizado de nutrientes de las dietas experimentales

Ingrediente (g/kg alimento)	Pasta de canola (g/kg alimento)				
	0	50	100	150	200
Trigo	578.6	572.8	567.0	561.0	555.2
Pasta de soya	200.0	150.0	100.0	50.0	-
Pasta de canola ^a	-	50.0	100.0	150.0	200.0
Lactosa	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Aceite de canola	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
Concentrado de proteína de soya	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Harina de pescado	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Piedra caliza	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Cenizas insolubles en ácido ^b	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Fosfato mono/dicálcico	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4
Premezcla de vitaminas ^c	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Premezcla de minerales ^d	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Sal	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
L-Lisina HCl	-	0.8	1.5	2.3	3.0
L-Treonina	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3
DL-Metionina	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
L-Triptofano	-	0.1	0.2	0.3	0.4
Cloruro de colina, 60g/kg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Composición analizada (g/kg DM)

Humedad	122.9	121.1	119.1	118.1	121.5
Proteína cruda	256.8	254.8	250.8	245.5	236.4
Grasa cruda	51.2	59.8	66.6	71.8	76.0
Fibra cruda	24.5	26.5	30.8	33.3	36.1
Cenizas	69.1	70.9	70.4	71.3	67.8
FDA	41.5	50.5	54.8	62.9	66.9
FDN	116.3	146.2	138.0	144.5	146.7
Energía bruta (MJ/kg)	19.1	19.2	19.3	19.4	19.1

^a Bunge Canada, Fort Saskatchewan, Alberta, Canadá.

^b Celite 281 (World Minerals Inc., Santa Barbara, California, USA).

^c Suministró por kilogramo de alimento: 3,750 UI de vitamina A, 750 UI de vitamina D, 50 UI de vitamina E, 37.5 mg de niacina, 15 mg de ácido pantoténico, 2.5 mg de folacina, 5 mg de riboflavina, 1.5 mg de piridoxina, 2.5 mg de tiamina, 2000 mg de colina, 4 mg de vitamina K, 0.25 mg de biotina y 0.02 mg de vitamina B₁₂.

^d Suministró por kilogramo de alimento: 125 mg de Zn, 50 mg de Cu, 75 mg de Fe, 25 mg de Mn, 0.5 mg de I y 0.3 mg de Se.

El peso individual de cada cerdo y la cantidad de alimento adicionado y remanente de cada comedero en cada corral fueron registrados semanalmente. Cambios en peso corporal de los cerdos y desaparición de alimento fueron usados para calcular ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y eficiencia alimenticia (EA; GDP/CDA) para cada corral. En los días 15 y 16 se colectaron heces frescas entre las 0800 y 1600 h, tomando las muestras del

piso de los corrales. Las heces fueron agrupadas por corral y congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al final de la prueba de comportamiento productivo, las heces fueron descongeladas, homogenizadas, submuestreadas y liofilizadas.

1.4.2. Análisis químico

Pasta de canola, dietas y heces liofilizadas fueron molidas a un tamaño de partícula de 1-mm en un molino tipo centrífuga (Retsch GmbH, Haan, Alemania). La pasta de canola fue analizada para contenido de PC (método 984.13A-D), fibra total dietética (método 985.29), FDA (método 973.18), cenizas (método 942.05), Ca (método 968.08), P (método 946.06), aminoácidos (método 982.30E) y Lys disponible (método 975.44) usando métodos AOAC (2006), y almidón (assay kit STA-20; Sigma, St. Louis, MO, USA) y FDN (Holst, 1973) en la Universidad de Missouri (Columbia, Missouri, USA). El contenido de glucosinolatos fue determinado por cromatografía de gases (Daun y McGregor, 1981). Dietas y heces fueron analizados para materia seca (MS) secándolas a 135°C por 2 h (método 930.15; AOAC, 2006), PC [$\text{N} \times 6.25$; método 988.05; (AOAC, 2006)], cenizas insolubles en ácido (McCarthy et al., 1974), y contenido de energía bruta usando una bomba calorimétrica adiabática (modelo 5003; Ika-Werke GMBH & Co. KG, Staufen, Alemania). Con base en los resultados del análisis químico, se calcularon los coeficientes de DATT de PC, energía bruta y MS, usando la concentración de cenizas insolubles en ácido en heces en relación al alimento, como método indicador de digestibilidad (Adeola, 2001).

1.4.3. Análisis estadístico

El corral se consideró como la unidad experimental. Los datos de comportamiento productivo fueron analizados como mediciones repetidas usando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2003). En el modelo estadístico el efecto fijo fue la dieta, mientras que el efecto aleatorio fue el bloque, tomando el peso inicial como covariable. Los coeficientes de digestibilidad fueron analizados usando el mismo modelo excluyendo periodo. Se diseñaron dos contrastes polinomiales para probar los efectos lineal y cuadrático resultantes de la inclusión de pasta de canola. Para probar la hipótesis, $P < 0.05$ fue considerada significativa.

1.5. Resultados

El contenido de nutrientes de la muestra de pasta de canola fue de 382 g PC/kg, 22.7 g Lys/kg, 20.4 g Lys disponible/kg, 194 g FDA/kg, 293 g FDN/kg, 9.9 g Ca/kg, 11 g P/kg, y 3.84 μmol glucosinolatos totales/g en base MS (Cuadro 1.2). La dieta con 200 g de pasta de canola/kg contenía 11.6, 25.4 y 30.4 g/kg más fibra cruda, FDA y FDN, respectivamente, que la dieta con 0 g pasta de canola/kg (Cuadro 1.1). Todos los cerdos permanecieron en prueba todo el experimento y no se observaron signos de enfermedades.

El incremento en la inclusión de pasta de canola redujo ($P < 0.001$) linealmente la DATT de energía bruta, MS y PC (Cuadro 1.3). El incremento en la inclusión de pasta de canola redujo ($P < 0.001$) cuadráticamente el contenido de ED. Específicamente, dietas con 50-150 g de pasta de canola/kg tuvieron un contenido de ED similar al de la dieta 0 g/kg, mientras que la dieta con 200 g de pasta de canola/kg tuvo un contenido de ED 3% menor que la dieta 0 g/kg.

Resultados de toda la prueba (d 0-28) o por semana, demuestran que el incremento en la inclusión de pasta de canola no afectó ($P > 0.05$) GDP, CDA y EA (Cuadro 1.4). El peso final de

los cerdos fue 21.7, 22.0, 21.5, 22.3 y 21.9 kg para cerdos alimentados con 0, 50, 100, 150 y 200 g de pasta de canola/kg, respectivamente, y no fue afectado ($P>0.10$) por el incremento en la inclusión de pasta de canola.

Cuadro 1.2

Contenido analizado de nutrientes de la pasta de canola^a incluida en las dietas experimentales

Composición	g/kg MS
Humedad	111
Proteína cruda	382
Grasa cruda	39
Fibra cruda	105
FDA	194
FDN	293
Almidón	19
Cenizas	77
Calcio	9.9
Fosforo	11
Aminoácidos esenciales	
Arginina	24.5
Histidina	10.8
Isoleucina	15.6
Leucina	28.7
Lisina	22.7

Metionina	8.0
Fenilalanina	16.4
Treonina	17.5
Triptofano	4.4
Valina	20.2
Aminoácidos no esenciales	
Alanina	18.0
Ácido aspártico	28.1
Cisteína	9.7
Ácido glutámico	67.3
Glicina	20.5
Prolina	25.0
Serina	17.1
Tirosina	11.7
Aminoácidos totales	372.8
Lisina disponible	20.4
Glucosinolatos totales ^b , $\mu\text{mol/g}$	3.84

^a Bunge Canada, Fort Saskatchewan, Alberta, Canada.

^b Contenía los siguientes glucosinolatos ($\mu\text{mol/g}$ de pasta de canola): 3-butenyl, 0.93; 4-pentenyl, 0.10; 2-OH-3-butenyl, 1.99; CH₃-thiobutenyl, 0.07; phenylethyl, 0.05; 3-CH₃-indolyl, 0.10; 4-OH-3-CH₃-indolyl, 0.60.

Cuadro 1.3

Coefficientes de digestibilidad aparente en tracto total (DATT) de nutrientes y contenido de ED de las dieta^a

Variable	Pasta de canola, g/kg alimento					EE	P-valor	
	0	50	100	150	200		Lineal	Cuadrático
DATT								
Proteína cruda	0.824	0.814	0.814	0.813	0.791	0.004	<0.001	0.058
Energía Bruta	0.855	0.846	0.843	0.843	0.824	0.003	<0.001	0.087
Materia seca	0.849	0.836	0.833	0.831	0.820	0.002	<0.001	0.634
Contenido ED, MJ/kg	16.3	16.2	16.3	16.3	15.8	0.050	<0.001	<0.001

^a Medias de mínimos-cuadrados fueron basados en 11 observaciones–corral con 4 cerdos por corral.

Cuadro 1.4

Comportamiento productivo de cerdos destetados alimentados con niveles crecientes de pasta de canola en sustitución por pasta de soya^a

Variable	Pasta de canola, g/kg alimento					EE	P-valor	
	0	50	100	150	200		Lineal	Cuadrático
CDA (g/d)								
Día 0-7	298	297	301	305	288	12	0.771	0.462
Día 8-14	615	594	593	642	588	21	0.920	0.850
Día 15-21	888	887	835	941	851	23	0.775	0.803
Día 22-28	1141	1160	1118	1160	1121	30	0.602	0.735
Día 0-28	735	735	712	762	712	14	0.592	0.543
GDP (g/d)								
Día 0-7	248	254	249	268	253	11	0.475	0.617
Día 8-14	419	406	413	437	407	16	0.916	0.776
Día 15-21	592	605	547	599	586	16	0.724	0.307
Día 22-28	692	723	712	733	724	18	0.163	0.456
Día 0-28	488	497	480	509	493	8	0.419	0.836
EA								
Día 0-7	0.83	0.86	0.83	0.91	0.87	0.04	0.224	0.874
Día 8-14	0.68	0.68	0.70	0.69	0.69	0.02	0.690	0.859
Día 15-21	0.67	0.68	0.65	0.64	0.69	0.02	0.942	0.103

Día 22-28	0.61	0.62	0.64	0.64	0.65	0.01	0.057	0.574
Día 0-28	0.70	0.71	0.71	0.72	0.73	0.01	0.087	0.872

^a Medias de mínimos-cuadrados fueron basados en 11 observaciones–corral con 4 cerdos por corral.

1.6. Discusión

A pesar de que canola (también conocida como semilla de colza o nabo, baja en ácido erúxico y glucosinolatos), es uno de los cultivos de oleaginosas más importantes (Raymer, 2002), y que además, la pasta de canola extraída con solventes ha sido un ingrediente alimenticio para cerdos por más de 30 años, la información disponible del valor alimenticio de la pasta de canola producida recientemente es escasa. En el presente estudio, los datos de comportamiento productivo indican que pasta de canola es, en la actualidad, mucho mejor ingrediente alimenticio para cerdos jóvenes que el sugerido por experimentos realizados hace más de 20 años, aunque los datos de digestibilidad de nutrientes indican que aun hay posibilidades de mejoras.

La reducción en los valores de digestibilidad de nutrientes fue lineal con el incremento en la inclusión de pasta de canola. Esta reducción es probablemente atribuida al incremento del contenido de fibra en las dietas formuladas con niveles crecientes de pasta de canola, en sustitución de pasta de soya. De hecho, el contenido de fibra medida como fibra cruda, FDA y FDN es poco más de tres veces mayor en pasta de canola que en pasta de soya (120 vs. 34, 175 vs. 50 and 215 vs. 71 g/kg, respectivamente; Bell, 1993). Por tanto, aun cuando en el presente estudio el incremento en el contenido de fibra en la dieta no afectó el consumo de alimento, el incremento en contenido de fibra redujo la digestibilidad de nutrientes lo que coincide con investigaciones previas (Fernández y Jorgensen, 1986). Estos resultados indican que la

utilización de nutrientes en pasta de canola se podría mejorar aun más reduciendo el contenido de fibra o incrementando su digestibilidad.

En los primeros experimentos realizados con cerdos jóvenes alimentados con dietas conteniendo pasta de canola o pasta de soya como fuente de proteína, se observó una tasa de crecimiento más baja en cerdos alimentados con pasta de canola, en comparación con los cerdos alimentados con pasta de soya (Baidoo et al., 1986; Baidoo et al., 1987; McIntosh et al., 1986). Sin embargo, evidencias recientes contradicen dichos resultados previos, ya que la sustitución de la mitad de pasta de soya, incluyendo hasta 15% de pasta de canola en la dieta, no afectó el comportamiento productivo de cerdos destetados (Seneviratne et al., 2010). En el presente experimento, la inclusión de pasta de canola se incrementó aun más, reemplazando totalmente a pasta de soya, sustituyéndola hasta con 200 g/kg de pasta de canola en dietas formuladas con similar contenido de EN y aminoácidos SID. La inclusión de pasta de canola no tuvo ningún efecto perjudicial en el comportamiento productivo de cerdos destetados, indicando que el lote utilizado de pasta de canola en el presente estudio tiene mejor valor alimenticio que hace 20 años.

Es bien conocido que el contenido de glucosinolatos en las variedades actuales de canola es mucho menor que el de las variedades de colza (Canola Council of Canada, 2009), siendo posible que al paso del tiempo, el contenido residual de glucosinolatos en la pasta de canola se reduzca como consecuencia de mejoramiento del cultivo o procesamiento de la semilla de canola. El contenido de glucosinolatos en la muestra de pasta de canola extraída con solventes usada en el presente experimento, fue de 3.84 $\mu\text{mol/g}$ (Cuadro 1.2), el cual es 47% menor que el valor de 7.2 $\mu\text{mol/g}$ reportado hace siete años (Newkirk et al., 2003) y similar al valor de 2.7 $\mu\text{mol/g}$ reportado recientemente (Seneviratne et al., 2010). Usando el valor determinado de

glucosinolatos en la pasta de canola, el mayor contenido calculado de glucosinolatos en la dieta con la mayor inclusión de pasta de canola (200 g/kg) fue de 0.77 $\mu\text{mol/g}$ alimento, el cual se encuentra por debajo del nivel generalmente aceptado de tolerancia de glucosinolatos (2.0 $\mu\text{mol/g}$; Schone et al., 1997a, b). El bajo contenido de glucosinolatos en la pasta de canola puede proporcionar una explicación parcial de la ausencia de efectos perjudiciales en el comportamiento productivo de los cerdos destetados de este experimento. Por otra parte, la reducción en el comportamiento productivo de cerdos alimentados con pasta de canola observada en experimentos previos, podría ser explicada por el contenido de nutrientes en las dietas, las cuales fueron formuladas en base a energía digestible y aminoácidos esenciales totales en lugar de energía neta y aminoácidos digestibles. La formulación de dietas para cerdos usando el sistema EN y aminoácidos SID reduce los riesgos asociados a la inclusión de ingredientes alternativos como es el caso de los subproductos alimenticios (Zijlstra y Payne, 2007). La ventaja del sistema EN vs EM o ED, es que EN contabiliza el incremento en pérdidas energéticas en forma de calor debidas al alto contenido de fibra y proteína en los subproductos alimenticios. Por ultimo, 90% de la lisina fue químicamente definida como biodisponible indicando que hubo poco daño por calor en la proteína contenida en la pasta de canola.

1.7. Conclusión

En conclusión, los datos indican que cerdos destetados alimentados con dietas formuladas con similar contenido de ED y aminoácidos SID y con una inclusión de hasta 200 g de pasta de canola en sustitución de pasta de soya, no reducen su ganancia de peso, consumo de alimento, eficiencia alimenticia, ni peso final. El incremento en la inclusión de pasta de canola redujo DATT de energía y PC en dietas, pero dichas reducciones fueron de pequeña magnitud.

1.8. Literatura citada

- Adeola, O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, A.J., Southern, L.L. (Eds.), Swine Nutrition. CRC Press, New York, NY, USA, pp. 903-916.
- AOAC, 2006. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Baidoo, S.K., McIntosh, M.K., Aherne, F.X., 1986. Selection preference of starter pigs fed canola meal and soybean meal supplemented diets. *Can. J. Anim. Sci.* 66, 1039-1049.
- Baidoo, S.K., Mitaru, B.N., Aherne, F.X., Blair, R., 1987. The nutritional value of canola meal for early-weaned pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 18, 45-53.
- Bell, J.M., 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Can. J. Anim. Sci.* 73, 679–697.
- Canola Council of Canada, 2009. Canola Meal Feed Industry Guide. 4th ed. Canola Council of Canada, Winnipeg, MB, Canada.
- CCAC, 2009. Guidelines on: The Care and Use of Farm Animals in Research, Teaching, and Testing. Canadian Council on Animal Care, Ottawa, ON, Canada.
- Daun, J.K., McGregor, D.I., 1981. Glucosinolate analysis of rapeseed (canola). In: Method of the Grain Research Laboratory, Agriculture Canada, Canadian Grain Commission, Winnipeg, MB, Canada, pp. 111-116.
- Fernández J.A., Jorgensen, J.N., 1986. Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livest. Prod. Sci.* 15, 53-71.
- Holst, D.O., 1973. Holst Filtration apparatus for Van Soest detergent fiber analysis. *J. AOAC.* 56, 1352-1356.

- McCarthy, J.F., Aherne, F.X., Okai, D.B., 1974. Use of HCl insoluble ash as an index material for determining apparent digestibility with pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 54, 106-107.
- McIntosh, M.K., Baidoo, S.K., Aherne, F.X., Bowland, J.P., 1986. Canola meal as a protein supplement for 6 to 20 kilogram pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 66, 1051-1056.
- Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T.A., Edney, M.J., 2003. The digestibility and content of amino acids in toasted and non-toasted canola meals. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 131-139.
- NRC, 1998. *Nutrient Requirements of Swine*, 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA.
- Raymer, L.P. 2002. Canola: An emerging oilseed crop. In: Janick, J., Whikey, A. (Eds), *Trend in New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, USA.
- SAS, 2003. *SAS User's Guide: Statistics*. Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. *Tables of composition and nutritional value of feed materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish*. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands and INRA Editions. Versailles, France.
- Schone, F., Groppe, B., Hennig, A., Jahreis G., Lange. R., 1997a. Rapeseed meal, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig. *J. Sci. Food Agric.* 74, 69-80.
- Schone, F., Rudolph, B., Kirchheim U., Knapp. G., 1997b. Counteracting the negative effects of rapeseed and rapeseed press cake in pig diets. *Br. J. Nutr.* 78, 947-962.
- Seneviratne, R.W., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Zijlstra, R.T., 2010. Effect of crude glycerol combined with solvent-extracted or expeller pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility of weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* (Submitted).

Zijlstra, R.T., Payne, R.L., 2007. Net energy system for pigs. In: Patterson, J.E., Barker, J.A., (Eds). Manipulating Pig Production XI, Australasian Pig Science Association, Werribee, Vic, Australia, pp. 80-90.

II. Efecto de pasta de canola extruida en el comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes en cerdos destetados

2.1. Resumen

Los efectos de alimentar niveles crecientes de pasta de canola extruida (extraída por presión) en sustitución de pasta de soya como fuente de energía y aminoácidos, fueron evaluados en 240 cerdos destetados con un peso inicial de 7.3 ± 1.3 kg. Cinco dietas base-trigo peletizadas con 0, 50, 100, 150, o 200 g/kg de pasta de canola extruida fueron formuladas para contener 9.98 MJ energía neta (EN) /kg y 1.19 g lisina (Lys) ileal digestible estandarizada (SID)/MJ EN y fueron alimentados por 4 semanas iniciando 1 semana post-destete, a 19 d de edad. La pasta de canola extruida fue adicionada a expensas de pasta de soya y las dietas balanceadas para EN usando aceite de canola y para aminoácidos usando lisina, metionina, treonina y triptofano cristalinos. El incremento en la inclusión de pasta de canola extruida redujo linealmente ($P < 0.001$) la digestibilidad aparente en tracto total de energía, materia seca, proteína cruda, y energía digestible en dietas. Durante la segunda semana (d 8-14), el incremento en la inclusión de pasta de canola extruida redujo ($P < 0.05$) cuadráticamente ganancia de peso debido a una reducción ($P < 0.05$) cuadrática en consumo de alimento. El incremento en la inclusión de pasta de canola extruida no afectó ($P > 0.05$) ganancia de peso, eficiencia alimenticia y peso final de los cerdos durante el estudio completo (d 0-28), aunque el consumo de alimento se redujo ($P < 0.05$) cuadráticamente. En conclusión, al alimentar a cerdos destetados con dietas formuladas con niveles crecientes de hasta 200 g/kg de pasta de canola extruida en sustitución de pasta de soya, con contenido similar de EN y aminoácidos, no se ve afectado el comportamiento productivo de dichos cerdos.

Palabras clave: Pasta de canola extruida, Digestibilidad, Comportamiento productivo, Cerdos destetados

2.2. Abstract

The effects of feeding increasing levels of expeller-pressed canola meal in substitution for soybean meal as an energy and amino acid source were evaluated in 240 weaned pigs with an initial body weight of 7.3 ± 1.3 kg. Five pelleted wheat-based diets containing 0, 50, 100, 150, or 200 g/kg of expeller-pressed canola meal were formulated to contain 9.98 MJ NE/kg and 1.19 g standardised ileal digestible lysine/MJ EN and were fed for 4 week starting 1 week after weaning at 19 days of age. Expeller-pressed canola meal was added at the expense of soybean meal and diets were balanced for net energy using canola oil and for amino acids using crystalline lysine, methionine, threonine, and tryptophan. Increasing inclusion of expeller-pressed canola meal linearly reduced ($P<0.001$) the apparent total tract digestibility of energy, dry matter, crude protein and the digestible energy content in diets. For d 8-14, increasing inclusion of expeller-pressed canola meal quadratically reduced body weight gain ($P<0.05$) due to quadratically reduced ($P<0.05$) feed intake. Overall (d 0-28), increasing inclusion of expeller-pressed canola meal did not affect ($P>0.05$) BW gain, feed efficiency and pig weight at the end of the trial, although feed intake was quadratically reduced ($P<0.05$). In conclusion, increasing levels of expeller-pressed canola meal up to 200 g/kg can replace soybean meal in diets formulated to equal net energy and standardised ileal digestible amino acid content fed to weaned pigs without affecting growth performance.

Keywords: Expeller-pressed canola meal, Digestibility, Performance, Weaned pig

2.3. Introducción

El costo del alimento sigue representando la mayor parte de los costos variables en la alimentación porcina (Zijlstra y Beltranena, 2007). Por tal motivo, el uso de ingredientes alimenticios alternativos, como es el caso de los subproductos alimenticios, deberían ser explorados para ayudar a reducir estos costos en dietas para cerdos. Un subproducto proveniente de la semilla de canola a la que se le extrae el aceite principalmente para consumo humano es la pasta de canola extruida, la cual es un ingrediente alimenticio a considerar en la formulación de dietas para cerdos, ya que su contenido de energía y aminoácidos es valioso (Seneviratne et al., 2010b). De hecho, el contenido de energía es mayor en la pasta de canola extruida que en la pasta de soya (Seneviratne et al., 2010b), aunque con un mayor contenido de fibra y menor contenido de aminoácidos debido a su bajo contenido de proteína cruda. La pasta de canola extruida es por tanto, comercializada a un precio menor que el de la pasta de soya, basado en su menor contenido de PC y nutrientes disponibles.

La pasta de canola extruida es producida mediante el acondicionamiento térmico de la semilla de canola con vapor, seguido por la presión de la semilla en un extrusor para optimizar la extracción del aceite. La pasta de canola extruida contiene más aceite residual que la pasta de canola extraída con solventes y por tanto su contenido de energía neta (EN) es mayor, aunque su contenido de aminoácidos digestibles estandarizados (SID) es menor. A pesar de la posibilidad de su uso, existe poca información acerca del valor nutricional de la pasta de canola extruida en dietas para cerdos jóvenes. Resultados recientes en cerdos destetados alimentados con dietas formuladas con contenido similar de energía neta (EN) y aminoácidos digestibles estandarizados (SID), prueban que la inclusión de 150 g de pasta de canola extruida/kg alimento, reemplazando parcialmente a pasta de soya, no reduce la ganancia de peso aunque el consumo de alimento se

redujo (Seneviratne et al., 2010). Estos resultados deben ser validados en cerdos destetados, evaluando también mayores niveles de inclusión.

La hipótesis planteada en el presente estudio fue que cerdos destetados alimentados con dietas conteniendo 50 a 200 g de pasta de canola extruida/kg en sustitución de pasta de soya y formuladas con contenidos similares de energía neta (EN) y aminoácidos digestibles estandarizados (SID) tendrían un comportamiento productivo y digestibilidad de nutrientes dietéticos similar a los cerdos alimentados con dietas con pasta de soya. El objetivo fue determinar si existía una relación dosis-respuesta en comportamiento productivo y coeficientes de digestibilidad aparente en tracto total (DATT) de energía y proteína dietética, en cerdos destetados alimentados con dietas que contenían de 0 hasta 200 g de pasta de canola extruida/kg.

2.4. Materiales y métodos

2.4.1. Diseño experimental y dietas

Los procedimientos para el estudio de los animales fueron aprobados por la Comisión de Uso y Cuidado de Animales de la Universidad de Alberta, siguiendo los principios establecidos por el Consejo Canadiense de Protección de los Animales (CCAC, 2009). El experimento se llevó a cabo en el Centro Tecnológico y de Investigación Porcina de la Universidad de Alberta (Edmonton, Alberta, Canadá).

En total, 240 cerdos (Duroc x Large White/Landrace F₁; Hypor, Regina, Saskatchewan, Canadá) fueron destetados a 19 ± 1 d de edad, seleccionados en base a su ganancia de peso durante los primeros 7 días postdestete y su peso vivo (PV) en el día 7 postdestete (7.3 ± 1.3 kg), y divididos entonces dentro de género en ligeros y pesados. La alimentación de los cerdos durante los 7 días post-destete consistió de una dieta comercial (Unifeed, Edmonton, Alberta,

Canadá). Cerdos destetados de ambos sexos y de ambos grupos de peso (ligeros y pesados) fueron colocados aleatoriamente a uno de 60 corrales, para un total de 4 cerdos por corral.

Una dieta testigo a base de trigo y pasta de soya, así como cuatro dietas con 50, 100, 150, o 200 g/kg de pasta de canola extruida, fueron formuladas reemplazando pasta de soya. Los principales ingredientes en dietas fueron trigo, pasta de soya, lactosa, proteína de soya y harina de pescado (Cuadro 2.1). Las dietas (sin antibióticos) fueron formuladas para proporcionar 9.98 MJ EN/kg y 1.19 g Lys SID/MJ EN, con los demás aminoácidos formulados en la proporción ideal a Lys (treonina, 0.65; metionina, 0.35; triptofano, 0.22; isoleucina, 0.63; NRC, 1998), usando valores establecidos de EN (Sauvant et al., 2004) y aminoácidos SID (Seneviratne et al., 2010b). Para la pasta de canola extruida, un contenido de 10.68 MJ EN/kg y 1.77 g Lys SID (en base seca) fueron usados para la formulación de las dietas. Las vitaminas y minerales cubrieron o excedieron los requerimientos de los cerdos (NRC, 1998). El 0.8% de cenizas insolubles en ácido (Celite 281; World Minerals, Santa Barbara, California, USA) fue incluido como marcador indigestible. Las dietas fueron mezcladas y peletizadas a 70 °C (70 hp; CPM, Crawfordsville, Indiana, USA).

El estudio se condujo como un diseño en bloques completos al azar con 60 corrales en cuatro salas de destete. Las salas de destete fueron ventiladas usando presión negativa y mantenidas a una temperatura controlada y dentro de la zona termoneutral de los cerdos, con 12-h de luz (0600 a 1800 h) y 12-h de oscuridad. Los corrales de cerdos dentro de bloques (representando áreas de la sala de destete) fueron asignados aleatoriamente a una de cinco dietas durante 4 semanas de estudio, iniciando el estudio 7 días postdestete, para un total de 12 repeticiones o corrales. Los corrales (1.1 × 1.5 m) estaban equipados con su propio comedero con cuatro boquillas, bebedero

automático y piso de plástico térmico ranurado. Los cerdos tuvieron libre acceso al agua y alimento durante todo el estudio de 4 semanas.

Cuadro 2.1

Composición de ingredientes y contenido analizado de nutrientes de las dietas experimentales

Ingrediente (g/kg alimento)	Pasta de canola extruida (g/kg alimento)				
	0	50	100	150	200
Trigo	558.6	562.4	566.3	570.2	574.1
Pasta de soya	200.0	150.0	100.0	50.0	-
Pasta de canola extruida ^a	-	50.0	100.0	150.0	200.0
Lactosa	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Aceite de canola	50.0	45.0	40.0	35.0	30.0
Concentrado de proteína de soya	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Harina de pescado	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Piedra caliza	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Cenizas insolubles en ácido ^b	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Fosfato mono/dicálcico	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Premezcla de vitaminas ^c	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Premezcla de minerales ^d	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Sal	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
L-Lisina HCl	0.2	0.9	1.6	2.2	2.9
L-Treonina	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
DL-Metionina	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5

L-Triptofano	-	0.1	0.2	0.3	0.4
Cloruro de colina, 60g/kg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Composición analizada (g/kg DM)					
Humedad	113.7	108.1	104.9	95.5	107.8
Proteína cruda	256.1	260.0	257.3	255.2	245.2
Grasa cruda	73.9	70.6	73.1	76.1	71.5
Fibra cruda	21.3	23.7	29.3	33.4	38.1
Cenizas	66.3	68.4	69.4	66.7	68.9
FDA	37.3	43.4	53.6	59.9	66.5
FDN	144.6	178.2	161.1	166.1	182.9
Energía bruta (MJ/kg)	19.3	19.2	19.2	19.2	19.1

^a Associated Proteins, Ste. Agathe, Manitoba, Canada.

^b Celite 281 (World Minerals Inc., Santa Barbara, California, USA).

^c Suministró por kilogramo de alimento: 3,750 UI de vitamina A, 750 UI de vitamina D, 50 UI de vitamina E, 37.5 mg de niacina, 15 mg de ácido pantoténico, 2.5 mg de folacina, 5 mg de riboflavina, 1.5 mg de piridoxina, 2.5 mg de tiamina, 2000 mg de colina, 4 mg de vitamina K, 0.25 mg de biotina y 0.02 mg de vitamina B₁₂.

^d Suministró por kilogramo de alimento: 125 mg de Zn, 50 mg de Cu, 75 mg de Fe, 25 mg de Mn, 0.5 mg de I y 0.3 mg de Se.

El peso individual de cada cerdo y la cantidad de alimento adicionado y remanente de cada comedero en cada corral fue registrado semanalmente. Cambios en peso corporal de los cerdos y

desaparición de alimento fueron usados para calcular ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y eficiencia alimenticia (EA; GDP/CDA) para cada corral. En los días 15 y 16 se colectaron heces frescas entre las 0800 y 1600 h, tomando las muestras del piso de los corrales. Las heces fueron agrupadas por corral y congeladas a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Al final de la prueba de comportamiento productivo, las heces fueron descongeladas, homogenizadas, sub-muestreadas y liofilizadas.

2.4.2. Análisis químico

Pasta de canola extruida, dietas y heces liofilizadas fueron molidas a un tamaño de partícula de 1 mm en un molino tipo centrífuga (Retsch GmbH, Haan, Alemania). La pasta de canola extruida fue analizada para contenido de PC (método 984.13A-D), fibra total dietética (método 985.29), FDA (método 973.18), cenizas (método 942.05), Ca (método 968.08), P (método 946.06), aminoácidos (método 982.30E) y Lys disponible (método 975.44) usando métodos AOAC (2006), y almidón (assay kit STA-20; Sigma, St. Louis, MO, USA) y FDN (Holst, 1973) en la Universidad de Missouri (Columbia, Missouri, USA). El contenido de glucosinolatos fue determinado por cromatografía de gases (Daun y McGregor, 1981). Dietas y heces fueron analizados para materia seca (MS) secándolas a 135°C por 2 h (método 930.15; AOAC, 2006), PC [$\text{N} \times 6.25$; método 988.05; (AOAC, 2006)], cenizas insolubles en ácido (McCarthy et al., 1974), y contenido de energía bruta usando una bomba calorimétrica adiabática (modelo 5003; Ika-Werke GMBH & Co. KG, Staufen, Alemania). Con base en los resultados del análisis químico, se calcularon los coeficientes de DATT de PC, energía y MS, usando la concentración de cenizas insolubles en ácido en heces en relación al alimento, como método indicador de digestibilidad (Adeola, 2001).

2.4.3. Análisis estadístico

El corral se consideró como la unidad experimental. Los datos de comportamiento productivo fueron analizados como mediciones repetidas usando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2003). En el modelo estadístico el efecto fijo fue la dieta, mientras que el efecto aleatorio fue el bloque, tomando a peso inicial como covariable. Los coeficientes de digestibilidad fueron analizados usando el mismo modelo excluyendo periodo. Se diseñaron dos contrastes polinomiales para probar los efectos lineal y cuadrático resultantes de la inclusión de pasta de canola extruida. Para probar la hipótesis, $P < 0.05$ fue considerada significativa.

2.5. Resultados

El contenido de nutrientes de la muestra de pasta de canola extruida fue de 385 g PC/kg, 21.0 g Lys/kg, 17.8 g Lys disponible/kg, 164 g FDA/kg, 310 g FDN/kg, 6.9 g Ca/kg, 11.7 g P/kg, y 10.9 μmol glucosinatos totales/g en base MS (Cuadro 2.2). El contenido de fibra medida como fibra cruda, FDA y FDN fue 78.9, 78.3 y 26.5%, respectivamente mayor, en la dieta con 200 g de pasta de canola extruida/kg, que en la dieta con 0 g/kg (Cuadro 2.1). Todos los cerdos permanecieron en prueba todo el experimento y no se observaron signos de enfermedades.

El incremento en la inclusión de pasta de canola extruida redujo ($P < 0.001$) linealmente la DATT de energía, MS y PC, así como el contenido de energía digestible en dietas (Cuadro 2.3). Los coeficientes de DATT de energía, proteína y materia seca fueron 3% menor en la dieta con 200 g de pasta de canola extruida/kg que en la dieta con 0 g/kg, mientras que el contenido de ED se redujo 4% en la dieta 200 g/kg comparado con la dieta 0 g/kg de pasta de canola extruida.

En general, el incremento en la inclusión de pasta de canola extruida no afectó ($P > 0.05$) GDP y EA, aunque CDA se redujo cuadráticamente ($P < 0.05$). Durante la segunda semana (d 8-14), el

incremento en la inclusión de pasta de canola extruida redujo ($P<0.05$) cuadráticamente la ganancia de peso a la par de una reducción ($P<0.05$) cuadrática en consumo de alimento. El incremento en la inclusión de pasta de canola extruida incrementó ($P<0.05$) EA cuadráticamente durante la tercera semana (d 15-21), y linealmente ($P<0.05$) durante la cuarta semana (d 22-28; Cuadro 2.4). El peso final de los cerdos fue 20.1, 19.8, 19.6, 19.7 y 20.1 kg para cerdos alimentados con 0 a 200 g de pasta de canola extruida/kg, respectivamente, y no fue afectado ($P>0.10$) por el incremento en la inclusión de pasta de canola extruida.

Cuadro 2.2

Contenido analizado de nutrientes de la pasta de canola extruida^a incluida en las dietas experimentales

Composición	g/kg MS
Humedad	56
Proteína cruda	385
Grasa cruda	109
Fibra cruda	73
FDA	164
FDN	310
Almidón	0
Cenizas	73
Calcio	7
Fosforo	12
Aminoácidos esenciales	

Arginina	22.8
Histidina	10.2
Isoleucina	15.9
Leucina	26.7
Lisina	21.0
Metionina	7.5
Fenilalanina	15.2
Treonina	16.0
Triptofano	4.7
Valina	19.9
Aminoácidos no esenciales	
Alanina	16.5
Ácido aspártico	26.5
Cisteína	9.1
Ácido glutámico	62.5
Glicina	19.3
Prolina	22.8
Serina	14.8
Tirosina	10.1
Aminoácidos totales	347.6
Lisina disponible	17.8
Glucosinolatos totales ^b , µmol/g	10.87

^a Associated Proteins, Ste. Agathe, Manitoba, Canada.

^b Contení los siguientes glucosinolatos ($\mu\text{mol/g}$ de pasta de canola extruida): 3-butenyl, 3.1; 4-pentenyl, 0.22; 2-OH-3-butenyl, 4.39; CH_3 -thiobutenyl, 0.17; phenylethyl, 0.15; 3- CH_3 -indolyl, 0.23; 4-OH-3- CH_3 -indolyl, 2.61.

Cuadro 2.3

Coefficientes de digestibilidad aparente en tracto total (DATT) de nutrientes y contenido de ED de las dietas^a

Variable	Pasta de canola extruida, g/kg alimento					EE	<i>P</i> -valor	
	0	50	100	150	200		Lineal	Cuadrático
DATT								
Proteína cruda	0.811	0.817	0.791	0.788	0.788	0.004	<0.001	0.368
Energía Bruta	0.849	0.853	0.834	0.829	0.825	0.003	<0.001	0.973
Materia seca	0.846	0.849	0.831	0.824	0.818	0.002	<0.001	0.284
Contenido ED, MJ/kg	16.4	16.4	16.0	15.9	15.8	0.050	<0.001	0.654

^a Medias de mínimos-cuadrados fueron basados en 12 observaciones–corral con 4 cerdos por corral.

Cuadro 2.4

Comportamiento productivo de cerdos destetados alimentados con niveles crecientes de pasta de canola extruida en sustitución por pasta de soya^a

Variable	Pasta de canola extruida, g/kg alimento					EE	P-valor	
	0	50	100	150	200		Lineal	Cuadrático
CDA (g/d)								
Día 0-7	287	277	262	267	276	12	0.344	0.174
Día 8-14	558	528	511	523	535	14	0.231	0.036
Día 15-21	783	771	761	754	779	20	0.706	0.317
Día 22-28	1025	1001	979	999	999	18	0.312	0.158
Día 0-28	663	644	628	636	647	9	0.097	0.005
GDP (g/d)								
Día 0-7	242	221	225	210	221	16	0.217	0.396
Día 8-14	391	371	353	370	393	14	0.970	0.029
Día 15-21	534	539	542	529	541	19	0.953	0.974
Día 22-28	651	654	641	662	668	19	0.409	0.519
Día 0-28	455	447	439	442	456	9	0.891	0.097
EA								
Día 0-7	0.841	0.793	0.852	0.775	0.792	0.04	0.218	0.957
Día 8-14	0.698	0.702	0.688	0.708	0.733	0.02	0.122	0.190
Día 15-21	0.675	0.699	0.714	0.702	0.693	0.01	0.316	0.049

Día 22-28	0.635	0.654	0.653	0.663	0.670	0.01	0.032	0.740
Día 0-28	0.713	0.712	0.726	0.712	0.722	0.01	0.615	0.880

^a Medias de mínimos-cuadrados fueron basados en 12 observaciones–corral con 4 cerdos por corral.

2.6. Discusión

La pasta de canola extruida es un subproducto de la semilla de canola después de su procesamiento en el cual se le extrae el aceite mediante presión en un extrusor. En Canadá, se estima que alrededor del 3% de la semilla de canola es procesada mediante presión por extrusión, lo que resulta en una pasta con mayor contenido de aceite que la pasta de canola extraída con solventes (Canola Council of Canada, 2009). Por tanto, el contenido de EN es mayor en la pasta de canola extruida (10.68 MJ/kg MS; Seneviratne et al., 2010b) que en la pasta de canola extraída con solventes (7.29 MJ/kg MS; Sauvant et al., 2004), aunque su contenido de Lys SID es menor debido a su alto contenido residual de aceite (Seneviratne et al., 2010b).

Similar a los resultados reportados recientemente en cerdos destetados alimentados con pasta de canola extraída con solventes (Landeró et al., 2010), el incremento en la inclusión de pasta de canola extruida en dietas, reduce linealmente los coeficientes DATT de nutrientes y el contenido de ED en dietas. Esta reducción en digestibilidad de nutrientes es probablemente resultado del mayor contenido de fibra en la pasta de canola extruida en comparación con la pasta de soya; de hecho, en relación a la fibra, la muestra de pasta de canola extruida usada en este experimento contiene poco más de tres veces FDA (164 g/kg) y FDN (310 g/kg) que los valores de fibra reportados para pasta de soya (44 y 89 g/kg, respectivamente; van Kempen et al., 2006). El incremento en contenido de fibra en la dieta redujo la digestibilidad de nutrientes lo que coincide

con investigaciones previas (Fernández y Jorgensen, 1986). Estos resultados indican que la utilización de nutrientes en pasta de canola extruida se podría mejorar aun más reduciendo el contenido de fibra o incrementando su digestibilidad.

Información relacionada con el uso de la pasta de canola extruida en la alimentación de cerdos jóvenes es muy limitada. Resultados de un experimento reciente con cerdos jóvenes alimentados con dietas formuladas con similar contenido de EN y de aminoácidos SID demuestran que, la sustitución parcial de pasta de soya con hasta 150 g/kg de pasta de canola extruida, no afecta la ganancia de peso aunque el consumo de alimento se ve reducido (Seneviratne et al., 2010a). En el presente experimento, se incrementó aun más la inclusión de pasta de canola extruida reemplazando totalmente a pasta de soya, incluyendo hasta 200 g/kg de pasta de canola extruida en dietas formuladas con similar contenido de EN y aminoácidos SID. La inclusión de pasta de canola extruida no tuvo ningún efecto perjudicial en ganancia de peso y consecuentemente en peso final de los cerdos, aun cuando consumo de alimento se redujo cuadráticamente. Esta respuesta cuadrática en consumo de alimento es difícil de explicar, pero puede estar relacionada con diarreas mecánicas observadas en algunos cerdos durante las primeras dos semanas del estudio. La ausencia de efectos perjudiciales de la pasta de canola extruida sobre GDP en los cerdos destetados, podría ser explicada en parte por la formulación de la dieta. La formulación de dietas para cerdos usando el sistema EN y aminoácidos SID reduce los riesgos asociados a la inclusión de ingredientes alternativos como es el caso de los subproductos alimenticios (Zijlstra y Payne, 2007). La ventaja de el sistema EN vs EM o ED, es que EN contabiliza el incremento en pérdidas energéticas en forma de calor debidas al alto contenido de fibra y proteína en los subproductos alimenticios.

Un factor limitante para la inclusión de la pasta de canola en las dietas para cerdos fue su contenido de glucosinolatos (Bell, 1984), pero es bien sabido que programas de mejoramiento del cultivo han reducido el contenido residual de glucosinolatos en las variedades actuales de canola. El contenido de glucosinolatos en la muestra de pasta de canola extruida usada en el presente experimento, fue de 10.9 $\mu\text{mol/g}$ (Cuadro 2.2), el cual es mucho mayor que el valor de 3.8 $\mu\text{mol/g}$ reportado recientemente para pasta de canola extraída con solventes reportado recientemente (Landeró et al., 2010). Sin embargo, usando el valor determinado de glucosinolatos en la pasta de canola extruida, el contenido calculado de glucosinolatos en la dieta con la mayor inclusión de pasta de canola extruida (200 g/kg) fue de 2.2 $\mu\text{mol/g}$ alimento, el cual se encuentra dentro del nivel generalmente aceptado de tolerancia de glucosinolatos (2.0-2.4 $\mu\text{mol/g}$; Schone et al., 1997a, b). El bajo contenido de glucosinolatos en la pasta de canola extruida puede proporcionar una explicación parcial de la ausencia de efectos perjudiciales en el comportamiento productivo de los cerdos destetados de este experimento. El hecho que el contenido de glucosinolatos sea mayor en pasta de canola extruida que en pasta de canola extraída con solventes se encuentra relacionado a diferencias en el procesamiento de la semilla de canola, ya que si se comparan los procesos de extrusión con la extracción con solventes, este último incluye un paso adicional llamado “tostado” en donde se le aplica calor a la pasta, reduciendo el contenido de glucosinolatos en alrededor del 50% (Newkirk, 2003; Spragg y Mailer, 2007).

El procesamiento de la semilla de canola por presión por extrusión puede generar temperaturas de hasta 135 °C (Spragg, 2007), pudiendo impactar la calidad de la proteína particularmente lisina disponible (Mailer, 2004). En el presente estudio el procesamiento por extrusión resultó en una reducción del 15% en la disponibilidad de la lisina, definida

químicamente como biodisponible, indicando que hubo poco daño por calor en la proteína contenida en la pasta de canola extruida.

2.7. Conclusión

En conclusión, los datos indican que la inclusión de hasta 200 g de pasta de canola extruida en sustitución de pasta de soya, en dietas formuladas con similar contenido de ED y aminoácidos SID, no afecta ganancia de peso, eficiencia alimenticia, ni peso final de cerdos destetados, iniciando una semana post-destete. El incremento en la inclusión de pasta de canola extruida redujo DATT de energía, MS, PC y contenido de energía digestible en dietas.

2.8. Literatura citada

- Adeola, O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, A.J., Southern, L.L. (Eds.), Swine Nutrition. CRC Press, New York, NY, USA, pp. 903-916.
- AOAC, 2006. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Bell, J. M., 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: A review. *J. Anim. Sci.* 58:996-1010.
- Canola Council of Canada, 2009. Canola Meal Feed Industry Guide. 4th ed. Canola Council of Canada, Winnipeg, MB, Canada.
- CCAC, 2009. Guidelines on: The Care and Use of Farm Animals in Research, Teaching, and Testing. Canadian Council on Animal Care, Ottawa, ON, Canada.
- Daun, J.K., McGregor, D.I., 1981. Glucosinolate analysis of rapeseed (canola). In: Method of the Grain Research Laboratory, Agriculture Canada, Canadian Grain Commission, Winnipeg, MB, Canada, pp. 111-116.

- Fernandez J.A., Jorgensen, J.N., 1986. Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livest. Prod. Sci.* 15, 53-71.
- Holst, D.O., 1973. Holst Filtration apparatus for Van Soest detergent fiber analysis. *J. AOAC.* 56, 1352-1356.
- Landero, J.L., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A., Zijlstra, R. T., 2010. The effect of feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* (Submitted).
- Mailer, R., 2004. Canola meal: Limitations and opportunities. Australian Oilseeds Federation. Royal Exchange, New South Wales, Australia.
- McCarthy, J.F., Aherne, F.X., Okai, D.B., 1974. Use of HCl insoluble ash as an index material for determining apparent digestibility with pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 54, 106-107.
- Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T.A., Edney, M.J., 2003. The digestibility and content of amino acids in toasted and non-toasted canola meals. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 131-139.
- NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine, 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA.
- SAS, 2003. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, The Netherlands and INRA Editions. Versailles, France.
- Schone, F., Groppe, B. Hennig, A., Jahreis G., Lange. R., 1997a. Rapeseed meal, methimazole, thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance in the pig. *J. Sci. Food Agric.* 74, 69-80.
- Schone, F., Rudolph, B., Kirchheim U., Knapp. G., 1997b. Counteracting the negative effects of rapeseed and rapeseed press cake in pig diets. *Br. J. Nutr.* 78, 947-962.

- Seneviratne, R.W., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Zijlstra, R.T., 2010a. Effect of crude glycerol combined with solvent-extracted or expeller pressed canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility of weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* (Submitted).
- Seneviratne, R.W., Young, M.G., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Newkirk, R.W., Zijlstra, R.T., 2010b. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 88, 2073-2083.
- Spragg, J., 2007. Australian canola meal guide for the feed industry. Australian Oilseeds Federation. Royal Exchange, New South Wales, Australia.
- Spragg, J., Mailer, R., 2007. Canola meal value chain quality improvement. A final report prepared for AOF and Pork CRC. JCS Solutions Pty Ltd. Berwick, Victoria, Australia.
- Zijlstra, R.T., Beltranena, E., 2007. Latest developments in alternative feedstuffs for pigs. In: *Proc. Manitoba Swine Seminar, I. Seddon, ed. Vol. 21. Manitoba Swine Seminar Committee, Winnipeg, Manitoba, Canada, pp. 167–172*
- Zijlstra, R.T., Payne, R.L., 2007. Net energy system for pigs. In: Patterson, J.E., Barker, J.A., (Eds). *Manipulating Pig Production XI, Australasian Pig Science Association, Werribee, Vic, Australia, pp. 80-90.*

Manuscript Number:

Title: The effect of feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs

Article Type: Short Communication

Section/Category: Non-ruminants

Keywords: Canola meal
Digestibility
Performance
Weaned pig

Corresponding Author: Dr. Ruurd T. Zijlstra, PhD

Corresponding Author's Institution: University of Alberta

First Author: Jose Landero

Order of Authors: Jose Landero; Eduardo Beltranena; Miguel Cervantes; Adriana Morales; Ruurd T. Zijlstra, PhD

Abstract: The effects of feeding increasing levels of solvent-extracted canola meal in substitution for soybean meal as an energy and amino acid source were evaluated in 220 weaned pigs with an initial body weight (BW) of 8.1 ± 1.8 kg. Five pelleted wheat-based diets containing 0, 50, 100, 150, or 200 g/kg of canola meal were formulated to contain 9.74 MJ/kg net energy (NE) and 1.21 g standardised ileal digestible (SID) lysine (Lys)/MJ NE and were fed for 4 wk starting 1 wk after weaning at 19 d of age. Canola meal was added at the expense of soybean meal and the diets were balanced for NE using canola oil and for amino acids using crystalline lysine, threonine, and tryptophan. Increasing inclusion of canola meal linearly reduced ($P < 0.001$) the apparent total tract digestibility of energy, dry matter, crude protein and quadratically reduced ($P < 0.001$) the digestible energy content of diets. For d 0-28, increasing inclusion of canola meal did not affect ($P > 0.05$) BW gain, feed intake, feed efficiency and pig weight at the end of the trial. In conclusion, increasing levels of solvent-extracted canola meal up to 200 g/kg can replace soybean meal in diets formulated to equal NE and SID amino acid content fed weaned pigs without detrimental effects on growth performance.

September 16, 2010

Editor, Animal Feed Science and Technology

RE: Submission of manuscript

Dear Editor:

We submit the manuscript entitled "The effect of feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility in weaned pigs" as a short communication for peer-review to Animal Feed Science and Technology. The work has been conducted at our labs at the University of Alberta, and the paper is authored by Jose Landero, Eduardo Beltranena, Miguel Cervantes, Adriana Morales, and Ruurd T. Zijlstra (corresponding author).

In this manuscript, we provide novel insights regarding the effects of feeding increasing levels of solvent-extracted canola meal to weaned pigs on growth performance and diet nutrient digestibility. We believe that this is the first time that such work has been published in more than 20 years.

On behalf of all authors, I mention that no financial or other contractual agreements exist that might cause conflicts of interest or be perceived as causing conflicts of interest. Also, financial arrangement between any of the authors and any company whose product figures prominently in the submitted manuscript do not exist.

Finally, I inform the Editorial office of Animal Feed Science and Technology of the following: (i) this submitted manuscript is currently not under consideration for publication elsewhere, and (ii) all authors have read and approved the final submitted manuscript.

Thank you for your consideration.
Sincerely,
Ruurd T. Zijlstra

1 Short communication

2

3 The effect of feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient
4 digestibility in weaned pigs

5

6 J.L. Landero^{a,b}, E. Beltranena^{a,c}, M. Cervantes^b, A. Morales^b, R.T. Zijlstra^{a,*}

7

8 ^a *Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, University of Alberta, Edmonton,*
9 *Alberta, Canada T6G 2P5*

10 ^b *Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México*
11 *21100*

12 ^c *Alberta Agriculture and Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada T6H 5T6*

13

14

15 *Abbreviations:* ADFI, average daily feed intake; ADG, average daily gain; BW, body weight;
16 ATTD, apparent total tract digestibility; CP, crude protein; DE, digestible energy; DM, dry
17 matter; G:F, feed efficiency (ADG/ADFI); Lys, lysine; NE, net energy; SID, standardised ileal
18 digestible

19 * Corresponding author. Tel: +1 780 492 8593; Fax: +1 780 492 4265.

20 *E-mail address:* ruurd.zijlstra@ualberta.ca (R.T. Zijlstra).

21

22

23 **ABSTRACT**

24

25 The effects of feeding increasing levels of solvent-extracted canola meal in substitution for
26 soybean meal as an energy and amino acid source were evaluated in 220 weaned pigs with an
27 initial body weight (BW) of 8.1 ± 1.8 kg. Five pelleted wheat-based diets containing 0, 50, 100,
28 150, or 200 g/kg of canola meal were formulated to contain 9.74 MJ/kg net energy (NE) and 1.21
29 g standardised ileal digestible (SID) lysine (Lys)/MJ NE and were fed for 4 wk starting 1 wk
30 after weaning at 19 d of age. Canola meal was added at the expense of soybean meal and the
31 diets were balanced for NE using canola oil and for amino acids using crystalline lysine,
32 threonine, and tryptophan. Increasing inclusion of canola meal linearly reduced ($P<0.001$) the
33 apparent total tract digestibility of energy, dry matter, crude protein and quadratically reduced
34 ($P<0.001$) the digestible energy content of diets. For d 0-28, increasing inclusion of canola meal
35 did not affect ($P>0.05$) BW gain, feed intake, feed efficiency and pig weight at the end of the
36 trial. In conclusion, increasing levels of solvent-extracted canola meal up to 200 g/kg can replace
37 soybean meal in diets formulated to equal NE and SID amino acid content fed weaned pigs
38 without detrimental effects on growth performance.

39

40 Keywords: Canola meal, Digestibility, Performance, Weaned pig

41

42 **1. Introduction**

43 Feed is the highest cost of pork production. Incorporating alternative feedstuffs, such as co-
44 products into swine diets may provide opportunities to reduce feed costs. Solvent-extracted
45 canola meal (from here onward referred as canola meal), is the main co-product of the oilseed

46 crushing industry that extracts oil primarily for human consumption from canola seed. Canola
47 meal is lower in dietary energy and amino acid content than soybean meal not only due to a
48 lower CP content, but also a higher fibre content that reduces the digestibility of other nutrients
49 (Bell, 1993). Canola meal is therefore sold at a discount relative to soybean meal based on
50 reduced protein and available nutrient content.

51 In the past, feeding young pigs diets containing canola meal caused reduced growth
52 performance compared with pigs fed diets containing soybean meal (Baidoo et al., 1986; Baidoo
53 et al., 1987; McIntosh et al., 1986). However, in these previous experiments, diets were not
54 formulated using modern feed formulation methods and the canola meal likely contained more
55 residual glucosinolates than meal produced currently. Indeed, the inclusion of 150 g canola
56 meal/kg by partially removing soybean meal did not reduce weight gain of weaned pigs fed diets
57 formulated to an equal NE and standardized ileal digestible (SID) amino acid content although
58 feed intake was reduced (Seneviratne et al., 2010). The growth response of young pigs to canola
59 meal was thus much better than anticipated based on historical evidence. Higher inclusion levels
60 were thus investigated further using a titration of canola meal up to 200 g/kg.

61 The hypothesis tested in the present study was that pigs offered diets containing 50 to 200 g
62 solvent-extracted canola meal/kg and formulated to an equal net energy (NE) and SID amino
63 acid content would have a growth performance and dietary nutrient digestibility similar to pigs
64 fed diets without canola meal. The objectives were to determine whether a dose response existed
65 for growth performance and apparent total tract digestibility (ATTD) coefficients of dietary
66 energy and protein of weaned pigs fed diets containing 0 up to 200 g canola meal/kg.

67

68 **2. Materials and methods**

69 2.1. *Experimental design and diet*

70 The animal procedures for the study were approved by the University of Alberta Animal
71 Care and Use Committee for Livestock and followed principles established by the Canadian
72 Council on Animal Care (CCAC, 2009). The experiment was conducted at the Swine Research
73 and Technology Centre of the University of Alberta (Edmonton, AB).

74 In total, 220 pigs (Duroc x Large White/Landrace F₁; Hypor, Regina, SK, Canada) were
75 weaned at 19 ± 1 d of age, selected based on BW gain during the first 7 d post weaning and BW
76 on d 7 after weaning (8.1 ± 1.8 kg) and divided within gender into heavy and light BW. One
77 heavy and one light barrow and gilt were placed randomly into one of 55 pens, for 4 pigs per
78 pen. After weaning, pigs were fed commercial phase 1 and 2 diets (Unifeed, Edmonton, AB,
79 Canada) for 7 d.

80 A wheat-based control diet and four diets containing 50, 100, 150, or 200 g/kg of solvent-
81 extracted canola meal were formulated by replacing soybean meal with canola meal. The main
82 dietary ingredients were wheat, soybean meal, lactose, soy protein, and herring fish meal (Table
83 1). Diets without antimicrobials were formulated to provide 9.74 MJ/kg NE and 1.21 g SID
84 Lys/MJ NE with other amino acids formulated as an ideal ratio to Lys (threonine, 0.65;
85 methionine, 0.35; tryptophan, 0.22; isoleucine, 0.63; NRC, 1998) using established NE
86 (Sauvant et al., 2004) and SID AA (NRC, 1998) values. For the canola meal, a content of 7.33
87 MJ/kg NE and 1.56 g SID Lys were used for diet formulation, values based on measurements in
88 our laboratory (data not shown). Premixes were added to meet or exceed mineral and vitamin
89 requirements (NRC, 1998). Acid-insoluble ash (Celite 281; World Minerals, Santa Barbara, CA,
90 USA) at 0.8% was included in diets as an indigestible marker. Diets were mixed and steam
91 pelleted at 70°C (70 hp; CPM, Crawfordsville, IN, USA).

92 The study was conducted as a randomised complete block design with 55 pens in three
93 nursery rooms. The room was ventilated using negative pressure and was maintained within the
94 thermo-neutral zone for the pigs, with a 12-h light (0600 to 1800 h), 12-h dark cycle. Pens of
95 pigs within block (representing areas of the room) were randomly allocated to be fed one of five
96 diets during the 4-wk study, starting 7 d post weaning for a total of 11 pen-replicates per diet.
97 Pens (1.1 × 1.5 m) were equipped with a multiple-space self-feeder, a nipple drinker, and plastic
98 slatted flooring. Pigs had free access to feed and water during the entire 4-wk study.

99 Individual pigs and the amount of feed added to each pen feeder and remaining were
100 weighed weekly. Body weight changes and feed disappearance were used to calculate average
101 daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), and feed efficiency (G:F; ADG/ADFI) for
102 the pen. Freshly-voided faeces were collected from 0800 to 1600 h by grab sampling from pen
103 floors on d 15 and 16. Faeces were pooled by pen and frozen at -20°C. Upon completion of the
104 growth trial, faeces were thawed, homogenised, sub-sampled and freeze-dried.

105

106 2.2. *Chemical analyses*

107 Canola meal, diets and lyophilized faeces were ground through a 1-mm screen in a
108 centrifugal mill (Retsch GmbH, Haan, Germany). Canola meal was analysed for CP (method
109 984.13A-D), total dietary fibre (method 985.29), ADF (method 973.18), ash (method 942.05), Ca
110 (method 968.08), P (method 946.06), amino acids (method 982.30E) and available Lys (method
111 975.44) using AOAC (2006) methods, starch (assay kit STA-20; Sigma, St. Louis, MO, USA)
112 and NDF (Holst, 1973) content at University of Missouri, Columbia, MO, USA. Glucosinolate
113 profile of canola meal was determined by gas chromatography (Daun and McGregor, 1981).
114 Diets and faeces were analysed for dry matter (DM) by drying at 135°C for 2 h (method 930.15;

115 AOAC, 2006), CP [$N \times 6.25$; method 988.05; (AOAC, 2006)], acid-insoluble ash (McCarthy et
116 al., 1974), and gross energy content using an adiabatic bomb calorimeter (model 5003; Ika-
117 Werke GMBH & Co. KG, Staufen, Germany). Based on results of chemical analyses, the
118 coefficients of ATTD of CP, gross energy and DM was calculated using the acid-insoluble ash
119 concentration of faeces relative to feed as per the indicator method (Adeola, 2001).

120

121 2.3. *Statistical analyses*

122 Pen was considered the experimental unit. Growth performance was analysed as repeated
123 measures using the MIXED procedure of SAS (SAS, 2003). Diet was the fixed and block was
124 the random factor in the statistical model with initial BW as a covariate. Digestibility coefficients
125 were analysed using this model excluding period. Two single degree of freedom orthogonal
126 contrasts tested the linear or quadratic effects of canola meal inclusion. To test the hypotheses,
127 $P < 0.05$ was considered significant.

128

129 **3. Results**

130 The canola meal sample contained 382 g/kg CP, 22.7 g/kg Lys, 20.4 g/kg available Lys, 194
131 g/kg ADF, 293 g/kg NDF, 9.9 g/kg Ca, 11 g/kg P, and 3.84 $\mu\text{mol/g}$ total glucosinolates on a DM
132 basis (Table 2). The diet containing 200 g canola meal/kg contained 11.6, 25.4 and 30.4 g/kg
133 more crude fibre, ADF and NDF, respectively, than the diet containing 0 g canola meal/kg
134 (Table 1). All pigs remained on test for the entire study and signs of disease were not observed.

135 Increasing the dietary inclusion of canola meal linearly reduced ($P < 0.001$) the ATTD of
136 gross energy, DM and CP (Table 3). Increasing the inclusion of canola meal quadratically
137 reduced ($P < 0.001$) the diet DE content. Specifically, diets containing 50-150 g canola meal/kg

138 had a similar DE content than the 0 g/kg diet, whereas the diet containing 200 g canola meal/kg
139 had a 3% lower DE content than the 0 g/kg diet.

140 For the entire trial (d 0-28) or for separate weeks, increasing the inclusion of canola meal did
141 not affect ($P>0.05$) ADG, ADFI and G:F (Table 4). Final BW of weaned pigs was 21.7, 22.0,
142 21.5, 22.3 and 21.9 kg for 0 to 200 g canola meal/kg, respectively, and was not affected by
143 increasing canola meal inclusion ($P>0.10$).

144

145 **4. Discussion**

146 Although canola, i.e., low erucic acid, low glucosinolate rapeseed, is a major oilseed crop
147 (Raymer, 2002), and solvent extracted canola meal has been a feedstuff for more than 30 years,
148 knowledge about the feed value of recently-produced canola meal for pigs is lacking. Growth
149 performance data from the present study indicate that canola meal is presently a much better
150 feedstuff for young pigs than suggested by experiments conducted more than 20 years ago,
151 although digestibility data indicate that room for improvement remains.

152 The reduction in nutrient digestibility values was linear with increasing inclusion of canola
153 meal. These reductions are likely attributed to the increasing fibre content in diets formulated
154 with increasing inclusion of canola meal instead of soybean meal. Indeed, canola meal contains
155 over three times more fibre measured as crude fibre, ADF and NDF than soybean meal (120 vs.
156 34, 175 vs. 50 and 215 vs. 71 g/kg, respectively; Bell, 1993). Therefore, even though the
157 increasing fibre content did not affect feed intake in the present study, increasing fibre content
158 did decrease nutrient digestibility consistent with previous research (Fernandez and Jorgensen,
159 1986). These results indicate that nutrient utilisation in canola meal could be improved further by
160 reducing its fibre content or increasing fibre digestibility.

161 In early experiments, young pigs fed diets containing canola meal as protein source had a
162 lower growth rate compared with pigs fed diets containing soybean meal (Baidoo et al., 1986;
163 Baidoo et al., 1987; McIntosh et al., 1986). However, recent findings with weaned pigs
164 contradicted these early experiments, because 15% of canola meal replaced half of the dietary
165 soybean meal without affecting growth performance (Seneviratne et al., 2010). In the present
166 experiment, the upper inclusion was pushed further by replacing up to 200 g/kg soybean meal
167 entirely with canola meal in diets formulated to an equal NE and SID amino acid content. Canola
168 meal did not have a detrimental effect on growth performance of weaned pigs in the present
169 study, indicating that the used batch of canola meal had a better feed value than 20 years ago.

170 That current canola cultivars contain less glucosinolates compared to cultivars of rapeseed is
171 well known (Canola Council of Canada, 2009), but residual glucosinolates in canola meal may
172 decrease further over time by further advances in crop breeding and processing. The solvent-
173 extracted canola meal sample used in the present study contained 3.84 $\mu\text{mol/g}$ glucosinolates
174 (Table 2), which is 47% lower than the 7.2 $\mu\text{mol/g}$ reported seven years ago (Newkirk et al.,
175 2003) and was similar to the 2.7 $\mu\text{mol/g}$ reported recently (Seneviratne et al., 2010). Using the
176 measured glucosinolate content in canola meal, the calculated glucosinolate content for the diet
177 containing 200 g/kg of canola meal is 0.77 $\mu\text{mol/g}$ diet, which is below the generally accepted
178 tolerance level (2.0 $\mu\text{mol/g}$) of dietary glucosinolates (Schone et al., 1997a, b). The low
179 glucosinolate content may provide a partial explanation for the lack of detrimental effects of
180 canola meal on growth performance of weaned pigs in the present study. Additionally, the
181 reduced growth performance of pigs fed canola meal observed in previous studies could be
182 explained by the nutrient content in diets formulated for total essential amino acids and digestible
183 energy rather than digestible amino acids and net energy. Formulating swine diets using the NE

184 and SID amino acid systems reduces the risk associated with including co-products as alternative
185 feedstuffs in swine diets (Zijlstra and Payne, 2007). The advantage of the NE vs. ME or DE
186 system is that the former accounts for the increased energetic losses as heat due to high fibre and
187 protein of co-products. Finally, 90% of the lysine was chemically-defined as bioavailable,
188 indicating that the protein contained in the canola meal had limited heat damage.

189

190 **5. Conclusion**

191 In conclusion, the data indicate that weaned pigs fed diets formulated to equal NE and SID
192 amino acid can be fed up to 200 g solvent-extracted canola meal by replacing soybean meal
193 without reducing final BW, ADFI, ADG, and G:F, starting 1 wk post weaning. Increasing canola
194 meal reduced the ATTD of energy and CP of diets, but the reductions were of small magnitude.

195

196 **Acknowledgements**

197 Funding from Alberta Pork is acknowledged. J.L. Landero received a scholarship from
198 CONACYT-Mexico to conduct the project. The authors thank Kim Williams for her day-to-day
199 care of the animals during the experiment.

200

201 **6. References**

202 Adeola, O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, A.J., Southern, L.L.
203 (Eds.), Swine Nutrition. CRC Press, New York, NY, USA, pp. 903-916.
204 AOAC, 2006. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical
205 Chemists, Arlington, VA, USA.

206 Baidoo, S.K., McIntosh, M.K., Aherne, F.X., 1986. Selection preference of starter pigs fed
207 canola meal and soybean meal supplemented diets. *Can. J. Anim. Sci.* 66, 1039-1049.

208 Baidoo, S.K., Mitaru, B.N., Aherne, F.X., Blair, R., 1987. The nutritional value of canola meal
209 for early-weaned pigs. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 18, 45-53.

210 Bell, J.M., 1993. Factors affecting the nutritional value of canola meal: A review. *Can. J. Anim.*
211 *Sci.* 73, 679–697.

212 Canola Council of Canada, 2009. *Canola Meal Feed Industry Guide*. 4th ed. Canola Council of
213 Canada, Winnipeg, MB, Canada.

214 CCAC, 2009. *Guidelines on: The Care and Use of Farm Animals in Research, Teaching, and*
215 *Testing*. Canadian Council on Animal Care, Ottawa, ON, Canada.

216 Daun, J.K., McGregor, D.I., 1981. Glucosinolate analysis of rapeseed (canola). In: *Method of the*
217 *Grain Research Laboratory, Agriculture Canada, Canadian Grain Commission, Winnipeg,*
218 *MB, Canada, pp. 111-116.*

219 Fernandez J.A., Jorgensen, J.N., 1986. Digestibility and absorption of nutrients as affected by
220 fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livest. Prod. Sci.* 15, 53-71.

221 Holst, D.O., 1973. Holst Filtration apparatus for Van Soest detergent fiber analysis. *J. AOAC.*
222 56, 1352-1356.

223 McCarthy, J.F., Aherne, F.X., Okai, D.B., 1974. Use of HCl insoluble ash as an index material
224 for determining apparent digestibility with pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 54, 106-107.

225 McIntosh, M.K., Baidoo, S.K., Aherne, F.X., Bowland, J.P., 1986. Canola meal as a protein
226 supplement for 6 to 20 kilogram pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 66, 1051-1056.

227 Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T.A., Edney, M.J., 2003. The digestibility and content of
228 amino acids in toasted and non-toasted canola meals. *Can. J. Anim. Sci.* 83, 131-139.

229 NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine, 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA.

230 Raymer, L.P. 2002. Canola: An emerging oilseed crop. In: Janick, J., Whikey, A. (Eds), Trend in
231 New Crops and New Uses. ASHS Press, Alexandria, VA, USA.

232 SAS, 2003. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

233 Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed
234 materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Wageningen Academic
235 Publishers. Wageningen, The Netherlands and INRA Editions. Versailles, France.

236 Schone, F., Groppe, B. Hennig, A., Jahreis G., Lange. R., 1997a. Rapeseed meal, methimazole,
237 thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance
238 in the pig. J. Sci. Food Agric. 74, 69-80.

239 Schone, F., Rudolph, B., Kirchheim U., Knapp. G., 1997b. Counteracting the negative effects of
240 rapeseed and rapeseed press cake in pig diets. Br. J. Nutr. 78, 947-962.

241 Seneviratne, R.W., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Zijlstra, R.T., 2010. Effect of crude
242 glycerol combined with solvent-extracted or expeller pressed canola meal on growth
243 performance and diet nutrient digestibility of weaned pigs. Anim. Feed Sci. Technol.
244 (Submitted).

245 Zijlstra, R.T., Payne, R.L., 2007. Net energy system for pigs. In: Patterson, J.E., Barker, J.A.,
246 (Eds). Manipulating Pig Production XI, Australasian Pig Science Association, Werribee, Vic,
247 Australia, pp. 80-90.

248

249

250 **Table 1**

251 Ingredient composition and analysed nutrient content of experimental diets

Ingredient (g/kg diet)	Canola meal (g/kg diet)				
	0	50	100	150	200
Wheat	578.6	572.8	567.0	561.0	555.2
Soybean meal	200.0	150.0	100.0	50.0	-
Canola meal ^a	-	50.0	100.0	150.0	200.0
Lactose	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Canola oil	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
Soy protein concentrate	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Herring fish meal	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Limestone	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Acid-insoluble ash ^b	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Mono/dicalcium phosphate	8.2	8.0	7.8	7.6	7.4
Vitamin premix ^c	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Mineral premix ^d	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Salt	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
L-Lysine HCl	-	0.8	1.5	2.3	3.0
L-Threonine	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3
DL-Methionine	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
L-Tryptophan	-	0.1	0.2	0.3	0.4
Choline chloride, 60g/kg	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Analysed composition (g/kg DM)

Moisture	122.9	121.1	119.1	118.1	121.5
Crude protein	256.8	254.8	250.8	245.5	236.4
Crude fat	51.2	59.8	66.6	71.8	76.0
Crude fibre	24.5	26.5	30.8	33.3	36.1
Ash	69.1	70.9	70.4	71.3	67.8
ADF	41.5	50.5	54.8	62.9	66.9
NDF	116.3	146.2	138.0	144.5	146.7
Gross energy (MJ/kg)	19.1	19.2	19.3	19.4	19.1

252 ^a Bunge Canada, Fort Saskatchewan, AB, Canada.

253 ^b Celite 281 (World Minerals Inc., Santa Barbara, CA, USA).

254 ^c Supplied per kilogram of diet: 3,750 IU of vitamin A, 750 IU of vitamin D, 50 IU of vitamin
 255 E, 37.5 mg of niacin, 15 mg of pantothenic acid, 2.5 mg of folacin, 5 mg of riboflavin, 1.5 mg of
 256 pyridoxine, 2.5 mg of thiamine, 2000 mg of choline , 4 mg of vitamin K, 0.25 mg of biotin and
 257 0.02 mg of vitamin B₁₂.

258 ^d Supplied per kilogram of diet: 125 mg of Zn, 50 mg of Cu, 75 mg of Fe, 25 mg of Mn, 0.5 mg
 259 of I and 0.3 mg of Se.

260

261 **Table 2**

262 Analysed nutrient content of the canola meal^a included in the experimental diets

Composition	g/kg DM
Moisture	111
Crude protein	382
Crude fat	39
Crude fibre	105
ADF	194
NDF	293
Starch	19
Ash	77
Calcium	9.9
Phosphorus	11
Indispensable amino acid	
Arginine	24.5
Histidine	10.8
Isoleucine	15.6
Leucine	28.7
Lysine	22.7
Methionine	8.0
Phenylalanine	16.4
Threonine	17.5
Tryptophan	4.4

Valine	20.2
Dispensable amino acid	
Alanine	18.0
Aspartic acid	28.1
Cysteine	9.7
Glutamic acid	67.3
Glycine	20.5
Proline	25.0
Serine	17.1
Tyrosine	11.7
Total amino acids	372.8
Available lysine	20.4
Total glucosinolates ^b , $\mu\text{mol/g}$	3.84

263 ^a Bunge Canada, Fort Saskatchewan, AB, Canada.

264 ^b Contained the following glucosinolates ($\mu\text{mol/g}$ of canola meal): 3-butenyl, 0.93; 4- pentenyl,
 265 0.10; 2-OH-3-butenyl, 1.99; CH₃-thiobutenyl, 0.07; phenylethyl, 0.05; 3-CH₃-indolyl, 0.10; 4-
 266 OH-3-CH₃-indolyl, 0.60.

267

268

269 **Table 3**

270 Apparent total tract digestibility (ATTD) coefficients of nutrients and DE content of diets
 271 resulting from feeding increasing levels of canola meal in substitution for soybean meal to
 272 weaned pigs^a

<i>Variable</i>	Canola meal, g/kg diet					SEM	<i>P</i> -value	
	0	50	100	150	200		Linear	Quadratic
<i>ATTD</i>								
Crude protein	0.824	0.814	0.814	0.813	0.791	0.004	<0.001	0.058
Gross energy	0.855	0.846	0.843	0.843	0.824	0.003	<0.001	0.087
Dry matter	0.849	0.836	0.833	0.831	0.820	0.002	<0.001	0.634
DE content, MJ/kg	16.3	16.2	16.3	16.3	15.8	0.050	<0.001	<0.001

273 ^a Least-squares means were based on 11 pen observations of 4 pigs each per diet.

274

275 **Table 4**

276 Growth performance of weaned pigs fed diets with increasing level of canola meal in substitution

277 for soybean meal^a

Variable	Canola meal, g/kg diet					SEM	<i>P</i> -value	
	0	50	100	150	200		Linear	Quadratic
ADFI (g/d)								
Day 0-7	298	297	301	305	288	12	0.771	0.462
Day 8-14	615	594	593	642	588	21	0.920	0.850
Day 15-21	888	887	835	941	851	23	0.775	0.803
Day 22-28	1141	1160	1118	1160	1121	30	0.602	0.735
Day 0-28	735	735	712	762	712	14	0.592	0.543
ADG (g/d)								
Day 0-7	248	254	249	268	253	11	0.475	0.617
Day 8-14	419	406	413	437	407	16	0.916	0.776
Day 15-21	592	605	547	599	586	16	0.724	0.307
Day 22-28	692	723	712	733	724	18	0.163	0.456
Day 0-28	488	497	480	509	493	8	0.419	0.836
G:F								
Day 0-7	0.83	0.86	0.83	0.91	0.87	0.04	0.224	0.874
Day 8-14	0.68	0.68	0.70	0.69	0.69	0.02	0.690	0.859
Day 15-21	0.67	0.68	0.65	0.64	0.69	0.02	0.942	0.103

Day 22-28	0.61	0.62	0.64	0.64	0.65	0.01	0.057	0.574
Day 0-28	0.70	0.71	0.71	0.72	0.73	0.01	0.087	0.872

278

^a Least-squares means were based on 11 pen observations of 4 pigs each per diet.

1 Short communication

2

3 The effect of feeding expeller-pressed canola meal on growth performance and nutrient
4 digestibility in weaned pigs

5

6 J.L. Landero^{a,b}, E. Beltranena^{a,c}, M. Cervantes^b, A.B. Araiza^b, R. T. Zijlstra^{a,*}

7

8 ^a *Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, University of Alberta, Edmonton,*
9 *Alberta, Canada T6G 2P5*

10 ^b *Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México*
11 *21100*

12 ^c *Alberta Agriculture and Rural Development, Edmonton, Alberta, Canada T6H 5T6*

13

14

15 *Abbreviations:* ADFI, average daily feed intake; ADG, average daily gain; BW, body weight;
16 ATTD, apparent total tract digestibility; CP, crude protein; DE, digestible energy; DM, dry
17 matter; EP, expeller-pressed; G:F, feed efficiency (ADG/ADFI); Lys, lysine; NE, net energy;
18 SID, standardised ileal digestible

19 * Corresponding author. Tel: +1 780 492 8593; Fax: +1 780 492 4265.

20 *E-mail address:* ruurd.zijlstra@ualberta.ca (R.T. Zijlstra).

21

22

23 **ABSTRACT**

24

25 The effects of feeding increasing levels of expeller-pressed (EP) canola meal in substitution for
26 soybean meal as an energy and amino acid source were evaluated using 240 weaned pigs with an
27 initial body weight (BW) of 7.3 ± 1.3 kg. Five pelleted wheat-based diets containing 0, 50, 100,
28 150, or 200 g/kg of EP canola meal were formulated to contain 9.98 MJ/kg net energy (NE) and
29 1.19 g standardised ileal digestible (SID) lysine (Lys)/MJ NE. The diets were fed for 4 wk
30 starting 1 wk after weaning at 19 d of age. Expeller-pressed canola meal substituted soybean
31 meal. The diet NE content was adjusted using canola oil, and the amino acid content adjusted
32 using crystalline lysine, methionine, threonine, and tryptophan. Increasing inclusion of EP canola
33 meal linearly reduced ($P < 0.001$) the apparent total tract digestibility of energy, dry matter, crude
34 protein and the digestible energy content of the diets. Overall (d 0-28), increasing inclusion of
35 EP canola meal did not affect ($P > 0.05$) weight gain, feed efficiency and pig BW at the end of the
36 trial. However, feed intake was quadratically reduced ($P < 0.05$). In conclusion, increasing dietary
37 levels of EP canola meal up to 200 g/kg can replace soybean meal in diets formulated to equal
38 NE and SID amino acid content fed to weaned pigs without affecting growth performance.

39

40 Keywords: Expeller-pressed canola meal, Digestibility, Performance, Weaned pig

41

42 **7. Introduction**

43 Feed cost is the largest proportion of the variable costs in swine production (Zijlstra and
44 Beltranena, 2007). To reduce feed cost in commercial swine production, alternative feedstuffs
45 such as co-products should be explored. Expeller-pressed (EP) canola meal, a co-product of the

46 oilseed crushing industry that extracts oil primarily for human consumption from canola seed, is
47 a feedstuff to consider for swine feed formulation. Expeller-pressed canola meal has a higher net
48 energy value than soybean meal (Seneviratne et al., 2010b), but higher fibre content and lower
49 amino acid content due to lower CP content. Based on reduced protein and available nutrient
50 content, EP canola meal is sold at a discount relative to soybean meal, which underestimates its
51 dietary energy contribution.

52 Expeller-pressed canola meal is produced by heat-conditioning canola seed with steam,
53 followed by pressing, (sometimes double-pressing), the seed in an expeller to optimise oil
54 extraction. Expeller-pressed canola meal contains more residual oil than solvent-extracted canola
55 meal and therefore contains more net energy (NE). A lower (Seneviratne et al., 2010b) and
56 similar (Woyengo et al., 2010) standardised ileal digestible (SID) lysine (Lys) content in EP
57 canola meal compared to solvent-extracted canola meal have been reported. Furthermore, there is
58 a scarcity of information in young pigs fed EP canola meal. A recent study, feeding up to 150 g
59 EP canola meal/kg diet by partially substituting soybean meal, did not reduce weight gain of
60 weaned pigs fed diets formulated to equal NE and SID amino acid content; however feed intake
61 was reduced (Seneviratne et al., 2010a). These results in weaned pigs need to be validated and
62 higher inclusion levels of EP canola meal evaluated.

63 The hypothesis tested in the present study was that pigs offered diets containing 50 to 200 g
64 EP canola meal/kg and formulated to an equal NE and SID amino acid content would have
65 similar growth performance and dietary nutrient digestibility to pigs fed diets without EP canola
66 meal. The objectives were to determine whether a dose response existed for growth performance
67 and apparent total tract digestibility (ATTD) coefficients of dietary energy and protein of weaned
68 pigs fed diets containing 0 up to 200 g EP canola meal/kg.

69

70 **8. Materials and methods**

71 *8.1. Experimental design and diet*

72 Animal use and research procedures for the study were approved by the University of Alberta
73 Animal Care and Use Committee for Livestock, and followed principles established by the
74 Canadian Council on Animal Care (CCAC, 2009). The experiment was conducted at the Swine
75 Research and Technology Centre of the University of Alberta (Edmonton, AB).

76 In total, 240 pigs (Duroc x Large White/Landrace F₁; Hypor, Regina, SK, Canada) weaned at
77 19 ± 1 d of age, were selected based on weight gain during the first 7 d post weaning and BW on
78 d 7 after weaning (7.3 ± 1.3 kg). Pigs were divided within gender into heavy and light BW.
79 Then, one heavy and one light barrow and gilt were randomly to 60 pens, for 4 pigs per pen.
80 After weaning, pigs were fed commercial phase 1 and 2 diets (Unifeed, Edmonton, AB, Canada)
81 for 7 d until the start of the trial.

82 A wheat-based control diet and four diets containing 50, 100, 150, or 200 g/kg of EP canola
83 meal were formulated by replacing soybean meal with EP canola meal. The main dietary
84 ingredients were wheat, soybean meal, lactose, soy protein, and herring fish meal (Table 1).
85 Diets without antimicrobials were formulated to provide 9.98 MJ/kg NE using established NE
86 values (Sauvant et al., 2004) and 1.19 g SID Lys/MJ NE. Other amino acids were formulated as
87 an ideal ratio to Lys (threonine, 0.65; methionine, 0.35; tryptophan, 0.22; isoleucine, 0.63; NRC,
88 1998) using SID AA values established before. For the EP canola meal, a content of 10.68 MJ/kg
89 NE and 1.77 g SID Lys on dry matter (DM) basis were used (Seneviratne et al., 2010b).
90 Premixes were added to meet or exceed mineral and vitamin requirements (NRC, 1998). Acid-
91 insoluble ash (Celite 281; World Minerals, Santa Barbara, CA, USA) was included in diets at

92 0.8% as an indigestible marker. Diets were mixed and steam pelleted at 70°C (70 hp; CPM,
93 Crawfordsville, IN, USA).

94 The study was conducted as a randomised complete block design with 60 pens in four
95 nursery rooms filled one week apart. The rooms were ventilated using negative pressure and
96 were maintained within the thermo-neutral zone for the pigs, with a 12-h light (0600 to 1800 h),
97 12-h dark cycle. Pigs housed in pens within block (representing areas within room) were
98 randomly allocated to be fed one of five diets during the 4-wk study, starting 7 d post weaning
99 for a total of 12 pen-replicates per diet. Pens (1.1 × 1.5 m) were equipped with a multiple-space
100 self-feeder, a nipple drinker, and plastic slatted flooring. Pigs had free access to feed and water
101 during the entire study.

102 Individual pigs and the amount of feed added to each pen feeder and remaining were
103 weighed weekly. Body weight changes and feed disappearance were used to calculate average
104 daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), and feed efficiency (G:F; ADG/ADFI) for
105 each pen. Freshly-voided faeces were collected from 0800 to 1600 h by grab sampling from pen
106 floors on d 15 and 16. Faeces were pooled by pen and frozen at -20°C. Upon completion of the
107 growth trial, faeces were thawed, homogenised, sub-sampled and freeze-dried.

108

109 8.2. *Chemical analyses*

110 Expeller-pressed canola meal, diets, and lyophilized faeces were ground through a 1-mm
111 screen in a centrifugal mill (Retsch GmbH, Haan, Germany). Expeller-pressed canola meal was
112 analysed for CP (method 984.13A-D), total dietary fibre (method 985.29), ADF (method
113 973.18), ash (method 942.05), Ca (method 968.08), P (method 946.06), amino acids (method
114 982.30E) and available Lys (method 975.44) using AOAC (2006) methods, starch (assay kit

115 STA-20; Sigma, St. Louis, MO, USA) and NDF (Holst, 1973) content at University of Missouri,
116 Columbia, MO, USA. Glucosinolate profile of EP canola meal was determined by gas
117 chromatography analysis (Daun and McGregor (1981) at POS Pilot Plant Corp, Saskatoon, SK,
118 Canada. Diets and lyophilized faeces were analysed for DM by drying at 135°C for 2 h (method
119 930.15; AOAC, 2006), CP [N x 6.25; method 988.05; (AOAC, 2006)], acid-insoluble ash
120 (McCarthy et al., 1974), and gross energy content using an adiabatic bomb calorimeter (model
121 5003; Ika-Werke GMBH & Co. KG, Staufen, Germany) at University of Alberta, Edmonton,
122 AB, Canada. Based on results of chemical analyses, the ATTD coefficients of CP, gross energy
123 and DM were calculated using the acid-insoluble ash concentration of faeces relative to feed
124 applying the indicator method (Adeola, 2001).

125

126 8.3. *Statistical analyses*

127 Pen was considered the experimental unit for all variables. Growth performance was
128 analysed as repeated measures using the MIXED procedure of SAS (SAS, 2003). Diet was the
129 fixed effect and block was the random factor in the statistical model. Initial pen BW was used as
130 the covariate. Digestibility coefficients were analysed using the same model excluding period.
131 Two single degree of freedom orthogonal contrasts tested the linear or quadratic effects of
132 increasing EP canola meal inclusion. To test the hypotheses, $P < 0.05$ was considered significant.

133

134 9. Results

135 The sample of EP canola meal contained 385 g/kg CP, 21.0 g/kg Lys, 17.8 g/kg available
136 Lys, 164 g/kg ADF, 310 g/kg NDF, 6.9 g/kg Ca, 11.7 g/kg P, and 10.9 µmol/g total
137 glucosinolates on DM basis (Table 2). The diet containing 200 g EP canola meal/kg contained

138 78.9, 78.3 and 26.5 % more crude fibre, ADF and NDF, respectively, than the control diet
139 without EP canola meal/kg (Table 1). All pigs remained on test for the entire study.

140 Increasing the dietary inclusion of EP canola meal linearly reduced ($P<0.001$) the ATTD of
141 gross energy, DM, CP, and DE content in diets (Table 3). The diet containing 200 g EP canola
142 meal/kg had 3% lower ATTD of gross energy, DM, and CP than the control diet, whereas the DE
143 content was reduced by 4% in the 200 g/kg EP canola meal diet.

144 Overall (d 0-28), increasing the inclusion of EP canola meal did not affect ($P>0.05$) ADG,
145 and G:F; however ADFI was quadratically reduced ($P<0.05$; Table 4). In the second week (d 8-
146 14), increasing inclusion of EP canola meal quadratically reduced weight gain ($P<0.05$) due to
147 quadratically reduced ($P<0.05$) feed intake. Increasing inclusion of EP canola meal quadratically
148 increased ($P<0.05$) G:F during the third week (d 15-21), and linearly the fourth week (d 22-28).
149 Final BW of pigs was 20.1, 19.8, 19.6, 19.7 and 20.1 kg for 0 to 200 g EP canola meal/kg,
150 respectively, and was not affected by increasing EP canola meal dietary inclusion ($P>0.05$).

151

152 **10. Discussion**

153 Expeller-pressed canola meal is the co-product of the canola seed crushing after oil
154 extraction by expeller-pressing. In Canada, expeller press processing is currently estimated to
155 crush only around 3% of canola seed, resulting in a meal that contains more oil than solvent
156 extracted canola meal (Canola Council of Canada, 2009). However, EP canola meal contains
157 more NE (10.68 MJ/kg DM; Seneviratne et al., 2010b) than solvent extracted canola meal (7.29
158 MJ/kg DM; Sauvant et al., 2004). On the other hand, EP canola meal contains less SID Lys due
159 to its higher residual oil content (Seneviratne et al., 2010b) although no significant differences in
160 SID Lys content have been reported between both canola meals (Woyengo et al., 2010).

161 Similar to results in weaned pigs fed solvent-extracted canola meal reported recently
162 (Landro et al., 2010), increasing inclusion of EP canola meal in diets linearly reduced nutrient
163 digestibility and diet DE content. The reduced nutrient digestibility likely resulted from the
164 higher fibre content in EP canola meal compared with soybean meal. The EP canola meal sample
165 in the present study contained over three times more fibre measured as ADF (164 g/kg) and NDF
166 (310 g/kg) than values reported for soybean meal (44 and 89 g/kg, respectively; van Kempen et
167 al., 2006). The increased dietary fibre content likely decreased nutrient digestibility, consistent
168 with previous research (Fernandez and Jorgensen, 1986). These results indicate that nutrient
169 utilisation in EP canola meal could be improved further by reducing its fibre content or
170 increasing fibre digestibility.

171 Limited information exists regarding the feeding of EP canola meal to young pigs. In a
172 recent experiment, weaned pigs fed diets formulated to an equal NE and SID amino acid content,
173 partial replacing of soybean meal with up to 150 g/kg EP canola meal, did not show reduced
174 weight gain although feed intake was depressed (Seneviratne et al., 2010a). In the present study,
175 the upper inclusion was pushed further by replacing up to 200 g/kg soybean meal entirely with
176 EP canola meal in diets formulated to an equal NE and SID amino acid content. This high
177 inclusion of EP canola meal did not reduce weight gain and final BW of weaned pigs even
178 though feed intake was reduced quadratically. The quadratic response in feed intake is difficult
179 to explain, but might be related to minor diarrhoea observed in some pigs, during the first two
180 weeks of the experiment. The lack of detrimental effects of EP canola meal on overall growth
181 performance in the present study might be partially explained by the selected diet formulation.
182 Formulating swine diets using the NE and SID amino acid systems reduces the risk associated
183 with including co-products as alternative feedstuffs in swine diets (Zijlstra and Payne, 2007).

184 The advantage of the NE vs. ME or DE system is that the former accounts for the increased
185 energetic losses as heat due to high fibre and protein of co-products like EP canola meal.

186 Glucosinolates content in rapeseed meal has been the limiting factor for its inclusion in
187 swine diets (Bell, 1984). It is well known now that plant breeding programs have reduced
188 glucosinolates content in modern canola cultivars. The EP canola meal sample used in the
189 present study contained 10.9 $\mu\text{mol/g}$ glucosinolates, which is greater than the 3.8 $\mu\text{mol/g}$
190 reported recently for solvent-extracted canola meal (Landerio et al., 2010). However, using the
191 measured glucosinolate content in EP canola meal, the calculated glucosinolate content for the
192 diet containing 200 g/kg of EP canola meal was only 2.2 $\mu\text{mol/g}$ diet, which is within the
193 generally accepted tolerance level (2.0-2.4 $\mu\text{mol/g}$) for dietary glucosinolates (Schone et al.,
194 1997a, b). The higher glucosinolate content in EP canola meal compared with solvent-extracted
195 canola meal is due to the differences in canola processing. The solvent extraction process
196 includes a desolventization-toasting step that applies additional heat to the meal, further reducing
197 the glucosinolate content by around 50% (Newkirk, 2003; Spragg and Mailer, 2007).

198 Expeller pressing, specially double-pressing, can generate temperatures up to 135°C
199 (Spragg, 2007) that may impact protein quality, particularly available lysine (Mailer, 2004). In
200 the present study, expeller pressing reduced lysine chemically-defined as bioavailable by 15%,
201 indicating that the protein contained in the EP canola meal had limited heat damage.

202

203 **11. Conclusion**

204 In conclusion, results from this study indicate that weaned pigs fed diets formulated to equal
205 NE and SID amino acid can be fed up to 200 g expeller-pressed canola meal by replacing

206 soybean meal without reducing final BW, ADG and G:F starting 1 wk post weaning. Increasing
207 EP canola meal reduced the ATTD of gross energy, DM and CP, and energy content in diets.

208

209 **Acknowledgements**

210 Funding from Alberta Pork is acknowledged. J.L. Landero received a scholarship from
211 CONACYT-Mexico to conduct the project. The authors thank Kim Williams for her day-to-day
212 care of the animals during the experiment.

213

214 **12. References**

215 Adeola, O., 2001. Digestion and balance techniques in pigs. In: Lewis, A.J., Southern, L.L.
216 (Eds.), Swine Nutrition. CRC Press, New York, NY, USA, pp. 903-916.

217 AOAC, 2006. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical
218 Chemists, Arlington, VA, USA.

219 Bell, J. M., 1984. Nutrients and toxicants in rapeseed meal: A review. *J. Anim. Sci.* 58:996-1010.

220 Canola Council of Canada, 2009. Canola Meal Feed Industry Guide. 4th ed. Canola Council of
221 Canada, Winnipeg, MB, Canada.

222 CCAC, 2009. Guidelines on: The Care and Use of Farm Animals in Research, Teaching, and
223 Testing. Canadian Council on Animal Care, Ottawa, ON, Canada.

224 Daun, J.K., McGregor, D.I., 1981. Glucosinolate analysis of rapeseed (canola). In: Method of the
225 Grain Research Laboratory, Agriculture Canada, Canadian Grain Commission, Winnipeg,
226 MB, Canada, pp. 111-116.

227 Fernandez J.A., Jorgensen, J.N., 1986. Digestibility and absorption of nutrients as affected by
228 fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livest. Prod. Sci.* 15, 53-71.

229 Holst, D.O., 1973. Holst Filtration apparatus for Van Soest detergent fiber analysis. J. AOAC.
230 56, 1352-1356.

231 Landero, J.L., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A., Zijlstra, R. T., 2010. The effect of
232 feeding solvent-extracted canola meal on growth performance and diet nutrient digestibility
233 in weaned pigs. Anim. Feed Sci. Technol. (Submitted).

234 Mailer, R., 2004. Canola meal: Limitations and opportunities. Australian Oilseeds Federation.
235 Royal Exchange, New South Wales, Australia.

236 McCarthy, J.F., Aherne, F.X., Okai, D.B., 1974. Use of HCl insoluble ash as an index material
237 for determining apparent digestibility with pigs. Can. J. Anim. Sci. 54, 106-107.

238 Newkirk, R.W., Classen, H.L., Scott, T.A., Edney, M.J., 2003. The digestibility and content of
239 amino acids in toasted and non-toasted canola meals. Can. J. Anim. Sci. 83, 131-139.

240 NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine, 10th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC, USA.

241 SAS, 2003. SAS User's Guide: Statistics. Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

242 Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed
243 materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Wageningen Academic
244 Publishers. Wageningen, The Netherlands and INRA Editions. Versailles, France.

245 Schone, F., Groppe, B. Hennig, A., Jahreis G., Lange. R., 1997a. Rapeseed meal, methimazole,
246 thiocyanate and iodine affect growth and thyroid. Investigations into glucosinolate tolerance
247 in the pig. J. Sci. Food Agric. 74, 69-80.

248 Schone, F., Rudolph, B., Kirchheim U., Knapp. G., 1997b. Counteracting the negative effects of
249 rapeseed and rapeseed press cake in pig diets. Br. J. Nutr. 78, 947-962.

250 Seneviratne, R.W., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Zijlstra, R.T., 2010a. Effect of crude
251 glycerol combined with solvent-extracted or expeller pressed canola meal on growth

252 performance and diet nutrient digestibility of weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*
253 (Submitted).

254 Seneviratne, R.W., Young, M.G., Beltranena, E., Goonewardene, L.A., Newkirk, R.W., Zijlstra,
255 R.T., 2010b. The nutritional value of expeller-pressed canola meal for grower-finisher pigs.
256 *J. Anim. Sci.* 88, 2073-2083.

257 Spragg, J., 2007. Australian canola meal guide for the feed industry. Australian Oilseeds
258 Federation. Royal Exchange, New South Wales, Australia.

259 Spragg, J., Mailer, R., 2007. Canola meal value chain quality improvement. A final report
260 prepared for AOF and Pork CRC. JCS Solutions Pty Ltd. Berwick, Victoria, Australia.

261 Woyengo, T.A., Kiarie, E., Nyachoti, C.M., 2010. Energy and amino acid utilization in expeller-
262 extracted canola meal fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88, 1433-1441.

263 Zijlstra, R.T., Beltranena, E., 2007. Latest developments in alternative feedstuffs for pigs. In:
264 Proc. Manitoba Swine Seminar, I. Seddon, ed. Vol. 21. Manitoba Swine Seminar Committee,
265 Winnipeg, Manitoba, Canada, pp. 167–172

266 Zijlstra, R.T., Payne, R.L., 2007. Net energy system for pigs. In: Patterson, J.E., Barker, J.A.,
267 (Eds). *Manipulating Pig Production XI*, Australasian Pig Science Association, Werribee, Vic,
268 Australia, pp. 80-90.

269

270 **Table 1**

271 Ingredient composition and analysed nutrient content of experimental diets

Ingredient (g/kg diet)	EP canola meal (g/kg diet)				
	0	50	100	150	200
Wheat	558.6	562.4	566.3	570.2	574.1
Soybean meal	200.0	150.0	100.0	50.0	-
EP canola meal ^a	-	50.0	100.0	150.0	200.0
Lactose	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Canola oil	50.0	45.0	40.0	35.0	30.0
Soy protein concentrate ^b	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Herring fish meal	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
Limestone	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Acid-insoluble ash ^c	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Mono/di-calcium phosphate	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
Vitamin premix ^d	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Mineral premix ^e	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Salt	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
L-Lysine HCl	0.2	0.9	1.6	2.2	2.9
L-Threonine	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
DL-Methionine	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5
L-Tryptophan	-	0.1	0.2	0.3	0.4
Choline chloride 60%	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Analysed composition (g/kg DM)

Moisture	113.7	108.1	104.9	95.5	107.8
Crude protein	256.1	260.0	257.3	255.2	245.2
Crude fat	73.9	70.6	73.1	76.1	71.5
Crude fibre	21.3	23.7	29.3	33.4	38.1
Ash	66.3	68.4	69.4	66.7	68.9
ADF	37.3	43.4	53.6	59.9	66.5
NDF	144.6	178.2	161.1	166.1	182.9
Gross energy (MJ/kg)	19.3	19.2	19.2	19.2	19.1

272 ^a Associated Proteins, Ste. Agathe, Manitoba, Canada.

273 ^b HP300 (Hamlet Protein A/S, Horsens, Denmark).

274 ^c Celite 281 (World Minerals Inc., Santa Barbara, CA, USA).

275 ^d Supplied per kilogram of diet: 3,750 IU of vitamin A, 750 IU of vitamin D, 50 IU of vitamin
276 E, 37.5 mg of niacin, 15 mg of pantothenic acid, 2.5 mg of folacin, 5 mg of riboflavin, 1.5 mg of
277 pyridoxine, 2.5 mg of thiamine, 2000 mg of choline, 4 mg of vitamin K, 0.25 mg of biotin and
278 0.02 mg of vitamin B₁₂.

279 ^e Supplied per kilogram of diet: 125 mg of Zn, 50 mg of Cu, 75 mg of Fe, 25 mg of Mn, 0.5
280 mg of I and 0.3 mg of Se.

281

282

283 **Table 2**284 Analysed nutrient content of the EP canola meal^a included in the experimental diets

Composition	g/kg DM
Moisture	56
Crude protein	385
Crude fat	109
Crude fibre	73
ADF	164
NDF	310
Starch	0
Ash	73
Calcium	7
Phosphorus	12
Indispensable amino acids	
Arginine	22.8
Histidine	10.2
Isoleucine	15.9
Leucine	26.7
Lysine	21.0
Methionine	7.5
Phenylalanine	15.2
Threonine	16.0
Tryptophan	4.7

Valine	19.9
Dispensable amino acids	
Alanine	16.5
Aspartic acid	26.5
Cysteine	9.1
Glutamic acid	62.5
Glycine	19.3
Proline	22.8
Serine	14.8
Tyrosine	10.1
Total amino acids	347.6
Available lysine	17.8
Total glucosinolates ^b , $\mu\text{mol/g}$	10.87

285 ^a Associated Proteins, Ste. Agathe, Manitoba, Canada.

286 ^b Contained the following glucosinolates ($\mu\text{mol/g}$ of EP canola meal): 3-butenyl, 3.1; 4-
 287 pentenyl, 0.22; 2-OH-3-butenyl, 4.39; CH₃-thiobutenyl, 0.17; phenylethyl, 0.15; 3-CH₃-indolyl,
 288 0.23; 4-OH-3-CH₃-indolyl, 2.61.

289

290

291 **Table 3**

292 Apparent total tract digestibility (ATTD) coefficients of crude protein, energy, dry matter and
 293 DE content of diets resulting from feeding increasing levels of EP canola meal in substitution for
 294 soybean meal to weaned pigs^a

<i>Variable</i>	EP canola meal, g/kg diet					SEM	<i>P</i> -value	
	0	50	100	150	200		Linear	Quadratic
<i>ATTD</i>								
Crude protein	0.811	0.817	0.791	0.788	0.788	0.004	<0.001	0.368
Gross energy	0.849	0.853	0.834	0.829	0.825	0.003	<0.001	0.973
Dry matter	0.846	0.849	0.831	0.824	0.818	0.002	<0.001	0.284
DE content, MJ/kg	16.4	16.4	16.0	15.9	15.8	0.050	<0.001	0.654

295 ^a Least-squares means were based on 12 pen observations of 4 pigs each per diet.

296

297 **Table 4**

298 Growth performance of weaned pigs fed diets with increasing level of EP canola meal in
 299 substitution for soybean meal^a

Variable	EP canola meal, g/kg diet					SEM	<i>P</i> -value	
	0	50	100	150	200		Linear	Quadratic
ADFI (g/d)								
Day 0-7	287	277	262	267	276	12	0.344	0.174
Day 8-14	558	528	511	523	535	14	0.231	0.036
Day 15-21	783	771	761	754	779	20	0.706	0.317
Day 22-28	1025	1001	979	999	999	18	0.312	0.158
Day 0-28	663	644	628	636	647	9	0.097	0.005
ADG (g/d)								
Day 0-7	242	221	225	210	221	16	0.217	0.396
Day 8-14	391	371	353	370	393	14	0.970	0.029
Day 15-21	534	539	542	529	541	19	0.953	0.974
Day 22-28	651	654	641	662	668	19	0.409	0.519
Day 0-28	455	447	439	442	456	9	0.891	0.097
G:F								
Day 0-7	0.841	0.793	0.852	0.775	0.792	0.04	0.218	0.957
Day 8-14	0.698	0.702	0.688	0.708	0.733	0.02	0.122	0.190
Day 15-21	0.675	0.699	0.714	0.702	0.693	0.01	0.316	0.049

Day 22-28	0.635	0.654	0.653	0.663	0.670	0.01	0.032	0.740
Day 0-28	0.713	0.712	0.726	0.712	0.722	0.01	0.615	0.880

300

^a Least-squares means were based on 12 pen observations of 4 pigs each per diet.

301

302