

Capacidad metabólica del músculo de cerdo en sistemas confinado/semiextensivo. Estudio preliminar.

Metabolic capacity of the pig muscle in indoor/outdoor systems. Preliminary study.

**Graziotti¹, G.H., Ríos¹, C.M., Rodríguez Menéndez¹, J.,
Salinas¹, M., Paltenghi Ceschel¹, A., Bosco¹, A.,
Affricano¹, N.O., Victorica, C., Basso², L.**

Facultad de Ciencias Veterinarias, Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires

Resumen

Diversos estudios documentan resultados no concluyentes respecto a los parámetros involucrados en la calidad de carne y las características de las fibras musculares; estas varían en los subvolumenes musculares indicados macroscópicamente por la distribución de las ramas primarias del nervio. La capacidad oxidativa influye durante la transformación del músculo en carne en cuanto a pH, pérdida de líquido y color. El objetivo del presente trabajo fue determinar la característica metabólica en subvolumenes ubicados en cada mitad axial, dos proximales (SV1, SV2) y dos distales (SV3, SV4) del músculo semitendinoso, ante distintos requerimientos funcionales. En muestras musculares de los subvolumenes mencionados, de cerdos terminados en sistemas confinado/semiextensivo, se midió el perfil metabólico oxidativo valorando la actividad de la enzima nicotinamida dinucleótido tetrazolium reductasa. El análisis de varianza en un diseño mixto con factores cruzados y anidados indicó que no existen diferencias en la capacidad oxidativa entre los sistemas confinado (109,26; 29,62) /semiextensivo (107,63; 31,97), estando la mayor variación entre los subvolumenes considerados, siendo el SV4 el de mayor capacidad oxidativa ($p < 0,05$), independientemente de la dieta. Estos resultados sugieren que al realizarse estudios físicos y bioquímicos involucrados en la calidad de carne, previamente deben precisarse la estructura del músculo y el lugar de la toma de muestra.

Palabras clave: confinado, semiextensivo, metabolismo muscular, calidad de carne, fibra muscular, anatomía.

Summary

Diverse studies document not conclusive results matching the meat quality traits and muscle fibers characteristics as oxidative capacity, cross section and phenotypic expression of the fibrillar types; These characteristics are not homogeneous in the whole muscle because they vary in the subvolumens indicated macroscopically by the distribution of the primary nerve branches. Interaction among muscle fiber types and its metabolism in the previous and subsequent moments to the slaughtered and the diverse environmental factors determine the transformations *post-mortem* of the muscle into meat. The oxidative capacity influences in meat quality as for pH, drip loss and color. The aim of this research was determine the metabolic characteristics in pig semitendinosus muscle subvolumens located in each axial half (two proximal SV1, SV2 and two

Recibido: noviembre de 2007

Aceptado: septiembre de 2008

1. Área Anatomía. Fac.Cs.Vet., UBA. Chorroarín 280. Ciudad Autónoma Bs.As. CWO 1427. ggrazio@fvet.uba.ar.

2. Dpto Producción Animal, Fac Agronomía. UBA, Buenos Aires.

distal SV3, SV4), previously described, under different functional requirements. The oxidative metabolic profile was measured in subvolumen muscle samples from pigs reared in indoor/outdoor systems (IS/OS systems), valuing the activity of the nicotinamide dinucleotide tetrazolium reductase enzyme. The OS reared group was divided into two lots, located in pens of 1.5 ha with and without pasture. No differences in the oxidative capacity was found between indoor (109.26; 29.62) and outdoor (107.63; 31.97) systems, independently of the diet, being the greater variation among subvolumens. The greatest oxidative capacity was found in SV4 in all the treatments (ANOVA $p=0.05$) in a mixed design with crossed and nested factors. These results suggest that the structure of the muscle and the place of sampling should be known before carrying out physical and biochemical studies involved in meat quality. This research could serve as baseline to future investigations applied to meat technology.

Key words: indoor, outdoor, muscle metabolism, meat quality, fibre muscle, anatomy.

Introducción

Uno de los objetivos al comparar los sistemas de producción confinado (C) versus semiextensivo (SE) en una especie productora de carne como el cerdo, es el de establecer la existencia de posibles diferencias en las características de la canal, su aptitud para el consumo fresco o producto industrializado y en la calidad de la carne. La valoración de esta última es más compleja, siendo algunos de los parámetros más importantes la capacidad de retención de agua, color, textura y pH. Estas características están determinadas por el nivel y extensión del metabolismo muscular *post-mortem*, el que a su vez puede estar influenciado por modificaciones bioquímicas y fisiológicas *ante-mortem* (Klont, Hulsegge, Hoving-Bolink, Gerritzen, Kurt, Winkelman-Goedhart, Jong De y Kranen, 2001). Así Karlsson, Klont y Fernandez (1999) sostienen que la interacción entre las fibras musculares, el metabolismo de las mismas en los momentos próximos (anteriores o posteriores) a la faena y diversos factores ambientales, determinan las transformaciones *post-mortem* del músculo en carne.

Sin embargo, los músculos esqueléticos de los mamíferos no son homogéneos, sino que están compuestos por subvolumenes denominados compartimientos neuromusculares, indicados por la distribución de las ramas primarias del nervio, dentro de los cuales pueden variar el diseño arquitectónico macroscópico y las características de las fibras,

incluido el perfil metabólico (Bruce et al, 1993; Roy et al, 1984; Kernell, 1998; Graziotti et al, 2004), lo cual haría variar los parámetros físicos y químicos de la carne, según el lugar del músculo de donde sea obtenida la muestra. En las poblaciones de fibras dentro de los subvolumenes, es común que varíen significativamente los porcentajes de los tipos de fibras, I, IIA, IIX y IIB, integrantes del músculo esquelético del cerdo, y cuya capacidad oxidativa decrece en ese orden (Graziotti et al, 2001; Quiroz-Rothe y Rivero, 2004). La hipótesis del presente trabajo fue que la capacidad oxidativa del músculo semitendinoso (ST) de cerdo varía significativamente de acuerdo al compartimiento neuromuscular considerado, ejerciendo mayor influencia esta organización estructural que otras variables ambientales. El objetivo fue determinar la característica metabólica en subvolumenes del músculo ST, ubicados en cada mitad axial, dos proximales (SV1, SV2) y dos distales (SV3, SV4), determinados previamente, ante distintos requerimientos funcionales del músculo en sistemas de terminación C/SE.

Materiales y Métodos

Cerdos magros modernos pertenecientes a la genética INTA-MGC de Argentina, machos castrados (n 87) de 25 kg, fueron divididos en tres sistemas de terminación (C, SE sin pastura y SE con pastura) con el objetivo de evaluar las características metabólicas,

según el nivel de ejercicio, de distintos subvolúmenes del ST. El grupo C fue instalado en boxes con piso de cemento y los dos grupos restantes en dos sistemas SE con y sin pradera implantada de trébol y alfalfa, alojados en potreros rotativos de 1,5 hectáreas, todos faenados a los 100 kg de peso. Los cerdos fueron alimentados *ad-libitum* con una dieta estándar desde los 25 a los 60 kg de peso vivo (ED: 3,30 Mcal/kg de MS, PC: 18%, Lisina: 1,05%) y desde los 60 kg hasta el peso de faena con una dieta de terminación (ED: 3,28 Mcal/kg de MS, PC: 17,5%, Lisina: 1,0%) con base maíz y soja. En un estudio previo fueron determinados, según la distribución de las ramas primarias del nervio ciático, los subvolúmenes SV1, SV2, SV3, SV4 (Graziotti, G.H., comunicación personal) (Figura 1). Del centro de cada uno de ellos, fueron tomadas muestras musculares, dentro de las cuatro horas siguientes a la faena, cubiertas con polvo de talco, congeladas por inmersión durante 40 segundos en nitrógeno líquido (Ronéus y Gustavsson, 1997) y guardadas a -80°C hasta análisis. Cortes de cada muestra fueron realizados en un crióstato Reichert-Jung 1800 a -27°C, montados en portaobjetos tratados para histoquímica con solución de polilisina (Poly-Lysine Sigma P-8920 U.S.A) al 1%, en los cuales fue evaluada la actividad de la enzima nicotinamida dinucleótido tetrazolium reductasa (NADH-TR) (Dubowitz, 1985) para determinar la capacidad oxidativa. Imágenes de cada corte fueron digitalizadas en formato TIFF (40X, 150 pixels/pulgada) utilizando el programa Motic Image Plus 2.0. En cada imagen, se dibujó una máscara siguiendo los bordes del perimio interfascicular en un área limitada por el contorno de 3 fascículos adyacentes, y medida en ella la densidad óptica (DO) en forma directa, a través de perfiles de blanco y negro, usando el analizador de imágenes Scion Image, modificado para Windows por Scion Corporation, versión Beta 3b, con una escala de 0,367 pixels x μ m. Debido a que las adyacencias del perimio se halla ocupado preferentemente por fibras anaeróbicas (Mc Conathy et al, 1983), el límite de cada área evaluada coincidió con la distri-

bución del mismo, para disminuir el error metodológico. El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando la técnica de Análisis de Varianza, en un diseño mixto con factores cruzados y anidados. Los factores: tratamiento (C, SE con pastura y SE sin pastura) y

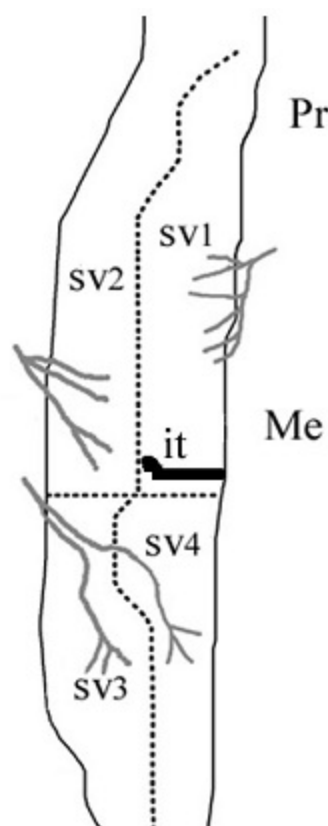


Figura 1: Compartimientos neuromusculares del músculo semitendinoso de cerdo.

Pr: proximal; Me: medial; SV1: compartimiento proximomedial; SV4 distomedial; SV2: proximolateral; SV3: distolateral; it: intersección tendinosa rudimentaria.

Figure 1: Neuromuscular compartments of pig semitendinosus muscle.

Pr: proximal; Me: medial; SV1: proximomedial, SV4 distomedial, SV2: proximolateral, SV3: distolateral compartments; it: rudimentary intersection.

región (SV1, SV2, SV3, SV4) se consideraron fijos y cruzados, y el factor animal aleatorio y anidado en tratamiento. Se efectuaron comparaciones no planeadas con el experimento entre las medias de las distintas regiones musculares utilizando el método de Tukey. Se efectuó además un contraste planeado con el experimento entre los tratamientos (C vs SE).

Resultados

Los resultados de los distintos tratamientos se indican en los Cuadros 1 y 2 (Los valores de N en cada región por tratamiento inferiores a 29, indican pérdidas muestrales ocurridas durante los procedimientos histoquímicos realizados). No se observa variabilidad entre los animales en cuanto a los valores de DO ($p=0,1729$). No se observa interacción entre los tratamientos y las regiones musculares en cuanto a los valores medios de DO

($p=0,0837>0,05$). No se observan diferencias significativas entre los valores medios de DO de los distintos tratamientos ($p=0,8788>0,05$), lo que indica que no hay diferencias entre dichos valores en la alimentación de los animales C, SE sin pastura y SE con pastura. A su vez, como consecuencia del contraste planeado, no se observan diferencias significativas entre los valores medios de DO en los distintos alojamientos (C vs. SE) ($p=0,8040>0,05$). Se observan diferencias significativas entre los valores medios de DO de las distintas regiones musculares ($p<0,0001<0,05$); SV4 se diferencia significativamente del resto de las regiones musculares en cuanto a los valores medios de DO ($p<0,05$). De los resultados obtenidos puede observarse que la mayor diferenciación de DO está dada por la región muscular y no por los animales o tratamientos administrados; en SV4 se observa la mayor DO, diferenciándose ésta de las restantes (Figura 2).

Cuadro 1: Se indican los valores medios de DO de cada región sin discriminar por tratamientos. Aquellos valores con igual superíndice dentro de cada factor evaluado no presentan diferencia significativa ($p>0,05$).

Table 1: Mean values of OD for each region are indicated without discriminating by reared systems. Those values inside each factor with equal letter do not present significant differences ($p>0.05$).

Región muscular	Medias	DE	N
SV1	110, 18 ^a	30,98	67
SV2	88,94 ^a	22,32	75
SV3	87,59 ^a	23,87	75
SV4	139,94 ^b	22,59	78

Los subvolumenes 1, 2, 3 y 4 de ST se indican como SV1, SV2, SV3 y SV4 respectivamente.

Cuadro 2: Se indican los valores de DO considerando las muestras de acuerdo al sistema de terminación (C/SE) y el tipo de alimentación, sin considerar las regiones. Superíndices idénticos indican falta de diferencia significativa ($p>0,05$).

Table 2: Optical density values are indicated considering the samples according to outdoor/indoor rearing systems and feeding types, without considering different regions. Those values with equal letter do not present significant differences ($p>0.05$).

Sistemas	Variable	Media	DE	N
Confinado	DO	109,26 ^a	29,62	86
SE s/ past	DO	107,76 ^a	32,68	103
SE c/past	DO	107,44 ^a	31,59	106

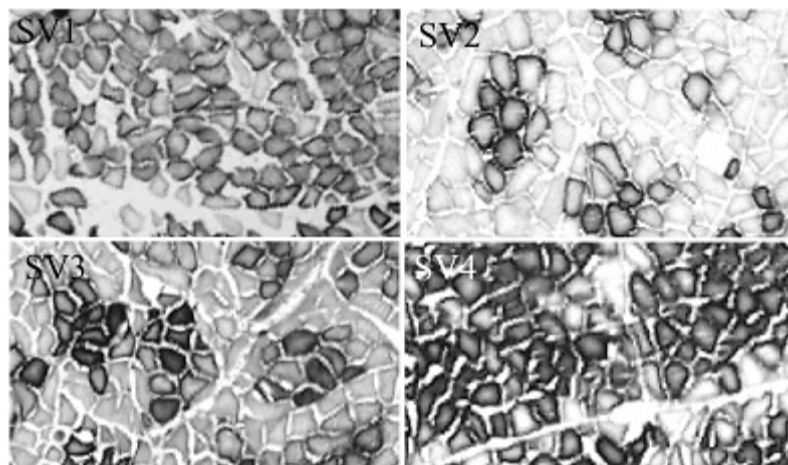


Figura 2: Reacción de NADH-TR indicando la capacidad oxidativa (DO) en cada uno de los subvolumenes, pertenecientes a un mismo animal.

Figure 2: NADH-TR reaction for indicating the oxidative capacity in each one of the subvolumens belonging to a same animal.

Discusión

La división en compartimientos neuromusculares del músculo ST ha sido documentada en pequeños mamíferos (English y Weeks, 1987; Roy et al, 1984). Nuestros hallazgos coinciden con Kernell (1998), respecto a la compartimentalización axial del vientre muscular en músculos de los miembros, tal como sostiene en sus experimentos en pequeños mamíferos. Específicamente en el ST del cerdo, Barone (1996) no menciona la presencia de una intersección tendinosa intermedia, observada por Graziotti, G.H., (datos inéditos). Bee et al (2004), Bee et al (2006) y Gondret et al (2005), dividen al músculo ST de cerdo en partes oxidativa profunda y glicolítica superficial, aunque no reportan precisiones de los límites de las mismas y del sitio de toma de muestras. Probablemente, la inconsistencia de los estudios anatómicos haya determinado que la comparación entre sistemas C/SE con respecto a las características musculares y calidad de carne, documenta resultados diversos, tanto en el músculo ST como en otros músculos. Abreu et al (2006) reportan en cerdos ibéricos, mayor capacidad oxidativa para fibras IIA/IIIX del músculo bíceps femoral

en muestras provenientes de animales en terminación SE, sin precisar el sitio de toma de muestra, ni realizar un estudio estructural del músculo, aunque relacionan sus resultados con la función muscular, por la participación del bíceps femoral, al igual que lo haría el compartimiento SV4 del ST en la extensión del corvejón dadas sus características oxidativas. Lebret et al (2002) documentan que si bien la temperatura ambiente tiene mayor influencia sobre algunos parámetros de calidad de carne que el sistema de terminación, no se incrementa la capacidad oxidativa del músculo *longissimus dorsi*; sin embargo, nuestros resultados indican diferencia en aptitud metabólica, no por factores ambientales, sino por la influencia de la arquitectura muscular (Cuadro 1, Figura 2). Solomon et al (1994) en muestras de la parte roja del músculo ST, encuentran un incremento del porcentaje de fibras IIA luego de la administración de somatotropina. Enfält et al (1997) obtienen muestras de las porciones blanca y roja del ST, encontrando que aquellas provenientes de animales del sistema SE, tienen más bajo pH, más pérdida de líquido y mayor grasa intramuscular; Gentry et al (2004) men-

cionan una tendencia a aumentar el porcentaje de fibras oxidativas cuanto antes se inician las condiciones extensivas, dato relevante, pues de acuerdo con Chang et al (2003) el incremento de fibras rápidas oxidativas mejora la calidad de carne en relación a pH, capacidad de retención de agua, textura, color y terneza.

Los músculos oxidativos tienen mayor proporción de la isoforma H- lactato dehidrogenasa que autoinhibe la formación de lactato (Pösö y Puolanne, 2005), por lo cual creemos que determinar la existencia de subvolumenes con significativa capacidad oxidativa dentro de un músculo en conjunto tiene valor relevante. Lonergan et al (2001) encuentran mayor actividad de calpastatina en muestras obtenidas de muestras de la mitad del ST, sin dar más precisiones anatómicas. Sin embargo, Sazili et al (2005), indican la contradicción entre diversos autores en lo referido a la correlación entre terneza y capacidad oxidativa, involucrado con el contenido de calpastatina, probablemente por carecerse de estudios estructurales previos del músculo.

Vistas las documentaciones precedentes, acordamos con Gentry et al (2004) y Blanton (2004) en que es necesario mejorar el conocimiento sobre el diseño arquitectónico de los músculos y los mecanismos fisiológicos de las fibras musculares, teniendo en cuenta la relación variable que existe entre ellas y los parámetros de calidad de carne, para explicar los resultados contradictorios en numerosas investigaciones previas.

Puede concluirse que la estructura muscular y sus características bioquímicas, las cuales probablemente influirán en el producto obtenido, se mantienen constantes independientemente de las condiciones de producción C/SE y alimentación. Entonces, el conocimiento adecuado de esta estructura en todo músculo utilizado en estudios de calidad de carne, debe preceder y permitir especificar el lugar de obtención de las muestras a analizar. Este estudio puede servir de base a futuras investigaciones en la tecnología de carnes.

Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada y financiada en el marco del Proyecto V-803, Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. Los autores agradecen la cesión de las muestras musculares al Dr. Campagna, INTA Estación Marcos Juárez, Argentina. Asimismo agradecen al Área de Histología, Fac. Cs. Vet. UBA por el permitirnos el uso del crióstato.

Bibliografía

- Abreu, E., Mayoral, A.I. and Rivero, J.L.L. 2006. Myosin heavy chain fibre types and fibre sizes in nuliparous and primiparous ovariectomized Iberian sows: interaction with two alternative rearing systems during the fattening period. *Meat Sci.* 74: 359-372.
- Barone, R. 1996. Anatomie Comparée des Mammifères Domestiques. II Arthrologie Myologie, París, Vigot, v. 2 pp. 385-387.
- Bee, G., Guex, G. and Herzog W. 2004. Free-range rearing of pigs during the winter: adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. *J. Anim. Sci.* 82:1206-1218.
- Bee, G., Biolley, C., Guex, G., Herzog, W., Lonergan, S. and Huff-Lonergan, E. 2006. Effects of available dietary carbohydrate and preslaughter treatment on glycolytic potential, protein degradation, and quality traits of pig muscles. *J. Anim. Sci.* 84:191-203.
- Bruce, V.L., Turek, R.J. and Schurg, W.A. 1993. Muscle fibre compartmentalisation in the gluteus medius of the horse. *Equine Vet. J.* 25:69-72.
- Chang, K.C., Da Costa, N., Blackley, R., Southwood, O., Evans, G., Plastow, G., Wood, J.D. and Richardson, R.I. 2003. Relationships of myosin heavy chain fibre types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat. Sci.* 64: 93-103.
- Dubowitz, V. 1985. Muscle Biopsy: a practical approach, 2nd edn. London: Bailliere Tindall.
- Enfält, A.C., Lundström, K., Hansson, I., Lundheim, N. and Nyström, P.E. 1997. Effects of outdoor rearing and sire breed (Duroc or Yorkshire) on carcass composition and sensory and technological meat quality. *Meat Sci.* 45:1-15.

- English, A.W.M. and Weeks, O.I. 1987. An anatomical and functional analysis of cat biceps femoris and semitendinosus muscles. *J. of Morphol.* 191:161-175.
- Gentry, J.G., Mc Glone, J.J., Miller, M.F. and Blanton, J.R.J. 2004. Environmental effects on pig performance, meat quality and muscle characteristics. *J. Anim. Sci.* 82:209-217.
- Gondret, F., Lefaucheur, L., Louveau, I., Lebret, B., Pichodo, X. and Le Cozler, Y. 2005. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livestock Prod. Sci.* 93:137-146.
- Graziotti, G.H., Delhon, G., Ríos, C.M. and Rivero, J.L.L. 2001. Fiber muscle types in adult female pigs as determined by combining histochemical and immunohistochemical methods. *Rev. Chil. Anat.* 19:167-173.
- Graziotti, G.H., Palencia, P., Delhon, G. and Rivero, J.L.L. 2004. Neuromuscular partitioning, architectural design, and myosin fiber types of the M. vastus lateralis of the llama (*Lama glama*). *J. of Morphol.* 262: 667-681.
- Karlsson, A.H., Klont R.E. and Fernandez, X. 1999. Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Prod. Sci.* 60: 255-269.
- Kernell, D. 1998. Muscle regionalization. *Can. J. Appl. Physiol.* 23:1-22.
- Klont, R.E., Hulsegge, B., Hoving-Bolink, A.H., Gerritzen, M.A., Kurt, E., Winkelman-Goedhart, H.A., Jong De, I.C. y Kranene, R.W. 2001. Relation between behavioral and meat quality characteristics of pigs raised under barren and enriched housing conditions. *J. Anim. Sci.* 79, 2835-2843.
- Lebret, B., Massabie, P., Granier, R., Juin, H., Mourot, J. and Chevillon P. 2002. Influence of outdoor rearing and indoor temperature on growth performance, carcass, adipose tissue and muscle traits in pigs, and on the technological and eating quality of dry-cured hams. *Meat Sci.* 62:447-455.
- Loneragan, SM., Huff-Loneragan, E., Rowe, L.J., Kuhlbers, D.L. and Jungst, S.B. 2001. Selection for lean growth efficiency in duroc pigs influences pork quality. *J. Anim. Sci.* 79:2075-2085.
- Mc Conathy, D., Giddings, C.J. and Gonyea, W.J. 1983. Structure-function relationships of the flexor carpi radialis muscle compared among four species of mammals. *J. of Morphol.* 175: 279-292.
- Pösö, A.R. and Puolanne, E. 2005. Carbohydrate metabolism in meat animals. *Meat Sci.* 70: 423-434.
- Quiroz-Rothe, E. and Rivero, J.L.L. 2004. Coordinated expression of myosin heavy chains, metabolic enzymes, and morphological features of porcine skeletal muscle fiber types. *Microsc. Res. and Tech.* 65: 43-61.
- Ronéus, N. and Essén Gustavsson, B. 1997. Skeletal muscle characteristics and metabolic response to exercise in young Standardbreds. *AJVR.* 58:167-170.
- Roy, R.R., Powell, P.L., Kanim, P. and Simpson, D.R. 1984 Architectural and histochemical analysis of the semitendinosus muscle in mice, rats, guinea pigs, and rabbits. *J. of Morphol.* 18:155-160.
- Sazili, A.Q., Pen, T., Sensky, P.L., Jones, S.W., Bardsley, R.G. and Buttery, P.J. 2005. The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine skeletal muscles. *Meat Sci.* 69:17-25.
- Solomon, M.B., Caperna, T.J., Mroz, R.J. and Steele, N.C. 1994. Influence of dietary protein and recombinant porcine somatotropin administration in young pigs: III. Muscle fiber morphology and shear force. *J. Anim. Sci.* 72:615-621.