

ANATOMÍA DEL MÚSCULO SEMITENDINOSO DE CERDO Y SU INFLUENCIA SOBRE LOS PARÁMETROS QUE ESTIMAN LA CALIDAD DE LA CARNE

Graziotti¹ GH, Cossu² ME, Ríos¹ CM, Moisés² SJ,
Rodríguez Menéndez¹ JM, Basso² L, Bosco¹ A.

¹Anatomía, Facultad de Ciencias Veterinarias,

²Laboratorio de Carnes. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Resumen: El objetivo del presente trabajo fue determinar diferencias significativas en parámetros relacionados con la calidad de carne en diferentes subvolumenes (R1, R2, R3 y R4) del músculo semitendinoso de cerdo. Cerdos machos castrados (genética INTA-MGC) fueron divididos en tres sistemas de terminación: confinamiento (T1), semiextensivo sobre pastura de trébol y alfalfa (T2) o sobre campo natural (T3) y faenados a 100 kg de peso. En cada subvolumen se determinaron las fibras I, IIA y IIX/B por actividad de la enzima miosina adenosina trifosfatasa, el metabolismo por actividad de la enzima nicotinamida dinucleótido tetrazolium reductasa y el área de sección transversa. Se determinó el pH 24 hs postfaena (Testo 230), el color (colorímetro Minolta CR-300) a través de los parámetros L* (luminosidad), a* (índice de rojo) y b* (índice de amarillo) y dureza Warner Bratzler (WB, Instron 4442). Se realizaron análisis de varianza y comparaciones múltiples entre las regiones musculares según Tukey (P=0,05). Se concluye que los parámetros considerados difieren significativamente (R1=R4 ≠ R2=R3) de acuerdo a la estructura del músculo y en menor medida respecto a los tratamientos productivos, evidenciando la necesidad de realizar estudios anatómicos previos a la toma de muestras.

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

PIG SEMITENDINOSUS MUSCLE AND ITS INFLUENCE ON MEAT QUALITY TRAITS

Abstract: The objective was to determine significant differences about meat quality traits in subvolumens (R1, R2, R3 and R4) of pig semitendinosus muscle. Castrated male pigs (INTA-MGC genetic line) were divided into three reared systems: indoor and outdoor with pasture or natural field and slaughtered at an average body weight of 100 kg. Fibrillar characteristics were evaluated on n 87 and physical-chemical variables on n 50. In each subvolumen were determined fiber types I, IIA and IIX/B by myofibrillar ATPase activity, metabolic profile by nicotinamide adenine tetrazolium reductase reaction and fiber cross sectional area. Also were determined pH 24 postmortem (Testo 230), tenderness (Warner Bratzler, WB, Instron 4442) and color (Minolta CR-300) through the parameters L* (brightness), a* (redness) and b* (yellowness). Were carried out ANOVA and multiple comparisons among the muscular regions according to Tukey (P=0,05). We conclude that the considered variables have significant differences principally according to muscle structure (R1=R4≠R2=R3) and smaller importance about traits showing the impact of prior anatomical studies before sampling.

Key words: indoor, outdoor, pig meat quality, fiber muscle, anatomy.

Fecha de recepción: 28/04/09

Fecha de aprobación: 10/12/09

Dirección para correspondencia: Guillermo Graziotti. Facultad de Veterinaria. UBA. Chorroarín 280 CWO 1427, Fax 4524-8480, Argentina.

E-mail: ggrazio@fvvet.uba.ar

INTRODUCCIÓN

La valoración de los parámetros relacionados con la evaluación de la calidad de la carne es de vital importancia. Entre los parámetros cualitativos más importantes, asociados a las preferencias y decisión de compra de los consumidores, se encuentran: el color, descrito a través de los parámetros colorimétricos luminosidad (L^*), índice del amarillo (b^*) e índice del rojo (a^*); y la terneza (medida como dureza, Warner Bratzler).

Diversos factores intrínsecos del músculo como los tipos de fibras musculares, el área de sección transversal de las fibras (AST) y su metabolismo en los momentos próximos a la faena, y factores ambientales como la alimentación y el sistema de crianza, influyen sobre las transformaciones post-mortem del músculo en carne modificando los valores de estos parámetros (1, 2).

Otro punto importante a tener en cuenta, es que los músculos esqueléticos de los mamíferos, en apariencia homogéneos, están compuestos por compartimientos neuromusculares indicados por la distribución de las ramas primarias del nervio, entre los cuales pueden variar el diseño arquitectónico macroscópico y las características de las fibras, incluido el perfil metabólico (3, 4, 5, 6). Esta heterogeneidad entre subvolumenes hace variar los parámetros físico-químicos de la carne, en función del sitio del músculo de donde sea obtenida la muestra. Los porcentajes de los tipos de fibras I, IIA, IIX y IIB, cuya capacidad oxidativa decrece en ese orden, varían significativamente entre los diferentes subvolumenes (7, 8).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto del sistema de producción porcina (confinado, semiextensivo sobre pastura o sobre campo natural) y los compartimientos neuromusculares del M. semitendinoso sobre los parámetros cualitativos de la carne de cerdo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 87 cerdos machos castrados pertenecientes a la genética INTA-MGC de Argentina, con un peso vivo inicial de 25 kg, distribuidos en tres sistemas productivos: confinado (T1), semiextensivo sobre pastura implantada (T2) y semiextensivo sobre campo natural (T3), con el objetivo de evaluar las características fibrilares de distintos subvolumenes del músculo semitendinoso (ST) y los parámetros cualitativos de la carne.

El grupo T1 fue instalado en boxes con piso de cemento mientras que los dos grupos semiextensivos se alojaron en potreros rotativos de 1,5 hectáreas con pradera implantada de trébol y alfalfa (T2) o sin pradera implantada (T3). 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. Todos los animales fueron faenados al alcanzar los 100 kg de peso. Los músculos ST enteros fueron transportados, refrigerados con hielo, al Laboratorio de Calidad de Carnes de la FAUBA; a las 24 horas post faena se obtuvieron muestras de cada subvolumen, en las cuales se determinó el pH (peachímetro Testo 230), el color (colorímetro Minolta CR-300) a través de los parámetros L^* (luminosidad), a^* (índice de rojo) y b^* (índice de amarillo) y dureza Warner Bratzler (WB, Instron 4442) sobre muestras cocidas en baño de María (75°C, 50'). En un estudio previo (9) fueron determinados los subvolumenes musculares según la distribución de las ramas primarias del nervio ciático y 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 y guardadas a -80°C hasta análisis en el Laboratorio de Anatomía de la Fac. de Cs. Veterinarias de la UBA. Los cortes de cada muestra (10m μ) 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%. Los cortes fueron sometidos a la reacción histoquímica de adenosina trifosfatasa miofibrilar (mATPasa) previa preincubación ácida a pH 4.6 (10) modificado (11) para identificar los tipos fibrilares. En cortes seriados adicionales fue evaluada la reacción de la enzima nicotinamida adenina dinucleótido tetrazolium reductasa (NADH-TR) (12) para valorar la capacidad oxidativa de cada compartimiento. Las imágenes de cada corte fueron capturadas en formato TIFF (150 pixels/pulgada) empleando el software Motic Image plus 2.0. En las reacciones de mATPasa se dibujo una máscara siguiendo el borde de un determinado número (por lo menos 100) de fibras musculares para determinar el área de sección transversa (AST). La densidad óptica (DO) fue medida sobre las imágenes de la reacción de NADH-TR 40 X dibujando una máscara que incluya 3 fascículos adyacentes. Se adoptó esta técnica debido a que los tipos de fibras no se distribuyen al azar; las fibras anaeróbicas se ubican en la vecindad del perimio (13). Todas las mediciones fueron hechas en escala de grises usando un software analizador de imágenes de uso libre (Scion Image v. Beta 3b software, disponible para Windows). El programa fue calibrado en escala de 0.367 y 0.680 pixels/ μ m para las imágenes de 40X y 100X para NADH-TR y mATPasa respectivamente.

El análisis estadístico de los datos, para todas las variables estudiadas, se realizó utilizando

la técnica de Análisis de Varianza, en un diseño mixto con factores cruzados y anidados. Los factores tratamiento (T1, T2 y T3) y región (R1, R2, R3, R4), se consideraron fijos y cruzados, y el factor animal aleatorio y anidado en tratamiento. Se efectuaron también comparaciones múltiples entre las regiones musculares utilizando el método de Tukey, y contrastes ortogonales entre los tratamientos.

RESULTADOS

Se identificaron fibras de tipo I (1), IIA (2) y IIB/X (3) de acuerdo a la foto 1. En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros consideradas para evaluar la calidad de carne y características de las fibras musculares, según las diferentes regiones musculares y tratamientos productivos. La luminosidad (L*) resultó similar para T1 y T2 (P=0,1159) pero presentaron diferencias significativas con respecto a T3 (P=0,025); no hubo diferencias significativas para los parámetros colorimétricos a* y b* entre tratamientos. Para la variable WB, (T1) resultó más tierno que los dos grupos semiextensivos, que resultaron similares entre sí (T2=T3; P=0,0296). Los valores de pH resultaron menores en T3 y superiores en T1 tomando T2 valores intermedios (P=0,0067) sin diferencia significativa. En función de la regiones consideradas, se encontraron diferencias significativas (P<0,05) en L* (R1=R4<R2=R3), en a* (R1=R4>R2=R3) y en b* (R1=R4<R2=R3). Para la variable WB se diferenció R2 respecto a las otras tres (R2>R1=R3=R4; P<0,0001) mientras que para pH, las diferencias resultaron significativas entre las regiones 1 y 4 respecto a 2

y 3 (R1=R4>R2=R3) (P<0,0001). Respecto a las fibras, la distribución para los tipos I, IIA y IIX/B fue: R4=R1>R2=R3 (P=0,0006); R4>R1=R2=R3 (P=0,0047); R3>R1=R4 y R3=R2 (P=0,0006) respectivamente. Las diferencias para AST fueron R1 > R2 = R3 = R4 (P=0,00504). Las diferencias para la DO fueron R4>R1=R2=R3 (P=0.0005).

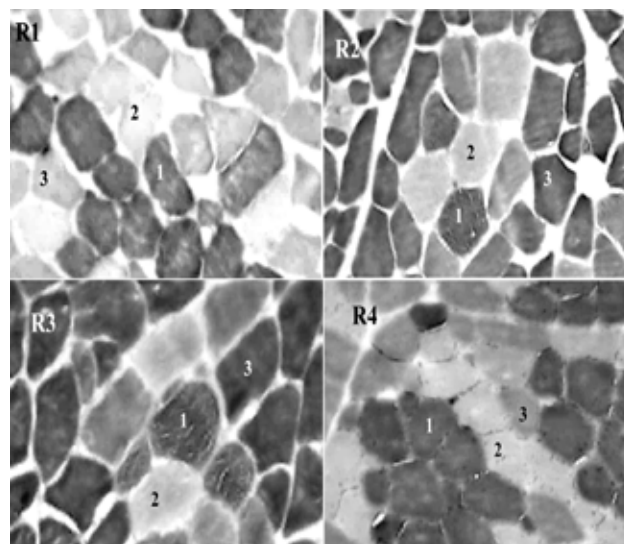


Foto 1. Se indican los tipos de fibra I (1), IIA (2) y IIX/B (3) en cortes transversales de las regiones R1, R2, R3 y R4 del músculo semitendinoso de cerdo (100X), de acuerdo a la reacción de mA-TPasa pH 4,6.

Photo 1. Cross sections of the semitendinosus muscle regions R1, R2, R3 and R4 showing I (1), IIA (2) and IIX/B (3) fiber types (100X), according to the mA-TPasa pH 4.6 reaction.

Tabla 1. Parámetros considerados para evaluar la calidad de carne y características de las fibras musculares, según las diferentes regiones musculares y tratamientos productivos.

Table 1. Meat quality traits and fiber characteristics according to different muscle regions and reared systems.

	R1	R2	R3	R4	T1	T2	T3
L*	69,31 ^a (3,44)	83,18 ^b (5,24)	83,96 ^b (4,51)	69,88 ^a (3,23)	75,54 ^c (8,47)	75,76 ^c (7,52)	78,25 ^d 8,19)
a*	19,34 ^a (1,68)	10,41 ^b (1,81)	10,55 ^b (1,99)	20,17 ^a (1,67)	14,89 ^c (5,10)	15,38 ^c (5,00)	15,12 ^c (4,92)
b*	12,87 ^a (2,07)	18,76 ^b (2,38)	19,13 ^b (2,01)	13,33 ^a (1,74)	16,56 ^c (3,74)	16,06 ^c (3,56)	15,48 ^c (3,41)
WB	7,70 ^b (2,25)	9,21 ^a (2,35)	7,90 ^b (2,05)	7,54 ^b (1,80)	7,40 ^c (1,96)	8,06 ^d (2,22)	8,76 ^d (2,25)
pH²⁴	6,14 ^a (0,24)	5,90 ^b (0,26)	5,95 ^b (0,28)	6,19 ^a (0,25)	6,18 ^c (0,27)	6,06 ^{cd} (0,29)	5,93 ^d (0,24)
Tipo I	20,75 ^a	7,25 ^b	6,75 ^b	35,5 ^a	16,12 ^c	28,25 ^c	12,94 ^c
Tipo IIA	12 ^a	10,25 ^a	8,5 ^a	23,375 ^b	11,875 ^c	16,375 ^c	12,94 ^c
Tipo IIX/B	39,25 ^a	59,38 ^{ab}	74,25 ^b	38,88 ^a	59 ^c	51,75 ^c	50,5 ^c
DO_{bras}	110,18 ^a	87,59 ^a	88,94 ^a	139,94 ^b	109,26 ^c	107,44 ^c	107,76 ^c
	(30,98)	(22,32)	(23,87)	(22,59)	(29,62)	(31,59)	(32,68)
AST fibras	8372,28 ^a	6056,97 ^b	6241,89 ^b	5281,70 ^b	6637,14 ^c	6047,29 ^c	6634,20 ^c
	(2401,29)	(1752,40)	(1487,44)	(1283,30)	(2039,04)	(1807,00)	(2264,82)

L* luminosidad, a* índice de rojo, b* índice de amarillo, dureza WB, pH²⁴ medido 24 hs post faena, DO densidad óptica, AST área de sección transversal (μm²). Superíndices idénticos dentro de cada fila indican falta de significación (p>0,05). Entre paréntesis se indican los valores de desvío estándar.

DISCUSIÓN

Las isoformas de miosina pueden ser un importante atributo en el desarrollo de la calidad de carne, ya que tienen influencia en el metabolismo perimortem (2). Así pueden fundamentarse los resultados obtenidos en este ensayo con respecto a las variables relacionadas con la calidad de carne, en las regiones estudiadas. Investigaciones previas han demostrado que los valores de estas variables en cada uno de los compartimientos, coinciden con las características de las fibras musculares, cuando se consideran músculos típicamente glicolíticos u oxidativos. Con respecto a la luminosidad (L^*), ha sido recientemente documentada una correlación con el potencial glicolítico y con el pH 45 minutos, para los cerdos criados en confinamiento y en sistemas semiextensivos (14). Esto coincide con lo observado en el presente trabajo en las regiones glicolíticas (R2 y R3) que presentan menor pH y mayores valores de L^* con respecto a las regiones oxidativas del M. semitendinoso (R1 y R4). Si bien no hemos determinado el potencial glicolítico, podemos considerar que nuestros resultados son coincidentes con los resultados obtenidos en un reciente estudio (14) ya que el potencial glicolítico está correlacionado con el porcentaje de fibras glicolíticas (15), en este caso mayor en R2 y R3. Sin embargo, en la porción clara del ST de cerdos con dietas bajas en carbohidratos (probablemente R2 y R3 de nuestros resultados), se encontraron menores valores de L^* , menor valor de b^* y un valor más alto de pH (16). Esta relación con los carbohidratos de la dieta, probablemente explique nuestras observaciones de L^* y de pH encontradas en T2 y T3, aunque no disponemos de los valores de carbohidrato de la dieta utilizada. Esta misma relación de valores de L^* , b^* y pH es documentada en el músculo semimembranoso (15), más oxidativo, al compararlo con un músculo glicolítico como el longissimus; los datos obtenidos en el M. semimembranoso podrían corresponderse con los resultados en las regiones más oxidativas del ST (R1 y R4).

Los mayores valores de a^* en R1 y R4, se corresponden con un mayor porcentaje de fibras oxidativas (I y IIA) (2, 14, 15, 17). Además hacen referencia a la relación positiva de a^* con el porcentaje de fibras rojas, las isoformas de miosina de tipo I y IIA, y los valores de oxihemoglobina.

En cuanto al pH, el mayor porcentaje de fibras rojas incrementa el nivel de mioglobina y el pH declina más lentamente por lo cual se explica el mayor descenso de pH en R2 y R3 con respecto a R1 y R4 (14). En correspondencia, los menores valores encontrados en R2 y R3 se explican por la mayor tasa y extensión de glicólisis posmortem en estas dos regiones (16).

Si bien no es clara la relación de la terneza instrumental (WB) con las características de

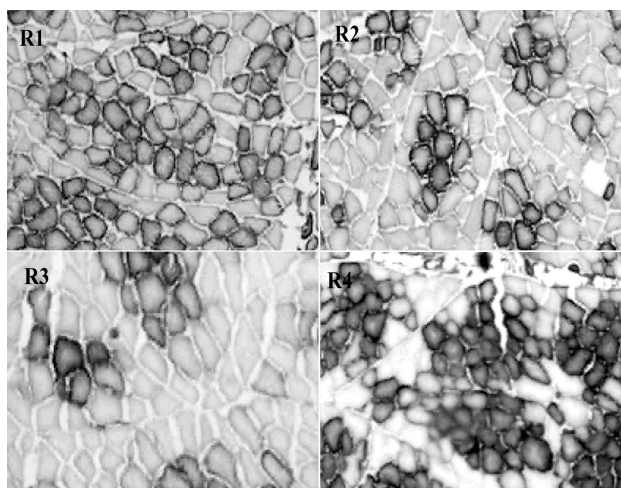


Foto 2. Se muestra la capacidad oxidativa en cortes transversales de las regiones R1, R2, R3, R4 del músculo semitendinoso de cerdo (40X), de acuerdo a la reacción de NADH-TR.

Photo 2. Cross sections of the semitendinosus muscle regions R1, R2, R3 and R4 showing the oxidative capacity (40X), according to the NADH-TR reaction.

las fibras musculares (18), se ha sugerido una correlación positiva entre fibras IIB y diámetro fibrilar con valores de WB (19); nuestros resultados indican mayor valor significativo de WB en R2, probablemente debido a que el mecanismo de calpastatina-calpaína no es el único factor que influye sobre la terneza (18). La falta de homogeneidad entre los subvolumenes del músculo corrobora la necesidad de determinar precisas referencias anatómicas para orientar la obtención de muestras, ya que las conclusiones de WB basadas sobre muestras tomadas en una sola localización no son representativas del músculo en conjunto (20). Además en el presente ensayo, la metodología utilizada no permitió diferenciar entre los tipos de fibras IIX y IIB, lo cual requerirá futuros estudios inmunohistoquímicos.

En general, hay una relación inversa entre el diámetro de las fibras y la capacidad oxidativa (15). Sin embargo, en nuestros resultados, la región significativamente oxidativa R4, no se diferencia en el AST de las regiones glicolíticas, probablemente por el elevado porcentaje de fibras de tipo IIA que contiene.

Desde la aplicación zootécnica, se cita la escasa precisión de conocimientos sobre la estructura de los músculos (21). Algunos autores (19, 22), utilizan una numerosa toma de muestras como metodología para corregir la falta de homogeneidad del músculo en conjunto y evaluar variaciones de calidad de carne, sin seguir un patrón estructural. De acuerdo con nuestro criterio, parece más adecuado y eficiente hacer un muestreo standarizado por compartimiento neuromuscular, ya que estudios previos de arquitectura muscular (7) indican que los comparti-

mientos se componen con fibras musculares con características homogéneas.

Concluimos que la toma de muestras siguiendo la distribución de las ramas primarias de los nervios, es un método apropiado para la estandarización de la toma de muestras, como herramienta de examinación completa de un músculo individual, manteniendo la orientación tridimensional y la relación con las referencias anatómicas.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue desarrollado en el marco de los Proyectos UBACYT V803 y G10.

BIBLIOGRAFÍA

1. Karlsson AH, Klont RE, Fernandez X. Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Prod. Sci.* 1999; 60 (2/3): 255-269.
2. Park BY, Kim NK, Lee CS, Hwang YH. Effect of fiber type on postmortem proteolysis in longissimus muscle of Landrace and Korean native black pigs. *Meat Sci.* 2007; 77 (4): 482-491
3. Bruce VL, Turek RJ, Schurg WA. Muscle fibre compartmentalization in the gluteus medius of the horse. *Equine Vet. J.* 1993; 25 (1): 69-72.
4. Roy RR, Powell PL, Kanim P, Simpson DR. Architectural and histochemical analysis of the semitendinosus muscle in mice, rats, guinea pigs, and rabbits. *J. of Morphol.* 1984; 181 (2): 155-160.
5. Kernell D. Muscle regionalization. *Can. J. Appl. Physiol.* 1998; 23 (1): 1-22.
6. Graziotti GH, Palencia P, Delhon G, Rivero JLL. Neuromuscular partitioning, architectural design and myosin fiber types of the muscle vastus lateralis of the llama (*Lama glama*). *J. of Morphol.* 2004; 262 (2): 667-681.
7. Graziotti GH, Rios CM, Rodríguez Menéndez J, Salinas M, Paltenghi Ceschel A, Bosco A, Affricano NO, Victorica C, Basso L. Capacidad metabólica del músculo de cerdo en sistemas confinado/semiextensivo. Estudio preliminar. *Rev. Argent. Prod. Anim.* 2008; 28: En prensa.
8. Quiroz-Rothe E, Rivero JLL. Coordinated expression of myosin heavy chains, metabolic enzymes, and morphological features of porcine skeletal muscle fiber types. *Microsc. Res. and Tech.* 2004; 65 (1-2): 43-61.
9. Graziotti GH, Rodríguez Menéndez JM, Rios MC, Salinas M, Paltenghi Ceschel A, Affricano O, Bosco A, Victorica C, Basso L. Perfil metabólico del músculo semitendinoso del cerdo. *InVet.* 2007; 9 (1): 19-26.
10. Brooke MM and Kaiser KK. Muscle fiber types: how many and what kind?. *Arch. Neurol.* 1970; 23 (4): 369-379.
11. Nwoye L, Mommaerts WFHM, Simpson DR, Sreyderian K, Marusich M. Evidence for a direct action of thyroid hormone in specifying muscle properties. *Am. J. Physiol.* 1982; 242 (3): R401-R408.
12. Blanco CE, Sieck GC, Edgerton VR. Quantitative histochemical determination of succinic dehydrogenase activity in skeletal muscle fibres. *Histochem. J.* 1988; 20 (4): 230-243.
13. Mc Conathy D, Giddings CJ, Gonyea WJ. Structure-function relationships of the flexor carpi radialis muscle compared among four species of mammals. *J. of Morphol.* 1983; 175 (3): 279-292.
14. Kwasiborski A, Sayd T, Chambon C, Santé-Lhoutellier V, Rocha D, Terlouw C. Pig Longissimus lumborum proteome: Part II: Relationships between protein content and meat quality. *Meat Sci.* 2008; 80 (4): 982-996.
15. Gil M, Delday MI, Gispert M, Font i Furnols M, Maltin CM, Plastow GS, Klont R, Sosnicki AA, Carrión D. Relationships between biochemical characteristics and meat quality of Longissimus thoracis and Semimembranosus muscles in five porcine lines. *Meat Sci.* 2008; 80 (3): 927-933.
16. Bee G, Biolley C, Guex G, Herzog W, Lonergan SM, Huff-Lonergan E. Effects of available dietary carbohydrate and preslaughter treatment on glycolytic potential, protein degradation, and quality traits of pig muscles. *J. Anim. Sci.* 2006; 84: 191-203
17. Bérard J, Kreuzer M, Bee G. Effect of litter size and birth weight on growth, carcass and pork quality and their relationship to postmortem proteolysis. *J. Anim. Sci.* 2008; 86 (9): 2357-2368.
18. Sazili AQ, Parr T, Sensky PL, Jones SW, Barsley RG, Buttery PJ. The relationship between slow and fast myosin heavy chain content, calpastatin and meat tenderness in different ovine skeletal muscles. *Meat Sci.* 2005; 69 (1): 17-25.
19. Hu H, Wang J, Zhu R, Guo J, Wu Y. Effect of myosin heavy chain composition of muscles of meat quality in Laiwu pigs and Duroc. *Sci. China Ser C- Life Sci.* 2008; 51 (2): 127-132.
20. Janz JAM, Aalhus JL, Dugan MER, Price MA. A mapping method for the description of Warner-Bratzler shear force gradients in beef Longissimus thoracis et lumborum and Semitendinosus. *Meat Sci.* 2006; 72 (1): 79-90.
21. Gentry JG, Mc Glone JJ, Miller MF, Blanton JR: Environmental effects on pig performance, meat quality and muscle characteristics. *J. Anim. Sci.* 2004; 82 (1): 209-217.
22. Cerisuelo A, Sala R, Nürnberg G, Baucells M, Rehfeldt C. How many muscle samples are required to obtain reliable estimations of muscle fibre characteristics from pig longissimus muscle?. *Meat Sci.* 2007; 76 (3): 583-587.