



## 출하 전 마그네슘 단기급여가 돼지의 혈중 스트레스 관련 호르몬 함량 및 육질에 미치는 영향

성필남\* · 이종언 · 조인철

농촌진흥청 난지농업연구소

## The Effects of Dietary MgSO<sub>4</sub> Supplement on Serum Stress Hormones Concentrations and Pork Quality in Late Finishing Pigs

Pil-Nam Seong\*, Jong-Eun Lee, and In-Chul Cho

National Institute of Subtropical Agriculture, RDA

### Abstract

This study was conducted to determine the effects of MgSO<sub>4</sub> supplement on meat quality and serum stress hormones concentrations in late finishing pigs. Sixty castrated Landrace pigs (average weight $\pm$ S.D., 106.5 $\pm$ 8.9 kg) were assigned to a control diet (without MgSO<sub>4</sub> supplement) and diet with MgSO<sub>4</sub> (10 g/kg diet) supplemented. Pigs had free access to diets and water during five-day feeding period. At the end of feeding experiment, pigs were fasted for 16 hours and transported to commercial slaughter plant (30-minute transportation distance). After 2-hour lairage time, pigs were slaughtered, and blood samples were collected at bleeding procedure of slaughter. Pigs fed the diet with MgSO<sub>4</sub> supplement had higher ( $p<0.05$ ) serum magnesium concentrations than those in pigs fed a control diet. Serum adrenaline, noradrenaline and cortisol concentrations determined at slaughter were not significantly different between dietary groups. Carcass temperature, pH at 24h post-slaughter, drip loss and color characteristics were not influenced ( $p>0.05$ ) by short-term supplement of MgSO<sub>4</sub>. Pigs fed the diet supplemented with MgSO<sub>4</sub> diet had lower PSE incidence (23.3%) compared to pigs fed the control diet (33%). These results indicate that short-term supplement of dietary MgSO<sub>4</sub> in late finishing pigs may not be beneficial in improving pork quality, and further study needs to assess feeding regime of magnesium supplement.

**Key words :** pigs, magnesium, stress hormones, pork quality

### 서 론

돼지의 육질 향상은 소비자의 구매 욕구를 증가시키고 제품의 가치를 향상시켜 결과적으로 돈육산업 모든 부분에 있어 이익을 향상시키는 결과를 가져올 수 있다. 특히 도축 전 돼지의 취급방법이 사후 육질 특성에 많은 영향을 미칠 수 있는데(Moss, 1984) 도축 전 심한 스트레스는 사후 초기 근육의 산성화를 촉진시켜 PSE 육을 발생시킬 수 있으며, 도축 전 장시간의 스트레스는 근육 내 글리코겐을 고갈시켜 DFD

육을 유발할 수 있다(Warriss, 1993). 특히 PSE(pale, soft, exudative) 육은 도축 전 심한 스트레스 요인에 의해 도축 후 도체온도가 여전히 높은 상태에서 glycogen 분해와 pH 저하율이 증가되어 발생하게 되며(Briskey and Wismer-Pedersen, 1961), Sutherland 등(1965)은 이러한 현상의 원인으로 체내에서 스트레스에 대한 반응 결과 catecholamines이 분비되어 glycogen phosphorylase kinase를 활성화시키고, 3',5'-cyclic adenosine monophosphate(c-AMP)를 형성시켜 glycogen 분해를 가속화시키기 때문이라고 보고하였다.

마그네슘은 단백질과 에너지 대사를 포함한 수많은 대사 과정과 효소작용 경로에 필수적인 공동작용인자이며, 2가의 양이온이다(Stryer, 1988). 또한 칼슘(신경전달 물질 분비에 필요)과는 반대로 신경전달물질 분비를 감소시켜 골격근육

\* Corresponding author : Pil-Nam Seong, National Institute of Subtropical Agriculture, RDA, 1696 Odeung-dong 690-150, Jeju, Jeju-do, Korea. Tel: 82-64-741-2557, Fax: 82-64-749-2066, E-mail: spn2002 @rda.go.kr

활동을 저하시키며(Hagiwara et al., 1974; Hubbard, 1973) 도축 전 취급에서 오는 극심한 스트레스 반응을 감소시키고(Kietzmann and Jablonski, 1985), 세포내 칼슘작용을 조절하며(Laver et al., 1997), 사후 고에너지 인산염을 유지시켜 해당과정의 시작시기를 연기시키는(Moesgaard et al., 1993) 것으로 밝혀졌다. 이러한 이유에서 마그네슘이 돈육의 육질을 향상시키는 하나의 영양학적 수단으로 평가되어져 왔다(Apple et al., 2001; D'Souza et al., 1998; Frederick et al., 2004; Hamilton et al., 2002).

최근 연구에서 마그네슘 급여가 사후 초기 균육대사를 조절하고(D'Souza et al., 1998, 1999; Hamilton et al., 2002) 보수력(D'Souza et al., 1998, 1999, 2000)과 육색(D'Souza et al., 1998, 2000)을 개선시키고 저장중인 돈육의 지질 산화에 영향을 미칠지도 모른다는 결과들이 보고되었다(Apple et al., 2001). 특히 Hamilton 등(2002)은 거세돼지와 암퇘지를 가지고 도축 전 2일 동안 마그네슘을 급여했을 때 대조구와 비교해 돈육의 육색이 향상되었고, 드립로스가 감소되었다고 보고해 출하 전 마그네슘 단기 급여가 PSE 돈육 발생 억제 및 돈육의 육질을 향상시킬 수 있는 한 가지 방법으로 대두되고 있다.

돈육 육질에 대한 마그네슘 급여 효과는 마그네슘 급여원에 달려있는 것이 아니라(D'Souza et al., 1999) 급여시기에 달려있거나 그 외 요인 때문일 수도 있으며(D'Souza et al., 2000; Hamilton et al., 2002), 일부 연구들에서는 마그네슘의 돈육 육질 개선 효과에 대해 부정적인 결과 또는 일관된 효과를 증명하지 못한 연구들도 있다(Hamilton et al., 2002; van Laack, 2000). 특히 Apple 등(2000)은 마그네슘 장기급여가 돈육 육질 특성 중 중요한 요소인 드립, 육색 명도에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다.

따라서 본 연구는 여러 연구자들에 의해 보고된 결과에 바탕을 두고 우리나라 도축장 현실에서 출하 전 마그네슘 단기 첨가급여가 돼지의 육질을 개선시키고 PSE 돈육 발생을 억제시킬 수 있는지를 구명하기 위하여 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 공시가축 및 시험사료 급여

본 시험에 이용된 공시축은 랜드레이스 거세비육돈(106.5 ± 8.9 kg)으로 처리구별 각 30두를 공시하였다. 시험은 두 처리(대조구, MgSO<sub>4</sub> 급여구)로 이루어졌으며, 대조구에는 도축 전 급여기간 동안 비육후기 사료를 MgSO<sub>4</sub> 급여구에는 동일한 사료에 MgSO<sub>4</sub>를 10 g/kg 사료 수준으로 첨가하여 급여하였다. 본 실험에 사용된 MgSO<sub>4</sub> 첨가량과 급여기간은 D'Souza 등(1998, 1999)의 실험에서 사용된 수준을 기초로 하였다. 시

험축 생체중이 106±10.47 kg(대조구), 107±7.40kg(MgSO<sub>4</sub> 급여구)일 때 시험사료(Table 1)를 급여하기 시작하여 도축 전 5일 동안 물과 함께 자유채식시켰다.

### 도축과 도체측정

급여 종료 후 모든 공시축을 제주도내 도축장으로 수송하여(수송거리 30분) 도착 후 2시간 내에 도축하였다. 도축 후 40분(pH<sub>40m</sub>), 24시간(pH<sub>24h</sub>)에 좌도체 5~6번 갈비뼈 위치의 등심에서 pH meter(Type TITAN x, Sentron, Netherlands)로 도체 pH를 측정하였으며, 도체온도는 실시간 도체온도 측정기(TR-52, T&D Co., Japan)를 도축 직후 뒷다리부위의 내향근(Adductor) 부분에 설치하여 도축 후 30분(Temp<sub>30m</sub>), 3시간(Temp<sub>3h</sub>), 6시간(Temp<sub>6h</sub>)에 측정하였다.

### 혈액시료 준비 및 분석

혈액시료(10 mL)는 혈중 catecholamine과 마그네슘 농도를 측정하기 위해 처리구별 무작위 10마리에서 EDTA가 처리된 투브에 방혈과정에서 수집하여 2,000 rpm에서 20분간 원심분리 후 혈장을 채취하여 분석때까지 -72°C에 보관하였다.

혈중 catecholamine(adrenaline, noradrenaline)함량은 Kat-Combi RIA(IBL, Germany) 시약을 사용하여, cortisol 함량은 Cortisol(DPC, USA) 시약을 사용하여 Gamma counter(Co-

Table 1. Composition of basal diets<sup>1)</sup> (as-fed basis)

Ingredient	%
Corn	77.0
Soybean meal, 44% CP	15.8
Molasses	3.0
Lysine HCl	0.1
Tricalcium phosphate	1.0
Limstone	0.6
Tallow	2.0
Premix <sup>2)</sup>	0.15
Salt	0.35
Total	100

<sup>1)</sup> Analyzed values of Mg for control and diet with MgSO<sub>4</sub> supplemented (10 g/kg diet) : 2,136.3 ± 87.81, 3,277.7 ± 388.18 mg/kg diet, respectively

<sup>2)</sup> Provided the following per kg of diet: Fe, 120 mg; Cu, 9 mg; Mn, 30 mg; Zn, 48 mg; I, 0.3 mg; Se, 0.15 mg; vitamin A, 7,500 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 1,500 IU; vitamin E, 37.5 IU; vitamin K<sub>3</sub>, 22.5 mg; vitamin B<sub>1</sub>, 1.5 mg; vitamin B<sub>2</sub>, 3.0 mg; vitamin B<sub>6</sub>, 1.5 mg; vitamin B<sub>12</sub>, 0.015 mg; pantothenic acid, 7.5 mg; niacin, 30 mg; biotin, 0.075 mg; folic acid, 1.5 mg.

bra II, Packard, USA)로 측정하였다.

### 육질평가 및 PSE 판정

도축 24시간 후 각 도체의 좌도체 5번과 6번 갈비뼈 사이를 절개하여 30분 동안 발색시킨 후 등심 절단면에서 최종 pH, 육색, 드립과 PSE 육을 판정하였다. 돈육의 pH는 SENTRON pH meter로 측정하였으며, 등심의 색도는 등심면의 수분을 제거한 후 Chroma meter(CR 300, Minolta Co, Japan)로 명도(L\*), 적색도(a\*), 황색도(b\*)를 Hunter 값으로 측정하였고, 표준판은 Y=90.8, x=0.3144, y=0.3210의 백색 타일을 사용하였다. 드립은 4×4 cm 크기의 Whatman No. 1 여과지를 사용하여 용지에 스며든 수분면적을 백분율로 나타내었다. PSE 판정은 박 등(2003)의 방법에 따라 도축 후 24시간 동안 도체를 냉각한 후 좌도체 제 5·6늑골 부위를 절개하여 배최장근에서 육색, 드립 발생, 조직감을 상(정상), 중(다소 나쁨), 하(매우 나쁨)로 평가하여 세 가지 항목 중 상이 1항목 이하일 때를 PSE 육으로 판정하였다.

### 통계분석

시험결과는 SAS program(SAS, 1996)을 이용하여 처리구간에 t-test를 통해 5% 수준에서 유의성을 검정하였다.

### 결과 및 고찰

사료 중 총 마그네슘 함량은 Table 1에 나타낸 것과 같이 대조구가 2,136.3 mg/kg diet, MgSO<sub>4</sub> 급여구가 3,277.7 mg/kg diet로 MgSO<sub>4</sub> 급여구가 높았으나, 혈중 마그네슘 함량은 두 처리간에 차이가 없었다. 혈중 마그네슘 함량에 대한 기존 연구들은 서로 상반된 결과들을 보고하였는데 Geesink 등(2004)은 도축 전 5일 동안 magnesium acetate를 첨가 급여한 후 도축 시 혈중 마그네슘 함량을 조사한 결과 마그네슘 급여에 영향을 받지 않았다고 보고해 본 시험결과와 동일하였으나 상반된 결과로 D'Souza 등(1999)은 마그네슘 첨가 급여가 도축 시 돼지의 혈중 마그네슘 함량을 유의적으로 증가시켰다고 보고하였다.

Table 2는 처리구당 무작위 10마리의 돼지에서 마그네슘 첨가 급여에 의한 혈중 스트레스 관련 호르몬 변화를 측정한 결과로 adrenaline, noradrenaline, cortisol 모두 대조구와 MgSO<sub>4</sub> 급여구에서 차이를 발견하지 못했다. 이러한 결과는 MgSO<sub>4</sub> 급여가 도축 시 혈중 adrenaline, noradrenaline 농도에 영향을 미치지 않았다는 D'Souza 등(1999)의 결과와는 일치하나 사료에 MgAsp를 첨가 급여한 결과 도축 시 혈중 noradrenaline 농도가 유의적으로 감소되었다는 D'Souza 등(1998)의 결과와는 상반되었다. D'Souza 등(1999)은 두 번의

연구에서 나타난 상반된 결과의 원인은 도축 시 조악한 취급 방법 및 도축조건과 같은 스트레스 요인에 대한 시험축의 반응이 달랐기 때문인 것으로 보고하여 급여된 마그네슘이 혈중 스트레스호르몬에 영향을 미칠 수 있는 도축 전 취급방법 및 도축방법에 대한 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

마그네슘 첨가 급여에 의한 등심근의 pH와 도체온도 변화는 Table 3에 나타내었다. 도축 후 40분에 MgSO<sub>4</sub> 급여구의 pH가 유의적으로 낮은 것으로 나타났으나( $p<0.05$ ) 24시간 pH에는 차이가 없었다. 도체 온도는 도축 후 30분에 MgSO<sub>4</sub> 급여구가 대조구보다 유의적으로 높았지만 도축 후 3시간과 6시간에서는 차이가 없었다. D'Souza 등(1999)은 마그네슘 급여원을 달리하고 도축 전 돼지들에게 동일한 전기충격을 가하여 도축 후 5분과 40분에 *Longissimus thoracis*(LT) 근육의 글리코겐 농도를 측정한 결과 마그네슘을 급여한 돼지들의 글리코겐 함량이 더 높고, 근육내 젖산 농도도 더 낮아 마그네슘이 돈육의 육질을 개선시키는데 효과적이라고 보고하였으나 도축 후 40분과 24시간 근육 pH에서는 차이가 없었

**Table 2. The effect of dietary MgSO<sub>4</sub> supplement on serum Mg and stress hormone concentrations in pigs at slaughter<sup>1)</sup>**

Item	Control	MgSO <sub>4</sub> <sup>2)</sup>
Serum Mg (mg/L)	27.65±3.15	29.86±3.06
Adrenaline (pg/mL)	19406±5147.80	21748±4388.60
Noradrenaline (pg/mL)	19728±1030	22016±1044
Cortisol (μg/dL)	14±5.86	13.33±4.80

<sup>1)</sup> Values are means with SD of 10 pigs.

<sup>2)</sup> Diet supplemented with MgSO<sub>4</sub> (10 g/kg diet) for five days prior to slaughter.

**Table 3. The effect of dietary MgSO<sub>4</sub> supplement on post-slaughter muscle pH and carcass temperature in pigs<sup>1)</sup>**

Item	Control	MgSO <sub>4</sub> <sup>2)</sup>
pH <sub>40m</sub>	6.42±0.19 <sup>a</sup>	6.22±0.15 <sup>b</sup>
pH <sub>24h</sub>	5.49±0.04	5.51±0.03
Temp <sub>30m</sub> (°C)	41.67±0.45 <sup>b</sup>	42.54±0.32 <sup>a</sup>
Temp <sub>3h</sub> (°C)	31.56±2.62	32.97±0.97
Temp <sub>6h</sub> (°C)	20.62±2.34	20.97±1.16

<sup>1)</sup> Values are means with SD of 30 pigs.

<sup>2)</sup> Diet supplemented with MgSO<sub>4</sub> (10 g/kg diet) for five days prior to slaughter.

<sup>a,b</sup> : Means with different superscript in the same row are significantly different ( $p<0.05$ ).

다고 보고하였고, Hamilton 등(2003)은 마그네슘 종류 및 마그네슘 급여수준은 근육의 최종 pH에 영향을 미치지 않았으나 급여기간의 경우 1일 급여가 2일과 5일 급여된 돈육의 최종 pH보다 유의적으로 높았다고 보고한 반면 D'Souza 등(1998)은 MgAsp 첨가 급여가 도축 후 40분과 24시간 등심근의 pH를 향상시켰다고 보고해 이전 결과들이 일관되지 않아 최종 pH에 대한 마그네슘 급여 효과를 정의하기는 어려운 것으로 보여진다. 또한 본 시험에서 마그네슘 급여구가 초기 pH가 대조구에 비해 낮은 것은 마그네슘 급여구의 초기 도체온도가 높은 것과 연관이 있는 것으로 보여지며 그 이유에 대해 Swatland(1993)는 강직 전 빠른 pH 저하는 도체온도가 높아 대사활동이 빨라지기 때문이며 이를 방지하기 위해 신속한 냉각이 필요하다고 하였다.

Table 4는 도축 후 24시간 등심근의 육질 특성을 조사한 결과로 드립은 MgSO<sub>4</sub> 급여구가 대조구에 비해 더 높게 나타났으며, 육색 명도(L\*)는 MgSO<sub>4</sub> 첨가 급여에 의한 뚜렷한 영향이 없었지만 급여구가 약간 높았다. PSE 발생률은 MgSO<sub>4</sub> 급여구가 23.3%, 대조구가 30%로 6.7%의 차이를 보였다.

MgSO<sub>4</sub> 첨가금여에 의한 돈육 육질 개선에 대한 이전 결과들은 드립 감소에 의한 저질 돈육의 발생을 감소시킴으로써 얻어지는 이익을 강조하고 있으나(D'Souza et al., 1999; Hamilton et al., 2003) 본 연구에서는 마그네슘 급여로 인한 드립 발생량의 차이는 나타나지 않았으며, 오히려 마그네슘 급여구가 더 높게 나타났다. Park 등(2001)은 사후 3시간 도체 심부온도에 따른 돼지 등심의 보수력을 조사한 결과 29°C 이하인 돈육이 29~31°C 돈육에 비해 보수력이 높았으나 31°C 이상인 돈육과 차이가 없었으며 육색 명도(L\*)값에서는 31°C 이상인 돈육이 29°C 이하 돈육과 29~31°C 돈육에 비해 명도값이 높았다고 보고하여 사후 초기 도체온도가 최종 돈육 육질에 많은 영향을 미치는 사실을 입증하였다. 따라서

Table 4. The effect of dietary MgSO<sub>4</sub> supplement on PSE incidence and pork quality in the *longissimus dorsi* of pigs<sup>1)</sup>

Item	Control	MgSO <sub>4</sub> <sup>2)</sup>
Drip loss (%)	31.00±30.50	38.00±32.31
L*	47.71±4.56	50.04±4.57
Color (Hunter)	a*	7.27±1.36
	b*	5.23±1.30
PSE incidence (%)	normal PSE	70 30
		76.7 23.3

<sup>1)</sup> Values are means with SD of 30 pigs.

<sup>2)</sup> Diet supplemented with MgSO<sub>4</sub> (10 g/kg diet) for five days prior to slaughter.

본 시험의 결과에서 마그네슘 급여구가 드립 발생이 더 높은 것은 사후 초기 pH가 더 낮고 초기 도체온도가 더 높았기 때문인 것으로 보여진다. 하지만 드립 발생률은 PSE 돈육 발생과 밀접한 관련이 있으나 Table 4에 나타낸 것과 같이 평가 요원에 의한 PSE 발생률은 마그네슘 급여구가 6.7% 더 낮은 것으로 조사되어 기계적 육질 조사 결과의 경향과는 약간의 차이가 있었다.

따라서, 본 연구의 결과들은 MgSO<sub>4</sub> 첨가 급여가 돈육 육색과 보수력, 최종 pH 등에 영향을 미칠 것으로 기대했던 것과 일치하지는 않지만 PSE 발생률을 6.7% 감소시켰으며 많은 기존 연구 결과들이 마그네슘이 돈육 육질 향상에 효과적이라고 보고해 오고 있기 때문에 본 연구에서 사용하지 않은 급여방법, 도축방법 등 다양한 방법을 연구하여 우리나라 현실에 맞는 방법을 찾는다면 PSE 발생률을 줄일 수 있는 경제적인 방법이 될 것으로 보여진다.

## 요약

본 연구는 우리나라 도축장 현실에서 출하 전 마그네슘 단기 첨가 급여가 돈육 육질을 개선시키고 PSE 돈육 발생을 억제시킬 수 있는지를 구명하기 위하여 거세비육돈(Landrace) 60두를 대조구(MgSO<sub>4</sub> 무첨가구)와 MgSO<sub>4</sub> 급여구로 30두씩 나누어 도축 전 5일 동안 사료와 물을 무제한 급여하여 6일 째 도축장으로 수송한 후 2시간 내에 도축하였다. 도축 전 MgSO<sub>4</sub> 첨가 급여는 도축 시 혈중 마그네슘 함량에 영향을 미치지 않았으며, 혈중 스트레스 관련 호르몬(adrenaline, noradrenaline) 역시 마그네슘 급여구와 대조구 사이에 차이가 없었다. 사후 초기 pH는 대조구가 더 높았고, 최종 pH는 유의적인 차이가 없었다. 사후 도체온도는 도축 직후 MgSO<sub>4</sub> 급여구가 더 높았으나 3시간과 6시간에는 비슷하였다. PSE 발생율은 대조구 30%, 마그네슘 급여구 23.3%로 마그네슘 급여구가 약간 낮은 경향을 보였으나 드립로스와 육색 명도에는 차이가 없었다. 비록 본 연구에 공시된 비육돈의 유전적 배경과 도축 전 비육돈의 취급방법이 기존 보고자들과 달랐지만 우리나라의 현실적인 여건을 고려할 때 마그네슘 첨가 급여에 의해 돈육 육질을 개선하는 방법이 확립된다면 돼지 사육업자나 가공업자에게 큰 이익을 가져다줄 것이므로 마그네슘 효과를 극대화시킬 수 있는 방법을 찾아낸다면 경제적인 방법이 될 것으로 보인다.

## 참고문헌

- Apple, J. K., Maxwell, C. V., deRodas, B., Watson, H. B., and Johnson, Z. B. (2000) Effect of magnesium mica on

- performance and carcass quality of growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* **78**, 2135-2143.
2. Apple, J. K., Davis, J. R., Rakes, L. D., Maxwell, C. V., Stivarius, M. R., and Pohlman, F. W. (2001) Effects of dietary magnesium and duration of refrigerated storage on the quality of vacuum-packaged, boneless pork loins. *Meat Sci.* **57**, 43-53.
  3. Briskey, E. J. and Wismer-Pedersen, J. (1961) Biochemistry of pork muscle structure. I. Rate of anaerobic glycolysis and temperature change versus the apparent structure of muscle tissue. *J. Food Science* **26**, 297-305.
  4. D'Souza, D. N., Warner, R. D., Leury, B. J., and Dunshea, F. R. (1998) The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality. *J. Anim. Sci.* **76**, 104-109.
  5. D'Souza, D. N., Warner, R. D., Dunshea, F. R., and Leury, B. J. (1999) Comparison of different dietary magnesium supplements on pork quality. *Meat Science* **51**, 221-225.
  6. D'Souza, D. N., Warner, R. D., Leury, B. J., and Dunshea, F. R. (2000) The influence of dietary magnesium supplement type, supplementation dose and duration, on pork quality and the incidence of PSE pork. *Aust. J. Agric. Res.* **51**, 185-189.
  7. Frederick, B. R., van Heugten, E. and See, M. T. (2004) Timing of magnesium supplementation administered through drinking water to improve fresh and stored pork quality. *J. Anim. Sci.* **82**, 1454-1460.
  8. Geesink, G. H., van Buren, R. G. C., Savenije, B., Verstegen, M. W. A., Ducro, B. J., van der Palen, J. G. P., and Hemke, G. (2004) Short-term feeding strategies and pork quality. *Meat Science* **67**, 1-6.
  9. Hagiwara, S., Fukuda, J., and Eaton, D. C. (1974) Membrane currents carried by Ca, Sr and Ba in barnacle muscle fiber during voltage clamp. *Journal of General Physiology* **63**, 564-578.
  10. Hamilton, D. N., Ellis, M., Hemann, M. D., and McKeith, F. K. (2002) The impact of longissimus glycolytic potential and short-term feeding of magnesium sulfate heptahydrate prior to slaughter of carcass characteristics and pork quality. *J. Anim. Sci.* **80**, 1586-1592.
  11. Hamilton, D. N., Ellis, M., McKeith, F. K., and Eggert, J. M. (2003) Effect of level, source, and time of feeding prior to slaughter of supplementary dietary magnesium on pork quality. *Meat Science* **65**, 853-857.
  12. Hubbard, J. I. (1973) Microphysiology of vertebrate neuro-muscular transmission. *Physiological Reviews* **53**, 674-723.
  13. Kietzmann, M. and Jablonski, H. (1985) Blocking of stress in swine with magnesium aspartate hydrochloride. *Praktische Tierzucht* **661**, 331-335.
  14. Laver, D. R., Owen, V. J., Junankar, P. R., Taske, N. L., Dulhunty, A. F. and Lamb, G. D. (1997) Reduced inhibitory effect of Mg<sup>2+</sup> on ryanodine receptor-Ca<sup>2+</sup> release channels in malignant hyperthermia. *Biophys. J.* **73**, 1913-1924.
  15. Moesgaard, B., Errebo Larsen, I., Quistorff, B., Therkelsen, I., Christensen, V. G., and Jorgensen, P. F. (1993) Effect of dietary magnesium on postmortem phosphocreatine utilization in skeletal muscle of swine: A non-invasive study using 31P-NMR spectroscopy. *Acta Vet.* **34**, 397-404.
  16. Moss, B. W. (1984). The effects of pre-slaughter stressors on the blood profiles of pigs. Proc. 30th Eur. Mtg. Meat Res. Workers, Bristol, UK, pp. 20.
  17. Park, B. Y., Lee, C. E., Kim, I. S., Cho, S. H., Kim, Y. G., Lee, J. M., and Yoon, S. K. (2003) Comparison of incidence of PSE pork by fattening period, transport time and lairage time. *Korean J. Anim. Sci. & Technol.* **45**, 483-490.
  18. Park, B. Y., Cho, S. H., Yoo, Y. M., Ko, J. J., Kim, J. H., Chae, H. S., Ahn, J. N., Lee, J. M., Kim, Y. K., and Yoon, S. K. (2001) Effect of carcass temperature at 3 hr post-mortem on pork quality. *Korean J. Anim. Sci. Technol.* **43**, 949-954.
  19. SAS (1996) SAS/STAT Software for PC. Release 6.11, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
  20. Stryer, L. (1988) Glycolysis. In: Biochemistry. 3rd ed., W. H. Freeman and Company, NY, USA, pp. 352.
  21. Sutherland, E. W., Oye, I., and Butcher, R. W. (1965) The action of epinephrine and the role of adenyl cyclase system in hormone action. In: Recent progress in hormone research. Academic Press, NY, USA, pp. 263.
  22. Swatland, H. J. (1993) Growth physiology and post-mortem metabolism in porcine muscle. In: Pork quality: genetic and metabolic factors. Puolanne, E., Demeyer, D. I., Ruusunen, M., and Ellis, S. (eds), CAB International, pp. 115-139.
  23. van Laak, R. (2000) The effect of magnesium supplementation on pork quality. *J. Anim. Sci.* **78(Suppl. 1)**, 154 (Abstr).
  24. Warriss, P. D. (1993) Ante-mortem factors which influence carcass shrinkage and meat quality. Proc. 39th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Calgary, Canada, pp. 51.