젖소에 있어 아급성제1위과산증 (SARA)의 강도가 혈장 Lipopolysaccharide (LPS)의 농도에 미치는 효과

손혜인¹ · 백성광¹ · 문주연¹ · 안의영¹ · 이현준² · 손용석^{1*}

¹고려대학교 생명과학대학, 서울, 136-713, ²국립축산과학원, 수원, 441-706

Effect of Subacute Ruminal Acidosis on Plasma Concentrations of Lipopolysaccharide in Dairy Cattle

Hey In Son¹, Seong Gwang Baek¹, Ju Yeon Moon¹, Eui-Young Ahn¹, Hyun-Jun Lee² and Yong Suk Son^{1*}

¹Korea University, Division of Biotechnology, ²National Institute of Animal Science, RDA

ABSTRACT

A study was conducted to determine if subacute ruminal acidosis (SARA) induced by feeding high level of non-structural carbohydrates results in increases in lipopolysaccharides (LPS) of peripheral blood in dairy cattle. In this experiment four Holstein steers, two of which having ruminal canulae with indwelling probes placed for measuring long term pH changes, were allotted into two dietary treatments in a cross-over design, where an acidogenic diet (AD) was formulated by including high amount of non-structural carbohydrates (NSC) based on corn silage and corn flake as TMR ingredients. Data for ruminal pH change and plasma LPS concentration were compared against normal diet (ND) which contained grass hay as forage and low NSC ingredients. Feeding AD for more than 14 days to animals brought about a pH change as low as less than 5.8 for more than 4 hours, which made good contrast to ND fed animals. Decreased ruminal pH also had an effect on LPS concentrations which showed significantly higher level for AD compared with ND. Therefore, plasma LPS concentration may be used as an effective indicator to verify acidosis whether it is acute or chronic. Na-bentonite and Propylene glycol, which are frequently included in dairy TMR as additives, helped decrease ruminal pH by buffering and then ultimately alleviates SARA. Therefore, it could also be helpful to lower the occurrence of laminitis which is often caused by increased blood endotoxin (LPS) concentration.

(Key words : Holstein steer, Ruminal pH, Subacute ruminal acidosis (SARA), Acidogenic diet, Blood lipopolysaccharide (LPS))

I. 서 론

근래에 젖소의 유전적 개량으로 생산능력이 점점 높아지면서 이를 영양적으로 지원하는데 보다 많은 영양소가 요구됨으로써 소화기 질환이나 대사장애 등 부작용이 빈발하고 있다. 그 중에서도 제1위과산증(Ruminal Acidosis, RA)은 반추동물에서 가장 빈번하게 일어나는 소화기 질환으로, 동물이 갑자기 곡물이나 소화가 잘 되는 고영양사료를 다량으로 섭취하였을 때 제1위 내용물의 pH가 비정상적으로 저하하는 상태를 말한다(Ruminal Acidosis, 2007). 제1위과산증(RA)은 만성(Chronic)과 아급성(Subacute)으로 구분되는데, 만성은 제1위의 pH가 6.0 이하로 장시간 유지되는 것인 데 반해 아급성(Acute)은 적어도 3시간 이상 pH가 5.2~5.5 사이로 떨어지는 상태를 가리킨다(Cooper and

Klopfenstein, 1996). 아급성제1위과산증(Sub-acute ruminal acidosis, SARA)은 외견상 나타나는 증상만으로 확인하기가 쉽지 않다(Gozho et al., 2005).

그럼에도 불구하고 Plaizier et al. (2012)은 반추동물에서 일어나는 아급성제1위과산증(SARA)과, 그로 인한 제염염(Laminitis), 간농양(Liver abscesses) 등의 급성 반응이 일어나는 이유를 유리 Lipopolysaccharide (LPS)와 장내 세균에서 유래한 내독소(endotoxin)가 제1위에서 내부 순환계로 이동하기 때문이라고 하였다. Plaizier et al. (2012)은 또한 혈류 중 LPS의 농도가 높아지는 것은 장내 pH가 강산성으로 되면서 상피의 보호막 기능을 상실하게 만들어 LPS의 이동을 허용하는 데 기인한다고 하였다.

혈관 속에 존재하는 LPS는 proinflammatory cytokine, 활성 산소(reactive oxygen), 질소대사체, 그리고 생리활성 지

* Corresponding author : Yong Suk Son, Korea University, Tel: +82-2-3290-3051, Fax: +82-2-923-6489, E-mail: yskson@korea.ac.kr

방 (bioactive lipids)을 대량 생산해내고, 이들은 숙주의 대사 반응에 관여하여 염증을 일으킨다 (Baumann and Gauldie, 1994). 젖소의 반추위 내 pH의 저하를 예방하기 위하여 사료에 첨가되는 물질로 중조 (Sodium bicarbonate)와 소듐벤토나이트 (Sodium-bentonite; NaB)를 들 수 있는데, 이들은 제1위 내 pH의 급격한 저하를 방지하거나(손 등, 1998), 반추위미생물의 발효환경을 일정하게 유지시켜 사료섭취량과 유생산량을 증가시킬 뿐 아니라, 유성분 농도를 이상적으로 유지시키는 기능을 한다 (NRC, 2001). 한편 프로필렌글리콜 (Propylene glycol; PG)은 비유초기의 착유우에서 문제되기 쉬운 체지방 분해와 관련하여 (-)에너지 균형을 개선하는 효과를 기대할 수 있어 근래에 국내에도 많이 응용되고 있는 첨가물이다 (Kristensen and Raun, 2007). Owens et al. (1998)은 소에서의 과산증을 예방하기 위해 급여하는 사료 첨가물은 젖산 생성을 비롯하여 과산증과 관련된 미생물을 효과적으로 억제하는 성격을 갖도록 하는 것이 중요하다 하였는바, 특히 조농비가 크게 낮아지기 쉬운 비유초기 젖소사료에 있어 PG의 첨가는 관련 반추위 내 미생물대사와 관련하여 긍정적 또는 부정적 효과를 줄 수 있으므로, 이에 대한 구명이 필요시 된다.

이에 본 연구는 아급성제1위과산증 (SARA)의 강도를 판정함에 있어 혈 중 LPS 농도의 유효성을 평가하고, 동시에 제1위 내용물의 pH를 정상 범위 내에 유지하기 위한 첨가물의 효과를 알아보기 위한 목적으로 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시축 및 사양 관리

2013년 7월에서 9월까지 경기도 남양주시 소재 고려대학교 부속농장에서 사육하는 평균 체중 500 ± 20 kg의 제1위 누관 (cannula)이 장착된 Holstein 거세우 4두를 계류식 우사 (stanchion barn)에 수용하였다.

공시축은 사료 내 비섬유성 탄수화물 (non-fiber carbohydrate, NFC)을 기준으로 적정 수준의 NSC를 포함하고 있는 정상 사료군 (Normal diet, ND)과, 아급성제1위과산증 (Subacute ruminal acidosis, SARA) 유발가능 사료군 (Acidogenetic diet, AD)의 2개 처리구에 각 2두씩 배치하여 Cross-over 설계로 사양실험을 반복 실시하였다.

과산증 유발사료와 대조하기 위하여 배합된 정상사료 (Normal Diet, ND) 경우에는 화본과 및 콩과 건초를 조사료로 한 전형적인 TMR을 배합하였고, 제1위과산증 유발사료 (Acidogenic Diet, AD)의 배합에서는 건초 대신에 옥수

수사일리지 (황숙기 수확, pH 4.4)를 조사료로 하고 속발효성 탄수화물인 옥수수후레이크와 당밀을 더 높은 수준으로 포함시켰으며, 궁극적으로 TDN과 조단백질 함량에 거의 차이가 없도록 배합하였다.

사료의 영양수준은 한국가축사양표준-젖소 (2012)에 따라 체중 500 kg, 일당증체량 0.7 kg을 충족시키는 기준으로 설계하였다. 처리구별 배합비는 Table 1에 제시한 바와 같으며, 사료는 1일 2회 (오전 6시와 오후 6시)에 급여하였다. 음수는 실험기간 동안 자유 섭취 (ad libitum)하도록 하였다. 처리구 변경 시마다 급여사료의 배합비는 7일 간의 적응기간을 두었으며, 14일간 급여 후에 시료를 채취하였다. 기타 사양관리는 농장 관행에 준하였다.

2. 사료용 첨가물 급여

Table 1. TMR formula and chemical composition for normal and acidogenic Diet

Ingredient, %DM	Treatment	
	(% DM basis)	
	Normal Diet	Acidogenic Diet
Corn Silage	—	17.3
Timothy hay	35.3	—
Alfalfa hay	27.8	—
Wheatbran	8.2	12.2
Corn flake	3.6	21.4
Corn gluten feed	5.4	19.5
Beet pulp	3.8	8.3
Molasses	2.4	14.7
Pelleted supplement ¹⁾	13.5	6.6
Chemical Composition ²⁾		
DM	72.16 $\pm$ 0.45	70.33 $\pm$ 0.34
Ash	8.81 $\pm$ 0.03	6.47 $\pm$ 0.05
CP	17.15 $\pm$ 0.30	17.58 $\pm$ 0.43
NDF	35.77 $\pm$ 1.43	32.54 $\pm$ 1.14
ADF	25.82 $\pm$ 1.39	21.75 $\pm$ 1.13
EE	4.29 $\pm$ 0.11	4.46 $\pm$ 0.23
NFC ³⁾	35.67	39.44
TDN ⁴⁾	69.46	71.16

¹⁾ Contained ground barley, ground corn, canola meal (heat-treated), soybean meal (treated) / Vit A: 7,000,000 IU, Vit D3: 1,500,000 IU, Vit E: 25,000 mg, Mg: 55,000 mg, Fe: 25,000 mg, Zn: 68,000 mg, Cu: 15,000 mg, I: 600 mg, Co: 250 mg, Se: 400 mg, Min: 17,000 mg, Ethoxyquin: 6,500 mg.

²⁾ Mean $\pm$ SD. n=3

³⁾ NFC = 100-(Ash + CP + NDF + EE) (Mertens, 1997).

⁴⁾ TDN = 93.53-(1.03 $\times$ ADF) (Ishler et al, 1996).

첨가제 급여가 제1위 내 pH 변화패턴과 혈 중 LPS 농도의 변화에 미치는 효과를 관찰하기 위하여 해당 처리구의 경우 사료용 완충제로 이용되는 소듐벤토나이트(NaB; 'BIONIT'- H사)를 분말 형태로 두 당 1일 2회 각 60 g 씩 TMR에 혼합하여 급여하는 한편, 액상 프로필렌글리콜(PG; 'MPG'- S사)을 해당 처리구에 두 당 1일 2회 각 100 ml 씩 사료 급여 직전에 골고루 혼합하여 급여하였다.

3. 반추위 내 pH 측정

반추위내용물의 pH 측정에는 체류형 pH 측정장치(Indwelling pH probe; DASCOR LRCpH Series-4)를 누관을 통하여 제1위의 복낭(Ventral sac)에 정치시킨 다음 시간 경과에 따른 변화를 추적하였다(Fig. 1). 측정 간격은 10분으로 지정하여 총 14일 간 체류시킨 다음, 인출하여 공시 사료 급여에 따른 pH의 변화패턴을 조사하였다. 인출된 프로브는 세척한 후 인출한 칩을 컴퓨터에 연결을 하여 데이터를 기록하고, 포맷을 실시한 다음 다시 결합하여 해당 처리구의 공시동물에 재사용하였다.

Fig. 1. Indwelling probe(DASCOR LRCpH S-4) used in the experiment.

4. 혈액 채취 및 LPS (Lipopolysaccharide) 측정

사양시험의 각 처리기간별로 3일 및 4일째에 공복, 급여 4시간 및 6시간에 미근정맥으로부터 진공채혈관(vacutainer)을 이용하여 혈액을 채취하고, 실험실로 운송한 다음 혈장을 분리하였다. 혈장 내 LPS 농도의 분석에는 Levin and Bang (1964)의 내독소 분석방법에 기초하여 제조된 Test Kit (Toxin Sensor Chromogenic LAL Endotoxin Assay Kit No. L00350)를 사용하였으며, 매 시료 당 3반복으로 분석하였다.

5. 통계처리

SAS software package (ver. 9.3, SAS Institute, NC, USA)를 이용하여 분산 분석을 실시하였으며, 처리구의 평균치 간 유의성 검정을 Duncan's multiple range test로 5% 수준에서 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 공시사료의 영양적 특성

아급성제1위과산증(SARA)은 이제 고능력 젖소에서 나타나는 일반적인 현상이 되었으며(Gozho et al., 2007), 근래에 국내 젖소에서 발생빈도가 높아지고 있는 제염염(Laminitis) 역시 일차적으로는 속발효성 탄수화물의 과다 급여, 즉 사료 내 높은 NFC 수준에 기인한 제1위내용물의 pH 저하, 그리고 그로 인해 용해(lysis)되는 그람음성(-)균에서 유래하는 내독소(Lipopolysaccharides, LPS)에 기인한다고 볼 수 있다. 이에 본 연구에서는 아급성제1위과산증을 유발할 가능성이 높은 성격의 사료(TMR)를 배합하여 급여하면서 제1위 내 pH의 변화를 장시간 추적함과 동시에 그에 따른 혈 중 LPS의 농도변화를 관찰하고자 하였다. 그리고 사료용 첨가물로 이용되는 NaB 및 PG 급여가 SARA와 관련된 부정적 효과를 어느 정도 개선할 수 있는지를 관찰하였다.

Table 1에 제시된 바와 같이, 제1위과산증 유발사료(Acidogenic Diet, AD)의 배합비를 정상사료(Normal Diet, ND)와 비교해보면, ND에 포함된 화본과 건초 대신에 옥수수사일리지(황숙기 수확, pH 4.4)를 조사료로 하고 옥수수 후레이크와 당밀을 더 높은 수준으로 포함하였다. 화학분석 또는 계산식을 이용하여 산출된 에너지(TDN)와 조단백질(CP)의 함량에 있어 두 처리구 간에 커다란 차이를 보이지 않았지만, AD는 ND에 비하여 NDF 및 ADF 함량에

있어 각각 3~4% 단위 낮은 반면, 비섬유성탄수화물(NFC)은 3.8% 단위 더 높은 것으로 나타나 실제로 아급성제1위과산증을 유발하기 쉬운 사료조성을 가졌다고 판단되었다.

2. 사료조성에 따른 반추위내용물의 시간별 pH 변화

제1위내용물의 pH를 측정함에 있어 제1위 복낭에 정치시킨 체류형 pH 측정기(Indwelling probe)는 장기간의 변화를 관찰할 수 있다는 커다란 장점을 가졌다(Fig. 1). 반추위 내 섬유질 분해를 최적화하기 위한 적정 pH는 6.0~6.4 이상으로, 기존 보고에서 보면, 연구자에 따라 SARA의 정의를 다소 달리함을 알 수 있다. Cooper et al. (1999)과 Gozho et al. (2005)은 하루 중 제1위내용물의 pH가 5.6 이하의 낮은 상태로 최소 3시간 이상 지속되는 경우 아급성제1위과산증(SARA)으로 간주하고, 이때 비정상적 사료섭취 양상, 연변, 체중감소, 제염염 등이 발생할 수 있다고 하였다. Kruase and Combs (2003)의 실험에서는 pH 5.8 이하의 상태가 지속될 때를 주목하였다. Fig. 2는 TMR의 형태로 AD 또는 ND를 급여한 후 추적한 반추위 내 pH의 시간변화를 비교한 것으로, 제1위 내 pH는 두 처리구 공히 사료 급여시점을 중심으로 주간적 변화(Diurnal variation)를 보였다. 즉 TMR 섭취를 시작한지 4시간 이내에 pH가 저하되다가 약 8시간이 지나면서 다시 서서히 증가하는 양상을 보였는데, 이때 ND 급여구의 경우에는 pH 6.4에서 7.0 이하의 범위 내에서 변화를 보인 반면, AD 급여구는 pH 5.5에서 6.5의 범위로 더 커다란 변화 폭을 나타내었다. 제1위 내 평균 pH의 최저치가 6.4 이상을 나타낸 ND 급여구와는 달리, AD 급여구는 급여시간 구간 내에서 pH가 6.0 이하로 지속된 누적시간이 8시간을 상회하였음을 볼 때, AD의 구성사료 및 배합비로 공시축은 아급성제1위과산증에 매우 근접하는 상태에 도달해 있었다.

Fig. 2. Comparison of changing pattern in ruminal pH between normal diet (ND) and acidogenic diet (AD).

3. 첨가제 공급에 따른 반추위내용물의 pH 및 혈 중 LPS 농도의 변화

혈장의 LPS 농도는 사료급여 직전(0시간)과 급여 후 4 및 6시간에 채취한 혈액으로부터 얻은 혈장에 대하여 측정하였으며, 이때 제1위내용물의 pH 변화를 완충시키고 대사를 촉진하는 것으로 알려진 소디움벤토나이트(NaB) 및 프로필렌글리콜(PG)을 사료에 첨가하였을 때 제1위 내 pH 변화 및 혈 중 LPS에 미치는 효과를 조사하였다. Fig. 3은 제1위과산증 유발사료(AD)를 대조구로 하고 여기에 NaB를 혼합 급여한 처리구의 pH 변화양상을 보여주는 것이다. 반추위 pH AD와 NaB 처리구가 유사한 패턴을 보이며 변화하였지만 AD 급여구의 경우, pH 5.8 이하의 낮은 수준을 약 5시간 유지하였는데 반하여, NaB 첨가급여구에서는 pH가 6.0 이하에 머문 누적시간이 약 3시간에 불과하였다. 최저 pH가 아닌 시간영역에서도 NaB 혼합급여구는 AD 급여구에 비하여 평균적으로 pH 약 0.2 단위가 더 높은 수준에서 변화함으로써 NaB가 급성이 아닌 아급성 또는 만성형 제1위과산증을 개선하는 효과를 보여주었다.

한편 Fig. 4는 PG를 급여한 후 제1위 내 pH의 변화양상을 AD 급여구와 비교한 것이다. PG를 1회에 100 ml씩 일주일 동안 급여하였을 때 반추위 내 pH가 6.0 이하로 내려간 누적시간은 약 2시간 20분으로 측정되었는데, 이는 pH 5.8 이하를 보인 누적시간이 약 5시간에 달한 AD 급여구와 비교되는 결과이다. PG는 반추동물의 대사과정에 포도당신생합성(Gluco-neogenesis)을 위해 공급되는 포도당 전구물질로서 사료에 첨가 급여되는 화합물인데(Kristensen and Raun, 2007), 본 실험에서는 PG 본래의 기대효과에 추가하여 급여 시 반추위 내 pH의 저하를 방지하거나 저하의 가속화에 영향을 미치지 않음이 관찰되었다. 따라서 비유 초기 착유우에서 (-) 에너지 균형을 개선하기 위하여

Fig. 3. Comparison of changing pattern in ruminal pH between acidogenic diet (AD) and Na-bentonite (NaB).

Fig. 4. Comparison of changing pattern in ruminal pH between acidogenic diet (AD) and Propylene glycol (PG).

공급되는 PG의 공급은 최소한 SARA를 가속화 하지는 않을 것으로 사료된다.

Galyean and Chabot (1981)은 조사료 위주로 사양한 비육우에 NaB를 첨가한 경우에는 반추위내 pH 저하를 억제하는 효과가 나타나지 않았다고 보고 한 바 있다. 이것은 그들의 실험에서는 급여사료로 50~84%의 옥수수 사일리지를 사용하였지만 본 시험에서는 30% 내외로 농후사료 위주의 급여를 하였기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 완충제로 NaB를 사용할 경우 젖소 고능력우나 비육우를 위한 농후사료 위주의 사양형태에서 보다 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 사료용 첨가물 급여가 혈액 내 LPS 농도 변화에 미치는 효과

Fig. 5는 공시사료를 급여하면서 혈액을 채취하여 얻은 혈장에 대하여 LPS를 정량 분석하여 얻은 결과이다. 전체적으로 LPS의 농도는 AD 급여구에서 현저히 높아 ND 급여구와 뚜렷한 차이를 보였으며, NaB 첨가구와 PG 첨가구는 둘 간의 중간에 해당하는 혈장 농도를 보여 AD 급여구에서 나타나는 부작용을 완화시키고 있음을 암시하였다. 즉 완충제로서 NaB를 급여한 경우 공복시에는 AD와 큰 차이를 보이지 않았으나 아침사료에 NaB를 혼합 급여함으로써 혈 중 LPS 농도가 뚜렷이 낮아진 것을 확인할 수 있다.

PG를 사료에 일주일 간 첨가 급여하였을 때 LPS의 농도는 PG 급여구에서 식후 6시간에 제일 높은 수준을 보였는데 반하여 AD는 식후 4시간에 가장 높았는데, PG의 첨가 급여로 AD 급여구나 NaB 첨가구에 비해 유의적으로 낮은 농도를 나타내었다 ($p < 0.05$).

Nagaraja et al. (1978)은 제1위 내 pH가 낮아질 경우에는 많은 양의 gram negative 세균이 사멸하여 소장 내로

Fig. 5. Comparison of plasma LPS concentration between normal diet (ND), acidogenic diet (AD), Na-bentonite addition (NaB), and Propylene glycol addition (PG).

^{a,b,c,d} Different superscripts among the treatments at each time (hr) represent significant differences ($p < 0.05$).

endotoxin이 유출되고, 그 흡수로 인한 endotoxin shock가 산중독증의 원인이 된다고 하였다. 이상의 연구결과를 종합해 볼 때, 혈 중 LPS 농도는 장기적인 제1위과산증 및 제염염 등을 암시하는 유효한 지표로서 활용 가능할 것으로 사료된다.

IV. 요 약

본 시험은 젖소 4두에 대하여 제1위체류형 센서(Indwelling probe)를 장치시키고 이를 이용하여 아급성제1위과산증(SARA)의 강도를 조사함과 동시에 pH가 혈 중 내독소(Lipopolysaccharide; LPS)의 농도에 미치는 효과를 알아보기 위하여 수행되었다. 비섬유성탄수화물(Non-fiber carbohydrates, NFC)을 기준으로 적정 수준의 NFC를 포함하고 있는 정상 사료군(Normal diet, ND)과, 아급성제1위과산증(Subacute ruminal acidosis, SARA) 유발가능 사료군(Acidogenic diet, AD)의 2개 처리구에 각 2두씩 배치하여 Cross-over 설계로 사양실험을 반복 실시하였다. 제1위체류형 센서는 장시간에 걸친 제1위 내 pH의 변화를 추적하는 데 효과적이었다. 얻어진 결과에서 AD 급여는 반추위내용물의 pH를 낮추는 데 커다란 영향을 주었으며, 반추위 내 pH의 저하는 혈 중 LPS의 농도가 증가로 이어짐을 확인할 수 있었다. 따라서 혈 중 LPS 농도는 급성 또는 만성형을 불문하고 과산증을 확인하는 지표로 사용 가능할 것으로 판단된

다. 또한 착유우용 사료첨가물로 많이 이용되는 소듐벤 토나이트(NaB)와 프로필렌글리콜(PG)의 급여는 반추위 내 pH의 저하를 완충시켜 궁극적으로 SARA의 강도를 완화시키고 혈 중 Lipopolysaccharides (LPS) 농도의 증가를 줄여 줌으로써 내독소에 의해 발생하기 쉬운 제염염 등의 부작용을 완화시키는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

V. 사 사

본 연구는 농촌진흥청의 연구비 지원(PJ907128)으로 수행되었음

VI. REFERENCES

- Baumann, H. and Gauldie, J. 1994. The acute phase response, *Immunological Today*. 15:74-80.
- Chung, Y.-H., Martinez, C.M., Brown, N.E., Cassidy, T.W. and Varga, G.A. 2009. Ruminant and blood responses to propylene glycol during frequent feeding. *Journal of Dairy Science*. 92:4555-4564.
- Cooper, T.R., Klopfenstein, T.J., Stock, R.A., Milton, C.T., Harold, D.W. and Parrot, J.C. 1999. Effects of imposed feed intake variation on acidosis and performance of finishing steers. *Journal of Animal Science*. 77:1093-1099.
- Counotte, G.H.M., Lankhorst, A. and Prins, R.A. 1983. Role of DL-lactic acid as intermediate in rumen metabolism of dairy cows. *Journal of Animal Science*. 56:1222.
- Dunn, B.H., Emerick, R.J. and Embry, L.B. 1979. Sodium bentonite and sodium bicarbonate in high-concentrate diets for lambs and steers. *Journal of Animal Science*. 48:764.
- Emmanuel, D.G.V., Dunn, S.M. and Ametaj, B.N. 2008. Feeding high proportions of barley grain stimulates an inflammatory response in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 91:606-614.
- Gaylean, M.L. and Chabot, R.C. 1981. Effect of sodium bentonite, buffer salts, cement kiln dust and clinoptilolite on rumen characteristics of beef steers fed a high roughage diet. *Journal of Animal Science*. 52:1197-1204.
- Gozho, G.N., Plaizier, J.C., Krause, D.O., Kennedy, A.D. and Wittenberg, K.M. 2005. Subacute ruminal acidosis induces ruminal lipopolysaccharide endotoxin release and triggers an inflammatory response. *Journal of Dairy Science*. 88:1399-1403.
- Gozho, G.N., Krause, D.O. and Plaizier, J.C. 2006. Rumen lipopolysaccharide and inflammation during grain adaptation and subacute ruminal acidosis in steers. *Journal of Dairy Science*. 89:4404-4413.
- Gozho, G.N., Krause, D.O. and Plaizier, J.C. 2007. Ruminant lipopolysaccharide concentration and inflammatory response during grain-induced subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90:856-866.
- Ivan, M., Dayrell, M.S. and Hidirolou, M. 1992. Effects of bentonite and monensin on selected elements in the stomach and liver of fauna-free and faunated sheep. *Journal of Dairy Science*. 75:201.
- Khafipour, E., Krause, D.O. and Plaizier, J.C. 2009a. A grain-based subacute ruminal acidosis challenge causes translocation of lipopolysaccharide and triggers inflammation. *Journal of Dairy Science*. 92:1060-1070.
- Khafipour, E., Krause, D.O. and Plaizier, J.C. 2009b. Alfalfa pellet-induced subacute ruminal acidosis in dairy cows increases bacterial endotoxin in the rumen without causing inflammation. *Journal of Dairy Science*. 92:1712-1724.
- Krause, K.M., Combs, D.K. and Beauchemin, K.A. 2002. Effects of forage particle size and grain ferment ability in midlactation cows. II. Ruminant pH and chewing activity. *Journal of Dairy Science*. 85:1947-1957.
- Kristensen, N.B. and Raun, B.M.L. 2007. Ruminant and intermediary metabolism of propylene glycol in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 90:4707-4717.
- Levin, J. and Bang, F.B. 1964. A description of cellular coagulation in the Limulus. *Bull. Johns Hopkins Hosp.* 115:337-345.
- Nagaraja, T.G., Bartley, E.E., Fina, L.R. and Anthony, H.D. 1978. Relationship of rumen gram-negative bacteria and free endotoxin to lactic acidosis in cattle. *Journal of Animal Science*. 47:1329-1336.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 17th revised edition. National Academy Press. Washington D.C.
- Owens, F.N., Secrist, D.S., Hill, W.J. and Gill, D.R. 1998. Acidosis in cattle: a review. *Journal of Animal Science*. 76:275-286.
- Plaizier, J.C., Khafipour, E., Li, S., Gozho, G.N. and Krause, D.O. 2012. Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Animal Feed Science and Technology*. 172:9-21.
- 손용석, 김수홍, 홍성호, 이성호. 1998. 벤토나이트와 맥반석의 급여가 반추위 내 완충능력과 발효양상에 미치는 효과. *한국낙농학회지*. 20:21.
- 한국젖소사양표준-젖소. 2012. 농촌진흥청 축산과학원.

(Received November 27, 2013/Revised December 17, 2013/Accepted December 19, 2013)