

반추동물의 제1위 과산증 (Rumen acidosis)과 제1위 미생물의 관계



문 병 현
건국대 대학원

서 론

반추동물은 단위동물이나 인간에서는 이용되지 못하는 섬유소(Cellulose)를 소화할 수 있는 반추위 소화기관을 가지고 있어 섭취된 섬유소, 농후사료(탄수화물, 단백질, 지방), 광물질, 비단백태질소화합물(NPN)등을 반추위에서 혐기성세균(Rumen anaerobic bacteria)이나 원생동물(Rumen protozoa)에 의해 발효되고, 발효산물(VFA, NH₃, 무기이온 등)은 반추위에서 흡수되게 한다.

그러나 반추위 미생물총이 반추동물이 발효되기 쉬운 고탄수화물성사료를 대량으로 섭취하면 반추위내 pH의 저하로 Cellulose를 분해하는 정상세균총과 원충의 파괴로 섬유소의 이용율이 낮아지고 반추위내에 과량의 유산(Lactic acid)과 독성물질이 생성됨으로써 반추동물에 제1위관산증과 같은 대사장애가 발생하고 제1위염(Rumentis)이나 간농양(Liver

abscess) 등의 발생이 증가한다.

반추동물은 반추위에 대사장애가 발생하면 2~6시간 이내에 반추위미생물의 수에 현저한 변화가 생긴다. 즉 탄수화물을 이용하여 다량의 유산을 생성하는 *Streptococcus bovis*(연쇄상구균)이나 *Lactobacilli*의 수가 현저히 증가하며, 이때 D-Lactate 및 L-Lactate가 다같이 형성되나 간장에서 L-Lactate가 더 신속히 이용되기 때문에 D-Lactate가 축적되어 심한 과산증을 일으켜 제1위 삼투압은 현저히 상승되고 전신혈액순환에서 수분이 반추위내로 빠져나오게 됨으로써 혈액농축증과 탈수증이 초래된다. 이와같이 pH 5이하의 상태로 되면 반추위의 운동은 정지된다.

반추동물에서의 Lactate(유산)는 반추위내에서 주로 유산분해 세균인 *Lactobacilli*, *Streptococcus bovis*, *Ruminococcus*, *Succinivibrio*, *Dextrinosolvens*, *Lachnospira multiparus*, *Eubacterium*, *Butyr-*

ivibrio, Bacteroides any Lophilus, Succinimonas amylolytica, Selenomonas ruminantium 등에 의해서 분해되며 M. elsdenii(Peptostreptococcus elsdenii), Veillonella alcalescens는 유산이용세균(Lactate utilizer)으로서 농후사료가 급격한 발효를 하는 조건에서는 유산생성세균(Lactate-producing bacteria)은 증가되지만 유산이용세균(Lactate-utilizing bacteria)은 증식이 억제된다.

반추위의 이상발효로 제1위과산증이 발생되었을 때 반추위기능의 정상적인 복구를 위한 처치가 중요시 되었다. 이를 위해서 제1위과산증의 새로운 예방법으로 비적용 소에게 다수의 유산이용균을 함유하는 적응소의 반추위액(Rumen juice)을 투여하는 새로운 방법이 학자들에 의해서 연구되기 시작하였고, 건조시킨 반추위내용고형물(SRE)도 상품화되어 있다. SRE는 제1위내의 유익한 미생물의 증식을 촉진시켜주는 영양배지로서 반추위이상발효의 보조예방·치료제로서 큰 효과를 나타내는 것이 야외 임상시험 결과에 의해서 밝혀지고 있으며 실제로 SRE를 다른 요법과 함께 병용하거나 또는 이 SRE만을 사용하여 우수한 치료효과를 거두고 있다고 보고되고 있다.

국내 낙농업의 현 실정은 초지확보 상태가 저조하여 농후사료에 주로 의존하는 사양형태로서 농후사료 과다급여에 의한 젖소의 경제적 수명 단축, 생산비과중, 생산성 저하의 3중적 경제손실을 보고있어 국제 경쟁력 있는 낙농업 발전에 막대한 지장이 있는 실정이다.

따라서 본고에서는 외국에 비해 국내에서는 SRE와 반추위내에 존재하는 유산균과의 상호관계에 대해 체계적인 연구가 되지 못하고 있기 때문에 필자가 국내외에서 수집한 최신자료를 종합 검토하여, 낙농가들에게 참고자료로서 제공하고자 한다.

1. 반추위세균의 종류와 기능



반추위세균중 순수배양(Pure culture)이 가능한 세균 중에서 제1위과산증과 관계있는 유산생성 이용세균에 대해 집중적으로 기술하고자 한다.

(1) 반추위내 세균(Bacteria)

반추위에 생식하는 세균의 다수는 반추위내가 산소가 극히 없는 혐기적(anaerobic) 환경이기 때문에 산소가 있으면 생식하지 않는 편성 혐기성균(strict anaerobic)과 혐기적, 호기적인 어느곳에서 생식 가능한 통성혐기성균(facultive anaerobic)이 있다. 또한 세균세포벽의 염색성 등의 차이로 분별되는 <그람염색법으로 염색 가능한 세균(그람 양성세균)과 염색되지 않는 (그람 음성균) 균종이 통상 다수를 점하는 우성(優性)세균이다.

반추위내에 다수의 세균 종류가 생식해서 자연계에 있어서 하나의 미생물 생태계를 형성하고 있지만, 이러한 세균의 전부가 알려지고 있지는 않다. Roll-tube법 등의 우수한 배양법이 개발되어 다수의

세균총이 분리 동정되고 있지만, 이 배양기법을 이용하여 얻은 반추위 총세균수는 반추위액(Rumen juice)을 직접 현미경으로 관찰(直接檢鏡法)해서 얻은 세균의 1~20%에 지나지 않고, 배양되지 않는 세균이 다수 존재하고 있는 것을 나타내고 있다.

ㄱ) 직접 현미경 검사법에 의한 세균의 분류

Moir 등(1952)의 면양의 반추위세균의 분류와 溱(1975)의 소의 반추위세균의 분류가 알려지고 있다

<표 1>.

분류는 그람염색성, 형태, 크기를 기준해서 전체의 세균군을 24군으로 나누어서 정리한 것이다. 이 분류표를 이용해서 사료급여 수준의 차이, 고창증시의 변이(變異) 등이 보고되고 있다.

ㄴ) 배양 가능한 반추위 세균

반추위는 사료나 음수에 의해서 외부로부터 세균이 도입되기 때문에, 반추위 내용물로부터 분리배양

<표 1> 루-멘 세균의 분류표(직접 경검법용)

군	군	그람염색성	형 태	크기(μm)	군 형
1	-	구 균	0.3~1.0		
2	±	구 균	1~1.7		
3	±	연쇄구균	1~1.7		
4	+	구 균	0.5~1.1		
5	+	연쇄구균	0.5~1.1		
6	-	곡옥형 구균	0.75~1.1		
7	-	만곡균(소형)	(0.2~0.4) × (0.8~4)		
8	-	만곡균(중형)	(0.4~0.7) × (1.7~4.5)		
9	-	만곡균(대형)	(0.7~1.5) × (2.6~7)		
10	-	나선균(소형)	(0.3~0.5) × (2~3)		
11	-	나선균(중형)	(0.2~0.35) × (3~8)		
12	-	나선균(대형)	(0.3~0.5) × (3~10)		
13	-	간균(소형)	(0.35~0.7) × (0.9~2)		
14	-	간균(중형)	(0.7~0.9) × (1.2~3)		
15	-	간균(대형)	(0.9~1.7) × (1.8~4.5)		
16	-	난형간균	(0.75~1.5) × (1.5~2.5)		
17	-	첨단성 간균	(0.6~1.3) × (1~2.7)		
18	-	첨단성 2련간균	(0.3~1.1) × (1.1~1.8)		
19	+	간균(소형)	(0.45~0.65) × (0.65~1.2)		
20	+	간균(중형)	(0.45~0.76) × (1.2~2.1)		
21	-	세장간균	(0.2~0.3) × (2~8)		
22	±	유포자간균	(0.6~1.2) × (1.5~4)		
23	+	연쇄간균	(0.3~0.7) × (1~3)		

되었어도 반드시 분리배양된 세균이 반추위 발효의 정상적인 유지에 관여하고 있지는 않다. 이 관점으로부터 반추위 내용물 1g 당 최저 10⁶개가 존재하는 주류균과 반추위의 발달과 함께 변동은 있어도, 비교적 다수상재하는 고유균을 반추위의 정상세균이라고 부른다.

정상세균 중 산소에 대한 발육태도에서 혐기적 환경에서만 발육하는 편성혐기성균, 호기적, 혐기적 환경의 어느곳에서도 발육되는 통성혐기성균, 호기적(aerobic) 환경에서만 발육되는 편성호기성균으로 분류된다.

① 통성혐기성 그람양성구균<유산생성세균>

Streptococcus bovis, Orla-Jensen(1919)

*Streptococcus bovis*는 반추위내에 흔히 호모 발효형 연쇄상구균(a Homofermentative *Streptococcus*)으로서 세포직경이 0.7~1.0 μ m이며 연쇄상구균이다. Glucose, fructose 등 다종류의 당(Sugars)을 이용하



는 것 외에 Starch, Pectin, 단백질 등도 분해하는 廣食性的 전분분해균(Starch Digesterso)로 분리되며 사람의 분변에서도 분리된다. 반추위 내에서 다른 균종에 비하여 수는 적지만 상재균으로 항상 존재한다.

Glucose로부터 Lactate, Acetate, Butyrate, CO₂를 9.9:0.5:0.2:0.4의 몰(mole)비로 생성하며 *Streptococcus bovis*는 Peptides와 아미노산(Arginine제외)을 요구하지는 않으나 CO₂는 생장개시를 위해서 요구된다. 특히 *Streptococcus bovis*균은 조사료 급여 가축에게 곡류사료(농후사료)를 일시에 다량으로 급여함으로써 급성 소화불량등에 소의 위내에서 급증하는 경향을 보이나 농후사료에 적용된 대부분의 가축에서 *S.bovis*의 농도는 건초급여 가축과 별 차이가 없다.

또한 균체의 다당체(Extracellular Polysaccharide)를 생성하며 이것은 고창증에 걸린 소의 반추위에서 포말(Blooming) 형성에 관여한다.

② 통성혐기성 그람양성구균<유산이용세균>

A. *Veillonella alcalescens*, Prerot(1933)

*Veillonella alcalescens*는 소에서 발견되나 그 수는 적고 이 세균이 소의 반추위에서 양적으로 중요하지는 확실치 않다. 이 균은 세포직경이 0.3~0.5 μ m인 작은 구균으로 2련, 단쇄 또는 집괴를 형성한다.

본균은 5탄당(Pentose)이나 6탄당(Hexose)의 탄수화물들을 에너지원으로 이용하지 않고 Pyruvate나 Lactate(Hexose) 등을 이용해서 Lactate를 Propionate, Acetate, H₂, CO₂로 발효시키는 반추위내의 중간대사산물의 이용균이다. 사람, 햄스터, 랫트 및 토끼의 구강내에서도 분리된다.

B. *Megasphaera elsdenii*(*Peptostreptococcus elsdenii*), Gutierrez 등(1959)

세포직경이 1.2~2-6. μ m인 대형구균으로 통상 구를 형성하나 때로는 2현구가 8~10개 연결된 형상

을 취하기도 한다. 본균은 Cellulose와 Starch는 이용하지 못하나 Glucose 및 fructose 등 약 6종의 당류를 이용한다. 또한 D-Lactate, 혹은 L-Lactate을 이용할 수 있는 것이 특징이며 Streptococcus bovis가 생성한 Lactate를 이용하는 중간대사물 이용균이기도 하다.

Lactate로부터 acetate, propionate, butyrate, iso-valerate, CO₂, H₂가스를 생성하고, Lactate를 이용하는 점이 특징이다. Peptostreptococcus elsdenii균은 어린 송아지 반추위에 많이 존재하나 성장함에 따라 농도가 감소된다.

③ 혐기성 그람음성 무아포간균

A. *Selenomonas ruminantium*(Certes), Wenyon (1926)

본균종은 3아종, 즉 Ruminantium, Lactilytica 및 Bryanti로 나누어지며 3아종 모두가 편모를 가지며 운동성이 있다. ruminantium과 lactilytica의 세포크기는 유사하며 0.6~1.0 μ m×2.7 μ m정도이다. Bryanti는 전자보다 다소 큰 편이며 2~3 μ m×5~10 μ m이다.

본균종은 Glucose, fructose, cellobiose 및 maltose를 공통으로 이용할 수 있으며 이외에도 많은 다른 당류를 이용할 수 있다. 그러나 그 능력은 균주에 따라 다르며 xylan, pectin 및 cellulose는 균주를 모두가 이용할 수가 없다.

Ruminantium과 Lactilytica는 arabinose, xylose, 및 galactose를 이용할 수 있지만 bryanti는 이들 당류를 이용할 수 없다. 본균종은 광식성의 수용성 당류분해균이고 암모니아를 동화해서 glutamate를 생성한다.

B. *Lactobacillus ruminis*, Sharpe(1973)

세포의 크기는 0.5~0.7 μ m×1~3.5 μ m이며 반곡형간균이다. 주모성편모를 가지며 운동성이 있다. 본균은 편성혐기성균이며 발육에 필요한 탄소원으로 Glucose, fructose, manose, galactose, maltose,

cellobiose, rapinose 등을 이용한다. 본균은 Xylose, arapinose, glycerol, starch, cellulose를 자원하지 않는 수용성당류분해균이다.

Glucose로부터 Lactate만을 생성하는 Homo형 유산발효균(Lactate-fermentating bacteria)이다. 같은 성질을 갖는 유산균인 Lactobacillus vitulinus(Sharpe 등, 1973)도 존재한다. 또한 반추위내로부터 분리되는 Lactobacillus속의 균종으로서 L. brevis, L. acidophilus, L. bluchneri, L. casei, L. plantarum, L. cellobiosus, L. fermenti 등의 통성혐기성균이 있다.

반추위내에는 여러가지 종류의 Lactobacillus 세균이 분리된다. Lactobacillus균은 어린 송아지 반추위내에 존재하는 중요한 세균이며 때로는 성축의 반추위에서 다량 분리되고 있다. Lactobacillus균은 산성 조건하에서 성장할 수 있고 5.0부근의 pH에서 복합 영양소+발효탄수화물을 공급함으로써 번성할 수 있다. 반추위에서 산성조건(acid conditions)은 Lactobacillus균의 뚜렷한 증식과 밀접한 관련이 있다.

2. 반추위 미생물 상호간의 관계

반추가축은 반추위미생물의 성장을 촉진하는 영양소를 제공하며, 반추가축과 반추위 미생물 사이의 영양적인 관계는 반추위미생물 생태계(ecosystem)의 유지에 있어서 근본적으로 중요하다.

반추가축의 반추위에서는 한 종류의 세균에 의한 소화산물이 다른 종류의 세균을 위한 영양소를 제공하는 전형적인 상관관계(Interrelationships)가 있으나 아직도 이 분야에 대하여 연구의 여지가 많다. 정상적인 반추위 발효에서는 Acetate, propionate, Butyrate, CO₂, Methane이 최종산물로서 생산되지만, 중간대사산물인 Lactate, Succinate, Carporic acid, H₂ 등이 축적되지 않는 것은 미생물 상호작용의 결과이다.

Cellulose 분해균 R.flavofaciens를 단독배양하면

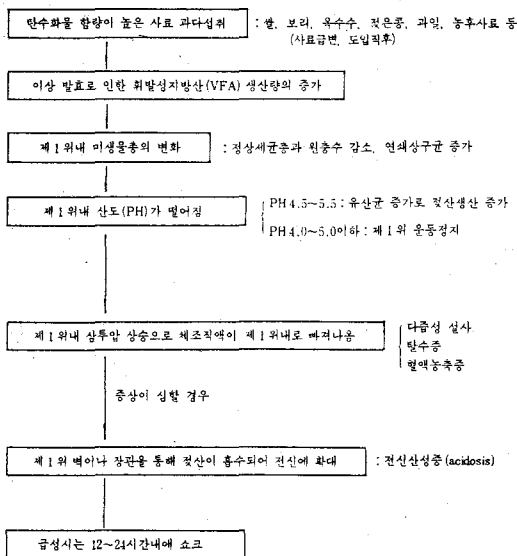
Acetate, Succinate, H₂가 각각 107, 93, 62, 37몰 (mole)이 Cellulose로부터 생산된다. 그렇지만 메탄 세균 *M. ruminantium*과의 공동배양에서는 Acetate 189, Succinate, 11, Carpic acid. 1, 메탄 83, 탄산가스의 증가가 나타났다. 이와같은 세균간의 상호관계는 *S. ruminantium*과 *B. succinogenes*, *S. ruminantium*과 *M. ruminantium*, *R. albus*와 *W. succinogenes* 사이에서도 인정되고 있다.

그리고 *L. bulgaricus*의 단백질 분해작용에 의하여 생성된 발린(VaLine), 히스티딘(Histidine), 메치오닌(Methonine), 글루탐산(Glutamate), 류신(Leucine) 등의 아미노산이 *Str. thermophilus*의 생육을 촉진하고, 또한 *Str. thermophilus*의 당대사에 의하여 생성되는 개미산(formic acid)과 피르빈산(Pyruvate)이 *L. bulgaricus*의 생육을 촉진하는 상호상관계가 인정되고 있다.

또한 세균과 섬유소분해세균이나 원충의 사이에 공존에 의한 대사나 생성물변환이 인정되고 있다.

3. Rumen acidosis의 발병원리와 질병과의 관계<표 1>

<표 1> 제1위 과산증의 발병원리



4. 건강한 소의 제1위내용추출물 (SRE) 첨가효과

반추위의 이상발효로 생긴 제1위과산증의 새로운 예방법으로서 제1위기능의 정상적인 복구를 위해 반추위액을 주제(主劑)로 하는 반추위기능을 촉진하는 제제(SRE)가 개발되어 사용되어져 있으나 SRE의 첨가효과에 대한 작용기전의 연구는 국내에서는 부진을 면치 못하고 있어 이분야에 대한 연구가 요망된다고 할 수 있다.

제1위과산증의 경과가 2~3일 이상까지 지연된 예나, 어떤 원인에 의해서 반추위미생물이 소실되고 pH의 현저한 변화로 인하여 장기간 식욕절폐가 계속되는 환축에 대해서는 미생물 이식법으로 미생물총을 재생시켜주면 매우 유효하다는 것이 밝혀지고 있다.

이식(移植)재료는 도축장을 이용하는 것이 편리하지만 살아있는 소에서도 입에 손을 넣거나, 또는 식피가 역류될 때에 늑골을 무릎으로 치면 쉽게 얻



을 수 있다. 또 특수한 펌프(Pump)를 이용하거나 Siphone원리를 이용하여 직접 반추위로부터 위액(Rumen Juice)을 채취할 수 있다. 이 때에는 생리 식염수 9-14ℓ를 펌프로 넣었다가 빼내면 더욱 편리하다. 채취한 재료는 물에 혼합하여 큰 고형물을 걸러내고 병에 넣거나 위관(胃管)을 이용하여 투여한다. 가능한 반복투여하는 것이 효과적이다.

Slyter(1971)는 소의 사료를 농후후사료로 바꾸기 전에 적응소에서 얻은 반추위미생물을 접종하였을 때에는 21일의 실험기간중, 증체율과 사료효율이 증진되었다고 보고하였다.

Juhasz는 송아지에게 건강한 소의 제1위 내용추출물(SRE) 300~500mg을 30mℓ의 우유물에 혼합시켜, 분만후 3~4일령에 1회와 10일령에 1회, 총 2회 투여하여 <표 2>와 같은 결과를 보고하였다.

<표> SRE투여에 의한 시험 성적

시 험 내 용	대조군	시험군
두 수	105	196
설사두수	68(64%)	5(2.5%)
사망두수	1(0.9%)	0
일당증체량(90일간의 평균)	872	1,056
g		

<실험결과 요약>

- ① 시험구는 설사증상을 일으킨 소가 적고, 설사를 해도 치료가 잘 되었다.
- ② 시험구의 일일평균증중은 90일간의 평균으로서 1,056g으로서 대조구보다 184g 증가하였다.
- ③ 건초섭취는 시험구 쪽이 시기도 빠르고, 양도 많았다.
- ④ 송아지 몇마리를 30일령에 실험적으로 도살 해 부해본 결과, 시험구의 반추위는 예외없이 대조구보다 잘 발달하고 컸다.

결 론

지금까지 제1위과산증 SRE 투여효과에 대한 관련문헌을 종합하여 정리하였다. 제1위과산증은 발효탄수화물의 과다섭취로 pH의 비생리적인 저하와 독성물질의 생산으로 생긴 대사성 질병으로서 소가 제1위과산증에 걸리게 되면 사료섭취량의 감소, 설사, 타액 생산량 감소, 장내활력 감소, 장내소화물 반전을(Turnover)감소, 체내에서 수분의 재분배, 체내로부터 독성물질의 제거율의 변화와 반추위, 간장과 다른 조직의 장애가 생기게 된다.

반추위의 이상발효로 생긴 반추위미생물의 혼란을 정상적으로 유지시켜주기 위해 건강한 소의 제1위내용 추출물을 이식시켜 반추위가 정상적으로 재활동도록 하여 제1위과산증에 우수한 효과를 나타내는 것이 많은 약외시험결과로 밝혀지고 있으며 SRE 제제가 상품화까지 되어 있다.

그러나 SRE의 효과에 대해서 이 유럽, 미국, 일본 등에서는 연구가 많이 진행되고 있으나 국내에서는 교과서 등에 일부가 수록되었을 뿐 체계적인 연구가 전혀 이루어 지지 않고 있어 이 분야에 대한 실험과 체계적인 문헌정리가 아쉬운 실정이다. 반추미생물 전공학자들의 적극적인 참여가 요망된다고 할 수 있다.

마지막으로 낙농가로서는 이들 학자들의 연구결과를 계속 예의주시하고 현장에서 효율적인 적용방안에 대해 계속 연구, 노력하는 자세를 부탁드리고 싶다.