

반추위 미생물에 미치는 생균제의 역할

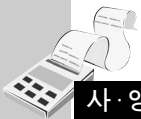


이상석 · 교수
순천대학교 동물자원과학과

I. 서언

지금까지 반추가축의 생산성 향상을 위해 많은 반추동물 영양학자 및 미생물학자들이 반추위의 발효조절 및 반추위미생물의 이용성을 높이기 위한 많은 연구를 진행하였다. 특히 최근 들어 성장촉진을 위해 사용되어 온 Ionophore 계통의 물질이나 항생제들이 배합사료내 사용이 금지되면서 이를 대체하기 위한 여러 가지 방안이 연구되었으며, 특히 최근 국내에서는 친환경축산과 안전한 축산물생산을 위해 무항생제 사료개발, 다양한 천연 성장촉진용 물질을 개발하는데 역점을 두고 있다.

이러한 추세 가운데 가장 많은 관심을 보이고 있는 대체물질로서 생균제 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다. 보조사료로서 생균제는 “장내 세균총의 제어를 통해 숙주동물에 유익한 영향을 미치는 물질” 이라고 정의하였으며 (Parker, 1974), 그 이후 “장내 세균총의 균형을 개선함으로써 생산성을 높이는 살아있는 미생물을 급여하는 것” 으로 생균제를 정의하였다 (Fuller, 1989). 한편 1989년 미국의 사료업계에서는 FDA(미국 식약청, Food and Drug Administration)와 USDA(미국 농림부, United States Department of Agriculture)와의 연계를 통해 생균제를 “direct-fed microbials (DFM)” 이라는 용어를 사용하기로 하였다. 그러나 지금까지의 생균제의 정의는 반추가축의 중심이 되는 반추위내 존재하는 반추미생물 작용과 하부기관내의 효과를 고려하지 않았다. 이에 Kmet 등 (1993)은 반추동물용 생균제는 “동물의 건강과 영양을 증진시키기 위해 반추위내로 유입시킨 살아있는 미생물 배양체” 이라고 정의하였다. 따라서 반추동물에게 사용되는 생균제는 반추위와 하부장기내 미생물의 작용에 도움을 줌으로서



반추가축의 생산성을 증진시키는 미생물 배양제라고 할 수 있다.

지금까지의 연구결과에 의하면 반추동물내 생균제급여시 건물섭취량, 섬유소 분해율, 유생산량 등의 증가 및 반추위내에서 pH 안정화, 섬유소분해 미생물과 젖산이용미생물의 증가를 통해 반추위 발효가 증진되는 것으로 보고되고 있다. 특히 지금까지의 사양시험을 통해 생균제 급여 효과는 가축이 스트레스를 많이 받는 기간이거나 사료교체나 고농후사료급여시 보다 효과적으로 이용될 수 있는 것으로 알려져 있다. 더불어 현재까지의 다양한 결과들을 살펴보면 생균제급여시 일당중량량은 무처리구에 비해 대체적으로 2.5~5%, 0.75~2.0kg의 유생산량 증가 및 약 2%정도의 사료효율 증가가 있는 반면에 사료섭취량, 유성분의 변화는 미비한 것으로 보고되고 있다. 또한 이미 알려진 것처럼 생균제의 주요 기능인 경쟁적 배제 작용에 의해 닭과 돼지의 주요 병원성미생물인 살모넬라(*Salmonella*), 대장균(*E. coli*)의 장내 정착을 저해하는 효과가 있는 것과 마찬가지로 *E. coli* 및 *E. coli* O157:H7 감소 효과가 이미 여러 연구자들을 통해 보고되었다.

그러나 이처럼 다양한 급여효과에도 불구하고 생균제로 사용되는 미생물의 종류, 급여수준, 급여기간, 사료의 종류, 동물의 성장단계 등에 의해 효과측면에서 많은 차이를 보여주고 있다. 따라서 본고에서는 반추가축에 있어서 생균제의 사용과 올바른 이해를 위해 반추가축용 주요 생균제의 종류, 생균제의 작용기전 및 생균제가 반추위발효에 미치는 영향을 알아봄으로서 반추위발효조절을 위한 미생물의 이용효과를 점검하고자 한다.

1. 반추동물과 반추위 미생물

대부분 축산을 하신 분들이 알고 있는 것처럼 한우, 비육우, 유우, 산양, 사슴 등과 같은 반추동물은 다른 돼지나 닭과 달리 매우 크고 복잡한 4개(혹위, 별집위, 겹주름위, 주름위)의 위의 구조를 가지고 있다. 특히 반추동물에서 가장 중요한 역할을 담당하고 있는 혹위와 별집위로 구성되어 있는 반추위는 전체 위 용적의 약 60~80% 정도로서 섬유소나 조섬유 등의 구조 탄수화물과 비단백태질소화합물 등 다른 포유동물이나 인간에게 전혀 사용하지 못하는 사료자원을 반추위내 존재하는 미생물에 의한 발효작용을 통해 필요한 영양소로 이용한다.

반추동물의 반추위내 존재하는 주요 미생물은 크게 박테리아, 프로토조아 및 곰팡이로 분류할 수 있다. 우선 반추위 박테리아는 혐기성의 원핵세포로서 현재까지 200여종이 분류되었으며, 대부분이 구균이나 단간균으로 반추위내에는 위액 ml당 약 10¹⁰~10¹²마리가 살고 있다. 반추위내 박테리아의 반추위내 주요 기능으로는 당질대사, 단백질대사, 지질대사 등으로 통해 탄수화물, 질소화합물, 사료지방, 독성물질을 분해하는 작용을 한다. 또한 반추위내 프로토조아의 종류는 400여 종이 넘는 것으로 현재까지 알려져 있으며, 박테리아에 비하여 반추위 미생물 총수의 약 2% 정도밖에 되지 않지만 용적이 크기 때문에 반추위 미생물 총량의 약 40~50%를 차지한다. 반추위내에서 프로토조아는 소가 사료를 섭취시 박테리아보다 빨리 접근하여 사료를 분해한다. 주로 섬유소, 전분, 가용성 당을 분해하여 상당량의 초산(acetate), 낙산(butyrate), 젖산(lactate), 수소 그리고 이산화탄소

를 생성하며 프로피온산(propionate)는 거의 생성하지 않는다.

또한 반추위 곰팡이는 절대 편성 혐기성의 진행세포로서 비교적 그 기능과 특징들이 많이 알려져 있지 않다. 곰팡이의 수는 사료급여형태, 급여시기 및 분석방법에 따라 달라지나 반추위액 ml 당 곰팡이의 수는 약 $10^3 \sim 10^5$ 마리 정도로 프로토조아의 수와 비슷하다. 총미생물수의 약 0.1% 정도밖에 되지 않으나 물리적 기능과 화학적 기능을 통하여 저질 조사료나 섬유소 소화에 밀접하게 관여하는 것으로 보여진다.

이와 같이 반추미생물은 반추위내 미생물수는 달리하고 있으나 기능적인 면에서 각기 차이를 두고 있으며 다양한 발효대사 기전을 통해 가축에게 필요한 단백질원과 탄수화물원을 분해하여 숙주 동물인 반추동물의 영양소공급원으로 이용한다. 이러한 발효기전은 다양한 미생물의 작용과 상호관계를 통해 발생하므로 미생물 발효를 조절할 수 있는 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 반추위 발효효율을 높이기 위한 생균제의 작용 및 효과는 반추동물의 생산성과 매우 밀접한 관계가 있다.

2. 반추위 조절을 위한 생균제의 종류 및 효과

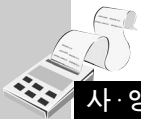
반추가축내 생균제의 사용은 최근에서야 활발하게 상품으로 개발되어 판매되어 사용되고 있으나, 유럽이나 구미 일부 우리 지역내에서 예부터 축산농가나 수의사들이 소가 사료를 먹지 않거나 가스축적으로 인해 고창증이 생겼을 때 반추위 발효를 빨리 재활성화 시킬 목적으로 건강한 소에서 추출한 반추위액을 사용하여 온 것이 생균제사용의 시초가 아닌가 생각이 든다.

현재 미국 식품의약청(FDA)에서 가축용으로 인정하고 있는 미생물은 42종이며 AAFCO에서 효모의 특성에 따라 *Saccharomyces*, *Torulopsis* 등의 효모의 사용을 허가하고 있다. 일본에서의 생균제 사용은 사료첨가물로 허가되어 있으며 *Lactobacillus*, *Clostridium*, *Bacillus* 균이 주로 사용되고 있다. 국내에서는 생균제가 사료 관리법에 보조 사료 및 동물용 의약품으로서 규정되어 사용되고 있다. 국내 생균제 제조업체에서 사용하고 있는 반추동물용 생균제용 미생물은 *Bacillus spp.*, *Streptococci*, *Enterococci*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus spp.*, *Saccharomyces spp.*, *Aspergillus oryzae* 등이 사용되고 있으며, 이 중에서 *Lactobacillus acidophilus*가 가장 보편적으로 사용되고 있는 미생물이다.

초기 생균제의 연구결과를 보면 대부분 생균제의 효과는 반추위보다는 하부장기내에서 효과적으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 특히 어린송아지에게 유산균을 급여하였을 때 설사나 대장균수를 감소시키고 증체효과가 있는 것으로 연구되었다.

더불어 반추위 발달을 촉진시키고 이유기나 장거리 운반에 따른 스트레스 발생기간 동안에 생균제의 급여는 이를 완화시킬 수 있다. 이와 같은 효과가 발생하는 원인 중 일부로서는 스트레스 기간 동안 병원균의 유입가능성이 증가하나 생균 제균역시 병원균을 저해하거나 감소시켜 결과적으로 장내 미생물균총의 안정화시킴으로서 발생하는 것으로 보인다.

지금까지 국내외적으로 반추가축내 가장 많이 사용되고 있는 생균제로서는 사람이 가장 많이 섭취하는 유산균(Lactic acid bacteria)을 들 수 있는



데 반추가축내 유산균 급여시 병원성 미생물의 억제 및 젖산을 이용하는 미생물이 증가된다. 이를 통해 반추위 발효를 증진시키고 건물섭취량이 증가되며, 농후사료 급여시 다량 발생하는 젖산을 이용함으로써 반추위내 pH 저하를 막고 사료효율 증가를 가져오는 것으로 알려져 있다. 이와 같은 효과는 단지 유산균을 급여하는 것보다는 효모나 곰팡이를 혼합급여 시 그 효과가 배가되는데 특히 건물섭취량과 유생산량의 증가를 가져오며 산생성을 감소시키는 효과가 있다. 이외에도 반추위에서 분리한 미생물도 반추위 발효를 증진시키는데 유용하게 사용할 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다.

현재까지는 상용화되어 있지 않지만 젖산이용 박테리아인 반추위에서 분리한 *Megasphaera elsdenii*는 반추위분리 미생물제로서 가치가 높으며 반추위내 산독증 발생을 낮추고 젖소의 전환기 기간 동안 이용시 효과가 높은 것으로 알려져 있다. 또한 반추위내 분리한 프로피온산생성박테리아(propionic bacteria)도 반추가축의 성장과 생산성을 높이는데 유용한 미생물로 알려져 있다. 이러한 반추위 미생물은 반추위내에서 분리하였다는 장점이외에도 미생물의 특성상 젖산의 분해를 증가시키거나 포도당을 초산이나 프로피온산으로 전환하는 탄수화물대사를 촉진시킴으로서 반추가축의 에너지대사를 증진시키는 결과를 가져오기 때문이다.

또한 현재 상업적으로 많이 이용되고 있는 효모 추출물 및 황균균(*Aspergillus oryzae*)도 반추가축의 생산성 증진에 도움을 주고 있는 미생물로 많이 알려져 있다. 가장 많이 사용되고 있는 효모 추출물 및 효모(*Saccharomyces*)는 크게 두 가지

형태로 생균형태(활성화균주) 및 불활성균주가 이용되고 있다. 활성건조효모는 15×10^9 cfu/g정도가 발효과정을 통해 얻을 수 있으며, 주로 박테리아성 생균제가 장내 부착하여 병원성균을 억제하고 하부장기에서 그 효과가 발휘되는 것과는 달리 주로 반추위내에서 작용하여 반추위 미생물수의 증가 및 반추위 발효를 촉진하는 목적으로 사용되고 있다. 특히 효모용 생균제는 반추위액내에서 48시간 내에 효과적으로 반추위 발효를 도우며 반추위내 미생물수의 증가를 통해 조사료 및 섬유소의 분해율을 높이고 반추위 질소대사에 효과적인 것으로 알려져 있다. 또한 효모를 첨가시 섬유소분해 박테리아와 젖산이용박테리아의 증가되며 반추위내 산화환원전위를 감소시켜 반추위내 혐기 상태를 지속적으로 유지시켜 반추위내 미생물이 안정적으로 발효가 될 수 있도록 돕는 작용을 하고 있다.

반추가축내 생균제는 이미 언급한 바와 같이 일반적으로 반추위의 발효를 돕고 반추위 미생물의 성장촉진 및 수의 증가를 위해 다양한 형태의 생균제제들이 사용되고 있으며 각기 사양조건, 성장단계에 따라 효과가 달리 나타나고 있다. 유산균의 경우 어린 송아지의 설사방지 및 하부장기내 이용효과가 높은 것으로 나타나고 있으며, 사양조건도 조사료 위주 사양체계보다 농후사료 사양시스템으로 운영시 생균제 급여효과가 좋으며 단일균주를 사용하는 것보다는 효모와 유산균을 혼합하는 복합균주형태가 반추위 미생물의 발효를 돕는데 효과적이다. 이외에도 반추위에서 추출한 곰팡이나 미생물을 효과적으로 생산할 수 있다면 이를 미생물로 사용하는 것도 반추위 발효 및 미생물의 안정화를 돕는 방안이 될 수 있다.

3. 반추위내 생균제의 작용

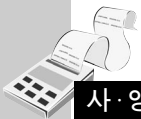
현재까지 반추기축내 사용되고 있는 생균제들은 유산균(*Lactobacillus acidophilus*), 황국균(메주균, *A. oryzae*), 효모 추출물(*Saccharomyces cerevisiae*), 청국장균(*Bacillus spp.*) 등이 주로 상품화되어 시판되거나 사용하고 있다. 지금까지 연구를 통해 나타난 결과는 생균제로 이용되고 있는 미생물의 종류, 축종 및 pH변화 등에 따라 많은 가변성이 있는 것으로 밝혀져 있다. 따라서 생균제의 이용을 개선하고 효과적인 생균제를 선택하기에는 단순히 효과측면을 분석하기보다는 생균제의 근본적인 작용기전을 이해하고 이러한 기전에 따른 생균제의 선별과 시험자료가 요구되고 있다.

첫째로 생균제의 작용으로서 반추위내 pH 저하방지 및 산독증을 예방하는 효과에 목적을 두었다. 일반적으로 반추위내 산독증은 지나친 곡물 및 농후사료 급여시 야기된다. 주로 농후사료를 다급시 포함되어 있는 전분이 다량 함유되어 있는 사료를 급여하면 산생성이 증가와 더불어 유산생성량이 증가되어 결과적으로 반추위내 pH가 5.6이하로 낮아지거나 휘발성지방산과 젖산농도가 급격하게 증가하는 경우에 발생한다. 따라서 생균제의 급여를 통해 반추위내 산의 발생을 주도하는 미생물의 성장을 억제하거나 휘발성지방산의 급격한 생성을 막도록 하는 것이 중요하다. 이를 조절하기 위해서는 반추위내 젖산 축적을 억제하거나 젖산을 이용하는 미생물을 통해 반추위내 발효환경을 바꾸는 방안이 사용되고 있다. 한 예로 젖산을 이용하는 반추위 미생물인 *Megasphaera elsdenii*, *Propionibacterium*, *Anaerovibrio spp.*을 배양한 생균제의 급여는 젖산을 감소시키는 방안

이 될 수 있다. 여러 연구자들의 보고에 따르면 반추위내에서 추출한 미생물인 *Megasphaera elsdenii*와 *Propionibacterium*는 농후사료 위주로 급여시 반추위내 젖산 생성량과 pH 저하가 미비하였으며 휘발성지방산중 초산 농도변화는 없었으나 프로피온산을 증가시키는 것으로 보고하였다. 또한 *Propionibacterium*과 *E. Faecium*을 급여시 혈액내 CO₂, CH₄, LDH 농도가 감소되고 프로피온산 농도가 증가함으로써 결과적으로 반추위내 에너지 효율을 높이고 가축의 생산성을 향상시키는 효과를 가져왔다고 보고하고 있다.

두 번째로 생균제의 장내 부착기능을 예로 들 수 있다. 생균제의 부착기능은 독소형 미생물의 장내 정착을 저해시킴으로서 유용 미생물을 장내 우점토록 한다는 것이다. 특히 생균제로 이용되는 미생물은 장내 독소를 생성하여 어린 송아지의 설사를 유발하는 주요 병원균인 대장균과 장내 부위에서 경쟁적 배제를 통해 우점 할 수 있는 특성을 지니고 있다. 한 예로 유산균의 일종인 *Lactobacillus plantarum*은 mannose-specific adhesin에 의해 장내 부착하여 병원성균주의 부착을 저해하는 것으로 밝혀져 있다

셋째로 생균제 섭취에 따른 면역효과는 면역세포의 활성화, 면역조절물질의 발현, 면역세포의 성장 촉진 등이 있으며, 이를 통해 장기능 강화 및 동물 성장 개선효과가 있다. 특히 다양한 병원균에 대해 내재적인 비특이적 또는 획득한 특이적 면역기능을 강화해줄 뿐만 아니라 사료효율을 개선하는 효과가 있다. 이들은 사료나 장내강(gut lumen)에 존재하는 대장균 및 기타 병원성미생물에 의해 발생하는 항원 및 항염증반응에 대항하여 방어 작용이 장내에서 일어난다. 주로 면역세포를 구성하고



있는 파이어판, 점막층 내에 존재하는 거식세포, 호중구, 수상돌기세포 및 T형 B형 임파구 등이 박테리아성 항원 및 항염증반응에 관여하여 반응한다. 또한 항원의 감염이나 침입시 면역세포는 빠르게 반응하여 식균작용과 체액성 인자가 활성화되어 발생된다.

이외에도 지금까지 *Lactobacillus spp.*, *Bacillus spp.*, *Leuconostics* 등 여러 종의 생균제가 대장균 (*E. coli*), 살모넬라균(*Salmonella typhimurium*), *Staphylococcus aureus* 및 *Clostridium perfringens* 등의 병원성 미생물을 저해하는 것으로 알려져 있다 (Gilliland 와 Speck, 1977). 이러한 항박테리아 효과는 미생물에 의해 생성된 젖산, 과산화수소, 기타 박테리오신 생성을 통한 병원성 균주의 생장을 억제시키는데 기인하며 젖산은 돼지의 장내 대장균군을 감소시키는 효과가 있으며 이외에도 과산화수소, 항균 펩타이드는 특이적으로 박테리아 살균작용 및 메탄감소 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

한편 효모균(*S. cereisiae*), 황국균(*A. oryzae*)의 급여는 반추위내 미생물의 수를 증가시키는 기능을 가지고 있다. 그러나 이들 미생물의 작용은 다른 생균제로 이용되는 미생물과 마찬가지로 미생물의 종류, 첨가수준, 사료원에 따라 이용효과가 차이가 있다. 그러나 미생물 수의 증가는 효모생균제가 가지는 가장 큰 주요 기능으로서 이를 통해 부가적으로 반추위내 섬유소분해를 촉진하며 미생물 단백질 합성량과 미생물 단백질량을 증가시키는 작용을 한다. 또한 반추가축에서의 독소형 대장균과 *E. coli* O157:H7를 감소시키는 것은 생균제가 갖는 주요 기능으로 이는 지금까지 사용해 왔던 전통적인 항생제, 박테리오페이지, 백신처리

등의 방법과 함께 병원성균을 억제하기 위한 방법으로 사용되고 있다.

II. 결론

축산분야에서 항생제의 오남용 및 안전축산물의 생산 및 이용은 축산물을 이용하는 소비자나 생산자에게 매우 중요한 문제가 되고 있다. 또한 천연물질을 이용한 가축의 성장촉진은 우리 모두에게 필요한 사항으로 점차 사회적 이슈가 되고 있다. 이러한 가운데 생균제는 가축의 성장촉진 및 항생제를 대체하기 위한 가장 대표적인 물질로서 반추 가축의 성장촉진 및 사료효율을 개선시키는데 많은 효과를 나타내고 있다.

특히 포유동물과 달리 반추동물의 반추위의 환경특성상 다양한 미생물이 수없이 많이 존재하고 미생물의 발효에 의해 대사가 이루어지는 반추동물의 특성을 고려해보아야 하는 상황에서 반추위에 적합한 생균제의 종류, 적정섭취량 및 반추위 미생물의 발효를 증진시키기 위한 생균제의 적용은 그리 쉬운 부분은 아니다. 그러나 지금까지 많은 연구결과들이 반추위 발효안정화, 미생물의 발효증진 및 가축의 생산성 개선효과를 가져온 것으로 보고되고 있으며, 이 연구들을 바탕으로 본 논고를 작성하였으며 추후 기회를 통해 반추위내 적정투여량 및 가축의 육질개선 등 반추가축의 생균제의 선택방안을 논하고자 한다.