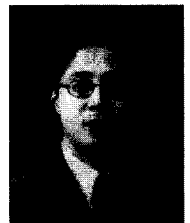


# 반추 곰팡이의 물리적 · 화학적 분해 특성을 이용한 산업적 이용



글 | 최낙진 박사(농촌진흥청 축산연구소 영양생리과)  
공동연구: 장중수 교수(한국방송통신대학교 농학과)

## 1. 반추위 혐기곰팡이의 특징

반추동물의 소화는 단위동물의 효소에 의한 소화 체계와는 달리 주요 대사는 반추위내 서식하는 미생물에 의해 이루어진다.

섭취된 사료는 반추위에 존재하는 미생물이 분비하는 소화효소에 의해 분해되고, 미생물의 분해산물과 미생물체 단백질을 소가 영양소로 이용하는 체계로 되어있다.

이러한 반추위에 존재하는 주요 미생물은 박테리아, 프로토조아, 곰팡이로서 이중 박테리아가 가장 많이 우점하고 있으며 총 미생물 군집의 60%를 차지하며 반추위액 1ml 당 1,011수가 존재한다.

프로토조아는 반추위 총 미생물 군집의 30%를 차지하며 106/ml 수가 서식하며, 곰팡이는 5~10%로서 104/ml 수가 반추위내에서 서식하고 있다.

반추동물의 장내에 존재하는 미생물에 대한 연구는 60년대에 Hungate에 의해 체계적으로 정리된 후, 현재까지 많은 연구가 진행되어 왔다.

그러나, 동물의 장내에 존재하는 미생물중 혐기성 곰팡이에 대한 연구는 70년대 중반에 Orpin에 의해 존재가 확인되면서 연구가 진행되기 시작하여 현재 5종 15속이 분리되었다.

Bacteria에 의한 섬유소분해와는 달리 곰팡이는 하나의 개체에서 다양한 종류 및 다량의 효소를 분비하여 화학적인 방법으로 섬유소를 분해함과 동시에 rhizoid를 섬유소의 조직내로 침투시켜 물리적으로 단단하게 결합되어 있는 섬유소 조직을 파괴하는 물리적인 소화작용을 동시에 수행한다.

또한 혐기성 곰팡이는 단위 개체당 생산할 수 있는 섬유소 분해효소의 양과 종류가 혐기성 박테리아에 비하여 탁월하여 장내 전체 microbial bio-

본 논문으로 축산연구소 최낙진 박사는 1997년 미국 농림부 국립 축산과학연구소(NARS) 학술회에서 국내 최초로 최우수 논문상을 수상했습니다.

mass중 5%를 차지하지만 소화에 기여하는 효과는 높다고 할 수 있다.

현재까지 보고된 바에 의하면 혐기성곰팡이에서 분비되는 소화효소로는 cellulase, xylanase,  $\beta$ -glucanase, amylase, protease, phytases 등으로 다양하며 이들 효소의 존재는 배양액을 이용한 효소역가 측정방법에 의해 확인되어 왔다.

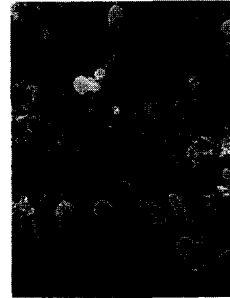
또한, 80년대 이후 분자생물학적인 기법을 이용하여 섬유소 분해효소와 관련된 유전적 정보를 분석한 내용에 의하면, Orpinomyces에서 endoglucanase, xylanase 및 cyclophin ; Piromyces에서 8종의 cellulase, 4종의 xylanase 및 5종의 mannanase ; Neocallimastix patriciarum에서 5종의 cellulase와 3종의 xylanase ; Neocallimastix frontalis에서 endoglucanase와 phosphoenolpyruvate carboxylase의 유전정보가 분석되어 보고되었다.

## 2. 혐기성곰팡이 연구 재료

재래산양(혹염소), 한우 및 제주도 조랑말은 오랜 기간동안 순수한 혈통이 유지되어 왔으며, 한반도에서만 격리되어 사양되어온 관계로 외국 혹은 외국에서 도입된 종과는 다른 장내 미생물 군락을 형성하고 있을 가능성이 높기 때문에 현재까지 국제학계에 보고되지 않은 새로운 곰팡이가 존재할 가능성이 매우 높다.

학계에 보고되지 않은 새로운 균주를 발견할 경우 미생물 유전자원의 확보 차원에서 중요한 의미를 부여할 수 있으며, 학문적으로도 특정 균주에 대

<그림 1> 혐기성곰팡이 *Neocallimastix frontalis*의 전자현미경 사진



한 국제적 위상을 제고할 수 있는 계기가 될 수 있다.

## 3. 반추동물의 섬유소 소화율 증진방안

동물의 섬유소 소화율 증진방안으로 이용되는 방법중 현재 각광을 받고 있는 분야는 Aspergillus oryzae 혹은 Saccharomyces cereviciea 등의 호기성 곰팡이의 배양액이나 이들의 추출물을 Direct Fed Microbials(DFM)의 형태로 사료에 첨가하여 장내 미생물 균총을 변화시켜 섬유소의 분해율을 촉진하도록 유도하는 방법이 주로 사용되고 있다 (Chang, 1999).

그러나, 이러한 곰팡이 균주의 대부분은 호기성 곰팡이라는 특징을 가지고 있기에 섭취시에 장내에 우점하고 있는 혐기성 세균 및 곰팡이와 경합하여 장에 정착할 수 있는 경우가 극히 저조하여 연속적으로 첨가하여 주어야 하는 제약점이 있다. 연속적으로 사료에 첨가하는 것은 이들의 효소를 정제하여 효소제의 형태로 사료에 첨가하는 제품과 차이점을 들 수 없다는 문제가 발생한다.

더욱이 호기성 곰팡이 혹은 세균에 의해 생성된 효소제는 반응에 필요한 최적조건이 pH 5.0인데 반하여 반추위의 장내 pH는 6.5~6.8로 첨가된 효소의 최적 반응조건과 차이가 있어 효소 역가에 대한 기대치가 실제치와는 다를 수 있다.

Morgavi 등의 연구에 의하면, 호기성 섬유소분해 곰팡이인 *Trichoderma longibrachiatum*에서 추출된 효소의 역가를 반추위에서 추출된 효소와 비교한 결과 유사한 역가를 가지는 것으로 보고하였다.

그러나, 이들이 장내에 유입되었을 경우 장내 미생물에 의해 분해될 가능성이 있음을 시사하였다.

이러한 결과로 미루어보아 섬유소의 소화율을 증진시키기 위하여 첨가하는 효소첨가제는 반추위 미생물에 의해 분비된 효소를 제조하여 사용하는 것이 가장 이상적이다.

그러나 혐기곰팡이를 연구하는 대다수의 연구진

이 혐기곰팡이의 산업적 이용성 보다는 생리적 특성을 연구하는데 치우쳐 있어 혐기성 곰팡이의 배양물 혹은 이들에 의해 분비된 효소를 이용하여 장내 미생물에 의한 섬유소 분해를 증진효과를 측정할 실험은 극히 제한적으로 시도되었다.

#### 4. 효소제로서의 반추위 혐기곰팡이

현재 전세계적으로 효소제의 수요는 매년 4~5% 정도가 성장하는 추세에 있으며 시장규모는 대략적으로 \$15억 정도의 규모로 추정되고 있다.

그중, 가축의 소화율을 증진시킬 목적으로 사용되는 효소제로는 xylanase, amylase, phytase 및 cellulase 등이 있으며 이들의 상당량이 외국으로부터 수입되어 시판되고 있다.

이러한 효소제의 용도는 단위동물의 소화율 증진을 위해 주로 사용되거나 환경오염을 저감하기 위한 차원에서 돼지와 닭의 사료에 이용되고 있는 실정이다.

반추동물에 사용되는 효소제는 국내·외적으로 많은 연구가 진행되지 않은 관계로 정확한 사용방법 및 제품이 개발되어 있지 않으므로 혐기성 곰팡이가 분비하는 효소제를 이용할 경우 장내에서 활성도가 높고 안정적인 효소제를 개발할 수 있는 장점이 있다.

또한 반추위 혐기성 곰팡이에서 분비된 효소는 축산업 이외에도 식품, 섬유 및 의약품분야에서 다양하게 이용될 가능성이 높은 물질이다.

분리된 곰팡이	발견자	발견년도
<i>Neocallimastix frontalis</i>	Orpin	1977
<i>Neocallimastix patriciarum</i>	Orpin and Munn	1986
<i>Neocallimastix hurleyensis</i>	Webb and Theodoru	1991
<i>Caecomyces equi</i>	Gold 등	1988
<i>Caecomyces communis</i>	Orpin	1976
<i>Piromyces mae</i>	Li 등	1990
<i>Piromyces dumbonica</i>	Li 등	1990
<i>Piromyces communis</i>	Orpin	1977
<i>Piromyces rhizinflata</i>	Breton 등	1991
<i>Orpinomyces bovis</i>	Barr 등	1989
<i>Orpinomyces joyonii</i>	Breton 등	1989
<i>Ruminomyces elegans</i>	Ho & Bauchop	1990
<i>Anaeromyces mucronatus</i>	Breton 등	1990

## 5. 축산폐기물 처리제로서의 혐기곰팡이

혐기미생물 특히 혐기성 곰팡이는 적용방법에 따라 다양한 용도로 사용이 가능하다.

현재 축산폐기물을 생물공학적으로 처리하는데 있어서 호기성 미생물을 이용하여 축산폐수를 정화하는 방법이 가장 일반적으로 이용되고 있다.

이러한 방법은 혐기상태로 유지되고 있는 슬러리에 공기를 강제로 유입하여 교반시킴으로써 호기발효를 유도하고 있으므로 공기주입에 추가적인 경비가 소요되고 있다.

만약, 혐기상태로 유지되는 배양조에 혐기미생물을 접종하여 배양할 경우 추가적인 경비가 절약되는 효과를 기대할 수 있을 뿐 아니라 혐기곰팡이의 생육특성을 이용하여 발효시 발생하는 암모니아의 생성량을 최소화하여 환경오염을 줄일 수 있는 장점이 있다.

혐기곰팡이는 생육특성상 질소원으로 암모니아를 이용하여 단백질질을 생성하고 있음이 최근 보고되었다.

## 6. 반추위 혐기곰팡이 이용의 제한요소

반추위 혐기성 곰팡이의 산업화의 가장 큰 걸림돌은 배양시 혐기조건을 유지하여야 한다는 것이다. 혐기조건을 조성 및 유지하기 위해서는 호기조건과 비교하여 상대적으로 비용이 많이 든다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 시도되고 있는 연구로는 혐기미생물의 유전정보를 호기미생물에 전환하여 호기상태에서 단백질질을 생산하는 방법 등을



들 수 있다.

또한 혐기성 박테리아와는 달리 혐기성 곰팡이는 장기보관이 어렵다.

일반적으로 박테리아는 보존제와 함께 냉동보관할 경우 장기간 보관이 가능하며, 동결건조하여 보관하여도 생존율이 높다.

그러나, 혐기성 곰팡이는 보존제와 함께 냉동보관하여도 장기간 보관이 어렵고, 동결건조하여 보관할 경우에는 생존하지 않는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 국내에서는 다양한 연구가 진행되고 있다.

## 결론

반추위에 존재하는 혐기성 곰팡이는 적용방법에 따라 다양하게 이용 가능한 유전자원이다.

국내에서는 몇몇의 제한된 연구진에 의해 연구가 진행되어 왔으나, 좀더 활발하고 다양한 분야에서 연구가 요구된다.

더구나, 혐기성 곰팡이 연구의 결과는 축산분야를 넘어서 효소제 시장이라는 대규모 시장을 겨냥한 연구가 될 수 있기에 지속적이고 체계적인 연구가 되어야 할 것이다. ⑤