

제15회 국제생화학적분해 학회 참가

- 오스트리아 -

- 방문기간 : 2011. 09. 18 ~ 09. 26
- 방문국가 : 오스트리아
- 출장지역 : 비엔나
- 출 장 자 : 농업연구사 김정한

I. 출장목적

- 🌐 느타리버섯 수확후 배지의 가축사료화에 관한 학술발표
- 🌐 리그닌셀룰로오스 물질 및 이용에 관한 국제 연구동향 조사
- 🌐 버섯균의 생물학적 분해 및 산업적 이용에 관한 연구동향 조사
- 🌐 오스트리아의 버섯 시장 동향 및 가격 조사

II. 출장업무 수행내용

1. 국제생물학적분해학회 학술대회 개요



제15회 국제생물학적분해학회 학술대회(IBBS-15, International Biodeterioration & Biodegradation Symposium)는 매3년마다 열리고 있으며 전 세계의 생물공학자, 미생물학자, 환경전문가, 문화재 보존 연구원 등 다양한 분야의 전문가들이 약300여명이 모여 생물학적 분해의 메커니즘 규명과 이를 응용한 산업적 이용, 그리고 미생물 등의 생물학적 분해에 대한 방어 및 조절방법에 대하여 학술발표와 토론의 장이 마련되었다. 우리나라에서는 서울대 산림학과, 국립문화재연

구소 등에서 약6명이 참가하였다.

- 참가국 및 참가인원 : 30개국 300여명
- 장소 : 오스트리아 빈



University of Natural Resources and Life Sciences 전경

2. 제15회 국제생물학적분해학회 학술대회 학술발표

- 발표자 : 농업연구사 김정환
- 발표주제 : 느타리버섯 수확후배지의 사료화를 위한 적합배지개발
- 발표요약

세계 버섯 생산량은 연간 600만톤 이상이며, 적어도 연간 3,000만톤 이상의 수확후 배지가 발생되고 있다. 한국에서는 2009년에 약170만톤의 수확후 배지가 생산된다. 따라서 환경적인 측면과 효과적인 처리법 가운데 가축사료의 이용이 주목받고 있는데 이것은 사료의 재료와 버섯 배지의 재료가 비슷하기 때문이다. 느타리버섯에 주재료로 포플러나 미송 톱밥이 많이 사용되고 있다. 그러나 톱밥에는 리그닌, 회분 등 난분용성 성분의 함량이 높아 가축사료로 적합하지 않다. 따라서 본 연구는 느타리버섯 수확후 배지의 가축사료 활용을 위해서 톱밥 대체배지를 개발하고자 하였다. 버섯 수확전과 수확후의 배지를 분석결과, 느타리버섯 균에 의해 배지의 조직에 버섯균이 침투된 것으로 나타났으며, 당 분석결과 glucose, xylose, arabinose가 버섯의 에너지원으로 소비된 것으로 나타났다.

톱밥대체배지를 개발하기 위하여, 면실피펠렛, 옥수수대펠렛, 콘코브를 대체하여 버섯의 생육을 실시한 결과 콘코브의 수량이 대조와 비슷하였으며 생물학적 효율은 오히려 높은 것으로 나타났다. 콘코브 배지의 사료학적 성분분석 결과 콘코브 배지가 대조에 비해 낮은 회분(3.4%)와 리그닌(13.1%)을 보여 주었다. 따라서 느타리버섯 수확후 배지의 사료화를 위한 톱밥대체 재료로 콘코브를 선발하였다.

3. 국제생물학적분해학회 주요 연구동향

제15회 국제생물학적분해학회는 아래와 같이 5개의 분과로 나누어 진행되었으며, 주로 바이오필름과 생물부착 조절방법, 리그노셀룰로오스 물질의 생물학적 분해 및 산업적 응용, 문화재 보호, 오염물질의 생물학적 분해 및 조절에 대하여 발표가 진행되었다.

A : 바이오필름(Biofilm) 및 생물부착(Biofouling)

B : 리그닌, 셀룰로오스, 종이의 생물학적 열화 및 전환 : 생물공학적 응용

C : 문화유산과 빌딩건물의 생물학적 열화

D : 오일, 탄화수소, 플라스틱 등의 오염원의 생물학적 분해

E : 생물학적 열화 및 분해에 대한 조절

- ※ 생물학적 열화(biodeterioration) : 미생물의 생물학적 작용에 의하여 재료가 나빠지고 변질되는 현상
- ※ 생물전환(bioconversion) : 생물의 생리적 기능을 이용해 첨가된 물질을 화학적으로 변형된 형태로 전환시키는 과정

※ 생물부착(또는 생물오손[biofouling]) : 선박의 밑부분, 발전소의 열교환기, 해양 구조물 등에 미생물이 부착하여 생물막을 형성하면 이어서 다양한 생물종이 부착하여 구조물에 영향을 주는 현상

목재의 생물학적 분해

목재는 고분자 화합물인 다당체(cellulose와 hemicellulose)와 리그닌으로 구성되어 있다. 침엽수와 활엽수의 리그닌과 hemicellulose의 화학적 조성이 약간 다르나 cellulose 함량은 거의 비슷하다. 전분, 펙틴, 단백질과 같은 다른 폴리머들은 목재에서 소량만 발견되고 있다.

목재는 부후성 fungi, 곰팡이, 박테리아 등에 의해 영향을 많이 받는다. 세균은 주로 두 가지 형태가 있는데 터널침투(tunnelling)형의 박테리아가 cellulose, hemicellulose, lignin을 분해하고, 분해(erosion)형의 박테리아는 polysaccharide만을 분해한다.



자작나무에 퍼져있는 갈색 부후균 술잔잣버섯(*Lentinus cyanthiformis*)의 균사 (SEM)

목재에 서식하는 곰팡이는 크게 두가지로 나누는데, 첫 번째 목재 변색형의 곰팡이(moulds 와 blue stain fungi: Ascomycetes)는 주로 장식에 많이 사용되는 목재를 열화시킨다. 몇몇 목재 변색형 곰팡이는 미생물 휘발성 유기화합물과 Mycotoxin을 생산하며, 이것은 사람에게 알러지를 유발한다. 가장 일반적인 곰팡이는 *Clasporium*, *Penicellium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Alternaria species*이며, 일반적인 blue stain fungi는 *Aureobasidium pullulans*, *Sclerophoma pithyphila*, *Ophiostoma sp.*, *Graphium sp.* 등이다. 두 번째는 목재 부형형 fungi로 이것은 목재 폴리머를 분해하여 목재의 강도를 현저하게 감소시킨다. 목재 부후형 fungi는 갈색 및 백색 부후, 무름성균들을 포함한다. 갈색 부후 fungi는 목재 polysaccharides를 분해하며, lignin도 제한적으로 분해해서 목재의 기계적 특성을 감소시켜 강도를 약화시킨다. 갈색 부후균은 주로 침엽수(softwood)에 작용하며 건물의 목재에서 관찰되는 균으로 *Serpula lacrymans*, *Coniophora puteana*, *Antrodia spp.*, *Gloeophyllum spp.* 등이 있다.

백색부후균은 리그닌과 다당체(polysaccharides) 모두 분해하며, 주로 활엽수(hardwood)에서 그 특성을 띤다. 담자균류의 백색부후균은 *Corticoids (Corticaceae)*, *Trametes versicolor*, *Fomes fomentarius*, *Phlebia raditata*, *Phellinus pp.* 등이다. 목재 무름성 균들은 주로 cellulose, hemicellulose를 분해하며, 리그닌 분해는 제한적이다. 무름성 균의 특성은 주로 습한 환경에서 배, 나뭇더미, 목재전신주, 레일 받침목 등을 무르게 한다. 빌딩에서 목재 무름성 균들은 주로 창틀에서 발견되고, 침엽수와 활엽수 모두 작용하며, *Chaetomim globosum*, *Trichurus spiralis*, *Phialophora mutabilis* 등이 있다.



나무바닥과 창틀에 퍼있는 버짐버섯(*Serpula lacrymans*)자실체

Lignocellulosic 폐자원으로부터 생물학적 전처리를 통한 바이오가스 생산

생물반응(미생물발효나 효소 등의 이용)에 의해 생성되는 연료용 가스의 총칭으로 여기에는 메탄과 수소가 있다. 이 연구에서는 농산폐자원(리그노셀룰로오스)를 대상으로 생물학적 전처리를 실시하여 혐기배양을 통하여 메탄가스의 생성량을 측정하였다.

- lignocellulosic 폐자원 : 밀짚, 폐지, 톱밥
- 전처리 : cellulolytic 미생물(*Trichoderma reesei*, *Trichosporon cutaneum*)
- 전처리 조건 : 55°C, 2~12주의 호기성 배양
- 밀짚, 폐지, 톱밥 가운데 바이오가스 생성량은 밀짚>폐지>톱밥으로 나타났으며 톱밥의 바이오가스 생성량이 낮은 것은 리그닌 함량이 높기때문인 것으로 추정하였다. 그러나 생물학적 전처리에 가장 효과적인것은 톱밥으로 *T. cutaneum*을 이용한 결과, 40.8%의 메탄을 생성할 수 있어, 리그노셀룰로오스 함량이 상대적으로 높은 물질에는 생물학적 전처리가 효과적이었음을 확인하였다.

농산부산물(차 잎 등)로부터 바이오필름(Biofilm) 생산

바이오필름은 미생물이 생산하는 polymeric matrix와 미생물이 혼합되어 있는 구조물을 말하며, 바이오필름의 형성은 자유롭게 부유하는 단일미생물들이 표면에 부착됨에 따라 개시된다. 이러한 초기 부착은 상대적으로 약하면서 가역적인 반데르발스결합에 의해 이루어진다. 바이오 플라스틱의 장점은 석유와 상관없이 식물에서 나와 원유가격에 상관없는 가격 안정성이 있다는 것이고, 그리고 연소시 유독가스가 적어 화재나 연소폐기시에 장점이 있고, 토양에 매립시 단기간 1~2년 안에 물, 이산화탄소, 메탄가스로 분해되어 환경오염의 위험도 적다. 단점으로는 내열성이 약하고, 수율이 낮아 경제성이 떨어진다는 것이다.

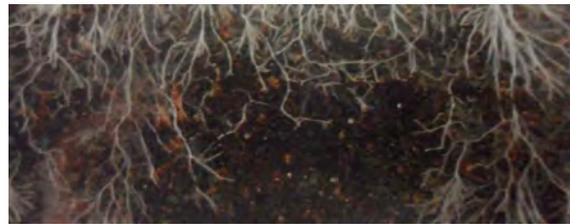
이 연구에서는 농산부산물인 녹차잎을 기질로 하여 *Glucacetobacter xylinum*과 *Saccharomyces cerevisiae*의 배양을 통하여 약2.38g/day의 바이오필름을 획득하여, 녹차에 오렌지 주스를 첨가하였을때 바이오필름 수율은 2.93g/day로 증가하였다. 또한 1.2%의 collagen을 첨가시에는 5배 이상 수율이 증가하였으며, 차 배지에 오렌지 주스를 첨가할 경우는 3.7배 향상되었다. 따라서 차잎과 오렌지 주스는 세균성 cellulose의 생산을 위해 적합하였으며, 생성된 바이오필름의 분석결과 130°C에서 열분해가 이뤄지고 녹는점은 -15°C로 나타났다.

미생물에 의한 환경정화(Bioremediation)

바이오리미데이션은 오염된 물, 토양에 대하여 세균 또는 곰팡이의 효소학적 활성을 기본으로 한 처리 기술로 생물학적으로 유해한 유기화합물을 무해한 물질로 변화시키고, 유해한 무기물은 구조를 단순화하여 안전한 물질로 변화시켜 환경복원을 꾀하는 것을 말한다.

급속한 사회 개발로 인해 생태계가 지닌 자정작용이 한계를 초월하여 심각하게 오염된 지역이 나타나고 있다. 이러한 지역에 유해물질을 분해하는 미생물을 육성하고, 직접 도입해 능률적으로 오염을 제거하도록 한다. 바이오리미디에이션의 장점은 2차오염의 걱정이 비교적 적고 현장처리가 가능하며 에너지 투입이 적다는 것을 들 수 있다.

Pseudomonas spp.는 대부분 탄화수소의 탄소와 질소를 산화시킨다. 목재 부후균을 포함하여 fungi는 2차 대사산물로 다양한 세포의 산화 효소를 생산하여 오염원을 분해시킨다. 따라서 오염원은 fungi의 에너지원으로 이용되는 것이 아니다. 이들 효소들은 오염원에 대하여 비특이성을 띤다. 예를 들어 *Phanerochate velutina*(비로드 유색고약버섯)은 chlorophenols 또는 trinitrotoluene(TNT)를 분해할 수 있다.



오염된 토양에서 자라고있는 곰팡이 균사

오염된 나무의 침투미치광이 버섯
(*Gymnopilus penetrans*)

자연상태에서 박테리아와 fungi는 공존하여 공동 대사를 통하여 오염원을 분해한다. 대부분의 다루기 힘든 오염원들은 분자량이 너무 커서 박테리아 세포로 들어가기 힘들다. 따라서 초기에 fungi의 세포의 산화 효소 laccase와 peroxidase(manganese와 lignin peroxidase)에 의해 분자들이 부숴지고 분해되며 그리고 세균의 효소에 의해 분해된다. 일반적으로 생물학적 환경 정화는 자연상태의 미생물의 자극과 오염된 물질에 미리 배양된 환경정화 미생물을 처리한다. 오염된 토양에 포함되어있는 bisphenol A, TBT, PAHs와 같은 오염물질은 장기적으로 노출되면 암과 신경계질환을 유발하는데, 위와 같은 물질들은 종합적으로 회수하기는 거의 불가능하기 때문에 생물학적 정화가 중요하다.

섬유 염료 분해 곰팡이의 분리 및 동정

목재를 부식 시키는 fungi는 목재의 주성분인 섬유소와 리그닌을 분해 한 후 이를 이용하는 능력을 가진다. 백색부후균은 laccase, 리그닌 peroxidase, phenol oxidase, 망간 의존 혹은 비의존 peroxidase 등의 다양한 세포의 효소를 분비하여 리그닌, 헤미셀룰로오스, 셀룰로오스 등을 분해하는데 이들의 분해능을 이용하여 다양한 화학물질을 분해하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 리그닌은 phenylpropane의 random polymer구조로 이루어졌으며 fungi는 이를 분해하는 효소군을 분비하여 방향족 고리구조를 분해시킬 수 있으며, 위와 비슷한 다른 방향족 화합물(페놀화합물, 다염화이페닐화합물, 다환 방향족, 아조 염료, 이종고리식 염료, 고분자 염료)을 분해할 수도 있다.

이 연구에서 폐수처리장에서 10종의 폐수에서 11종의 fungi를 분리하여 violet dye의 탈색능 테스트를 실시한 결과, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus terreus*, *Cladosporium cladosporioides*가 우수한 탈색능을 지닌 것으로 측정되었다. 이들의 탈색능은 4일 배양에서 *Aspergillus fumigatus* 58.7%, *Aspergillus terreus* 35.2%, *Cladosporium cladosporioides* 24.7%로 각각 나타났으며, 80% 이상 탈색시키는데 걸리는 시간은 약16일로 나타났다.

화장품의 생물학적 분해 및 조절

화장품에는 계면활성제, 단백질, 오일류, 유화제, 비타민, 미네랄과 식물추출물 등이 물과 혼합되어 많은 수의 미생물이 나타난다. 샴푸와 바디워셔와 같은 높은 계면활성제가 함유되어 있는 화장품의 오염은 일반적으로 gram- 박테리아(*Pseudomonas aeruginosa*와 *Burkholderia cepacia*)가 일반적으로 분리된다. 크림은 물과 오일의 유화로 구성되는데 주로 위의 세균과 더불어 gram+ micrococci와 staphylococci, *Staphylococcus aureus* 등이 발견된다. 화장품에서 박테리아의 성장은 알코올이 생성되거나 또는 유화제가 분해되어 유화의 분리 및 불안정성을 초래한다. *Pseudomonas* 유래의 미생물들은 대개 물에 의해 진행되나 다른 미생물들은 원재료, 공장의 시설 또는 소비자들의 손에 의해 생성된다.

화장품의 미생물 오염에 대한 방지법은 제조과정에서의 높은 위생상태와 보존제의 올바른 사용법, 적절한 포장방법이 필요하다. 건조된 원재료는 미생물의 성장을 제공하지는 않지만, 박테리아와 곰팡이 포자, mycotoxin 등의 오염이 있을 수 있다. 따라서 재료의 사용전에 미생물 검사가 우선적으로 실시될 필요가 있다. 물은 화장품에 있어서 중요한 재료중의 하나이며 세균의 오염이 쉽다. 따라서 물은 필터레이션, 오존 및 UV처리, 열처리 등을 통하여 미생물 수를 최소화 시켜야 한다. 그리고 보존제는 소비자의 사용과 제조과정 중에서도 어떠한 미생물의 성장도 억제할 수 있어야 하며 어떤 보존제들은 그 사용이 엄격하게 규제되어져 있는데, 사용전에 반드시 광범위한 독성 검사가 실시된 제품을 사용해야 한다. 현재는 천연유래의 보존제 및 무보존제 화장품이 마케팅에서 많이 선호되고 있다.

4. 버섯판매현장견학 “BILLA”

○ 버섯판매현장견학(BILLA)

오스트리아 빈은 Billa는 우리나라의 중소형 체인 마트형태로 채소, 과일, 생선, 육류 등의 신선 농축산물과 및 가공식품, 생필품을 판매하는 곳으로 Billa이외의 다른 마트는 없었다.

버섯은 주로 양송이와 포토벨라(큰양송이)가 판매되고 있었으며 야생에서 채집한 피꼬리버섯이 많은 것이 눈에 띄었다. 대부분의 버섯은 해외에서 수입하고 있었으며, 버섯 소비량 또한 상대적으로 낮았다.

버섯 판매가격은 150g 기준으로 양송이 €1.39(약2,200원), 포토벨라 €2.0(약3,140원), 피꼬리버섯 €1.19(약1,870원)으로 조사되었다.



III. 금후계획 및 시사점

1. 버섯수확후 배지의 생물학적 전처리를 이용한 바이오에너지 생산

버섯수확후 배지는 버섯 생산의 부산물로 일반적으로 버섯생산량의 5배가량이 배출되고 있으며, 주성분이 lignocellulos계통의 난분해성 물질이기 때문에 우리나라에서는 주로 퇴비 및 일부 가축사료로 이용되고 있다. 현재, 톱밥과 같은 lignocellulos계 물질들을 대상으로 물리화학적 전처리를 통해 바이오에탄올, 바이오가스 등의 수율을 높이는 연구는 활발히 진행되고 있으나, 이는 또 2차 에너지 투입과 오염을 유발시킬 수 있다.

따라서, lignocellulos의 수확후 배지의 부존자원을 이용하여 곰팡이, 세균 등의 미생물들을 이용한 생물학적 전처리방법을 개발하여 보다 친환경적인 바이오에탄올, 바이오가스 생산기술의 개발이 필요하리라 생각된다.

2. 버섯균을 이용한 환경정화기술 개발

버섯균의 2차 대사산물인 세포외효소(laccase, peroxidase(manganese와 lignin peroxidase 등)은 유류, 염료의 방향족 화합물을 분해할 수 있을뿐만 아니라, 박테리아와 공동으로 분해하기 힘든 토양속 중금속, 독성화합물(bisphenol A, TBT, PAHs)을 효과적으로 경감시킬 수 있다. 따라서 우리나라에서도 수질, 토양 등에서 효과적으로 사용할 수 있는 효과적인 버섯균을 선발하여 생물학적 환경정화 기술 개발이 필요할 것으로 생각된다.