



酵素의 役割과 技術上 과제 (上)

編 輯 室

머 리 말

酵素에 관한 연구개발은 현재 두번째의 봄을 맞이하였다고 볼 수 있다.

우리나라 뿐만 아니라 歐美諸國에서도 酵素利用技術에 큰 關心을 기울이고 있고 개발도 활발해 졌다. 첫번째 봄은 오히려 효소에 관한 기초적인 연구성과에 중점을 두고 있었으며 일반적으로 생명과정에 대한 연구에 열중하여 당연한 일이지만 생체내에서의 반응기전이 연구됨과 더불어 생체매체인 효소의 지식이 크게 발전하여 이미 1,500종류 이상의 효소가 존재하고 있으며 이들의 분포, 분리정제법, 반응과 특성 등에 대한 정보가 쌓여졌다. 식품공업을 중심으로 한 효소이용은 옛날부터 실현되어 왔지만 이와같은 기초적 연구의 축적은 효소의 응용범위를 더욱 확대해 나갔으며 의료기관에서는 藥劑로서 또는 임상검사용시약으로서 쓰이게 되었다.

효소의 생산방법으로 비교적 유리한 미생물 균체외에 생산되는 효소의 이용은 發酵法의 發達과 더불어 유효성을 나타내어 왔으나 일부의 예를 제외하고는 효소생산분리코스트가 높은것, 재이용이나 회수가 힘든다는 등 결점이 있어서 응용범위는 한정되어 왔다. 그러나 不溶化와 화학수식법의 출현과 페프깃드 合成法에 의한 아미노산으로부터의 효소합성법에 따라 다시금 비약적인 기술향상이 기대되고 기

술개발도 강력하게 추진하게 되었다. 이러한 움직임과 거의 때를 같이 하여 일어난 사회정세의 변화는 효소의 기술개발에 더욱 유리하였다고 생각된다.

생명에 관한 여러 과학의 전방적인 추진과 그 응용의 적극적 추진이 세계각국에서 진전되고 우리나라에서도 정책적으로 다루게 되었다. 이 움직임은 생명과정 전반에 걸친 지식을 가져왔고 그 결과 효소에 관한 과학이 가일층 발전되었음은 물론 연구개발상의 周邊技術向上도 기대되고 있다.

그 일부로 우리나라의 경우 생체촉매이용 기술개발을 들 수 있겠고 서독에서는 생물기술연구센터(가칭 분자생물연구센터)의 연구과제의 중추가 되고 있음을 보아 단지 주변적 발달만 기대되는 것이 아님을 나타내고 있는 것이다. 다음 촉매로서의 효소의 특성, 즉 비교적 온건한 조건으로 반응이 진행되는 것과 반응의 선택특이성과는 과정에서의 省力化나 자원이용도에 이어지는 것으로서 주목을 끌고 있는 것이다.

그러나 현단계에서는 실용화된 것은 그리 많지 않으며 이는 原價高가 가장 큰 이유라 할 수 있을 것이다. 그러므로 불용화된 것에 대한 공학적 연구가 두번째 봄의 중심과제가 되었지만 아직 성과가 입증된 것은 거의 없다. 앞으로나 기대할 수 밖에 없는 상태라 해도 무방할 것이다. 지금 한가지 해결해야 할 문제는 효소이용의 안전성에 대한 것이며 그으로

효소를 첨가한 세제(洗劑)가 한때 유행하여 많은 업체가 참여하였지만 미국에서는 유효성과 안전성이 의심되어 세제에의 효소첨가가 금지되었다. 그 결과 일반대중에게는 불신감과 공포심을 낳았고 기업관계자에게는 조심성을 남기고 말았다. 앞으로 개발은 안전성에 대한 과학적입증과 동시에 심리적인 장해가 극복되어야 할 것이다. 이런 예는 효소 이용기술 발달에는 일견해서 마이너스요인처럼 보이나 본래부터 지닌 문제를 현실화 시켰다는 점에서는 오히려 프라스였다고 본다. 현재 世界各國의 연구개발의 활발도와 연구자의 강한 흥미는 이런 문제를 극복하면서 효소기술을 발전시켜 나가리라 생각된다.

酵素의 생산

효소반응을 이용한 식품에는 발효식품인 치즈등이 옛부터 있었으며 처음효소를 추출해서 이용한 것은 유럽에서는 동물성 식품이 중심이 되어 왔지만 동양에서는 옛부터 국자(麴)을 사용한 발효산업이 발달되어 왔고 또 축산업의 발달이 늦어진 반면 곰팡이의 고체배양기술이 발달한 점이 특징이다. 이러한 조건을 잘 활용해 온 결과 지금은 효소생산에 가장 적합한 미생물의 배양기술이 세계수준에 도달하고 있는 것이다.

그러나 이 미생물배양기술 즉 발효기술은 그 규모나 생산액에서는 항생물질, 아미노산, 핵산 및 기타 생리적 활성물질등에 미치지 못하고 있으나 世界第2次大戦前부터 곰팡이에서 생산되는 디아스타제, 고초균으로부터 생산되는 α -아미라제 등이 공업적으로 생산되어 왔다. 戰後 1960년경부터 곰팡이에서 생산되는 글루코아미라제를 써서 전분에서 글루코오스가 생산되고 기타 방선균의 글루코오스 이소메라제에 의한 글루코오스로부터 전화당의 생산, 卵白리조좀등의 消炎劑등 급속히 효소의 생산이 느려났으나 최근 수년동안은 그 성장율이 저조하였다.

비약적 발전의 발판으로 세제용 프로테아제가 기대되나 단시간새탁방법과 아베루기 문제 해소를 위한 기술개발을 추진중이므로 착각 발전해 나갈 것은 틀림없다고 본다.

효소이용현상

실지 현재 어떤 효소가 얼마큼 생산되고 있는가를 살펴보면 일본에서 식품공업 분야가 사용한량은 1972년에 자가소비량을 제외하고 약 2,100톤으로서 17억엔이었다. 효소의 판매량중 섬유호발제로 쓰이는 α -아미라제가 1만톤이나 되고 나머지는 67%이다.

이와같이 효소의 대부분은 식품공업에 사용되고 있어 효소산업중 큰 비중을 차지하고 있음을 알 수 있으며 식품공업에서 쓰이는 효소를 그 생산금액이 많은것부터 추려보면 전분화용글루코아미라제가 약 29%, 전분액화용아미라제가 16%, 포도당이성화용글루코오스이소메라제가 13%로 되어있어 전분의 분해효소가 75% 이상을 차지하고 있는 실정이다. 이는 경제적이며 역가가 높은 세균 α -아미라제의 대량생산기술이 토대가 되었고 글루코아미라제로 헐값으로 글루코오스를 생산할 수 있기 때문이다. 이어서 글루코오스에서 전화당을 만드려내는 글루코오스이소메라제의 생산기술이 개발되었다.

이와같이 한가지 기술로부터 속속 새로운 기술이 개발되게 마련이므로 앞으로도 전분을 원료로 해서 이성화당이나 오리고당등을 생산하는 효소기술이 개발되어 갈것으로 생각된다.

미국 효소산업의 시장규모는 약 4,000만불(약 100억)원으로 추정되며, 그 중 50%는 시럽제조와 맥주, 주우스의 정정용등 주로 식품과 음료관계가 차지하고 있고 25%는 치즈제조에 10~15%는 의료관계에 쓰이고 잔여분은 호발제(糊拔劑) 가죽이기는테등 일반공업용으로 쓰고 있다. 응용분야는 차지하고라도 옛부터 써왔던 효소는 가수분해효소가 대부분이었으며 점차 산화효소라든가 탄 분해효소, 이성화효소가 등장케되었다. 대상반응은 효소반응의 특이성을 기반으로 하는 경우가 많고, 원료로서는 동물의 장기를 쓰기도 하나 물과 코스트면에서 균체효소가 부분적으로나 또는 완전하게 정제되어서 많이 쓰이고 있다. 그러나 아미라제나 균체이용의 경우를 제외하고 거의 모든 이용형태는 수용성효소를 반응

액에 첨가하여 반응이 끝난다음 가열하는 등의 방법으로 矢活시켜서 사용하게 되므로 한 번 밖에는 쓸 수 없는 것이다. 이 방법은 효소의 회수가 대단히 힘들며 균체내 효소와 조직결합 효소는 수용액에서 추출한 경우 불안정하기 때문에 점차균체의 효소가 유리성이 있다고 판단되었다. 요는 쓰다버린 酵素利用技術의 最大難點은 그의 코스트였다. 그러므로 앞으로의 효소이용 기술발전에 대해서는 다음과 같은 점이 지적된다.

- 1) 酵素와 촉매 : 코스트를 낮출 것.
- 2) 精製法 : 양적으로 낮은 코스트로 효소를 만든다.
- 3) 활성유지 : 불안정성을 극복한다.
- 4) 原料 : 많은 효소원료를 확보한다.

이러한 평가기준과 교차해서 효소의 응용반응 선택과 시장성등에 대한 검토도 한편으로 활발해졌다.

효소의 응용기술을 정리하려면 용도별로 기질의 공통성을 갖은것 끼리 묶는다든가 효소의 반응계식별로 국제생화학연합회(I.U.B.)에 의하여, 규정된 효소번호순으로 나열하는 방법이 있으나 이미 많은 문헌이 발간되었으므로 여기에서는 효소반응으로 기대할 수 있는 변화를 다음과 같이 7종류로 분류하였다.

1. 물성을 바꾸는 효소

효소반응에 의하여 기질의 점도(粘度)나 Texture와 용해성을 변화시켜서 이용하는 것이었다. 우선 점도를 변화시키는 것으로는 액화형 α -아미라제가 있으며 이를 호화진분에 작용시키면 점도를 저하시키게 된다. 분해정도에 따라 용도에 알맞는 텍스트린이 된다. 액화형 α -아미라제는 당화형과는 달라서 그다지 많은 글루코오스가 만들어지지 않으므로 달지도 않다. 점도를 갖고 노화하지 않는 액체이므로 이용되고 있는 것이다. 또한 사과즙에는 진분이 함유되어 있어서 호화에 의하여 점도가 높아지므로 α -아미라제로 분해하여 점도를 낮추어야 한다. 진분은 직선상(直線)의 아미로오스와 분지(分枝)를 가진 아미로펙크친으로 되어 있어 글루코오스가 300개 이

상 열킨 아미로오스는 투명한 가식필름을 만들 수가 있다. 여기에 세균이 생산되는 이소아미라제를 진분에 작용시켜서 1.6- 결합을 짜르면 아미로오스만이 남고 여기에 알코올을 가하여 長鎖의 아미로오스를 침전 分離한 다음 필름으로 만드는 방법의 실용화가 검토되고 있다. Texture 개선을 위해서는 아미라제와 중성프로테아제를 빵이나, 크래카, 쿠키등에 작용시켜서 팽창성 증가와 맛을 좋게하고 있다. 이때 α -아미라제의 내열성이 높으면 실활되기까지 시간이 걸리게 되어 반응의 조절이 힘들게 되기때문에 내열성이 낮은 곰팡이 효소를 쓰고 있다. 효소이용은 Texture개선뿐 아니라 진분과 단백질 분해로 생산되는 글루코오스와 아미노산이 갈변반응을 이르기므로 해서 색깔도 좋워지고 또한 향기도 좋게된다. 닭고기와 쇠고기중의 짙진 살(肉)을 연화시키고저 파파이아 곰팡이인 프로테아제등이 사용되고 있다. 축육뿐 아니라 오징어의 가공에도 사용되고 있다. 이때 단백질 분해로 인한 쓴맛을 갖인 페프지드가 생성되지 않도록 유의해야한다.

인스턴트 라면등에 사용되는 건조야채는 水分으로 되돌아 가게 되므로 먹기에 실증을 느끼게 된다. 그러므로 셀룰라제를 써서 분해하여 연하게 만든다. 양갱 등 설탕을 많이 함유한 과자는 저장중에 결정이 생기므로 인베르타제로 글루코오스와 프락토오스를 분해하여 설탕의 농도를 낮추고 결정화를 방지한다, 이 때 침투압과 방출력이 증가된다.

수용성 단백질을 불용성으로 하여 침전시킨 것에 밀크를 작용시켜서 치즈를 만드는 Rennet가 있다.

量的 확보가 문제시되나 보다 값싼 대체효소가 검토되어 곰팡이의 일종인 Mucor가 생산하는 산성프로테아제가 Rennet 대용으로 사용할 수 있음을 알아내고 이를 Microbial rennet라 부르고 있다.

글루코아미라제의 생성균인 Rizopus가 생산하는 중성프로테아제도 Rennet 대용으로서의 활성을 갖고 있어 이용이 고려되고 있으며 이외에도 밥을 지을때 α -아미라제등을 가하여 밥맛을 좋게하는 방법도 개발되고 있다.

2. 맛에 관계하는 효소

맛에 관계하는 것으로서는 감미료와 조미료외에 쓴맛제거제가 있다.

우선 감미료제조에 이용되는 효소에는 여러가지 효소가 있으나 전분에 당화형 α -아미라제를 작용시켜 물엿을 만드는 방법이 있으며 효소량과 반응시간을 조절하므로 해서 목적에 부합된 점도와 감도를 갖은 감미료를 얻을 수 있다.

전분에서 글루코오스를 얻으려면 호화전분을 액화형 α 아미라제로 분해하여 용액으로 만든 다음, Rizopus, 글루코아미라제를 작용시켜서 글루코오스까지 분해시킨다. α -아미라제만으로는 글루코오스 외에 말토오스나 덱스트린이 생겨 수율이 나쁘지만 글루코아미라제에 의하여 98%의 높은 수율로 글루코오스를 생산하게 되었다. 증전에는 전분을 고압가열하에서 산분해해서 글루코오스를 만들어 왔지만 지금은 효소법으로 바뀌게 되었다. 글루코아미라제는 흑곰팡이도 생산하게 되나 여기에는 트란스글루코시다제가 섞여있으므로 글루코오스의 수율이 떨어지게 된다. 반면 Rizopus는 고체배양이 필요하므로 그의 생산가격이 높아지게 되므로 액체배양이 가능한 흑곰팡이에서 트란스글루코시다제가 생성되지 않는 변이주를 만들고서 개발이 진행되고 있으며, 미국에서는 이미 변이주를 만들었다고 한다.

감채당(甜菜糖)속에는 라휘노즈가 함유되어 있어서 설탕의 결정화를 저해하므로 사상균에서 생산되는 메리비아제를 라휘노즈에 작용시켜 설탕과 가락크토오스로 분해하고 설탕수율을 증가시키게되며 이 효소는 균체내효소로 균체에 Pallet을 만들고 반응시킨다음 여과하면 회수되어 재사용된다.

전화당을 제조하는 방법에는 글루코오스에서 만드는 방법과 설탕을 분해하여 제조하는 두가지 방법이 있으나 前者가 경제적으로 유리하다. 글루코오스에 방선균에서 얻은 구루코오스이소메라제를 반응시키면 프락크토오스가 50% 생겨 반응은 평형에 도달한다. 그러나 실체는 45% 정도에서 반응을 멈추게 되므로 글루코오스보다 프락크토오스가 감미가 강하고

감미료로서의 가치가 더 크다.

설탕을 분해하여 만드는 경우는 효모인 이벌루타제를 작용시켜 가수분해에 의해 글루코오스와 프락크토오스를 만들게 되는데 이 전화당은 설탕보다 좀더 달다. 그러나 이 효소는 균체내효소로 그다지 싼 값으로는 생산할 수 없으므로 공업적으로는 글루코오스 이소메라제 방법을 쓰고들 있다. 즉 인벨루타아제는 설탕의 결정방지 등의 특수한 용도에 사용되고 있다.

프락크토오스의 제조방법으로서는 전화당속의 프락크토오스를 글루코오스로부터 분리하는 방법이 있지만 이는 효소를 쓰고 있지 않다. 효소를 이용하는 방법으로 다리야구균등 국과식물(菊科植物)의 땅속에 파묻힌 뿌리 속에 함유된 이누린에서 이누리나제를 추출작용시켜 프락크토오스로 만드는 방법이 검토되고 있다.

말토오스제조에는 우선 전분에 세균이 만들어내는 이소아미라제를 작용시켜 직쇄상의 아미로오스를 만들고 이에 대두박이나 밀기울로부터 추출한 β -아미라제를 반응시켜 90% 이상의 순도를 갖은 말토오스를 얻는 방법이 개발되었다. 증전에는 맥아의 β -아미라제를 이용하고 있었으나 그 수량은 50%에 불과하였으므로 이소아미라제 사용으로 80% 이상으로 증가되었다. 이소아미라제 대신으로 푸루라나제를 쓰는방법도 검토되고 있으나 말토오스는 수액(輸液)등에 쓰이고 있으나 화학적으로 환원시켜 말치톨이 생산되고 있고 이 말치톨은 난카로리(Noncalorie)감미료로서 주목을 끌고 있으므로 말토오스의 수요는 앞으로 증가될 것으로 본다. 키시로오스의 제조에는 목재에 함유된 미셀루로오스에 키시라나제를 작용시키는 방법이 검토되고 있고 생산균에는 흑곰팡이 등이 있지만 아직 생산력가가 충분치 못하며 키시로오스는 난카로리 감미료로서의 수요만을 갖고 있다.

헤스페리딘, 디히드로칼루론, 말토올리고시드는 설탕 감미도의 100배 가까운 감도를 갖고 있어 감미료로서의 제조방법이 검토되고 있다. 원료로는 밀감에 많이 함유된 헤스페리딘이며 이를 알카리성으로 환원시킨 다음 흑곰팡이에서 얻을 수 있는 헤스페리

지나제를 작용시키면 탐노오스가 생성되고 다른 헤스페리딘, 디히드로칼루론, 글루코오스가 된다. 그러나 이것은 용해도가 낮아서 실용화가 안되므로 세균에서 얻은 글루코노트란스퍼라제를 작용시켜서 글루코오스를 전이(轉移)시키고 용해성이 높은 헤스페리딘, 디히드로칼루론, 말토오리고지드를 만든다. 증산이 지나친 밀감의 새로운 이용방법으로서 주목되고 있다.

조미료로서 효소를 이용하는 것으로서는 아미노산계조미료와 핵산계조미료 및 유기산이 있다. 화학조미료에 비해 천연조미료가 증가하고 있으나 이 천연조미료나 인스탄트라던의 스우프등에는 육엑키스가 많이 사용되고 있다. 이 육스우프를 고기(肉)로부터 추출할 때는 세균이나 곰팡이의 증성프로테아제를 사용하여 수량(收量)을 높이고 있다. 효소를 가하므로써 아미노산이 증가하고 맛이 진해진다. 여기에 세균의 글루타미나제를 가하여 놓으면 글루타민이 글루타민산으로 되고 보다 좋은 맛을 낸다.

아미노산제조에는 발효법과 화학합성법이 있다. 화학합성법은 DL혼합아미노산이 되어버리므로 L형만을 가려낼 필요가 있다. 이 광학이성체분리에 효소가 이용된다.

사상균에서 얻은 아미노아시라제 이용방법을 N-아실루-DL-아미노산에 작용시켜 L-히만 탈아실루하여 L-아미노산으로 한다. 이들을 용해성의 차이를 이용하여 분리시킬수가 있으며 이 효소를 DEAE Sephadex Column 에 흡수시킨 대로 반응시키는 고정화효소법이 개발되어 경비가 40%나 절감되었다.

이 밖에도 세균의 D-아미노산라세세마아제를 써서 D-아미노산을 L-아미노산으로 바꾸는 방법과 D-아미노산옥시시다제로 D-아미노산만을 케톤산으로 하여 분리하는 방법도 검토중에 있다.

L-아미노산의 생산방법으로 α -케토산과 암모니아를 반응시켜서 아스파라긴산을 만드는 방법이 개발되고 있으며 이 효소는 균체내효소로서 추출하면 불안정하여 쓸 수 없으므로 균체를 포리아크릴아미드 겔에 넣고 그 겔(Gel)을 분쇄하여 Column에 넣고 알칼리성으로 한 다음 균체를 자가 용해시켜 효소를 활성화시킨다는 방법이며 현재 고정화균체 효소칼럼

이 개발되어 사용하고 있다.

핵산계조미료는 글루타민산소오다와 병용하면 상승효과가 있음을 알고 이들을 혼합해서 사용하고 있다. 이는 아래와 같은 세가지 제조방법이 있으며 첫째 RNA의 효소분해법, 둘째 효소로 누클레오시드를 만들고 이를 화학적으로 인산화하여 누클레오시드를 만드는 방법과, 셋째 방법은 직접 누클레오시드를 배지에 축적시키는 발효법이다. 비교적 낮은 방법이기는 하나 RNA 분해법은 원료인 RNA를 아황산팔프페액이나 당밀로 배양된 효모로부터 추출하고 방선균의 5'-포스포디에스테라제를 작용시켜 5'-GMP, 5'-AMP로 분해한다. 5'-AMP는 효소제에 흡입되어 있는 AMP 대아미나제에 의하여 IMP로 된다. 효소를 쓰지 않고 화학적으로 분해하면 3'-누클레오지드만이 생성되어 좋은 맛이 안난다. 그러나 이 방법에서는 GMP는 IMP를 얻은 나머지 절반의 CMP, UMP가 부산물로 나오게 되나 이의 용도가 그리 흔하지 못하여 코스트가 비싸게 든다는 결점이 있으므로 발효법으로 바뀌우고 있다.

酸味料 제조에는 후발산에 세균인 후발라제를 작용시켜서 사과산을 만드는 방법이 검토되고 있으며 또 글루코오스에 곰팡이인 구루코오스옥시시다제를 반응시켜 글루콘산을 만드는 방법도 검토중이다.

맛의 제거

맛을 갖인 식품생산방법외에 맛을 없애는 방법을 살펴보면, 첫째 夏密柑을 주우스로 만들면 쓴맛이 난다. 이 쓴맛의 주성분인 나린진을 곰팡이에서 얻은 나린지나제와 프라보노이드글루코시다제로 무미의 나린게닌으로 바꾸어 버린다. 이 방법은 여름귤의 통조림에 이용되고 있고 또 나린진 외에도 리모닌이 쓴맛을 갖고있어서 세균에서 얻을 수 있는 리모노에이트탈수효소로 고미제거를 하는 방법도 검토중이다.

이 밖에도 맛에 관한 것으로서는 선도가 저하된 어패류에 곰팡이인 프로테아제를 처리하여 맛이나 냄새를 좋게하는 방법도 쓰이고 있다.

3. 냄새에 관계하는 효소

빵을 만들 때 콩에서 추출한 리폭시제나제를 가하

여 지방산의 이중결합을 끊고 향기성분을 만들어내는 방법이 있으며 또 유제품에 리파아제를 작용시켜 치즈플레이바나 버터플레이바를 강화하는 방법도 있다. 가열병동야채는 신선한 야채법세가 안나지만 날야채의 즙을 치면 법세가 나게되므로 신선한 법세를 내는 효소를 연구하고 있다.

탈지대두의 단백질을 가용화되어 분말화 또는 조직화로 단백질식품에 널리 쓰이고 있어 동물성 단백질 부족에 대한 대응책으로 큰 기대를 걸고있다. 그러나 생각처럼 수요가 늘지 않고 있을 뿐만 아니라 수용성이 낮아서 사용범위가 좁다는 단점이 있어 소맥단백질이 오히려 수요가 늘어나서 74년도의 생산고는 소맥제품편이 벌써 앞지르고 있다.

이 원인은 경제적인 측면 뿐만아니라 콩냄새를 싫어함도 또하나의 원인이라 하겠다. 콩의 탈취방법은 지금까지 많이 연구되어 좋은 제품이 만들어지게 되었지만 아직 충분하다고는 할 수 없다. 효소를 이용한 탈취방법은 유산균의 프로테아제로 한정 분해하고 단백질속에 들어있는 비린내를 내는 물질을 분리하는 방법이 개발되어 좋은 결과를 얻고 있다. 최근 이 방법을 응용한 것으로 보이는 계란의 노란자위(卵黃)을 사용하지 않는 마요네즈를 제조 판매하고 있다.

또한 이와는 달리 사상균이 만드는 에스테라제의一種인 효소로서 탈취에 효과적인 것이 발견되어 이의 실용화가 검토되고 있다. 이 효소는 균체를 Column에 넣어서 豆乳를 흘려내리게만 하면 탈취가 가능하다.

4. 색깔에 관계하는 효소

곰팡이에서 생산되는 안토시아나제는 白桃를 통조림으로하면 적자색으로 변하는 것을 방지하며 포도주를 탈색하여 백포도주를 만들수가 있다.

또 세균에서 얻을 수 있는 글리코시루트란스페라제는 데키스트린환원말단에 설탕의 프락토오스를 결합시키면 환원말단이 없어지게 된다. 이 물엿은 가열하여도 잘 갈변되지 않으므로 갈변방지등에 용도가 고려되고 있다.

5. 발효보조제

알코올발효의 원료는 쌀이나 고구마 밀등이지만 함유되어 있는 전분이 글루코오스로 분해되어 에타놀로 변화한다. 거기에 효소를 가하여 전분을 급속히 글루코오스로 분해하도록 하고 있으며 사용되는 효소는 세균의 α -아미라제와 곰팡이의 글코아미라제인 것이다. 단지 일본에서는 맥주제조에 맥아이외의 효소체를 사용할 수 없도록 규제되어 있어서 청주제조에 사용할 수 없는 효소량은 원료쌀의 0.02%까지이다. 그밖에는 된장이나 간장 제조에도 곰팡이나 세균의 프로테아제로 콩단백질을 분해하여 제조기간을 단축시키고 있다. 이 프로테아제는 쓴맛페프깃드를 생산치 않는것을 선택할 필요가 있으며 이들 이용효소는 발효보조제로서 사용하고 있을 뿐 아니라 전면적으로 효소반응만으로 제조할 수 있도록 연구되어 있으며 이미 실험적으로는 성공을 거두고 있다.

6. 불필요한 물질의 분해제거

우선 가용화에 이용되고 있는 효소는 셀룰라제, 헤미셀룰라제, 펙치나제가 있고 용도는 곡류(쌀, 콩, 옥수수)의 삭피라든가 밀감의 속껍질제거와 사과, 밀감, 포도 등의 과즙정화가 있다. 기질이 복잡한 점으로해서 각기 단일효소로도 효과적인 것은 적으므로 복수효소제가 많이 쓰이고 있다.

이와는 달리 제면기등 전분을 가공하는 기계의 첵세에 내열성의 α -아미라제를 사용할 것도 검토되고 있다. 이 효소는 100°C 부근까지 활성을 갖고 있다 또 어유제조에는 단백질의 유화에 의한 수량저하를 방지하기 위해서 세균프로테아제가 사용되고 있다. 칩진물생성예방에 이용되고 있는 것은 맥주에서는 파파이아의 파파인, 청주에서는 세균의 중성프로테아제, 밀감통조림에서는 곰팡이의 헤스페리디나제이다. 이외에는 곰팡이의 글루코오스키시다제와 카타라제로 알(卵)에 함유되어 있는 글루코오스를 산화하고 글루콘산으로 변화시켜 건조중의 갈변을 방지하고 있다, 같은 글루코오스옥시다제는 병조림과 통조림 및 거기에 Ceil된 식품에 함유된 산소를 글루코오스로 산화해서 물로 변화시키고 곰팡이의 발아

를 방지할 수가 있다. 인스탄트 커피의 추출율을 높이기 위해 곰팡이의 헤미셀룰라제가 사용되고 있고 또 식물에서 향료가 추출되고 있지만 같은 방법으로 셀룰라제나 헤미셀룰라제를 작용시켜서 추출율을 증가시키고 있는 것이다.

7. 기 타

청주는 화낙균이 번식하여 부패하지만 계란흰자위(卵白)의 리조치움은 이 균의 세포벽의 一部를 파괴하고 증식을 방지할 수 있다. 식품첨가물로서의 방부제는 사용하지 않는 경향으로 바뀌고 이 리조치움 사용이 검토되고 있다. 그러나 卵알레루기는 사람이나쁜 것으로 인식되고 있어서 아직 사용은 허용되지 않고 있다. 리조치움은 그람음성균에는 효과가 없으므로 방부제로서 모든 식품에 사용할 수는 없는 것이다.

이 밖에도 곰팡이나 효모, 세균의 세포벽용해효소는 많이 발견되고 있지만 한가지의 효소로 용해되는 균의 종류는 많지 않으므로 단일효소로서는 방부제로 사용할 수가 없는 것이다.

가식성쑈세이지, 케이싱제조는 원료에 소의진피등을 써서 코라겐을 정제하고 크랏슈·파이바를 얻고 이에 세균의 중성프로테아제를 작용시키고 테로페프타이드를 한정 분해하면 산성으로 가용성 코라겐으로 된다. 이 가용성 코라겐을 크랏슈·파이바에 20% 첨가하고 식염용액에 환상회전노즐로부터 밀어내어 성형한다. 이 가용성 코라겐을 첨가하므로 해서 품질과 보류가 좋아진다. 우유를 마시던 유당분해효소가 결핍되어 있는 사람은 소화불량이 되어 설사를 하게 된다. 이때 락토토제를 동시에 주거나 미리 우유에 가하여 유당분해를 해두면 일어나지 않는다.

효소공학의 발전

효소이용기술의 발전에 따르는 제문제를 해소하기 위한 점으로 첫째, 효소의부 동화(Immobilization) 둘째는 효소제조법의 발달, 셋째는 페프지드 합성이며 1970년대에 접어들면서부터 급속한 진보를 보여

종전에는 효소화학 또는 효소과학이라고 불리어 온 분야와 바뀌어 효소공학(Enzyme Engineering)이라고 불리우는 학문개발이 주류를 차지하게 되었다.

미국에서의 연구비 지출은 정부부담분의 태반을 차지하고 있음은 지금까지의 역사경위로 명백하지만 특히 큰 번혁은 1968년이후 팽폭할만한 사업으로서는 미국과학재단(NSF)이 종전의 기초연구 중점방향에서 탈바꿈하여 응용연구에 대한 자금원조도 의회의 승인을 얻어 감당지출 하게 되었는데 그 처음 테마로 효소이용공학(Enzyme Engineering)이 선택되었다. 1971년도의 연구비지출액은 50만불이었으나 다음해인 72년도에는 100만불로 배로 늘었으며 그후 같은 수준으로 연구가 계속되고 있다. 그리고 연구의 중심은 어디까지나 공학적인 부분에 두고 있으나 효소가 생물에서 유래하고 있는 점과 반응촉매로서 쓰이고 있는 점에서 많은 Project가 소위 학술적인 체계를 뒷받침하고 있는 것이다.

불용화효소의 이용도 개선

이 연구에서는 효소를 구상의 금속표면에 불용화하여 쓰고자 함에 있으며 흥미있는 점은 종전 유리구, 유리섬유, 셀룰로오스, 단백질유 등의 반응촉매는 이들 담체상에 불용화된 효소를 카람상으로써 쓰는것이 보통이었으나 유동성을 가진 촉매효소로서는 유리구도 있지만 금속이 담체인 케이스 유리보다도 한층 더 비중이 크므로 공학특성상 유리함이 기대되고 있다. 연구계획단계에서는 니켈, 탕그스텐, 철등을 들고있다.

불용화효소와 복합효소제의 공학적인연구

많은 효소반응이 순차적으로 일어나는 경우의 모델로서 에타놀에서 초산이 되어 나오는 계통을 선택하였든바 알코올 탈수효소에 의하여 아세트알데히드가 된 다음 알데히탈수효소에 의해서 초산이 된다. 이 반응의 진행에는 보조효소로서 NAD가 필요하며 항상 산화될 상태에 있어야 하므로 다른 효소제의 다이아헤라제 산소가 반응계전체속에 호로우파이바로서 도입되었다.

기초조건의 반응특성등이 필요하게 되어있지만 흥미있는 다른 한 가지점은 유기 SH화합물을 촉매독

특히 수은제거에 쓰고 있는 점이다.

중금속이온은 효소의 저해제로서 강한 결합을 할
이 알려져 있지만 반응촉매의 활성을 지속하기 위해
서는 반응계를 미리 처리하여 중금속을 제거함이 바
람직하다.

효소공학의 정보교환

이 Program 전체는 연간 약 100만불에, Project
수가 34건이었으나 그 후 증가경향을 보이고 있으며
로 우선 이 Program 전체의 움직임 뿐만 아니라,
관련있는 정보를 모아서 신속히 제공함에 있으므로
매년 3회씩 발행되고 있다.

당초에는 NSF의 기금으로 무료 배부해왔으나 3년
후 부터는 유료화 될것으로 예상된다.

또 Program 연구비를 받고 있는 연구 Team의 상
호접촉과 성과 발표를 위한 심포지움 개최비용도 지
출되고 있다.

국가의 위신을 위해서 정보유통에 노력을 경주하고
있음을 엿볼 수 있고 그 반면 성과의 평가나 실용화
까지의 속도를 올리기에 알맞는 연구비 지출 방법이
라고 하겠다.

바이러스의 효소적, 전기화학적 분해

리보뉴클레아제를 불용화하여 여과기에서 물과 공
기속의 병원성 바이러스를 제거할 것을 시도해 보았
든바 물에 대하여는 염소살균 보다 효과가 있었고,
도전성이 있는 전극을 써서 일단 흡착한 바이러스를
전기화학적으로 분해하는 방법과 비교가 되었다.

지까금의 연구결과에 따르면 에아로졸로 존재하였
던 인플루엔자 바이러스의 제거율이 99%이상이었
다. 이 Project에서도 도전성의 담체 사용이 시도
되고 있어서 어떤 경우 효소 그 자체의 농축에 전
기영동의 원리를 쓰게되나 그밖의 경우 불용화효소
주변에서의 반응기질 확산이 빨라지지 않도록 電場
을 걸므로서 기질농도를 높이도록 시도하고 있는 것
이다.

또 증전에 불용화효소를 포함한 효소이용이 주로
수용액중에서의 반응촉매로서 쓰이고 있었는데 반하
여 이 응용에는 기상중의 물질도 대상기질로 하고
있음은 흥미가 있다.

효소의 생산방법

생체가 산생하는 효소는 원래 소량이었으므로 공
업적으로 사용할려면 재료가 대량으로 늘어나게 된
은 잘 알려진 사실이었고 후처리 문제까지도 고려
하여 미생물균체의 효소를 발효법으로 생산하는 방법
이 가장 유리하다고 보아왔다. 최근의 분자생물학적
연구성과로 일단 Screening된 균주를 기초로 해서 변
이주를 뽑아내는 효소생산능을 몇 10배에서 몇 1,000
배까지 높이는 것이 가능하게 되었다. 더욱 유전자
공학기술수법으로 균의 개량을 할 수도 있게 되었다.

서독의 분자생물학 연구 Center에서는 특히 DNA
상의 특정효소의 Locus수를 늘리므로서 생산을 효율
적으로 할 수 있다고 주장하고 있으나 이에 대한 의
문 또한 없지않다. 일반적으로 유도와 억제제지등의
기구를 전체로 한 변이주의 선택이 쓰여지고 있다.

동물이나 식물이 효소의 원재료가 된은 말할 나위
도 없지만 미생물 만큼은 제어할 수가 없다. 그러나
고등생물에만 존재하는 효소가 필요할 때에는 동물
자체 또는 동물의 배양세포에 의한 생산이 해결법이
된다. 배양세포는 때때로 미생물과 같이 취급할 수
있다고 하나 그 배지의 코스트를 따지면 세균이나
곰팡이와는 경쟁이 되지 않는다. 우로키나제서 사람
의 태아신장세포로 생산되나 오름에서 회수되는 코
스트와 거의 맞먹는 액수가 든다고도 하지만 생산법
로에서는 유망하다고 보아야 할것이다. 그러나 이는
의약품용도이기 때문에 코스트가 흡수될 수 있는 것
이지 공업용도라면 배양세포는 아직 요원한 상태에
놓여있는 것이다.

고상합성법에 의한 페프지드 합성은 비교적 저분
자의 효소단백합성에 성공하였고 이 발전은 지금까지
의 생산법과는 전혀 다른 것이므로 크게 기대하고
있다. 그러나 현단계에는 합성단계가 많고 수량이
많지 않아서 코스트면에서는 경합할 기술까지는 못
된다. 한편 판곳에서 연구결과 즉 촉매로서의 효소
의 활성중심구조나 반응기구의 이해가 증진되므로
합성효소적 촉매효소가 가능성을 높여주게 될 것 같

다.

효소이용상의 문제점

우리나라에서도 효소는 주로 미생물에 의존해 왔으나 이 미생물은 동식물에 비하여 번식속도, 적응성, 유전변이등 뛰어난 점이 많고 또 그것을 잘 활용해 왔다. 그러나 대단히 우수한 효소가 개발되고는 있으나 현재 사용되고 있는 효소에 문제가 없는 것은 아닌 것이다.

그래서 일반적인 이용상의 문제점을 정리해보면 다음과 같이 말할수 있을 것이다.

우선 pH 문제인데 효소는 그 활성이 최고에 이르는 pH를 갖고있으며 그 폭은 효소에 따라 다르나, 일반적으로 좁을수록 쓰기 힘들고 넓으면 넓을수록 그 이용범위가 넓어진다.

알카리성으로 가열하면 환원당은 갈변을 이르기 쉽게되므로 산성측으로 반응시켜야 한다. 또 과즙에 작용시키는 경우도 활성이 산성측에 있는것이 필요하게 된다. 반응이 진행됨에 따라 pH가 달라지는 것이 많고, 완충효과가 적은 용액에서는 알카리성이나 산성용액을 첨가해서 보정할 필요가 있다. 그러나 식품의 경우는 맛 때문에 이온강도를 높일수 없는 것이 많고 너무 pH를 높이거나 낮추면 탈염조작이 필요하게 되며 반대로 된장이나 간장처럼 염농도가 높은 식품에는 내염성효소라야만 할 것이며, 또 내당성이 낮은 효소도 있으므로 주의하여야 한다.

효소는 낮은 온도에서 반응을 진행시킬 수 있으므로 이점이 화학반응의 촉매와 다른 점이고 온도를 높이면 실활되므로 이때는 반응을 멈추게하는 방법을 써야한다. 가열살균한 다음에 반응을 진행시키고자 하면 따로 실활되지 않는 방법으로 살균한 효소를 첨가해야 한다.

효소의 살균에는 가스훈증법과 여과멸균법을 쓰지만 각각 효소의 실활, 개스의 흡착, 원가고, 살균후의 재오염등의 문제점을 갖고 있는 것이다. 일반식품에 효소를 작용시키면 기질 이외의 것도 많이 존재하고 있으므로 기질이나로구나 기레이트劑, 환원제

산화제등에 대한 배려가 있어야 한다. 또 효소제는 정제하는데 비용이 들기 때문에 활성을 한가지만 갖고있는 것보다 여러가지 효소활성을 가지고 있는 효소가 많으므로 특정한 반응생성물 이외의 것을 만들어 내거나 품질악화를 초래하는 경우가 있으므로 이 부수적 반응을 막기 위해 그 효소의 pH안정성, 온도안정성, 활성화에 필요한 보조효소, 금속이온 및 조해물질 등을 고려하여 될 수 있는대로 거치장스러운 부반응이 일어나지 않도록 조심해야 될것이다.

이와 반대로 복수의 효소를 동시에 작용시키고자 하면 그 구성효소의 성질이 유사하지 않으면 반응조건이 협소하여 충분한 효과를 얻을 수가 없게 되는 것이다.

새로운 Screening 방법으로 지금까지는 별로 쓰이지 않았던 알카리성배지를 사용하여 새로운 효소가 속속 발견되고 있다.

또 효소의 경제적인 정제방법이 개발되면 리파제에 혼입될 프로테아제제거등 기존결점을 갖고 있는 생산균도 사용할 수 있게 된다.

한편 고정화(불용화)효소의 연구가 활발하여지고 효소는 물에 녹여서 사용하고 있어 연속반응이나 반응계로부터의 효소의 제거회수가 두드러지게 불리하므로 효소를 고정화시키므로해서 화학촉매와 같이 취급할 수 있도록 각종 효소에 대해 연구가 계속되고 있는 것이다.

현재 실용화된 것으로서는 DEAE Sephadex Column에 흡착시킨 아미노아시라제 또는 균체 그대로 포리아크릴아미드겔에 포괄시켜 Column을 만드는 아스팔타제와 균 그대로 사용하는 델리비아제 등이 있다.

현재 개발중인 것으로는 포리비닐알코올 또는 아크릴아미드모노마에 효소를 가하여 방사선을 조사하고 겔화시키거나 아크릴아미드모노마를 동결시켜 방사선을 조사시키는 방법과 염산에 녹인 코라겐에 효소를 첨가하여 진기를 통과시켜서 음극에 효소를 함유한 코라겐막을 만들거나 활성백토에 효소를 흡착시키고 알긴산나트륨으로 포괄하는 등의 방법을 쓰고 있다.

(차호 계속 김석근 초역)