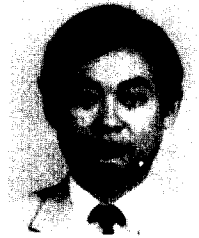


새로운 식품공업용 미생물효소



고려대학교 농과대학 김 영 배

식품가공에 효소의 사용은 긴 역사를 지니고 있다. 서양에서는 맥이나 송아지의 위와 같은 동물성, 식물성 효소가 전통적으로 사용되었으나 동양에서는 고지를 이용하는 등 일찌기 미생물 효소를 쓸 줄 알았다. 그러나 장구한 역사에 비하여 식품공업에 적용되는 효소의 종류는 가수분해 효소 몇 가지를 중심으로 극히 일부에 국한되어 있다고 할 수 있다. 이에 대한 원인으로는 식품공업의 고유한 보수적 특성과 함께 경제적인 추가 부담을 들 수 있다. 또한 안전성의 문제에서 미생물 효소는 우려의 대상이 되어 왔다. 실제로 현재 식품에 쓰이는 효소는 곰팡이 11종, 세균 8종, 그리고 효모 4종에 국한되어 있다. 이들 미생물의 대부분은 전통적으로 식품에 사용되어 왔기 때문에 안전성이 인정되고 있다. 또한 새로운 효소의 개발도 이들에게서 시도되는 이유는 안전성의 안정에 요구되는 높은 비용을 절감하려는 때문이다.

최근 새로운 효소들과 새로운 용도들이 개발되고 특히 분자생물학의 발전으로 재조합 DNA 기술과 단백질공학이 효소공업에 이용되는 연구가 이루어졌다. 이러한 새로운 국면은 식품산업에도 커다란 영향을 줄 것으로 생각되어 지난 몇년 동안 식품공업에 관련된 효소의 연구와 개발의 예를 몇 가지 들면서 그 경향을 가늠하려 한다.

아밀라제

현재 식품 효소중 가장 중요한 것으로 많은 제품이 상품화되어 있다. 특히 열안정성이 높은 α -amylase가 *Bacillus amyloliquefaciens* 및 *B. licheniformis*에서 생산되고 있다. 이들의 최종 산물은 maltohexose 혹은 maltopentose이다. 최근 온천에서 분리된 *B. stearothermophilus*가 생산하는 α -amylase는 maltose가 주산물이

어서 주목을 받고 있다. 이 효소는 야생균주에서 낮은 수율로 생산되었으나 유전자조작을 통하여 *B. subtilis*에서 발현이 성공되었고 생산성도 10~20배 증가하였다. 기존의 식물성 β -amylase보다 작용온도도 높은 이점이 있는 이 효소는 안전성 인정을 신청하고 있다.

pullulanase는 α -1,6 결합을 공격하므로 amyloglucosidase와 함께 amylopectin의 완전 가수분해에 중요한 역할을 한다. 그러나 기존의 상품화된 효소들은 작용 pH 범위가 서로 달라서 혼합사용에 어려움이 있었다. *Bacillus acidopullulyticus*가 생산하는 pullulanase는 pH 4.5 및 60°C에서 *A. niger*의 amyloglucosidase와 함께 사용할 수 있어 관심을 끌고 있다.

이밖에도 transglucosidase의 활성이 없는 amyloglucosidase가 *Talaromyces*에서, 고이온 강도에서 최대활성을 보이며 열안정성도 개선된 amyloglucosidase가 *Halobacterium*에서 발견되었으나 식품공업 효소로 응용되기까지는 더욱 검토가 요구된다 하겠다.

락타제

*Kluyveromyces*나 *Aspergillus*가 생산하는 lactase는 본래 젖당의 가수분해시 단맛이 증가되는 때문에 개발되었다. 그러나 용해도의 증가로 아이스크림이나 연유의 품질이 향상되고 또한 젖당불내증의 문제를 해결할 수 있어서 식품공업의 관심을 끌어들였다. 그러나 원료에 비하여 효소의 비용이 높고, 따라서 저농도 효소 처리시 공정이 길어져 실제로 적용이 지연되어 왔다. 최근 고정화 효소로 연속처리하는 방법 외에도 UHT 처리 우유에 무균의 묽은 효소용액 첨가하는 공정이 개발되었다. 장기보관할 수 있는 UHT 우유는 저장기

간중 가수분해가 일어나서 1~2주 후에는 8%의 젓당이 분해된다.

또한 ice cream mix 제조시 탈지유와 설탕대신 젓당을 가수분해한 유정을 사용하면 조직과 풍미가 향상되어 낮은 유지지방함유시에도 좋은 품질을 유지할 수 있다.

단백질 가수분해 효소

동·식물성 단백질 가수분해에 비하여 미생물 효소는 저렴하나 쓴맛 peptide 생성 때문에 식품에 사용이 제한되어 왔다. 이러한 어려움은 효소학적으로 간단하지 않은 이유는 기질의 다양성에 있다. 따라서 쓴맛을 덜어버리거나, 추출로 제거하거나, 형성되지 않도록 반응조건을 조절함으로써 *B. subtilis*의 효소가 육가공에 쓰일 수 있게 되었다.

또 다른 *B. subtilis*의 효소의 이용 예는 피의 처리이다. 혈장단백질은 기능성이 뛰어나서 식품가공에 용도가 많으나 색깔 때문에 분쇄가 되어 왔다. alkaline protease 처리로 탈색공정이 개발되어 혈장대용 뿐 아니라 식품첨가에 이용될 수 있다. 단지 혈액수집과정의 위생문제가 선결되어야 하겠다.

*B. amyloliquefaciens*가 생산하는 중성 protease도 원래 맥아즙의 질소화합물 증가를 위하여 개발되었으나 최근 두유제조시 70%까지 단백질함량 증가를 얻을 수 있다는 보고가 있다. 그러나 효소처리 시간이 연장되면 이취와 쓴맛이 생기는 점에 유의하여야 할 것이다.

기타 단백질의 부분적인 가수분해로 용해도를 높이거나 가공적성을 높이는 공정들이 개발되고 있다.

무엇보다도 렌닌의 미생물 효소에 의한 대체는 식품 효소에서 성공적인 예라 할 수 있으니, 지금 세계 치즈의 1/3 가량이 미생물 효소에 의하여 생산되고 있다. 그러나 초기의 미생물 rennet은 열안정성이 높아 치즈의 조직과 풍미에서 문제점이 지적되어 왔다. 그러나 *Mucor miehei*에서 얻어진 효소를 산화처리하여 변형시키면 열안정성과 수율면에서 동물성 chymosin과 견줄만 하다. 또한 렌닌은 식품 효소로서는 가장 주목받는 재조합

DNA 기술에 의한 생산의 대상이었다. *E. coli*, *Bacillus*, *Saccharomyces* 등의 미생물에서 chymosin 유전자의 발현이 시도되고 일부 성공하였다. 그러나 상업적 전망에 접근하는 결과는 *Aspergillus nidulans*, *A. awamori*, *Trichoderma reesei*와 같은 곰팡이에서 얻어지고 있다. 이들은 단백질 구조장 활성의 prochymosin을 분비하여 cheese 생산에 사용이 가능하다. 단지 수율에 따르는 경제성외에도 안전성에 관한 문제의 해결이 식품적용에 관건이 될 것이다.

지질 가수분해 효소

*Aspergillus*나 *Mucor miehei*에서 얻어지는 효소제품이 mozzarella와 같은 cheese의 풍미향상에 쓰이기는 하지만 미생물 효소에 대한 선호도는 아직 높다고 할 수 없다. 이에 비하여 triglyceride의 interesterification은 더욱 관심을 끄는 분야이다. 효소특유의 기질특이성을 이용하여 저렴한 함유의 주성분인 1, 3-dipalmitoyl-2-oleyl glyceride (POP)를 일부 stearic acid로 치환하여 POS 혹은 SOS와 같은 화합물로 전환시키어 cocoa butter에서만 얻어지는 고가의 유지를 생산할 수 있다.

기 타

Cellulase에 관한 연구는 많으나 식품에 적용될 수 있는 것은 lignin과 결합되어 있지 않은 세포벽의 분해가 관심을 끌고 있다. 이들 세포벽은 cellulose와 hemicellulose 그리고 구조단백질에 연결된 pectin 물질들이 복잡하게 결합되어 있어서 이를 분해하기 위하여서는 여러 종류의 효소가 복합적으로 작용해야 한다. 기존의 pectinase, 혹은 cellulase 제품은 rhamnogalacturonan의 분해가 어려웠던 반면 *Aspergillus aculeatus*가 생산하는 SPS-ase(Soya polysaccharide degrading complex)는 세포벽을 효과적으로 분해한다. 이는 10~15 종류의 다른 효소활성을 보이며 식물성원료에서 특정물질을 얻는 공정에 쓰일 수 있으며, 또한 식품의 섬유질을 변형시키어 용해성과 보습성을 증진시킬 수 있다.

또 다른 예로 맥주 숙성에서 acetolactate decarboxylase가 관심을 끌고 있다. 맥주의 숙성 중 α -acetolactate는 산화로 diacetyl이 되고 있어서 효모의 reductase에 의하여 acetoin으로 전환하지만 이 과정은 매우 느리다. 여러 미생물에서 얻을 수 있는 acetolactate decarboxylase는 α -acetolactate에서 직접 acetoin을 생산하므로 숙성전의 맥주에 첨가로 효과를 볼 수 있다.

새로운 효소의 개발로 다양한 가능성이 제시되고 있으나 이들을 식품에 적용하는 데에는 몇 가지 문제를 고려하여야 한다. 첫째, 식품규제법에서의 문제이다. 가공중 대체로 효소는 불활성화되지만 잔류량을 정확히 파악하는 것은 쉽지 않다. 첨가되는 효소의 양은 적은 것이나 첨가된 효소의 식품 성분으로서의 해석은 나라마다 다르다. 두번째는 안전성의 문제로서 새로운 효소제품이 안전성이 인정되고 있지 않은 미생물에서 얻어진 경우 급·만성 경구독성, 피부독성, 알레르기유발성, 병원성, 기형유발성, 돌연변이유발성 따위의 검사를 거쳐야 한다.

세번째는 경제성의 문제로 효소의 비용 뿐 아니라 추가되는 공정이나 위생유지 등의 원가상승의 요인이 있다. 그밖에도 효소의 무반응이나 부대되는 성분에 의한 풍미의 변화 뿐 아니라 효소의 사

용자체가 일반소비자에게 수용될 수 있어야 함은 식품효소 선택에서는 중요한 일면이라 하겠다. 이러한 어려움에도 불구하고 효소의 사용은 계속 확대되어 왔으며 앞으로도 계속 될 전망이다. 아직 상업화된 예는 없으나 유전자조작에 의한 효소의 생산의 잠재력은 크다고 하겠다. 기존의 동·식물 효소가 더욱 경제적으로 유리해질 것이고, 새로운 미생물 효소가 이미 안전성이 입증된 미생물에서 생산되도록 시도하고 있다. 한편으로는 첨단의 기술적용이 식품에 적용되었을 때 일반대중이 심리적으로 받아들이기 어려운 일면이 새로운 효소의 식품적용에 해결되어야 할 문제이기도 하다.

REFERENCES

1. Adler-Nissen, J.: *Trends in Biotechnology* 5, 170-174 (1987).
2. Kennedy, J.F.: *Biotechnology* vol. 7a, VCH, Weinheim, FRG (1987).
3. Sheppard, G.: *Progress in Industrial Microbiology* 23, 237-283 (1986).
4. Pitcher, W.H.: *Food Technol.* 63, 62-63, 69 (1986).
5. Godfrey, T. and Reichelt, J.: *Industrial Enzymology*, Macmillan Publishers Ltd. England
- 126(1978).
8. Owen B.W. *et al.*, *J. Bacteriol* 141, 1273(1980).
9. Kenneth, L.S., *et al.*, *J. Bacteriol* 88, 1688(1964).
10. Van Elbe, J. *et al.*, US Patent 4, 027-042.
11. Miller, M.W., *et al.*, *Int. J. Systematic bacteriol* 26, 286(1976).
12. Murillo, F.J. *et al.*, *Appl. Environ. Microbiol* 36, 639(1978).
13. Lampila, L.E. *et al.*, *Mycopathiol* 90, 65(1985).
14. US Patent 4, 318-987.
15. Wong, H.C. *et al.*, *Mycologia* 73, 649(1981).
16. Suemitsu, R. *et al.*, *Agric. Biol. Chem.* 45, 2363(1981).
17. Suemitsu, R. *et al.*, *Agric. Biol. Chem.* 38, 2249(1975).
18. Galmarini, O.L. *et al.*, *Joc* 30, 112(1965).
19. Seto, H. *Tetrahedron Lett.*, 651(1974).
20. 한국과학기술원 遺傳工學資料 151, 214 (1988).
21. 鈴木秀昭, 食品と科學, 29, 94(1986).
22. 川崎滿康, *Fragrance J.* 64, 114(1984).
23. 日,特,公, 昭54-13451.
24. 日,特,公, 昭55-5778.
25. 특허공보 85-8508.
26. Miller, M.W. *et al.*, *Int. J. of Systematic Bacteriol* 26, 286(1976).
27. Johnson E.A. *et al.*, *J. Gen. Microbiol* 115, 173(1979).

(25 page에서 계속)