

식품가공에 이용되는 효소

정 훈

(주) 샤니식품기술연구소

가공식품의 기술적인 발달은 자연과학의 지식을 바탕으로 빠른 속도로 발전하고 있으나 미생물학과 생화학 분야의 기초원리나 지식들을 식품가공분야에서 응용 및 적용하는 속도는 다른 학문이나 응용분야에 비해서 그 적용속도가 더디다는 것은 여러분들이 다 주지하시는 사실입니다.

효소는 식품가공에 있어서 매우 중요한 역할을 하며 대부분의 식품용 원료들은 효소를 함유하고 있으며, 식품제조 가공시에 많은 영향을 줍니다.

발효 식품가공 공정상의 효소활용은 인간이 수천년 이상을 사용해 왔지만 현재 알려진 과학지식을 토대로 하여 식품가공분야의 예술적 부분을 가능한 한 science로 변천시키는 것이 우리들에게 부여된 매우 중요한 과제입니다.

효소는 일종의 단백질로서 화학반응에 있어서 생화학적 촉매입니다.

현재까지 천여개 이상의 효소들이 발견되었으며, 대부분의 효소들은 가수분해, 산화, 환원 isomerization, addition 그리고 bonds 형성등의 역할을 하고 있습니다.

식품원료들이 함유하고 있는 효소들은 식품가공상의 여러 가지 문제점을 유발시키는 주범이기도 합니다. 예를 들면, 과일 및 야채의 갈색반응(polyphenol oxidase), 기름이나 곡물가루의 산패(lipase or lipoxidases), 오이나 야채의 연성화(pectic enzyme)등 우리가 원하지 않는 반응입니다.

물론 이러한 현상들은 열이나 화학물질로 불활성시켜서 제조시의 문제점들을 극복할 수 있습니다.

양조, 치즈제조, 김치 가공등은 옛부터 사용되어온 미생물 내에 포함된 효소를 이용하여 왔습니다 (Table 1).

Table 2와 3에서는 탄수화물과 단백질을 기질로 하는 효소들과 그 용도들입니다.

맥주제조 공정에서는 현재는 발효전에 효소첨가를 거의 하지 않고 있으며, papain은 맥주 혼탁을 방지하는데 사용하고 있고, β -glucannase는 filter aid 효소로 사용됩니다. Amyloglucosidase는 저칼로리 beer 생산에 이용되고 있습니다.

종류주 제조시에는 전분의 당화과정에서 fungal enzymes을 사용하고 있으며, 주요 원료로는 감자, 보리, 옥수수, 밀, 쌀, 고구마, cassva 및 당밀 등입니다.

Cheese 생산시에 과산화수소-catalase 처리가 중요합니다.

이 처리로 우유속에 존재할 수 있는 병원균을 없애고 유산을 생성하는 균이나 lactase, protease와 phosphatase 같은 효소를 보호하여 cheese 제조시에 cheese 풍미등을 향상시킬 수 있습니다. Rennin은 cheese를 만드는데 절대로 필요한 효소이고 lactase는 매우 제한된 용도로 사용되고 있습니다.

예를 들자면 lactose를 소화 못하는 사람들의 유가공 제품의 섭취를 위하여 유당의 가수분해용으로 이용됩니다.

과일가공제품에서는 pectic enzymes을 juice의 혼탁물 제거를 위해서 사용됩니다.

Pectic enzymes에는 pectin methylesterase, polygalacturonase, pectin lyase 등 포함되지만 식품에 사용하는 효소들은 순수정제된 것을 사용하는 것보다는 crude한 것을 사용하므로 enzyme source에 따라 구성효소들의 비율이 달라지므로 사용목적에 의해 다른 효소들을 사용합니다. 물론 효소들의 활성은 pH, 온도, 반응시간, 효소농도에 따라 활성도가 달라지는 것을 이용하여 제조공정에 적합한 효소를 결정합니다.

덜익은 과일로부터 추출한 주스속에는 전분이 존재할 경우 좁의 혼탁을 일으킬 수 있으나 이것은 fungal amylase로 이들 전분 물질을 제거할 수 있습니다.

포도주스 착즙과정에서 발생하는 gel의 형성을 막기 위하여 pectic enzymes을 사용함으로써 착즙량의 증가, 공정시간 단축 및 맑은 juice의 생산을 용이하게 합니다.

포도주 내의 산소를 제거하기 위해서 glucose oxidase를 사용하며, grapefruit의 쓴맛을 제거하기 위하여 naringinase를 사용할 수 있습니다.

육가공에서는 meat tenderizing 목적으로 papain의 proteolytic enzymes 사용합니다. Corn syrup 제조시에는 α , β -amylase, glucoamylase, isomerase와 pullulanase를 이용하여 고과당, 고 맥아당, 포도당과 이들 혼합물의 제품을 생산합니다.

그외의 효소를 이용하는 분야에는 포도주에 함유된 butter flavor를 내는 diacetyl를 제거하기 위해 diacetyl reductase를 이용하며 instant tea에 함유된 tannin을 제거하기 위하여 tanninase로 instant tea의 혼탁을 방지합니다.

α -galactosidase를 사용하여 사탕무속에 존재하는 raffinose를 galactose와 sucrose 변화시켜 raffinose로 인한 sucrose 결정시에 생기는 문제점을 해결할 수 있습니다.

Gelatin 제조시 뼈에 존재하는 기름을 제거하기 위해 lipase를 이용하고 있고 lysozymes를 우유에 첨가함으로써 장내의 *L. bifidus*균의 증식을 도울 수 있다는 보고도 되어 있습니다.

Bakin에서 특히 yeast leavened products에서는 탄산 gas에 의해서 발효 및 baking 중에 제품이 팽창됩니다. 밀가루나 반죽에 존재하는 당이나 첨가된 당을 효모가 이용하므로 amylotic 효소에 의하여 생성되는 당들은 발효과정중에 중요한 역할을 합니다.

Table 5에서 보여주는 것과 같이 일반 밀속에는 α -amylase 활성은 없고 충분한 β -amylase가 존재합니다. 밀가루의 부족한 α -amylase 함량은 제빵가공시에 효소첨가를 요하는 것입니다. 밀가

루는 대략 0.5% 정도의 mono와 disacchirides를 함유하고 있지만 지속적인 발효를 하는데에는 충분치 못하지만 당의 첨가만으로는 문제의 완전해결에는 못미치는 것입니다. 왜냐하면, gas 생성율은 반죽이 gas를 포유할 수 있는 비율과 비슷하여야 하기 때문에 빠른 발효는 gas와 발효당의 손실만을 가져오기 때문입니다.

제품의 질은 첨가하는 α -amylase에 의한 계속적인 maltose 생성이 절대로 필요한 것이다. β -amylase는 밀가루속에 충분한 양이 있으므로 더 첨가할 필요는 없습니다.

Table 7에서 보여주듯이 같은 양의 α -amylase를 사용하면 CO₂ 발생량은 큰 차이를 보이지 않으며 둘다 모두 효과적입니다.

Damaged starch(손상전분)는 제분시 부서진 전분입자로서 α -amylase에 의해서 궁극적으로 호모에 의해 사용되므로 어느 정도의 손상전분은 지속적인 발효를 위하여 절대로 필요한 것입니다. α -amylase는 dough의 viscosity와 softness에 큰 영향을 줍니다.

Fig. 1에서 보여주는 것과 같이 α -amylase 내열성은 효소의 source에 따라서 다릅니다. 열의 안정도는 중요하며 50% 전분용액은 60~62°C에서 호화되며 식빵의 내부온도는 4~6°C/min Baking 중에 증가됩니다.

전분의 가수분해는 빵의 부피, 내상 및 texture에 영향을 주며, softness에도 영향을 주며 bacterial enzyme은 내열성이 가장 좋으므로 비교적 장시간 전분을 가수분해할 수 있으므로 더 soft한 빵을 생산할 수 있으나, Bacterial α -amylase의 활성 및 양을 조절하지 않으면 Gummy하고 쪼렷쪼렷한 내상을 초래합니다.

반죽에 proteases의 첨가는 반죽의 물성과 gluten의 elasticity 등의 변화로 loaf volume의 증가를 할 수 있습니다. 그러나 fungal proteinases는 생산시간 및 mixing 시간의 표준화 하는데 중요한 효소입니다.

Lipoxidase는 표백효과 때문에 상요되고 있습니다.

Carotene과 불포화 지방산의 공기중의 산소로 인한 산화작용입니다. Lipoxidase는 gluten의 -SH group을 산화시켜서 gluten의 cross-linkage수의 증가로 반죽의 strength로 증가시키며, 결과적으로 큰 volume의 제품을 생산할 수 있습니다.

결론적으로 식품가공에 사용되는 효소의 수는 점점 많아지고 현재 corn syrup에서 이용하고 있는 immobilized enzymes은 효소의 재사용, 연속 작업의 가능성, 신속한 반응의 중단, 생산물의 양적 조절, 연속적인 다단계 반응으로 인한 효율성 증대등의 가능성때문에 많은 식품학 학자들의 관심이 되고 있습니다. 물론 연속 사용으로 인한 미생물의 오염문제, immobilization시에 사용되는 화학물질의 독성, 효소의 활성, 안정도 변화등 해결해야될 과제는 많지만 여러 식품 가공업에 확산 사용될 것이며 효소 사용도 더 광범위하고 여러 가지 문제점 해결에 큰 역할을 한다고 봅니다.

Table 1.

The use of whole organisms as a source of enzymes in the food industry	
Process	Organism used
Brewing	Barley
Winemaking	Yeast
Cheesemaking	Bacteria, Calf stomach
Vinegar production	Bacteria
간장, 된장	Fungus
김치	Bacteria
Baking	Yeast, Bacteria

Table 2

Carb hydrate metabolizing enzymes	
Enzyme	Utilization
Amylase	Production of sugars and oligosaccharides
Exo-1,4- α -D-glucosidase	Production of glucose from starch
Cellulase	Cellulose \rightarrow cellobiose
Polygalacturonase	Extraction of fruit juice from pulp, clarification of wines and fruit juices
β -D-Galactosidase	Lactose \rightarrow Glucose + Galactose
β -D-Fructofuranosidase	Sucrose \rightarrow Glucose + Fructose
Glucose oxidase	Desugaring egg products, removing O ₂ from fruit juices susceptible to oxidation
Xylose isomerase	Production of high fructose syrup

Table 3

Protein - metabolizing enzymes	
Enzyme	Utilization
Papain	Removal of turbidity in beer, meat tenderizing
Chymosin(rennin)	Production of cheese
Trypsin	Meat tenderizers
Fungal protease	Meat tenderizers Bread making Substitute for rennin

Table 4

Beer Production		
Substrate	Enzyme	Products
Amylose	α -amylase	Oligosaccharides, maltose, glucose
	β -amylase	maltose
Amylopectin	α -amylase	dextrin
	β -amylase	maltose, β -dextrin
Protein	Proteolytic enzymes in malt	Low M.W Proteins, Peptides, Free amino acids (flavor, stability of foam, colloid)

Table 5

Enzymes of Significance in Food Processing		
Enzyme	Reaction	Use or Potential use
Isomerase Glucose isomerase	D-Glucose \rightleftharpoons D-fructose	For production of fructoses containing syrups
Transferase O-Methyl transferase	O-Dihydroxyl phenols → O-methoxyl phenol	Block oxidation of O-phenols by phenolase to inhibit browning
Oxidoreductase Lipoxygenase	cis,cis-1,4-pentadien unsaturated fatty acids + O ₂ → Fatty acid hydroperoxide	Improve dough and flavor of bread; bleach bread to produce white crumb
Diacetyl reductase	Diacetyl + NADH → acetoin	Reduce concentrations of diacetyl in beer

Enzyme	Reaction	Use or potential use
Glucose oxidase	β -D-Glucose + O ₂ → D-glucono- δ -lactone + H ₂ O ₂	Remove glucose and oxygen from foods
Catalase	$H_2O_2 + H_2O_2$ → O ₂ + 2H ₂ O	Destroy hydrogen peroxide used for food sterilization. Used to remove H ₂ O ₂ from glucose oxidase reaction
Hydrolase		
1. α -Amylase	Hydrolyze α -1,4-glucan	1. Starch liquefaction
2. β -Amylase	links in starch	2. Produce maltose in bread fermentation and in high-maltose syrups
3. Glucoamylase	1. Internal random hydrolysis 2. Successive maltose unit removed 3. Successive glucose unit removed	3. Produce glucose from starch
Invertase	Sucrose → Glucose + Fructose	Produce invert sugar for candies, confections, etc.

Enzyme	Reaction	Use or potential use
Lactase	Lactose \rightarrow Glucose + Galactose	Hydrolyze lactose in dairy products
Cellulase complex	Hydrolyze β -1,4-glucan links in cellulose	Convert cellulose to glucose
Pectin enzyme complex	Hydrolyze pectin to pectic galacturonic acid, and 4-deoxy-5-ketogalacturonic acid	Clarify fruit juices and wines; degrade fruit pulp and increase extractability of juices
Pullulanase	α -D-1,6 linkage of starch \rightarrow α -D-1,4-oligosaccharides susceptible to amylase	Used with α - and β -amylase to effect high-maltose conversion of starch; increase fermentable sugars in brewing
Pentosanases	Pentosan \rightarrow D-xylose + L-arabinose	Decrease bread staling

Enzyme	Reaction	Use of potential
Hemicellulases	D-Xylans → Xylooligosaccharide + D-xylose + L-arabinose	Reduce viscosity of coffee concentrates
β-Glucanases	β-Glucans → β-D-glucose	Facilitate filtration of barley wort in brewing with barley
Naringinase	Naringin → naringenin + rhamnose + glucose	Debitter citrus fruit products
Starchyase	Starchyose → monosaccharides Rafinnose	Reduce flatulance due to starchyose and rafinnose in leguminous products

Enzyme	Reaction	Use or potential use
1. Papain 2. Ficin 3. Bromelain 4. Fungal proteases 5. Bacterial proteases 6. Pepsin 7. Rennin (chymosin) 8. Microbial rennet 9. Chymotrypsin 10. Trypsin 11. Collagenase 12. Elastase	Proteolytic enzymes that hydrolyze a variety of peptide bond	1-5; Meat tenderizer 1-6; Beer 의 혼탁 방지 6-8; Cheese 4 ; Breadmaking 10 ; Antioxidizing in milk 1, 11, 12; Soften and tenderizer of tissue of meat 6,9 ; Resynthesized protein hydrolyzates

Enzyme.	Reaction	Use or potential use
Pregastic esterases	Milk fat + H ₂ O → fatty acids + glycerol + partial glycerides	Develop flavor in Italian cheese and flavor concentrates for candy and baking industries
Lipase	Triglycerides + H ₂ O → fatty acids + glycerol + partial glycerides	Retard staling of bread; enhance whipping properties of egg whites; develop cheese flavor
Ribonuclease	Ribonucleic acids → nucleotides	5'- Nucleotides are flavor enhancers

Table 6

Effect of germination on α - and β -Amylase Activity of Wheat		
α - amylase	Ungerminated	0.04
	Germinated	201
β - amylase	Ungerminated	23
	Germinated	22

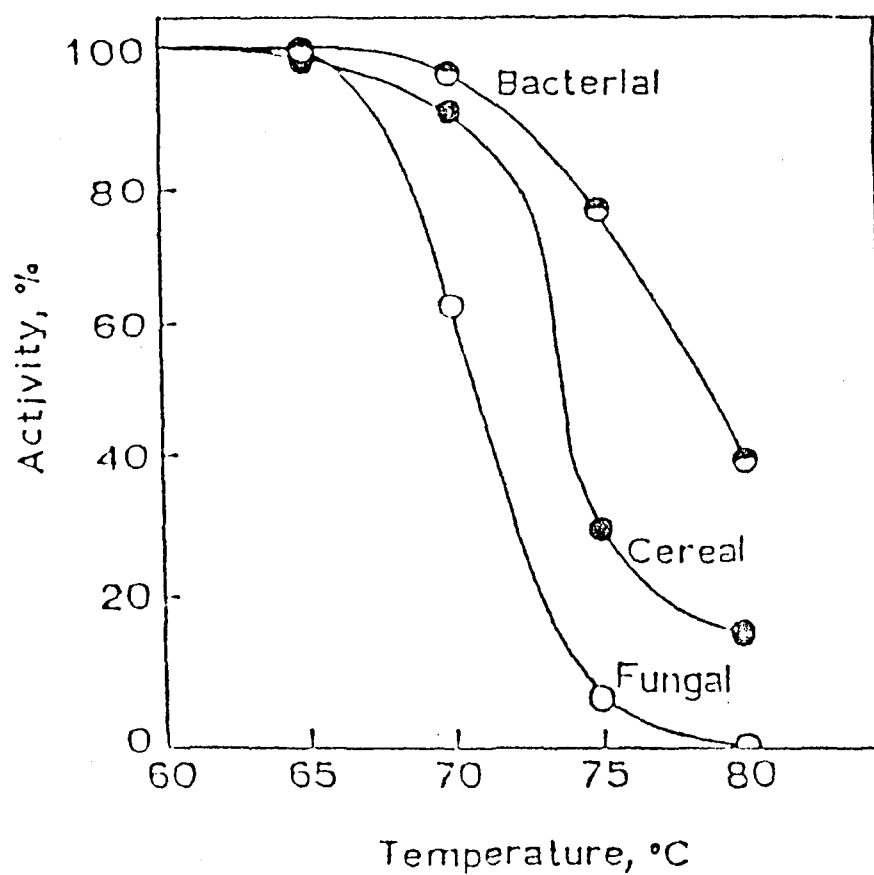


Fig. 1. Thermal stability of α -amylases from various sources. (From Amos, 1955)

Table 7

Gas Production with α -Amylase Supplemented			
Time, hr	No enzyme	Malt	Fungal
1st	30	29	30
2nd	59	59	58
3rd	61	59	59
4th	55	55	54
5th	26	55	56
6th	16	32	32
Total	247	289	289

Table 8

Enzymes Prepared from GRAS Organisms ^a	
Organisms	Result Enzyme
<u>Bacillus subtilis</u>	Amylase (high temperature) Protease, neutral Protease, alkaline
<u>Aspergillus oryzae,</u> <u>Aspergillus niger</u>	Amylase Glucanase Protease Acid protease Catalase Glucose oxidase Lipase Anthocyanase Naringinase Cellulase Hemicellulase Pentosanase
<u>Aspergillus oryzae,</u> <u>Aspergillus niger</u>	Pectinase
<u>Saccharomyces cerevisiae</u>	Invertase
<u>Saccharomyces fragilis</u>	Lactase