

— 총설 —

식물세포벽 가수분해효소 중 펙틴계효소에 대한 고찰

최 동 원* · 김 인 규

*경민전문대학 식품영양학과, 기전여자전문대학 식품제조과

Respection of Pectic Enzymes Among the Hydrolysis Enzymes of Plant Cell Wall

Dong-Won Choi* and In-Gyu, Kim

*Dept. of Food and Nutrition, Kyung-Min Junior College, Euijungbu-city, Kyungkido 480-103

Dept. of Food Technology, Kijeon Women's Junior College, Junju city, Junbuk 560-101

Abstract

Pectic materials, which are widely spread in the plant cell wall as plant carbohydrates, plays a great role in food industry that acts as a softening agent of fruits and vegetables, and gel forming agents.

To study physiochemical properties and industrial applications of pectic enzymes that hydrolyzes pectin, classification, assay method and industrial application are reviewed based on previous results.

Key words : pectin esterases, pectin lyases, pectate lyases

서 론

탄수화물은 과일이나 야채, 곡류의 주요 고형성분으로써 단순당류와 다당류 즉, 전분이나 셀룰로스, 헤미셀룰로스, 펙틴물질등으로 구별된다. 이들 중 펙틴물질은 과일이나 야채의 연화물질로 작용하거나 gel형성 물질로 잘 알려져 있다. 펙틴물질은 갈락투론산의 중합체이거나 혹은 메틸에스테르화한 갈락투론산의 중합체로 밝혀져 있으며 식물의 세포벽과 middle lamella층에 주로 존재한다.

이들 펙틴물질들은 대부분 고등식물에서 발견되며 미생물들(주로 곰팡이, 박테리아)이 생성하는 효소들에 의해 분해된다. 이 효소들은 펙틴효소라 하며 과일 주스의 추출이나 청정작용, 포도주생성, 과일이나 야채의 연화작용에 관여하는 것으로 알려져 있다. 이들을 구별하는 방법으로 mechanism(hydrolysis, trans-elimination), 기질특이성(pectin, polygalacturonate, oligogalacturonate), 작용기작(endo, exo) 형에 의한 구분방법 등이 있다.

이러한 펙틴효소에 관한 연구는 1950년에 Kertesz와 McCulloch¹⁾, Deuel과 Stutz²⁾가 시작한 이래 많은 이들에 의해 연구되어 왔다.^{3~10)}

이런 초창기 연구들에서는 펙틴효소의 정제 기술이 ammonium sulfate에 의한 salting out, 유기용매에 의한 침전법, 투석법 및 가열에 의한 오염된 다른 효소들을 불활성화 시키는 방법 등의 수준을 벗어나지 못하여 순수한 효소를 얻기 어려웠을 뿐 아니라 성질이 불분명한 효소가 생성되는 경우가 많았다.

근래에 들어서는 효소의 분리방법으로 gel-permeation 크로마토그래피, 이온교환 크로마토그래피, 전기영동, 흡착 등의 방법을 단독 혹은 복합적으로 사용하여 순도가 높은 효소를 분리, 정제해 내는 방법이 보편화 되어있다.^{11~14)}

분 류

펙틴효소들은 크게 펙틴의 에스테르 결합을 끊어 주는 pectin-esterase와 펙틴분자를 구성하는 D-galacturonan 사슬의 glycosidic α -(1→4) 결합을 분해

하는 depolymerizing 효소로 구별된다. Depolymerizing 효소는 일반적으로 polygalacturonase, pectate lyase, pectin lyase의 3가지로 구별되며 polymerizing 효소를 포함한 이들 효소들이 특성에 대해

Pilnik 등이¹⁵⁾ 정리한 바 있으며 (Table 1) 그 작용기작을 Fig. 1에 나타내었다.

Depolymerizing 효소들은 펙틴, pectic acid, oligo-galacturonate들에 대한 선택성, 효소작용 결과

Table 1. Some properties of pectic enzymes

Enzyme and source	Molecular weight	Iso-electric point	Optimum pH	Remarks
Pectin esterase				
Banana I	30,000	8.8	6.0	two iso-
Banana II	30,000	9.3	6.0	anzymes
Tomato	26,300	8.4		
Orange I	36,200	10.0	7.6	tow iso-
Orange II	36,200	11	8.0	enzymes
<i>Fusarium oxysporum</i>	35,000			
<i>Clostridium multi-fermentans</i>	400,000		9.0	complexed with exo PAL
Polygalacturonase				
Tomato	44,000 84,000		4.5	endo:multiple forms
<i>Aspergillus niger</i> I		3.8	4.0	endo:
<i>Aspergillus niger</i> II			4.5	multiple forms
<i>Aspergillus niger</i> III		4.5	5.5	
<i>Aspergillus niger</i>	46,000		4.1	
<i>Aspergillus niger</i> I	35,000		3.8	endo:multiple
<i>Aspergillus niger</i> II	85,000		5.0	forms
<i>Rhizoctonia fragariae</i> I	36,000	6.8	5.0	endo, two
<i>Rhizoctonia fragariae</i> II	36,000	7.1	5.0	isoenzymes
<i>Fusarium oxysporum</i> I	36,500		5.0	endo:glyco-
<i>Fusarium oxysporum</i> II	37,000			proteins
Pectate lyase				
<i>Erwinia carotovora</i>	31,000	9.2	8.0	endo
<i>Erwinia chrysanthemi</i>	30,000 to 36,000	9.4 to 4.6	9.8 to 8.2	endo:four molecular forms
<i>Erwinia aroideae</i>	37,000		9.1	endo
Pseudomonas				
<i>fluorescens</i>	42,300	10.3	9.4	endo
<i>Clostridium multi-fermentans</i>	400,000		8.5	exo:complexed with PE
Pectin lyase				
<i>Aspergillus niger</i> I	35,400	3.65	6.0	glycoproteins:
<i>Aspergillus niger</i> II	33,100	3.75	6.0	single peptides
<i>Aspergillus sojae</i>	32,000		5.5	
<i>Aspergillus japonicus</i>	32,000	7.7	6.0	
<i>Dothidea ribesia</i>	31,200	8.9	8.4	

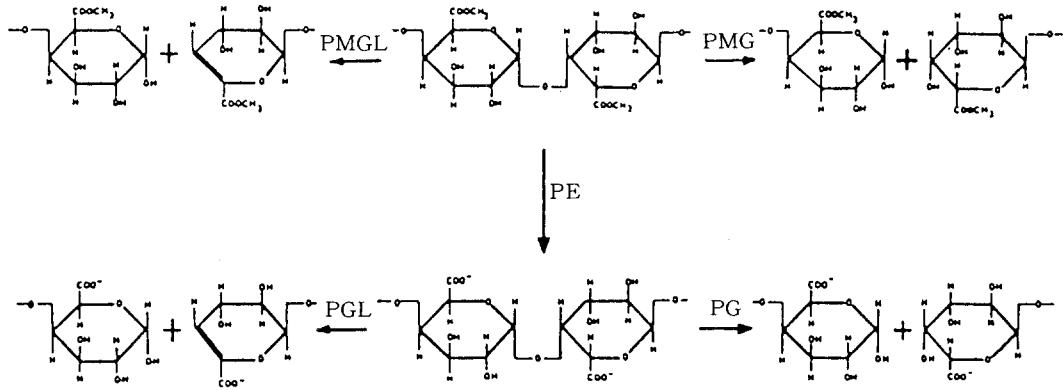


Fig 1. Mode of action of pectinases. Abbreviations: **PMGL**, polymethylgalacturonate lyase (pectin lyase); **PMG**, polymethylgalacturonase (pectin hydrolase); **PE**, pectin esterase; **PGL**, polygalacturonate lyase (pectate or pectic acid lyase); **PG**, polygalacturonase.

transelimination 혹은 가수분해가 일어나는지의 여부 및 분해과정이 무작위적 또는 발단부분에서부터 일어나는지의 3가지 조건에 의해서도 구별되며 그에 따른 효소의 분류 결과를 Table 2에 나타내었다.¹⁶⁾

효소 활성측정

1. Pectin esterase

Pectin esterase의 활성은 이 효소에 의해 분리되는 메틸기의 양을 측정함으로써 알 수 있다. 그 방법 중 가장 일반적인 방법이 효소에 의해 펙틴에 형성된 carboxyl기의 양을 적정법에 의해 정량하는 방법이다.^{17, 18)} 또, 효소의 작용에 의해 펙틴으로부터 분리된 메탄올을 formaldehyde로 산화시켜 정량하는 방법¹⁹⁾과 흡광도에 의해 메탄올의 양을 직접 측정하는 방법²⁰⁾ 등이 알려져 있으며 근래에 들어서는 메탄올을 methyl nitrite로 치환시켜서 gas-liquid 크로마토그래피에 의해 정량하는 방법²¹⁾이 개발되어 있다.

2. Depolymerizing 효소

Depolymerizing 효소들의 활성측정은 보편적으로 생성되는 환원성 물질의 증가속도와 기질용액(펙틴물질의 용액)의 점도감소를 측정하는 방법에 의해 이루어

어지고 있다.

환원성 물질의 양을 측정하는 방법으로 hypiodite에 의한 적정방법을 들 수 있다.²²⁾ 이 방법은 분리된 환원당의 환원기를 요오드로 산화시킨 후 반응하지 않고 남아 있는 요오드의 양을 sodium thiosulfate로 적정하는 방법이며 처리과정이 복잡하고 효소의 양이 많이 필요하므로 Mill등에 의해 개선된 방법²³⁾이 주로 사용된다. 환원당을 측정하는 다른 방법으로 3,5-dinitrosalicylic acid-phenol 시약을 사용하여 발색시키는 방법이 있으나²⁴⁾ 고메톡실펙틴에는 부적당하여, β 분해가 동시에 진행되므로 효소에 의한 분해량을 정확히 측정하기 어렵다. 그 외에 가장 널리 알려진 환원당량 측정법인 Somogyi법²⁵⁾을 들 수 있다. 이 방법은 galcturonic acid와 그 중합체의 양을 비교적 정확히 측정할 수 있다.

환원당량을 측정하는 다른 방법으로 효소작용에 따른 기질용액의 점도감소를 측정하는 방법이 있다.²⁶⁾ 효소의 활성은 점도가 50% 감소하는데 걸리는 시간 혹은 단위시간당 일정한 정도로 점도가 감소하기 위해 사용되는 효소의 양으로 표시한다. 이 방법은 무작위적으로 작용하는 효소들에서만 유용한 것으로 알려져 있다.

Table 2. Classification of pectinolytic enzymes

Esterase

Pectinesterase, PMGE, EC 3.1.1.11, de-esterifies pectin acid by removal of methoxyl residues.

(S.n.)^a : Pectin pectyl-hydrolase.

(S.n.)^b : Polymethylgalacturonate esterase.

Depolymerases

1. *Acting on pectin*

1. 1 Polymethylgalacturonase (PMG)

(a) Endo-PMG hydrolyses pectin in a random fashion.

(S.n.) : Poly(methoxylgalactosiduronate) glycanohydrolase.

(R.n.) : Endopolymethylgalacturonase.

(b) Exo-PMG hydrolyses pectin in a sequential fashion.

(S.n.) : Poly(methoxylgalactosiduronate) exohydrolase.

(R.n.) : Endopolymethylgalacturonase.

1. 2 Polymethylgalacturonate lyase (PMGL)

(a) Endo-PMGL, EC 4.2.2.10, causes random cleavage in pectin by a transemination process.

(S.n.) : Poly(methoxylgalactosiduronate) endolyase.

(R.n.) : Endopolymethylgalacturonate lyase (endopectin lyase).

(b) Exo-PMGL causes sequential cleavage in pectin by a transemination process.

(S.n.) : Poly(methoxylgalactosiduronate) exolyase.

(R.n.) : Endopolymethylgalacturonate lyase (exopectin lyase).

2. *Acting on pectic acid (polygalacturonic acid)*

2. 1 Polygalacturonase (PG)

(a) Endo-PG, EC 3.2.1.15, hydrolyses pectic acid in a random fashion.

(S.n.) : Poly(1,4- α -D-galactosiduronate) glycanohydrolase.

(R.n.) : Endopolygalacturonase.

(b) Exo-PG-1, EC 2.3.1.67, hydrolyses pectic acid releasing D-galacturonate, i.e. hydrolyses successive bonds.

(S.n.) : Poly(1,4- α -D-galactosiduronate) glycanohydrolase.

(R.n.) : Endopolygalacturonase.

(c) Exo-PG-2, EC 3.2.1.82, hydrolyses pectic acid from non-reducing end releasing digalacturonate, i.e. hydrolyses alternate bonds.

(S.n.) : Poly(1,4- α -D-galactosiduronate) digalacturonohydrolase.

(R.n.) : Exopolydigalacturonase.

2. 2 Polygalacturonate lyase (PGL)

(a) Endo-PGL, EC 4.2.2.2, cause random cleavage in pectic acid by a transemination process.

(S.n.) : Poly(1,4- α -D-galactosiduronate) endolyase.

(R.n.) : Endopolygalacturonate lyase (endopectate lyase).

(b) Exo-PGL; EC 4.2.2.9, causes sequentila cleavage in pectic acid by a transemination process.

(S.n.) : Poly(1,4 α -D-galactosiduronate) exolyase.

(R.n.) : Exopolygalacturonate lyase (exopectate lyase).

3. *Acting on oligo-D-galactosiduronates*

3. 1 Oligogalacturonase (OG)

OG hydrolyses oligo-D-galactosiduronate.

(S.n.) : Oligo-D-galactosiduronate hydrolase.

(R.n.) : Oligogalacturonase.

3. 2 Oligogalacturonate lyase (OGL)

OGL, EC 4.2.2.6, causes cleavage of oligo-D-galactosiduronate by a transemination proces.

(S.n.) : Oligo-D-galactosiduronate lyase.

(R.n.) : Oligogalacturonate lyase.

^a (S.n.) systematic name.

^b (R.n.) recommended name.

3. Lyase

Lyase에 의해 분해되어 생기는 이중결합 함유 물질 (4,5-unsaturated glycosiduronate)은 파장 235nm 혹은 230nm에서 최대의 흡광도를 나타낸다.^{27, 28)} 따라서 lyase의 활성을 이 파장 영역에서 흡광도 변화를 측정함으로써 알 수 있다. 측정 방법의 간편성 때문에 polygalacturonate lyase와 polymethylgalacturonate lyase의 활성을 측정하는데 많이 사용되고 있다.²⁹⁻³¹⁾

Oligo-D-galactosiduronate lyase에 의해 생성되는 4-Deoxy-L-threo-hexose-5-urosuronic acid는 235nm에서 흡광하지 않는다. 따라서 이 생성물의 양

을 측정하기 위해서는 thiobarbituric acid와의 화합물을 형성시킨 후 550nm의 파장영역에서 흡광도를 측정해야 하는 것으로 알려져 있다.³²⁾

효소의 특징

1. Pectin esterases

Pectin esterase는 고등식물과 곰팡이, 효모 그리고 고 박테리아에서 생성된다(Table 3). Pectin esterase는 polygalacturonic acid의 메틸 에스테르 결합에만 작용하며, polymannuronic acid의 메틸 에스테르 결합에는 작용을 하지 못하는 경우는 특이성을 가진다. 경우에 따라서는 polygalacturonic acid의 eth-

Table 3. Occurrence of pectic enzymes

Organism	Pectin esterase	Polygalacturonase	Pectate lyase	Pectin lyase
Higher plants				
Citrus	+++			
Tomato	+++	+++		
Banana	+			
Apple	+	(+)		
Pear	+	+		
Potato	+			
Grapes	+	+		
Fungi				
<i>Aspergillus (niger)</i>	++	++		+
<i>Penicillium</i>	+	+		+
<i>Fusarium</i>	+	+	+	
<i>Rhizopus</i>	+	+		
<i>Sclerotinia</i>	+	+		
<i>Colletouchumy</i>		+		+
Yeasts				
<i>Kluyveromyces</i>		++		
Bacteria				
<i>Bacillus (Polymyxa)</i>	+		+++	
<i>Clostridium</i>		+	+	
<i>Erwinia</i>		+	+++	
<i>Pseudomonas</i>			+++	
<i>Arthrobacter</i>			+	

yl, prophy, allyl ester 결합을 끊기도 하지만³³⁾ 메틸 에스테르 결합에 비해 특이성이 떨어진다.

Pectin esterase는 환원성 말단부터 작용하거나³⁴⁾ 메틸 에스테르 결합이 되어있지 않은 galacturonate에 인접한 에스테르 결합부터 작용하여³⁵⁾ 메틸기가 해리된 free polygalacturonic acid를 생성하며³⁶⁾, 이 생성물은 Ca^{2+} 에 대단히 민감하게 반응한다고 알려져 있다.³⁷⁾ Ester group이 알콜로 환원되거나³⁵⁾ amide group으로 전이되면 효소작용에 매우 강한 저해작용을 나타낸다고 보고된 바 있다.

토마토나 곱팡이에서처럼 polygalacturonase 혹은 pectate lyase가 함께 작용하면 훨씬 더 높은 활성을 나타낸다. 시판되는 pectinase는 대부분 pectin esterase와 polygalacturonase의 조합형태로 판매되고 있다.

주스에 pectin esterase가 작용하면 calcium pectate의 침전을 형성하는데, 탁도가 높은 주스에서는 탁도를 떨어뜨리는 품질저하 요인으로 작용하는 반면에 레몬 주스 같은 청정주스에서는 청정작용을 수행하므로 원가절감의 요인으로 작용한다.^{38~40)}

펙틴가공 공정중 감귤류 찌꺼기 속의 pectin esterase 저해 처리가 매우 중요한데 그 이유는 pectin esterase에 의해 약간이라도 에스테르 결합이 해리되면 calcium에 대한 반응성이 매우 크게 증가하기 때문이다. 따라서 펙틴의 원료물질인 감귤류 찌꺼기는 즉시 blanching처리를 하여 pectin esterase의 작용을 막아야 한다. 특히 gelling agent로 사용되는 경우에는 품질에 직접적인 관련이 있다.

식물세포와 곱팡이, 박테리아에서 생성되는 pectin esterase의 특성을 Table 4에 나타내었다.¹³⁾ 최적 pH는 박테리아 유래 효소인 경우 알칼리성이고, 곱팡이와 식물 유래 효소는 각각 산성, 중성부근으로 나타났다.

2. Pectin Lyases

고메톡실 펙틴을 직접 β -분해 할 수 있는 효소로서 주로 곱팡이에 의해 생성되며, 식물과 박테리아에서는 거의 발견되지 않고 있다. 모든 pectin lyase는 endo형으로서 급격한 점도감소를 일으킬 수 있다.

작용부위는 methyl ester group 다음에 존재하는

glycosidic 결합이므로 pectin lyase는 고메톡실 펙틴에 대한 작용성이 매우 크다. 또한 pH에 따라서 최대 작용성을 나타내는 에스테르화 비율(degree of esterification, DE)이 낮아지는 현상을 보였다.³⁾ Pectin lyase는 그 작용 특성상 고메톡실 펙틴을 많이 함유한 사과주스의 펙틴제거 공정에 많이 사용된다.⁴¹⁾ Pectin lyase에 의해 분해 가능한 가장 작은 물질은 tetramethyltetragalacturonate⁴²⁾와 trimethyltrigalacturonate⁴³⁾로 알려져 있다.

3. Pectate Lyases

메톡실기를 전혀 함유하지 않거나 약간 함유한 저메톡실 펙틴 혹은 pectic acid, polygalacturonic acid에 작용하여 β -분해하는 효소로써 에스테르화 되지 않은 carboxyl기 다음에 결합한 glycosidic결합을 분해하는 역할을 한다(Fig. 1). Pectate lyase에는 endo형(무작위적으로 작용)과 exo형(환원성 말단부터 작용)의 2종류가 존재하며 전자의 경우 최적의 기질은 pectic acid가 아닌 저메톡실 펙틴이 된다.⁴⁴⁾ Exo형인 경우에는 가장 작용성이 높은 기질은 pectic acid가 되며 작용 가능한 가장 작은 oligomer는 trimer이다.

대부분의 pectate lyase는 박테리아에서 생성되며 극히 일부분의 endo형 효소들만 식물의 병원성 곱팡이에서 발견된다(Table 1).

이들 lyase는 최적 pH가 8~9.5로 매우 높으며 반드시 calcium이온과 함께 작용을 하는 것으로 알려졌다.⁴⁵⁾

4. Polygalacturonase

Polygalacturonase는 polygalacturonic acid중 에스테르화 되어 있지 않은 free carboxyl기 다음에 형성된 glycosidic 결합을 가수분해하는 효소로써 endo형과 exo형이 있다. Endo형은 고등식물, 곱팡이, 박테리아, 효모 등에서 생산되며 기질의 점도를 급격히 감소시킨다. 효소의 작용 특성상 기질의 에스테르화 정도가 증가할수록 가수분해도는 감소한다. *Aspergillus niger*에서 생성되는 대부분의 endo형 효소는 작용 최적 pH가 4정도로 매우 낮은 반면에 exo형 효소는 최적 pH가 5로 약간 높은 것으로 알려져 있다. Exo형은 식물세포, 곱팡이, 박테리아 뿐 아니라 일부

Table 4. Properties of pectinesterases

Source of enzyme	Molecular weight	Iso-electric point	Specific activity (u/mg protein)	Optimum pH	K _m value for pectin (mg/ml)
Fruites					
Banana I ^a	30,000	8.9	457	6.0	
II ^a	30,000	9.4	529	6.0	
Orange (<i>Citrus natsudaidai</i>)			2,200	8.0	2.3
Orange (<i>Citrus sinensis</i>) I ^a	36,200	10.0	694	7.6	0.083
II ^a	36,200	11.0	762	8.0	0.0046
Plums (<i>Prunus salicina</i>)			25	7.5	0.1
Tomato ^a	27,500		1,150	6.9	0.74
Tomato ^a	26,300	8.4			
Tomato			724	8.0	2.40
Tomato ^a	27,800				
Fungi					
<i>Acrocyndrium</i>				7.5	0.7
<i>Coniothyrium diplodiella</i> I ^a				4.8	
II ^a				4.9	
<i>Corticium rolfsii</i> ^b	37,000			3.5	
<i>Fusarium oxysporum</i>	35,000		203	7.0	
Bacteria					
<i>Clostridium multifementans</i> ^a	400,000		48	9.0	0.74

^a (One of) multiple molecular forms or isoenzymes.

^b Active at low pH, stable in pH range 1-11.

^c Complexed with pectate exo-lyase.

곤충의 소화관내에서도 발견되며 이들 효소는 pectic acid를 비환원성 말단에서부터 시작하여 monomer단위로 분해하며 calcium 이온에 의해 분해 반응이 촉진된다.¹³⁾

효소의 응용

펙틴효소들이 과일이나 야채의 연화에 중요한 역할을 하지만 식물세포조직을 분해하는 성질을 과채류 가공에 응용함으로써 (1) 식물조직(과일, 채소)으로부터 주스의 수율을 증대시키며, (2) 과채류 가공중 농축물을 저점도화 시키며 (3) 펙틴의 구조를 변경시킴으로써 주스의 청징작용과 고형분 분리를 쉽게 하는 잇점이 있다. 특히 과일 주스 가공중 가장 어려운 청징공정과 여과공정을 용이하게 한다.

1. 과채류 가공

과일주스를 추출해 내는 과정에서 효소처리를 함으로써 펙틴의 가수분해를 촉진하고 더 나아가 주스추출수율을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다.^{46, 47)} 또한 과채류의 세포구성 펙틴은 분해하여 부드럽게 함으로써 유아식 제조에 사용되는 푸레나 nectar base를 제조할 수 있다.⁴⁸⁾ 이처럼 효소를 사용하는 방법이 기계적인 방법보다 최종 생산물의 품질을 더 향상시킬 수 있다고 알려졌으며 특히 사과를 원료로 사용할 때 그 경향이 더욱 뚜렷하다고 보고되었다.⁴⁹⁾

감귤류 공업에서 특히 pectinase가 많이 사용되는데, 감귤주스를 짜낸후 남은 찌꺼기에 상당한 양의 주스와 가용성 고형분들이 들어있는 것을 pectinase 처리에 의해 대부분 회수할 수 있으며 저점성 물질(low-viscosity product)을 생성함으로써 가동비용

을 줄일 수 있다.⁵⁰⁾

2. 과일주스의 청징작용

과일주스의 청징작용은 펙틴효소들에 의해 수행되어져 왔고 현재도 가장 사용빈도가 높은 부분이다. 주로 사과, 포도, 복숭아 주스 제조시 많이 사용되며 1차 압착된 여액에 효소를 첨가하여 탁도와 점도를 감소시킨 후에 여과나 원심분리과정을 거쳐 최종산물을 얻는다.

사과주스는 polyphenol-oxidase에 의해 쉽게 갈변화 되므로 효소처리하여 청징작용을 수행하는 동안 이미 갈변화가 완료되며 청징과정중 생기는 응고물은 진한 갈색을 나타내고 상등액은 연한 갈색을 나타낸다.

일반적으로 주스의 청징작용에는 3가지 단계가 있다고 알려져 있다.⁵¹⁾ 즉, 불안정화, 응집, 침강의 단계를 거쳐서 주스의 청징작용이 수행되는데 이때 펙틴의 분해정도가 적당하지 않으면 분자 상호간의 작용에 의해 응집이 잘 안되는 경우가 있으므로 펙틴의 분해정도를 적당히 조절해야 한다.

3. 와인(Wine) 청징작용

와인발효시 펙틴 효소를 첨가함으로써 색을 선명하게 하고 알콜함량을 증가시킬 수 있다고 밝혀졌으며⁵²⁻⁵⁴⁾ 주로 포도, 사과, 복숭아 등을 이용한 와인 발효시 효소를 첨가하여 효과를 거둘 수 있다고 알려져 있다.

고 찰

펙틴물질에 대한 이해 및 응용은 펙틴을 특이하게 가수분해하는 펙틴계 효소를 이용하여 할 수 있다. 현재까지 보고된 펙틴효소 중 몇가지는 아직까지 정확한 작용기작에 대하여 설명이 부족한 면이 있다. 이에 따라 식물세포벽 구조에 대한 정확한 설명이 미미한 편이다. 따라서 새로운 펙틴계 효소의 탐색 및 작용특성에 대하여 더욱 연구한다면 펙틴물질의 이해를 증진할 수 있으며 나아가 새로운 식품소재의 응용이 가능할 것이다.

요 약

식물 탄수화물중에서 식물 세포벽에 광범위하게 분포되어 있는 펙틴물질은 특히 식품산업에서 중요한 역할을 담당하여 과일이나 야채의 연화물질로 작용하며 특히 껍을 형성하는 물질로 알려져 있다. 본 논문은 이러한 펙틴물질을 가수분해하는 펙틴계 효소들에 대하여 그 물리화학적 성질 및 산업적 응용에 관하여 고찰하고자 펙틴효소의 분류 및 각 효소들의 활성측정 방법, 효소의 작용 및 산업적 응용에 대하여 기존에 보고된 결과들을 정리하였다.

참고문헌

1. Kertesz, Z.I. and McCulloch, R.J. : *Advan. Carbohydr. Chem.*, 5, 79(1950)
2. Deuel, H. and Stultz, E. : *Advan. Enzymol.*, 20, 341(1958)
3. Albersheim, P. Neukom, H. and Deuel, H. : *Helv. Chim. Acta*, 43, 1442(1960)
4. Nagel, C.W. and Vaughn, R.H. : *Arch. Biochem. Biophys.*, 93, 344(1961)
5. Neukom, H. : *Schweiz. Landwirtsch. Forsch.*, 2, 112(1963)
6. Voragen, A.G.J. and Pilnik, W. : *Zz. Lebensm. Untersuch.-Forsch.*, 142, 346(1970)
7. Rombouts, F.M. and Pilnik, W. : *Crit. Rev. Food technol.*, 3, 1(1972)
8. Wood, R.K.S. : *Ann. Rev. Plant. Physiol.*, 11, 299(1960)
9. Bateman, D.F. and Millar, R.L. : *Ann. Rev. Phytopathol.*, 4, 119(1966)
10. Albersheim, P., Jones, T. and English, P.D. : *Ann. Rev. Phytopathol.*, 7, 171(1969)
11. Fogarty, W.M. and Ward, O.P. : *Progress in Industrial Microbiology*, Churchill Livingstone, Edinburgh, Vol. 13, p.59(1979)
12. Rombouts, F.M. and Pilnik, W. : *Economic Microbiology*, "Microbial Enzymes and Bioc-

- onversions", Academic Press, London, Vol 5, p.227(1980)
13. Pilnik, W. and Rombouts, F.M. : *Enzymes and Food Processing*, Applied Science Publishers Ltd, London, p.105(1981)
 14. Rexova-Benkova, L. and Markovic, O. : *Advances in carbohydrate chemistry and Biochemistry*, Academic Press, New York, Vol. 33, p. 323(1976)
 15. Pilnik, W. and Rombouts, F.M.
 16. Fogarty, W.M. and Keely, C.T. : *Microbial Enzymes and Biotechnology*, Applied Science Publishers, London and New York, p131 (1983)
 17. Cole, M. and Wood, R.K.S. : *Annals of Botany(London)*, 25, 435(1961)
 18. Kertesz, Z.I. and Lanvin, M.I. : *Food Research*, 19, 627(1954)
 19. Holden, M. : *Biochemical J.*, 39, 172(1945)
 20. Wood, P.J. and Siddigui, I.R. : *Analytical Biochemistry*, 39, 418(1971)
 21. Bartolome, L.G. and Hoff, J.E. : *J. Agr. Food Chemistry*, 20, 262(1972)
 22. Phaff, H.J. : *Methods in Enzymol.*, 8, 646 (1966)
 23. Mill, P.J. and Tuttobello, R. : *Biochem. J.*, 79, 57(1961)
 24. Borel, E., Hostetter, F. and Deuel, H. : *Helv. Chim. Acta*, 35, 115(1952)
 25. Somogyi, M. : *J. Biol. Chem.*, 195, 19(1952)
 26. Gosh, B.L. and Base, R.G. : *Current Sci. (India)*, 42, 854(1973)
 27. Albersheim, P., Neukom, H. and Deuel, H. : *Helvetica CHimica Acta*, 43, 1422(1960)
 28. Starr, M.P. and Moran, F. : *Science*, 135, 920(1962)
 29. Sato, M. and Kaji, A. : *Agric. Biolo. Chem.*, 44, 1345(1980)
 30. Rombouts, F.M., Spaansen, C.H., Visser, J. and Pilnik, W. : *J. of Food Biochemistry*, 2, 1 (1978)
 31. Kelly, C.T. and Fogarty, W.M. : *Canadian J. of Microbiology*, 26, 377(1980)
 32. Nagel, C.W. and Anderson, M.M. : *Arch. Biochem. Biophys.*, 112, 311(1965)
 33. Tamine, A. Y. : *Dairy Ind. Int.*, 8, 7(1977)
 34. Lee, M. and MacMillan, J. D. : *Biochemistry*, 9, 1930(1970)
 35. Solms, J. and Deuel, H. : *Helv. Chim. Acta*, 38, 321(1955)
 36. Heri, W., Neukom, H. and Deuel, H. : *Helv. Chim. Acta*, 44, 1945(1961)
 37. Kohn, R., Furda, I. and Kopec, Z. : *Collect. Czech. Chem. Commun.*, 33, 264(1968)
 38. Versteeg, C. : Pectinesterases from the orange fruit, *Thesis*, Agricultural University, Dept. of Food Science, Wageningen, Netherlands(1979)
 39. Joslyn, M.A. and Plinik, W. : *the Orange, Its Biochemistry and Physiology*, University of Californis Press, Berkeley, California(1961)
 40. Krop, J.J.P. : The mechanism of cloud loss phenomena in orange juice, *Thesis*, Agricultural University, Dept. of Food science, Wageningen, Netherland(1974)
 41. Ishii, S, and Yokotsuka, T. : *Agric. Biol. Chem.*, 39, 313(1975)
 42. Edstrom, R.D. and Phaff, H.J. : *J. Biol. Chem.*, 239, 2409(1964)
 43. VAN Houdenhoven, F.E.A. : Studies on pectin lyase, *Thesis*, Agricultural University, Dept. of Biochemistry, Wageningen, Netherland(1975)
 44. Rombouts, F.M. : Occurence and properties of bacterial pectate lyases, *Thesis*, Agricultural University, Dept. of Food Science, Wageningen, Netherland(1973)
 45. Atallah, M.T. and Nagel, C.W. : *J. Food Biochem.*, 1, 185(1977)
 46. Neubeck, C.E. : *in Enzymes in Food Process-*

- ing, Academic Press, New York, p.397(1975)
47. De Vos, L. and Pilnik, W. : *Process Biochemistry*, **8**(8), 18(1973)
48. Strubi, P., Escher, F. and Neukom, H. : *J. of Food Science*, **43**, 260(1978)
49. Strubi, P., Escher, F. and Neukom, H. : *Die Industrielle Obst und Gemue severwertung*, **60**, 349(1975)
50. Braddok, R.J. and Kesterson, J.W. : *J. of Food Science*, **41**, 82(1976)
51. Baumann, J.W. : *Enzymes and Food Process-*
- ing, Applied Science Publishers, London, p. 129(1981)
52. Cruess, W. V. and Besone, J. : *Fruit Products J.*, **20**, 365(1941)
53. Hall, N.A., Krupski, E. and fischer, L. : *Am. J. of Microbiology*, **16**, 69(1970)
54. Yokotsuka, T. and Ishii, S. : *U.S. Patent*, 3, 666,487(1972)
-
- (1996년 3월 18일 수리)