

세포벽 분해효소의 처리에 따른 감과실의 세포벽 성분의 변화

김광수[†] · 신승렬* · 송준희** · 김주남***

영남대학교 식품영양학과, *경산대학교 식품과학과

대구전문대학 식품영양과, *영남전문대학 식품영양과

Changes in the Components of Cell Wall of Persimmon Fruit by Treatments of Cell Wall-Degrading Enzymes

Kwang-Soo Kim[†], Seung-Ryeul Shin*, Jun-Hee Song** and Ju-Nam Kim***

Dept. of Food and Nutrition, Yeungnam University, Kyungsan 712-749, Korea

*Dept. of Food Science, Kyungsan University, Kyungsan 712-715, Korea

**Dept. of Food and Nutrition, Daegu Junior College, Daegu 705-030, Korea

***Dept. of Food and Nutrition, Yeungnam Junior College, Daegu 702-260, Korea

Abstract

This paper was carried out to investigate changes in cell wall, cell wall polysaccharides, pectic substances extracted from cell wall of persimmon fruits treated with polygalacturonase and β -galactosidase *in vitro*. Degrading degree of cell wall treated with cell wall-degrading enzymes were higher in order polygalacturonase, polygalacturonase + β -galactosidase and β -galactosidase. Contents of soluble pectic substances in cell wall treated with cell wall-degrading enzymes showed as the same order as degrading degree of cell wall, while contents of insoluble pectin lower. Contents of versene-soluble pectin and total pectic substances were not affected by cell wall-degrading enzymes. Contents of uronic acid and hexose in soluble material isolated from cell wall treated with polygalacturonase and mixed enzyme were higher than those of untreated and β -galactosidase treatment.

Key words : persimmon, polygalacturonase, β -galactosidase, cell wall polysaccharide, softening

서 론

과실의 성숙·저장 및 유통과정 중에 일어나는 연화 현상은 생체내에 존재하는 세포벽분해효소에 의해 세포벽 구성 성분이 분해되어 초래되는 물성변화의 하나로 과실의 품질에 많은 영향을 미치며, 연화정도는 세포벽분해효소의 조성, 세포벽 구성 성분의 조성, 다당류의 크기, 측쇄결합의 정도와 분포, 수소결합 정도 및 칼슘 함량 등과 밀접한 관계가 있다¹⁻⁴⁾.

과실의 세포벽분해효소로는 polygalacturonase⁵⁻⁸⁾, cellulase^{9,10)}, pectinmethylesterase¹¹⁾, glycosidase^{12,13)} 등이 있으며, 성숙과 저장 중에 활성이 증가한다. Polygalacturonase는 exo-와 endo-type이 존재하고 과실의 종류와

품종에 따라 조성이 다르며^{1,2)}, climacteric fruit인 토마토⁵⁾, 감⁶⁾, 복숭아⁶⁾ 등의 성숙과 연화 중에 활성이 현저히 증가하여 세포벽을 구성하는 pectin질을 분해함으로써 과실의 연화를 촉진시킨다. Cellulase는 과실의 종류에 따라 활성에 차이가 있으나 대체로 과실의 연화 동안에 활성 변화가 없거나 약간 증가하여 연화에 뚜렷한 영향을 주지 않는다^{1,2,14)}. Pectinmethylesterase는 성숙 초기에 활성이 증가^{15,16)}하거나 감소¹⁷⁾하며 pectin의 methoxyl기를 분해하여 polygalacturonase의 작용을 용이하게 해준다^{1,2)}. α - β -galactosidase, mannanase, xylanase, β -1,3-gluconase 등은 glycosidase에 속하며 성숙과 연화 중에 활성이 증가하고 세포벽 구성 다당류의 측쇄결합인 galactan, arabinogalactan과 hemicellulose를 구성하는 xylan, glucoxylan, mannoxylan 등을 분해하여 연화를 촉진한다¹⁻⁴⁾.

[†]To whom all correspondence should be addressed

세포벽 구성 성분은 cellulose, hemicellulose, pectin, glycoprotein 등이며^{2,3}, 이들 성분은 연화 중에 세포벽 분해효소에 의해 분해되어 저분자화됨으로써 세포벽 다당류의 함량은 감소하고 가용성 다당류는 증가한다^{18,19}. 특히 middle lamella를 구성하고 있는 pectin질은 세포벽분해효소인 polygalacturonase의 작용에 의해 저분자인 polyuronide로 유리되어 가용성 pectin질이 증가하고 동시에 middle lamella의 붕괴로 연화가 일어난다^{20,21} 이와 함께 세포벽 구성단백질도 유리된다²². Pectin질의 측쇄결합인 galactan이나 arabinogalactan은 β -galactosidase의 작용으로 분해되어 galactose와 arabinose를 유리시켜 세포벽 분해를 촉진한다^{12,18,23}.

본 연구자들은 감과실의 연화현상을 구명하고자 감의 성숙과 저장 중에 세포벽분해효소의 활성^{8,24}, 세포벽 구성성분 및 세포벽단백질의 변화에 대한 연구를 수행하여 감성숙과 저장 중에 polygalacturonase와 β -galactosidase의 활성 증가, 세포벽 성분과 다당류의 감소와 세포벽 구성 성분인 pectin질과 hemicellulose의 저분자화²⁵, 비점유성 중성당인 galactose와 arabinose의 감소²⁶, 세포벽단백질의 유리²⁷ 및 middle lamella의 붕괴²⁸ 등을 관찰하였다.

본 연구는 앞선 연구들을 토대로 하여 세포벽분해효소의 작용에 대하여 보다 구체적으로 조사하고 *in vitro*에서 추출한 감의 세포벽에 polygalacturonase와 β -galactosidase를 처리하여 세포벽 구성 성분의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서는 경남 진영군에서 재배한 부유종 단감 (*Diospyros kaki*, L)을 완숙기(개화 후 155~160일)에 수확한 것을 재료로 사용하였다.

세포벽 추출

세포벽 추출은 Selvendran²⁹과 Jarvis³⁰의 방법에 따라 과육 100g에 0.2M HEPES buffer (pH 6.8) 200ml를 가하여 균질화한 후 miracloth로 여과하였으며, 이 조작을 반복하여 잔사를 얻었다. 잔사를 10mM sodium acetate buffer에 현탁시킨 다음 amylase와 protease를 가하여 30°C에서 24시간 동안 처리한 후 여과하여 당질과 단백질 성분을 제거하였고, 다시 잔사를 chloroform-methanol (1 : 1, v/v)에 1시간 현탁시킨 다음 여과하여 지질 성분을 제거한 잔사를 동결건조하여 세포벽 성분으

로 하였다.

효소처리

효소처리에는 Themmen 등³¹이 행한 방법에 준하여 행하였다. 즉, 추출한 세포벽 2g을 0.2% sodium azide를 함유한 sodium acetate buffer 100ml에 현탁시킨 다음, polygalacturonase (from *Aspergillus niger*)는 pH 4.0, β -galactosidase (from *Aspergillus niger*)는 pH 6.0, polygalacturonase와 β -galactosidase 혼합효소액과 무처리구는 pH 5.5로 조절하여 30°C에서 3시간 처리하였다. 각 세포벽분해효소의 양은 polygalacturonase와 β -galactosidase는 각각 100unit, 혼합효소액은 각 효소 50 unit씩으로 혼합하여 사용하였다. 처리한 세포벽은 여과하여 가용성 물질과 불용성 물질로 나누어서 분석용 시료로 하였다.

세포벽 구성 다당류의 분획 및 정량

세포벽 다당류의 분획은 Yamaki 등³²이 행한 방법에 따라 행하였다. 즉 세포벽분해효소를 처리하여 얻은 불용성 물질 1g을 0.05M EDTA-2Na용액 100ml에 현탁시켜 80°C에서 30분간 열처리한 다음 10,000×g에서 20분간 원심분리하여 상정액을 pectin질로 하였고, 잔사는 다시 2N KOH용액에 현탁시켜 5시간 동안 저어 준 후 10,000×g에서 원심분리하여 상정액을 hemicellulose I로 하였다. 다시 잔사를 4N KOH에 현탁시켜 hemicellulose I과 동일하게 처리하여 hemicellulose II를 분획하였고 잔사를 cellulose 분획으로 하였다. 각 분획을 증류수에서 72시간 투석하여 EDTA와 KOH를 제거하고 동결건조한 후 중량법으로 함량을 측정하였다.

Pectin질의 분획 및 정량

Pectin질의 분획은 Ben-Arie 등³³이 행한 방법에 따라 효소처리한 세포벽 500mg에 증류수 100ml를 가하여 추출한 것을 수용성 pectin (water-soluble pectin; WSP)으로 하였고, 잔사에 0.5% EDTA-2Na용액 100ml를 가하여 용해한 것을 versene-soluble pectin (VSP)으로 하였으며, 불용성 pectin (insoluble pectin; ISP)은 남은 잔사를 황산으로 가수분해한 것으로 하였으며, 각각의 분획물은 carbazole 비색법³³에 따라 각 시료용액 0.5ml와 진한 황산 3ml를 잘 혼합한 다음 20분간 증탕가열하고 냉각시킨 후에 carbazole시약 100 μ l를 가하여 2시간 정색시킨 다음 530nm에서 흡광도를 측정하여 galacturonic acid 점량선에 의해 함량을 산출하였다.

Hexose와 uronic acid의 정량

Hexose의 정량은 세포벽 10mg을 진한 황산 2ml를 가하여 가열 분해시킨 후 anthrone 비색법¹⁴⁾에 준하였다. 즉, 분해액 1ml와 anthrone 시약 2ml를 혼합하여 15분간 증탕 가열한 후 냉각하여 620nm에서 흡광도를 측정하여 glucose 검량선에 의해 hexose의 함량을 산출하였다. Uronic acid의 정량은 carbazole 비색법¹⁵⁾에 준하였다.

결과 및 고찰

세포벽 함량의 변화

감과실의 세포벽에 효소를 처리한 후 불용성 물질과 가용성 물질의 함량은 Table 1에서 보는 바와 같이 polygalacturonase와 혼합효소 처리시 각각 566.2와 713.0 mg/g-cell wall, 433.8과 287.0mg/g-cell wall이었고, β -galactosidase 단독처리한 것과 무처리한 것의 불용성 물질은 각각 962.6, 975.0mg/g-cell wall이며 가용성 물질은 각각 36.4와 25.0mg/g-cell wall이었다. 이러한 결과로 보아 polygalacturonase는 세포벽 성분의 분해에는 많은 영향을 주지만 β -galactosidase는 뚜렷한 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

Polygalacturonase는 과실의 성숙 중에 그 활성이 증가하여 세포벽의 구성 성분인 pectin질을 분해하여 증층이 붕괴되고 과실의 연화가 촉진된다¹²⁾. 이때 pectin질은 저분자화되어 polyuronide나 galacturonic acid로 유리되어 불용성 pectin의 함량은 감소하고 수용성 pectin은 증가한다^{1,4,25)}. 또한 Wallner와 Bloom¹³⁾는 추출한 세포벽 성분에 세포벽분해효소를 처리하였을 때 생과실의 연화시와 유사한 수용성 pectin의 증가와 불용성 pectin의 감소 및 galactose 유리현상을 보고하였다. 그리고 β -galactosidase도 pectin질의 측색인 galactan이나 arabinogalactan을 분해하여 galactose를 유리시켜 연화를 촉진하는 것으로 알려져 있으나^{1,2,23)}, 본 연구에서는 뚜렷한 세포벽 성분의 분해현상은 보이지 않았다.

Table 1. Contents of insoluble and soluble material extracted from cell wall treated with cell wall-degrading enzymes (mg/g-cell wall)

Treatments	Insoluble material	Soluble material
Untreated	975.0	25.0
Polygalacturonase	566.2	433.8
β -Galactosidase	962.6	36.4
Mixed enzyme*	713.0	287.0

*Mixed enzyme means polygalacturonase and β -galactosidase

이는 β -galactosidase는 galactan이나 arabinogalactan은 분해하지만 고분자인 세포벽 성분의 분해에 뚜렷한 영향을 주지 않으므로 연화 중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

세포벽 구성 다당류의 함량 변화

Table 2은 세포벽 성분에 세포벽분해효소를 처리시킨 잔존하는 세포벽을 분획하여 세포벽 구성 다당류를 정량한 결과이다. Polygalacturonase와 혼합효소액을 처리한 세포벽의 pectin질 함량은 각각 77.0, 88.5mg/g-cell wall이었고, β -galactosidase를 처리한 것과 무처리한 것에는 각각 96.5, 97.0mg/g-cell wall이었다. 그리고 hemicellulose I은 polygalacturonase를 처리한 것이 처리하지 않은 것 보다 함량이 높았고 hemicellulose II와 cellulose는 모든 처리에서 함량이 유사하였다.

과실의 성숙과 연화 중에 polygalacturonase⁶⁻⁸⁾와 β -galactosidase^{11,24)}의 활성이 증가하고 이들 효소에 의하여 세포벽 성분의 분해가 일어나서 연화가 일어난다¹⁻⁴⁾. Ben-Arie 등¹⁹⁾과 Knee^{22,36)}는 middle lamella의 구성 성분인 pectin이 polygalacturonase에 의해 분해되어 middle lamella가 붕괴됨으로써 연화가 일어난다고 하였다. Yamaki와 Kakiuchi¹⁸⁾는 과실의 성숙 중에 hemicellulose의 저분자화와 유리현상이 일어난다고 하였다.

이상의 결과를 종합하여 생체내에서의 연화현상을 고려해 볼 때 polygalacturonase는 세포벽의 pectin질을 저분자화하여 가용성 pectin질을 유리시키고, 비교적 분자량이 작은 hemicellulose I은 증층의 붕괴와 더불어 hemicellulose층이 용해되어 저분자화되어 함량이 증가한 것으로 생각된다. 또한 β -galactosidase는 pectin질의 측색인 galactan이나 arabinogalactan을 분해하여 galactose를 유리시키는 것으로 알려져 있으므로 세포벽 구성 다당류의 함량에는 영향을 주지 않는 것으로 사료된다.

세포벽 구성 pectin의 변화

Pectin질의 변화를 보다 구체적으로 조사하고자 각

Table 2. Contents of polysaccharide in insoluble cell wall material treated with cell wall-degrading enzymes (mg/g-insoluble cell wall material)

Treatments	Pectin	Hemicel- lulose I	Hemicel- lulose II	Cellulose
Untreated	97.0	137.5	179.0	594.5
Polygalacturonase	77.0	155.0	170.0	598.0
β -Galactosidase	96.5	137.5	179.0	587.0
Mixed enzyme	88.5	158.0	171.0	582.5

효소를 처리하여 얻은 세포벽의 pectin질을 용해성에 따라 분획하여 carbazole 비색법으로 정량한 결과는 Table 3과 같다. Polygalacturonase와 혼합효소액을 처리하였을 때 수용성 pectin질의 함량은 각각 20.80, 24.85 mg/g-cell wall이고, 불용성 pectin질의 함량은 각각 52.30, 50.80mg/g-cell wall이었다. 그리고 β -galactosidase를 처리한 것과 무처리한 것에서 수용성 pectin질의 함량은 각각 18.85, 17.50mg/g-cell wall이었고, 불용성 pectin질은 다같이 62.90mg/g-cell wall이었다. Versene-soluble pectin과 총 pectin질의 함량은 효소처리구와 무처리구는 유사하였으나 총 pectin질의 함량은 polygalacturonase를 처리한 것이 약간 낮았다.

Ahmed와 Labavitch¹⁹, Knee²⁰, 및 Ben-Arie 등^{19,20}은 과실의 성숙과 연화 중에 pectin이 분해됨으로써 불용성 pectin은 감소하고 가용성 pectin이 증가한다고 보고하였고, 신 등²¹은 감과실의 성숙과 연화 중에도 유사한 pectin의 변화가 일어난다고 보고하였다. 과실의 연화 중에 middle lamella의 주요 구성성분인 pectin의 함량은 감소하고 pectinase에 의해 분해되어 저분자화됨으로써 난용성 pectin의 함량은 감소하고 수용성 pectin은 증가한다¹⁶⁻²⁰. Pressey 등²²과 Hobson⁴은 성숙과 연화 중에 pectin의 변화는 polygalacturonase에 의해서 일어난다고 하였다. Polygalacturonase는 대부분의 과실에 존재하며 성숙과 연화 중에 활성이 증가하고 세포벽 중층을 구성하는 pectin질을 분해하여 가용성 polyuronide를 유리하여 과실의 연화를 촉진시킨다^{1,2,4}. 과실의 조직과 추출한 세포벽에 polygalacturonase를 처리시에도 불용성 pectin의 함량은 감소하고 수용성 pectin은 증가한다는 보고³⁰가 있으며, 본 연구자들은 감과실의 연화 중에 polygalacturonase와 β -galactosidase의 활성이 증가하고^{8,24} 총 pectin의 감소와 더불어 수용성 pectin의 증가현상을 관찰하였고²⁵, 또한 Wallner와 Bloom¹³은 토

마토의 세포벽 성분에 세포벽분해효소의 처리시에 생과실과 같이 세포벽 분해가 일어났으며 수용성 pectin의 함량이 증가하고 galactose가 유리한다고 보고하였는데 이는 본 연구와 유사한 경향이였다.

유리 다당류의 uronic acid와 hexose의 변화

Table 4는 유리 다당류에 함유한 uronic acid와 hexose의 함량을 정량한 결과이다. Polygalacturonase와 혼합효소액을 처리하였을 때 uronic acid의 함량은 각각 236.25, 203.15mg/g-cell wall로, β -galactosidase를 처리한 것과 무처리한 것(14.52, 14.00mg/g-cell wall)보다 월등히 높았다. Hexose의 경우도 polygalacturonase를 처리한 것이 β -galactosidase 처리구나 무처리구보다 높았다. 이는 polygalacturonase가 세포벽의 pectin질을 저분자화하여 수용성 uronide 함량이 증가한 것으로 생각된다.

요 약

세포벽분해효소인 polygalacturonase, β -galactosidase 및 polygalacturonase와 β -galactosidase를 혼합한 효소액을 *in vitro*에서 추출한 감과실의 세포벽에 처리하였을 때 세포벽, 세포벽 구성 다당류, pectin질 및 가용성 다당류의 hexose와 uronic acid 조성의 변화를 조사하였다. 세포벽 분해의 정도는 polygalacturonase, 혼합효소액, β -galactosidase의 순이었다. 세포벽의 수용성 pectin질의 함량은 혼합효소 처리구에서 함량이 가장 높았고 다음으로 polygalacturonase, β -galactosidase, 무처리구 순이고, versene-soluble pectin과 총 pectin질은 효소처리구와 무처리구 모두 유사한 경향이고 불용성 pectin질은 수용성 pectin질과 상반되는 경향이였다. 가용성 물질의 uronic acid와 hexose의 함량은 polygalacturonase 처리구와 혼합처리구가 무처리구와 β -galactosidase 처리구보다 현저히 높았다.

Table 3. Contents of pectic substances in cell wall treated with cell wall-degrading enzymes

Treatments	Pectic substances* (mg/g-cell wall)			
	WSP	VSP	ISP	TPS
Untreated	17.50	19.50	62.50	99.90
Polygalacturonase	20.80	19.35	52.30	92.45
β -Galactosidase	18.85	16.80	62.90	98.55
Mixed enzyme	24.85	17.75	50.80	93.40

*Abbreviations : WSP ; water soluble pectin, VSP ; versene soluble pectin, ISP ; insoluble pectin, TPS ; total pectic substances.

Table 4. Contents of uronic acid and hexose in soluble material extracted from cell wall treated with cell wall-degrading enzymes

Treatments	Uronic acid*	Hexose**
Untreated	14.00	99.72
Polygalacturonase	236.25	284.50
β -Galactosidase	14.52	104.63
Mixed enzyme	203.15	210.32

*Contents of uronic acid were measured by carbazole test
**Contents of hexose were measured by anthrone test

감사의 글

본 논문은 한국과학재단연구비(KOSEF : 911-1508-041-2)지원에 의하여 수행된 연구의 일부이며, 한국과학재단에 깊은 감사를 드립니다.

문헌

- Huber, D. J. : The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Horticultural Reviews*, **5**, 169(1983)
- Tucker, G. A. and Grierson, D. : Fruit ripening. In "The biochemistry of plants" Stumpf, P. K. and Conn E. E. (eds.), Academic press, New York, Vol.12, p.265(1980)
- Ahmed, A. E. and Labavitch, J. M. : Cell wall metabolism in ripening fruit. I. Cell wall changes in the ripening "Bartlett" pears. *Plant Physiol.*, **65**, 1009(1980)
- Hobson, G. E. : Enzymes and texture changes during ripening. In "Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables" Friend, J. and Rhodes, M. J. C. (eds.), Academic Press, London, p.123(1981)
- Tucker, G. A. and Grierson, D. : Synthesis of polygalacturonase during tomato fruit ripening. *Planta.*, **155**, 64(1982)
- Pressey, R., Hinton, P. M. and Avants, J. K. : Development of polygalacturonase activity and solubilization of pectin in peaches during ripening. *J. Food Sci.*, **36**, 1070(1971)
- Pressey, R. and Avants, J. K. : Pear polygalacturonase. *Phytochemistry*, **15**, 1349(1976)
- 신승렬, 김진구, 김순동, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙중의 polygalacturonase의 활성변화 및 특성. 한국영양식량학회지, **19**, 596(1990)
- Hobson, G. E. : Cellulase activity during maturation and ripening of tomato fruit. *J. Food Sci.*, **33**, 588 (1978)
- Hinton, D. M. and Pressey, R. : Cellulase activity in peaches during ripening. *J. Food Sci.*, **39**, 783(1965)
- Hobson, G. E. : Pectinesterase in normal and abnormal tomato fruit. *J. Biochem.*, **86**, 358(1963)
- Wallner, S. J. and Walker, J. E. : Glycosidases in cell wall-degrading extracts of ripening tomato fruit. *Plant Physiol.*, **55**, 94(1975)
- Yamaki, S. and Kakiuchi, N. : Changes in hemicellulose-degrading enzymes during development and ripening of Japanese pear fruit. *Plant Cell Physiol.*, **20**, 301(1979)
- Ahmed, A. E. and Labavitch, J. M. : Cell wall metabolism in ripening fruit. II. Changes in carbohydrate degrading enzymes in ripening "Bartlett" pears. *Plant Physiol.*, **65**, 1014(1980)
- Hultin, H. O. and Levine, A. S. : Pectinmethylesterase in the ripening banana. *J. Food Sci.*, **30**, 917(1965)
- Pressey, R. and Avants, J. K. : Multiple forms of pectinesterase in tomatoes. *Phytochemistry*, **11**, 3139 (1972)
- Awad, M. and Young, R. E. : Avocado pectinmethylesterase activity in relation to temperature, ethylene and ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **105**, 638(1980)
- Knee, M. and Bartley, I. M. : Composition and metabolism of cell wall polysaccharides in ripening fruits. In "Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetable" Friend, J. and Rhodes, M. J. C. (eds.), Academic Press, London, p.133(1980)
- Ben-Arie, R., Sonogo, L. and Frenkel, C. : Metabolism of the pectic substances in ripening pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **104**, 500(1979)
- Ben-Arie, R., Kisler, N. and Frenkel, C. : Ultrastructural changes in the cell wall of ripening apple and pear fruits. *Plant Physiol.*, **64**, 197(1979)
- Platt-Aloia, K. A., Thomson, W. W. and Young, R. E. : Ultrastructural changes in the walls of ripening avocados : Transmission, scanning and freeze fracture microscopy. *Bot. Gaz.*, **142**, 366(1980)
- Knee, M. : Polysaccharides and glycoprotein of apple fruit cell wall. *Phytochemistry*, **12**, 637(1973)
- Gross, K. C. and Wallner, S. J. : Degradation of cell wall polysaccharides during tomat fruit ripening. *Plant Physiol.*, **63**, 117(1979)
- 신승렬, 김진구, 김순동, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙중의 β -galactosidase의 활성변화 및 특성. 한국영양식량학회지, **19**, 605(1990)
- 신승렬, 김순동, 김주남, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙중의 세포벽 구성 성분의 변화. 한국식품과학회지, **22**, 738(1990)
- 신승렬, 김순동, 송준희, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙중의 세포벽 다당류의 비섬유성 다당류의 변화. 한국식품과학회지, **22**, 743(1990)
- 신승렬, 김주남, 김순동, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙중 엽가용성 및 세포벽 단백질의 변화. 한국농화학회지, **34**, 38(1991)
- 신승렬, 송준희, 김순동, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙중 조직의 변화. 한국농화학회지, **34**, 32(1991)
- Selvandran, R. R. : Analysis of cell wall material from plant tissues extraction and purification. *Phytochemistry*, **23**, 2257(1984)
- Jarvis, M. C. : The preparation of calcium-bound pectin in plant cell walls. *Planta*, **154**, 344(1982)
- Themmen, A. P. N., Tucker, A. G. and Grierson, D. : Degradation of isolated tomato cell walls by purified polygalacturonase in vitro. *Plant Physiol.*, **69**, 122 (1982)
- Yamaki, S., Machida, Y. and Kakiuchi, N. : Changes in cell wall polysaccharides and monosaccharides during development and ripening of Japanese pear fruit. *Plant and Cell Physiol.*, **20**, 311(1979)
- Bitter, T. and Muir, H. M. : A modified uronic acid carbazole reaction. *Anal. Biochem.*, **4**, 330(1962)
- Spiro, R. G. : Analysis of sugars found in glycoprotein. In "Methods in enzymology" Newfeld, E. F. and Ginsburg, V.(eds.), Academic Press, New York, Vol. 8, p.4(1966)
- Wallner, S. J. and Bloom, H. L. : Characteristics of tomato cell wall degradation in vitro. Implication for the study of fruit softening enzymes. *Plant Physiol.*, **60**, 207(1977)
- Knee, M. : Properties of polygalacturonate and cell cohesion in apple fruit cortical tissue. *Phytochemistry*, **17**, 1257(1978)