

복숭아의 성숙 및 저장중의 세포벽 성분의 변화

김미현 · 신승렬* · 손미애 · 김광수[†]

영남대학교 식품영양학과
*경산대학교 식품영양학과

Changes in the Cell Wall Components of Peach during Maturation and Storage

Mi-Hyun Kim, Seung-Ryeul Shin*, Mi-Ae Son and Kwang-Soo Kim[†]

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

*Dept. of Food Science, Kyungsan University, Kyungsan 712-240, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate changes in the cell wall components of peach during maturation and storage. The hardness of peach was decreased from $24.1 \pm 2.2\text{N}$ to $14.6 \pm 1.3\text{N}$ during maturation and storage. Contents of alcohol-insoluble substance, water-soluble material and cell wall were decreased. Total and insoluble pectic substances were decreased while water-soluble pectin was increased during maturation and storage. Contents of cellulose were increased. Galactose and arabinose contents were decreased during maturation and storage.

Key words : cell wall, pectic substances, cellulose

서 론

복숭아는 황도와 백도로 분류할 수 있으며, 수분이 많고 독특한 향기와 감미가 강하여 여름철 생과용으로 알맞을 뿐만아니라 통조림 가공에 많이 이용되고 있다. 그러나 복숭아는 고온인 여름철에 쉽게 연화되어 저장성이 아주 낮으며, 동시에 변질 및 부패되어 경제적인 손실을 초래한다¹⁾.

과실의 연화는 성숙 및 추숙중에 세포벽분해효소의 작용에 의해서 과실의 품질에 중요한 영향을 주는 texture의 변화를 초래함으로써 일어난다^{2,3)}. 과실의 연화에 관여하는 효소는 polygalacturonase^{4,5)}, pectin-methyl-esterase⁶⁾, cellulase⁷⁾, glycosidase^{8,9)} 등이 있으며,

이들 효소는 과실의 성숙과 추숙중에 활성이 증가한다^{10,11)}. 특히 polygalacturonase는 세포벽 middle lamella의 구성성분인 pectin질을 분해하여 저분자화되어 유리됨으로써 난용성 pectin질은 감소하고 가용성 pectin질이 증가하게 된다. 이때 세포벽의 middle lamella가 용해되어 연화를 촉진한다^{4,12,13)}. 또한 glycosidase의 한종인 β -galactosidase는 pectin의 side chain인 arabinogalactan과 galactan에 작용하여 arabinose와 galactose를 유리시켜 pectin의 용해성을 촉진하여 연화를 유도한다^{14,15)}.

연화중의 세포벽 구성성분의 변화는 cell wall의 함량이 감소하고^{16,17)}, pectin질과 hemicellulose가 분해되어 저분자화 현상이 일어나며^{18,19)} 비섭유성 중성당인 arabinose와 galactose의 함량이 감소한다²⁰⁾. Gross와 Wallner²¹⁾는 토마토의 성숙과 연화중에 중성당인

[†]To whom all correspondence should be addressed

galactose와 arabinose가 감소되고 유리당은 함량이 증가한다고 하였다. Albersheim²²⁾은 arabinose와 galactose의 유리는 세포벽 분해효소의 작용에 의해서 일어난다고 하였다.

본 연구는 복숭아의 연화현상을 연구하기 위하여 만생종인 유명 품종을 저장 및 숙도에 따라 세포벽 함량과 세포벽 구성성분의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

실험용 복숭아는 영남대학교 농축산대학 실습농장에서 재배한 만생종 유명 (*Prunus persica* L.)을 녹색기, 변색기 및 완숙기로 나누어 수확하여 사용하였다. 또한 완숙 복숭아를 4°C에서 10일간 저장하여 실험재료로 사용하였다.

경도 측정

경도측정은 임의적으로 10개를 취하여 Fruit Hardness Tester로 puncture test를 행하여 얻어진 것을 평균값과 표준편차로 구하였다.

세포벽의 추출

세포벽 추출은 Yamaki 등²³⁾이 행한 방법에 준하였다. 즉 세포벽 추출은 과피를 제거한 과육질 100g에 80% ethanol 200ml를 가하여 균질화한 후 80°C에서 10분간 가열처리하여 효소를 불활성화 시킨 다음 80% ethanol로 3회 여과, 세척하여 동결건조한 것을 알콜불용성물질 (Alcohol insoluble substance : AIS)로 하였다. 여기에 α -amylase (from *Bacillus subtilis*) 1mg/ml를 함유한 50mM phosphate buffer (pH 6.8)에 protease (from *Streptomyces griseus*) 1mg/ml를 가하여 같은 조건에 12시간 처리한 후 10,000g에서 10분간 원심분리하여 상등액을 수용성 물질 (Water soluble material : WSM)로 하였고, 잔사는 세포벽 성분 (Cell wall fraction : CWF)으로 하였다.

Pectin질의 분획 및 정량

Pectin질의 분획은 Ben-Arie와 Sonego²⁴⁾가 행한 방법에 따라 알콜불용성물질 (AIS)을 증류수로 추출한 것을 수용성 pectin (WSP)으로 하였고, 잔사에 0.5% EDTA용액을 가하여 용해한 것을 Versene-soluble pectin

(VSP)으로 하였다. 불용성 pectin (ISP)은 남은 잔사를, 그리고 총 pectin (TPS)은 알콜 불용성 물질을 각각 진한 황산으로 가수분해한 것으로 하였다. Pectin의 정량은 carbazole 비색법²⁵⁾에 따라 각 시료용액 0.5ml와 진한 황산 3ml를 잘 혼합하여 20분간 증탕가열하고 냉각시킨 후 carbazole시약 100 μ l를 가하여 2시간 정색시킨 다음 530nm에서 흡광도를 측정하였다. Pectin의 함량은 galacturonic acid 점량선에 의하여 함량을 산출하였다.

Cellulose의 정량

세포벽의 cellulose 정량은 김 등²⁶⁾이 행한 방법에 준하여 세포벽 10mg에 2N trifluoroacetic acid (TFA)용액 1ml를 가하여 밀봉한 다음 121°C에서 1시간 autoclave한 다음 가용성 물질을 제거한 후 잔사에 78% 황산용액 1ml를 가하여 30°C에서 1시간 분해시켰다. 분해액 0.5ml를 취하고 증류수로 전량이 10ml가 되게 희석하여 다시 1시간 autoclave하여 분석용 시료로 하였다. 그리고 anthrone 비색법²⁵⁾에 따라 시료액 0.5ml와 냉 anthrone 시약 3ml를 잘 혼합한 다음 15분간 끓인 후 얼음물에서 냉각하여 620nm에서 흡광도를 측정하여 glucose 점량선에 의해 cellulose의 함량을 산출하였다.

세포벽 비섬유성 중성당의 정량

각 세포벽다당류의 비섬유성 중성당의 정량은 Jones와 Albersheim²⁷⁾과 Blakeney 등²⁸⁾의 방법에 따라 각 세포벽 성분 10mg에 0.5mg/ml myoinositol을 함유한 2N TFA용액 1ml를 가하여 121°C에 1시간 autoclave하여 불용성 잔사를 제거한 다음 50°C, N₂ gas 기류하에서 건조시킨 후 1N NH₄OH와 NaBH₄ 용액 (NaBH₄ 2g을 dimethyl sulfoxide 100ml에 용해한 용액)으로 환원시켰다. 그리고 빙초산 0.1ml, 1-methylimidazole 0.2ml와 acetic anhydride 2ml를 가하여 10분간 acetylation을 시켜 alditol acetate 유도체를 만들고, 여기에 증류수 5ml와 methylene chloride 1ml를 가하여 잘 혼합하여 수 시간 방치한 다음 하층액을 중성당 분석용 시료로 하여 GP 3% SP-2330 100/120 Supelcoport column을 부착한 gas chromatography로 분석하였다.

결과 및 고찰

경도의 변화

Table 1은 복숭아의 성숙과 저장중에 경도의 변화를

측정한 결과이다. 즉 복숭아의 경도는 성숙초기에서 완숙기까지는 $24.1 \pm 2.2 \sim 22.3 \pm 1.2\text{N}$ 으로 뚜렷한 변화가 없었고, 저장중에는 $14.6 \pm 1.3\text{N}$ 으로 감소하였다. 이는 만생종인 유명이 비교적 저장성이 높고 육질이 단단한 것으로 알려져 있는 것¹⁾과 일치하였다.

알콜 불용성 물질, 수용성 물질 및 세포벽의 함량변화

Yamaki 등²⁹⁾이 행한 방법에 따라 알콜불용성물질, 수용성물질, 세포벽을 분석 정량한 결과는 Table 2와 같다. 알콜불용성물질과 세포벽의 함량은 성숙과 저장중에 감소하였으며, 수용성물질은 녹숙기와 변색기 사이에서는 많은 변화가 있었으나 완숙기와 저장중에는 뚜렷한 변화가 없었다.

과실의 성숙과 저장중에 알콜불용성물질과 세포벽의 함량이 감소하고 세포벽 구성다당류는 세포벽분해 효소의 작용에 의해 분해되어 저분자화 되어 난용성 물질은 감소하는 반면 가용성물질이 증가한다는 보고

가 있다^{13,20)}. 또한 Knee 등²⁹⁾은 *in vitro* 실험에서 사과조직에 polygalacturonase를 처리한 결과 세포벽성분이 감소하고 가용성물질이 증가하며, middle lamella의 용해현상이 일어난다고 하였다.

Pectin질의 변화

Table 3은 복숭아의 연화와 밀접한 관계가 있는 pectin질을 Ben-Arie 등¹³⁾의 방법에 따라 분석하여 car-bazole 비색법³⁰⁾에 따라 정량한 결과이다. 총 pectin질과 불용성 pectin질의 변화는 성숙중에는 다소 증가하였고, 저장중에는 현저하게 감소하였다. 그러나 생체 100g당에 있어서는 성숙과 저장중에 다같이 감소하였다. 수용성 pectin은 성숙과 저장중에 다같이 증가하였으나, 성숙중에 보다 현저하였다.

과실의 성숙과 저장중에 middle lamella의 주요 구성 성분인 pectin은 polygalacturonase에 의해 분해되어 polyuronide가 유리됨으로써 가용성 pectin질은 증가하고 불용성 pectin질은 감소된다고 보고^{29,30)} 되고 있다. 그리고 과실조직에 polygalacturonase를 처리하였을 때 난용성 pectin질은 감소하는 반면 수용성 pectin질이 증가하고 또 전자현미경에 의한 middle lamella의 용해현상이 관찰·보고¹¹⁾될 바 있다.

Table 1. Changes in the hardness of peach during maturation and storage

Stage of maturation*			
MGP	TP	MP	SP
24.1 ± 2.2	24.1 ± 0.9	22.3 ± 1.2	14.6 ± 1.3

(Newton)

*MGP; mature green peach, TP; turning peach, MP; mature peach, SP; mature peach after storage at 4°C for 10days
Digits were expressed as Mean ± S.D.

Table 2. Changes in the contents of alcohol-insoluble substance, water-soluble material and cell wall of peach during maturation and storage

Stage of maturation*	(g/100g fresh weight)		
	AIS**	WSM	Cell wall
MGP	2.07	1.50	0.57
TP	1.55	1.05	0.50
MP	1.49	1.03	0.46
SP	1.41	0.98	0.43

*Stage symbols are the same as in Table 1

**Abbreviations: AIS; alcohol-insoluble substance, WSM; water-soluble material

Table 3. Changes in the contents of pectic substance of peach during maturation and storage

Stage of maturation*	Pectic substance (mg/100mg AIS)**			
	WSP	VSP	IPS	TPS
MGP	0.50 (10.35)***	0.58 (12.00)	3.17 (65.61)	4.25 (87.98)
TP	0.54 (8.37)	0.73 (11.32)	2.83 (43.87)	4.10 (63.55)
MP	0.56 (8.37)	0.75 (11.18)	2.92 (43.51)	4.23 (63.03)
SP	0.77 (10.86)	0.68 (9.59)	2.23 (31.44)	3.68 (51.88)

*Stage symbols are the same as in Table 1

**Abbreviations: AIS; alcohol-insoluble substance, WSP; water-soluble pectin, VSP; versene-soluble pectin, IPS; insoluble pectin substance, TPS; total pectin substance

***The values in parenthesis were calculated as mg per 100g of peach

Cellulose의 함량변화

Table 4는 cellulose의 변화를 조사한 결과이다. 복숭아의 성숙중에 cellulose의 함량변화는 녹색기에 257.04 mg/g-cell wall이었고, 완숙기에는 593.03mg/g-cell wall로 증가하였으며 저장중에도 651.41mg/g-cell wall로 증가하였다. 그리고 생채 100g으로 환산했을 경우에 미숙과에서는 146.49mg/100g-fr.wt.이던 것이 변색기와 완숙기에 각각 180.85, 272.78mg/100g-fr.wt.으로 완숙기에 이르러 약 두배로 증가하였고, 저장중에도 280.10mg/g-fr.wt로 증가하는 경향이였다. 일반적으로 과실의 성숙과 저장중에 cellulose의 활성이 증가하지만 cellulose의 함량은 거의 변화가 없거나 증가한다는 보고²¹⁾가 있다.

세포벽 비섬유성 중성당의 변화

Table 5는 세포벽을 구성하는 비섬유성 중성당을 Blankeny 등²⁹⁾의 방법에 따라 GC로 분리·정량한 결과이다. 복숭아의 세포벽 비섬유성 중성당은 rhamnose, fucose, xylose, arabinose, mannose, galactose, glucose 등 7종 이었고, 주요 당은 xylose, arabinose, galactose,

glucose이었다. 중성당의 변화를 보면, arabinose와 galactose는 성숙과 저장중에 감소하였고, glucose는 성숙중에 감소하고 저장중에는 증가하는 경향이였다. 총 비섬유성 중성당의 함량은 16.02~28.17mg/100 mg-cell wall이었으며, 변색기까지는 증가하였으나 완숙기와 저장중에 감소하였다.

일반적으로 과실의 성숙과 저장중에 비섬유성 중성당인 arabinose와 galactose 및 총 비섬유성 중성당의 함량은 감소한다^{23,22)}. Gross와 Sams¹⁵⁾는 복숭아 성숙중에 arabinose와 galactose가 감소하고 총 비섬유성 중성당도 감소한다고 하였고, 또 Gross²³⁾는 토마토의 성숙중에 세포벽 비섬유성 중성당의 함량은 감소하는 반면 유리당 함량이 증가한다고 보고하였다. Albersheim²²⁾은 arabinose는 polygalacturonase에 의해 pectin질이 분해되어 side chain인 arabinan과 함께 pectic arabinan으로 유리되기 때문에 감소현상이 일어나고, galactose는 β -galactosidase가 galactan과 arabinogalactan을 분해함으로 감소된다는 설이 있으나 아직 확실히 구명되지 않고 있다. 이에 대해서는 보다 구체적인 연구가 요망된다.

요 약

만생종 유명을 시료로 하여 성숙과 저장중에 세포벽 성분을 조사, 연구하였다. 성숙과 저장중에 복숭아의 정도는 감소하였고, 알콜 불용성 물질과 세포벽의 함량은 증가를 나타냈으며, 총 pectin질과 불용성 pectin질이 감소하는 반면에 수용성 pectin질과 cellulose는 증가하였으며, galactose와 arabinose는 감소하였다.

Table 4. Change in the cellulose contents of peach during maturation and storage

(mg/100mg cell wall)				
Stage of maturation*				
MGP	TP	MP	SP	
257.04	361.72	593.03	651.41	
(146.49)**	(180.85)	(272.78)	(280.10)	

*Stage symbols are the same as in Table 1

**The values in parenthesis were calculated as mg per 100g of peach

Table 5. Changes in the contents of pectic substance of peach during maturation and storage

Stage of maturation*	Non-cellulosic sugar (mg/100mg cell wall)**							Total NS
	Rha	Fuc	Xyl	Ara	Man	Gal	Glu	
MGP	0.97	1.33	6.52	5.55	0.39	4.18	4.71	23.11
TP	1.30	3.45	9.76	4.05	tr	5.71	3.90	28.17
MP	1.82	0.83	7.88	2.61	1.35	4.57	2.30	21.36
SP	1.21	1.94	4.33	2.12	tr	3.27	3.15	16.02

*Stage symbols are the same as in Table 3

**Abbreviations : Rha ; rhamnose, Fuc ; fucose, Xyl ; xylose, Ara ; arabinose, Man ; mannose, Gal ; galactose, Glu ; glucose, NS ; non-cellulosic sugars, tr ; trace

문헌

1. 농업대사전 : 학원사 p.475(1973)
2. 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)
3. Huber, D. J. : The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Horticultural Reviews*, **5**, 169(1983)
4. Aspinall, G. O. : Chemistry of cell wall polygalacturonases. In "The biochemistry of plants" Preiss, J. (ed.), Vol. 3. Carbohydrates : Structure and function. Academic Press, New York, p.473(1980)
5. Pressey, R. and Avants, J. K. : Pear polygalacturonase. *Phytochemistry*, **15**, 1349(1976)
6. Pressey, R. : Enzymes involved in fruit softening. In "Enzymes in food and beverage processing" Ory, R. L. and Angelo, A. S. (eds.), ACS Symposium Series 47, p.172(1977)
7. Pess, E., Fuchs, Y. and Zauberman, G. : Cellulase activity and fruit softening in avocado. *Plant Physiol.*, **61**, 416(1978)
8. Smart, E. L. and Pharr, D. M. : Characterization of α -galactosidase from cucumber leaves. *Plant Physiol.*, **66**, 731(1980)
9. Pressey, R. : α -Galactosidase in ripening tomatoes. *Plant Physiol.*, **71**, 132(1983)
10. Ahmed, A. E. R. and Larbavitch, J. M. : Cell wall metabolism in ripening fruit. II. Changes in carbohydrate-degrading enzymes in ripening "Bartlett" pears. *Plant Physiol.*, **65**, 1014(1980)
11. Hobson, G. E. : Cellulase activity during maturation and ripening of tomato fruit. *J. Food Sci.*, **33**, 588(1978)
12. Plat-Aloia, K. A. and Thomson, W. W. : Ultrastructure of the mesocarp of mature avocado fruit and changes as associated with ripening. *Ann. Bot.*, **48**, 451(1981)
13. Ben-Arie, R., Sonogo, L. and Frenkel, C. : Metabolism of the pectic substances in ripening pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **104**(4), 500(1979)
14. Bartley, I. M. : Changes in the glucans of ripening apples. *Phytochemistry*, **15**, 625(1975)
15. Gross, K. C. and Sams, C. E. : Changes in cell wall neutral sugar composition during fruit ripening : A species survey. *Phytochemistry*, **23**(11), 2245(1984)
16. Knee, M. : Metabolism of polymethylgalacturonate in apple fruit cortical tissue during ripening. *Phytochemistry*, **17**, 1261(1978)
17. Shewfelt, A. L., Payter, V. A. and Jen, J. J. : Textural changes and molecular characteristics of pectin constituent in ripening peaches. *J. Food Sci.*, **36**, 573(1971)
18. 김순동, 윤수홍, 강명수, 박남숙 : 고추과실 세포벽 다당류의 연화에 따른 변화. 한국영양식량학회지, **15**(2), 165(1986)
19. 김순동, 박남숙, 강명수 : 감의 연화에 관련된 세포벽 다당류의 변화. 한국식품과학회지, **18**(2), 153(1986)
20. 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)
21. Gross, K. C. and Wallner, S. J. : Degradation of cell wall polysaccharides during tomato fruit ripening. *Plant Physiol.*, **63**, 117(1979)
22. Albersheim, P. : The primary cell wall. In "Plant biochemistry" Bonner, J. and Varner, J. E. (eds.), Academic Press, New York, p.225(1975)
23. Yamaki, S., Machida, Y. and Kakiuchi, N. : Changes in cell wall polysaccharides and monosaccharides during development and ripening of Japanese pear fruit. *Plant Cell Physiol.*, **20**(2), 311(1979)
24. Bitter, T. and Muir, H. M. : A modified uronic acid carbazole reaction. *Anat. Biochem.*, **4**, 330(1962)
25. Spiro, R. G. : Analysis of sugars found in glycoprotein. In "Methods in enzymology" Newfeld, E. F. and Ginsbug, V. (eds.), Academic Press, New York, Vol. 8, p.4(1966)
26. Jones, T. M. and Albersheim, P. : A gas chromatographic method for the determination of aldose uronic acid constituents of plant cell wall polysaccharides. *Plant Physiol.*, **49**, 926(1972)
27. Blakeney, A. B., Harris, P., Henry, R. T. and Stone, B. A. : A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydr. Res.*, **113**, 291(1983)
28. Shewfelt, A. L. : Changes and variation in the pectic constitution of ripening peaches as related to product firmness. *J. Food Sci.*, **30**, 573(1965)
29. Knee, M., Fielding, A. H., Archer, S. A. and Laborda, F. : Enzymic analysis of cell wall structure in apple fruit cortical tissue. *Phytochemistry*, **14**, 2213(1975)
30. Knee, M., Sargent, J. A. and Osborne, D. J. : Cell wall metabolism in developing strawberry fruit. *J. Exper. Bot.*, **28**(103), 377(1977)
31. 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)
32. Huber, D. J. : Polyuronide degradation and hemicellulose modification in ripening tomato fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **108**(3), 405(1983)
33. Gross, K. C. : Changes in free galactose, myo-inositol and other monosaccharides in normal and non-ripening mutant tomatoes. *Phytochemistry*, **22**(5), 1137(1983)

(1992년 3월 9일 접수)