

딸기의 유통·저장시 연화현상에 관한 연구

(1) 세포벽 성분, 단백질 및 효소의 변화

이광희*[†] · 김광수 · 김미현 · 신승렬** · 윤경영

영남대학교 식품영양학과

*대구전문대학 식품영양과

**경산대학교 생명자원과학부

Studies on the Softening of Strawberry during Circulation and Storage

(1) Changes of Cell Wall Components, Protein and Enzymes during Ripening

Kwang-Hee Lee*[†], Kwang-Soo Kim, Mi-Hyun Kim, Seung-Ryeul Shin** and Kyung-Young Yoon

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

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

**Dept. of Faculty of Life Resources Science, Gyungshan University, Kyengsan 712-715, Korea

Abstract

This study was investigated to know changes of the cell wall components, cell wall degrading enzyme activities and contents of soluble protein of strawberry during ripening and softening. The contents of water soluble substances were slightly increased during ripening, but the contents of alcohol-insoluble substances were not changed. The contents of pectin were not changed at green mature and turning stage, while decreased after mature stage. The contents of alkali-soluble hemicellulose and cellulose were increased during ripening and softening. The contents of water-soluble and salt-soluble protein were not changed, but the content of cell wall protein was slightly decreased during ripening. The content of total protein was increased at turning stage, it is not changed after turning stage. β -Galactosidase activity was increased during ripening, and pectinmethylesterase activity was decreased at turning. Phenylalanine ammonia-lyase activity was changed up to mature stage, but decreased at overripening stage. Polygalacturonase and cellulase activities were not detected at all of ripening stages.

Key words: strawberry, β -galactosidase, protein, cell wall components

서 론

과실의 연화는 성숙, 저장 및 유통 중에 일어나는 생리화학적 변화로써 향이나 맛, 색상 등에 영향을 미쳐 기호성, 상품성에 많은 영향을 준다. 연화는 효소적 연화와 비효소적 연화로 대별되며, 효소적 연화는 polygalacturonase, β -galactosidase, pectinmethylesterase, cellulase, glycosidase 등의 세포벽 분해효소에 의해 일어난다. 이들 세포벽 분해효소는 과실의 종류나 품종에 따라 활성 변화에 차이가 있다(1). Polygalacturonase는 호흡상승형 과실의 연화에 가장 많은 영향을 주는 효소로서 펙틴의 주요성분인 람노갈락투로난을 분해하

여 저분자인 폴리우로나이드를 유리시켜 연화를 촉진한다(2,3). β -Galactosidase는 성숙 딸기와 저장 중에 중요한 세포벽 분해효소로 작용하며, 폴리갈락투로난의 측쇄결합인 갈락탄과 아라비노갈락탄을 분해하여 갈락토오스와 아라비노오스를 유리시켜 연화를 촉진하는 것으로 알려져 있다(4,5). Pectinmethylesterase는 펙틴의 메틸기를 유리시키는 효소로서 연화 초기에 중요한 역할을 한다(6). Cellulase는 셀룰로오스의 β -1,4-glucoside 결합을 분해하여 세포벽의 글루칸 함량을 감소시키지만 연화에는 직접적인 영향을 주지 않음이 보고된 바 있다(7). Phenylalanine ammonia-lyase는 딸기의 2차적 대사에 관여하는 효소로서 L-페닐알라닌

[†]To whom all correspondence should be addressed

의 탈아미노 반응에 의한 trans-아미노산과 NH_4^+ 의 발생을 조절하여 딸기의 맛과 향에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(8).

과실의 세포벽은 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스, 펙틴 및 당단백질 등으로 구성되어 있다(9,10). 이들 성분은 세포벽 분해효소인 polygalacturonase, glycosidase, cellulase 등에 의해 분해되어 과실의 연화현상이 일어나게 된다(5,11). 특히 세포벽의 중층을 구성하는 펙틴은 펙틴분해효소에 의해 분해되어 저분자화되어 용해되고(12,13), 동시에 측정결합을 하고 있는 갈락토오스와 아라비노오스가 유리된다(14).

딸기의 소비는 생식 뿐만 아니라 잼, 젤리, 제과원료, 냉동 딸기, 요구르트의 원료 등으로 가공되어 해마다 증가하고 있지만, 과실의 조직이 매우 연하고 상하기 쉬워 저장 중에 품질저하가 발생되어 가공시 많은 문제점을 초래한다.

본 연구에서는 딸기의 저장과 가공시 품질향상에 이바지 할 수 있는 기초자료가 되리라 생각되는 딸기 연화층의 세포벽 구성성분, 세포벽 분해효소의 활성과 가용성 단백질의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서는 경남 고령군 일대에서 재배한 '보교' 종(*Fragaria grandiflora*, Ehrh.) 딸기를 색도 a값(적색도)을 기준으로 속도별로 4단계로 나누어 실험재료로 사용하였다.

세포벽의 추출 및 세포벽 다당류의 분획

세포벽 다당류의 분획은 Yamaki 등(15)이 행한 방법에 따라 행하였다. 과육에 에탄올을 가하여 균질화한 후 중탕하고 에탄올로 여과, 세척하여 동결건조한 것을 알콜불용성 물질로 하였다. 알콜불용성 물질에 α -amylase와 protease를 가하여 30°C에서 24시간 처리한 다음 원심분리하여 당질과 단백질을 제거한 잔사를 세포벽 성분으로 하였다. 세포벽 성분에 NaClO_2 와 빙초산, 증류수를 가하여 70°C에서 혼합한 후 원심분리한 상정액을 리그닌 분획으로 하였고, 잔사를 EDTA-2Na 용액에 현탁시켜 80°C 열처리한 다음 원심분리한 상정액을 펙틴질로 하였으며, 잔사는 다시 KOH 용액에 현탁시켜 저어준 후에 원심분리한 상정액을 헤미셀룰로오스 I로 하였다. 다시 잔사를 KOH에 현탁시켜 헤미셀룰로오스 I과 동일하게 처리하여 헤미셀룰로오스 II를 분획하였고, 남은 잔사를 셀룰로오스 분획으로 하였다. 각

분획은 증류수에서 72시간 투석하여 동결건조한 후 중량법으로 함량을 측정하였다.

Pectin의 분획 및 정량

펙틴의 분획은 Ben-Arie 등(16)이 행한 방법에 따라 효소처리 후 불용성 물질에 증류수를 가하여 추출한 것을 수용성 펙틴으로 하였다. 잔사에 0.5% EDTA-2Na 용액을 가하여 용해한 것을 EDTA용해성 펙틴으로 하였으며, 불용성 펙틴은 남은 잔사를 황산으로 가수분해한 것을 시료로 하였다. 각각의 분획물은 카르바졸 비색법(17)에 따라 시료용액 0.5ml와 황산 3ml를 잘 혼합한 다음 20분간 중탕가열하고 냉각시킨 후에 carbazole 시약 100 μ l를 가하여 2시간 정색시킨 다음 530nm에서 흡광도를 측정하여 galacturonic acid 검량선에 의해 함량을 산출하였다.

효소의 추출 및 단백질의 정량

수용성 단백질과 세포벽 분해효소의 추출은 Hobson 등(18)이 행한 방법에 따라 과육에 초산나트륨 완충용액을 가하여 균질화시킨 후 NaCl을 1M이 되도록 가해 저어준 다음, 이 균질액을 원심분리하여 얻은 상정액을 염가용성 단백질과 효소액으로 하였다. 세포벽 추출은 알콜불용성 물질을 Jarvis(19)의 방법에 따라 메탄올로 세척하여 당성분을 제거하고, 다시 클로로포름으로 세척 여과 후 얻은 잔사를 동결건조하여 세포벽 성분으로 하였다. 세포벽 단백질의 추출은 세포벽 성분을 10mM 초산나트륨 완충용액에 현탁시킨 다음 정제된 polygalacturonase를 가하여 30°C에서 24시간 효소처리하여 펙틴질을 분해한 다음 가용화시켜 추출하였다. 단백질의 함량 측정은 Lowry 등(20)의 방법에 따라 행하였다.

효소의 활성 측정

β -Galactosidase의 활성은 기질 p -nitrophenyl- β -galactopyranoside를 분해하는 정도를 측정하였다. 즉, 10mM 초산나트륨 완충용액에 기질을 녹인 용액에 0.2% BSA 용액, 완충용액을 가하여 잘 혼합한 다음 효소액을 가하여 반응시키고, Na_2CO_3 용액을 첨가하여 반응을 정지시킨 후 410nm에서 흡광도를 측정하여 효소 활성으로 나타내었다. Pectinmethylesterase의 활성은 펙틴을 기질에 효소액을 가하고 수산나트륨 완충용액 1ml를 가해 30°C에서 반응시킨 후 Abu-Sarra와 Abu-Gouky(21)의 방법에 따라 NaOH 용액으로 pH 7.0이 될 때까지 적정하여 활성을 나타내었다. Phenylalanine ammonia-lyase의 활성은 Cheng과 Breen(8)의 방법에 따

라 L-페닐알라닌, 봉산나트륨 완충용액과 효소액을 혼합하여 30°C에서 반응시킨 후 6N HCl용액으로 반응 정지를 시키고 290nm에서 흡광도를 측정하여 cinnamic acid의 생성정도를 효소활성으로 나타내었다. Polygalacturonase 활성 측정은 dinitrosalicylic acid(DNS) 비색법(22)에 따라 행하여 생성된 환원당의 농도를 산출하여 효소활성으로 나타내었다. Cellulase의 활성은 Pesis 등(23)의 방법에 준하여 효소액 5ml에 carboxymethyl cellulose를 혼합하여 30°C에서 반응시켜 Ostwald viscometer로 10분 간격으로 6회 점도를 측정하여 변화정도를 효소활성으로 나타내었다.

결과 및 고찰

세포벽의 변화

Table 1은 알콜 불용성 물질, 수용성 물질 및 세포벽 함량의 변화를 조사한 결과이다. 알콜 불용성 물질과 수용성 물질의 함량은 성숙 중에 변화가 없었으나 세포벽의 함량은 성숙 중에 다소 감소하는 경향이였다.

과실의 연화 중에 알콜 불용성 물질과 세포벽 성분이 감소하고 세포벽 구성 다당류는 저분자화 현상이 일어났다(24,25). Malis-Arad 등(26)은 일반종 토마토의 성숙 중에 알콜 불용성 물질이 감소하지만 변이종 토마토는 뚜렷한 변화가 없다고 보고하였다. 이들의 변화는 세포벽 분해효소인 polygalacturonase, cellulase, glycosidase 등에 의해 세포벽이 분해됨으로써 세포벽 성분은 감소하고 수용성 물질은 증가하게 된다(10). Knee 등(27)은 *in vitro*에서 토마토와 사과에 polygalacturonase를 처리하였을 때 세포벽 성분은 감소하고 수용성 물질은 증가한다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 딸기에 polygalacturonase와 cellulase의 활성은 없고 알코올 불용성 물질과 가용성 물질의 뚜렷한 변화가 없기 때문에 세포벽 성분의 감소는 딸기의 비대성장에 따른 감소인 것으로 생각된다.

Table 1. Changes in the contents of alcohol-insoluble, water-soluble and cell wall substance in strawberries during ripening

Stages	(g/100g-fr. wt.)		
	Alcohol-insoluble substance	Water-soluble substance	Cell wall substance
MG	1.61	0.95	0.66
T	1.58	0.95	0.63
R	1.55	1.00	0.55
OR	1.53	1.05	0.48

MG: Mature green stage, T: Turning stage, R: Ripening stage, OR: Overripening stage

세포벽 구성 다당류

성숙 중의 딸기의 세포벽 구성 다당류를 분석, 정량한 결과는 Table 2와 같았다. 리그닌 성분의 함량은 성숙과 더불어 현저히 감소하였고, 펙틴질은 녹숙기와 변색기까지는 변화를 보이지 않으나, 완숙기와 과숙기에서는 각각 236.36과 208.33mg/g-cell wall으로 감소하였다. 헤미셀룰로오스의 함량은 두분획 모두에서 성숙 중 뚜렷히 증가하였고, 셀룰로오스도 역시 성숙 중에 증가하였다.

세포벽의 중층을 구성하고 있는 성분인 펙틴은 과실의 성숙과 연화 중에 감소하며(28), 이는 과실내에 함유하고 있는 polygalacturonase, pectinmethylesterase 등과 같은 펙틴분해효소가 성숙과 연화 중에 활성이 증가되어 펙틴질을 분해함으로써 펙틴질이 감소한다(29). 헤미셀룰로오스는 과실의 성숙과 연화 중에 저분자화되어 감소한다는 보고(10)가 있는 반면, Bartley와 Knee(14)는 과실의 성숙 중에 헤미셀룰로오스의 함량이 거의 변화가 없었다고 보고하였다. 셀룰로오스의 함량은 성숙과 연화시 감소한다는 보고(15)가 있으나 많은 연구자들은 일정하거나 극소량이 감소한다고 보고(9,16)하여 본 연구의 결과와 상반되었다.

Pectin질의 변화

Table 3은 펙틴질을 용해성에 따라 분석하여 정량한 결과이다. 수용성 펙틴의 함량은 딸기의 성숙 중에 증가하였고, EDTA 용해성과 불용성 펙틴은 완숙기까지는 증가하였으나 과숙기에는 감소하였다. 총 펙틴의 함량은 10.23~12.20mg/100mg-AIS으로 성숙 중에 뚜렷한 변화가 없었다.

과실의 세포벽 중층의 주 성분인 펙틴은 과실의 연화 중에 감소하며(30), 과실의 성숙 중에 펙틴분해효소의 활성이 증가하고 이들 효소에 의해 펙틴질이 분해되

Table 2. Changes in the contents of cell wall polysaccharides in strawberries during ripening
(mg/g cell wall)

Cell wall polysaccharides	Stages ¹⁾			
	MG	T	R	OR
Lignin	136.36	95.23	90.90	62.50
Pectin	287.87	285.71	236.36	208.33
Alkali-soluble hemicellulose I	178.78	182.53	214.54	250.00
Alkali-soluble hemicellulose II	171.21	180.95	185.45	239.58
Cellulose	227.27	253.96	290.90	343.75

¹⁾Symbols of stage are the same as in Table 1

Table 3. Changes in the contents of pectic substances in strawberries during ripening

Stage ¹⁾	Pectic substances ²⁾ (mg/100mg-AIS ³⁾)			
	WSP	VSP	IPS	TPS
MG	5.07	1.91	3.25	10.23
T	5.19	1.29	4.89	11.38
R	5.34	1.71	5.15	12.20
OR	6.10	2.49	3.00	11.59

¹⁾Symbols of stage are the same as in Table 1

²⁾WSP: Water-soluble pectin, VSP: Versene-soluble pectin,

ISP: Insoluble pectin, TPS: Total pectic substance

³⁾AIS: Alcohol-insoluble substance

어 수용성 펙틴질은 증가하고 난용성 펙틴질은 감소한다(10). 김 등(31)은 감과실의 성숙과 연화 중에 polygalacturonase의 활성이 증가하고 수용성 펙틴은 증가하고 불용성 펙틴은 감소한다고 보고하였다.

따라서 딸기의 성숙 중에 펙틴질의 변화는 일련의 연화현상에 의해서 일어나는 것으로 생각되지만 딸기 중에 펙틴분해효소인 polygalacturonase의 활성이 없는 것을 고려할 때, 보다 구체적인 연구가 요망된다.

가용성 단백질 함량의 변화

Table 4는 딸기의 단백질을 용해성에 따라 수용성, 염가용성, 세포벽 구성 단백질로 분류하여 정량한 결과이다. 수용성과 염가용성 단백질의 함량은 각각 45.76~47.09, 32.42~34.76mg/100g-fr.wt.이었고 성숙 중에 뚜렷한 변화가 없었으나, 세포벽 단백질의 함량은 4.88~71.7mg/100g-fr.wt.이었으며 성숙 중에 다소 감소하는 경향이 있었다. 총 단백질의 함량은 79.80~86.73mg/100g-fr.wt.으로 변색기에 약간 증가하였으나 이후에는 변화가 없었다.

세포벽을 구성하고 있는 단백질은 자일로오스와 글루코오스를 함유하고 있는 당단백질로써 세포벽의 중층을 안정화시키고(32) 세포의 성장시 세포벽의 신장을 조절하는 것으로 알려져 있다. 세포벽 단백질은 hydroxyproline 잔기를 많이 함유하고 있으며 hydroxyproline

Table 4. Changes in the content of protein in strawberries during ripening

Stages ¹⁾	Protein contents(mg/100g-fr.wt.)			
	Water-soluble protein	Salt-soluble protein	Cell wall protein	Total
MG	45.76	34.04	7.17	79.80
T	46.49	33.02	6.47	85.98
R	46.98	32.42	4.75	84.15
OR	47.09	34.76	4.88	86.73

¹⁾Symbols of stage are the same as in Table 1

Table 5. Changes in activity of cell wall degrading enzymes in strawberries during ripening

Enzyme activities	Stages ¹⁾			
	MG	T	R	OR
β -Galactosidase ²⁾	3.11	4.57	5.87	5.85
Pectinmethylesterase ³⁾	2.70	1.10	1.40	1.40
Polygalacturonase	nd ⁵⁾	nd	nd	nd
Cellulase	nd	nd	nd	nd
Phenylalanine ammonia-lyase ⁴⁾	5.28	5.56	5.60	4.25

¹⁾Symbols of stage are the same as in Table 1

²⁾One unit of activity is expressed as 1 mmol of p -nitrophenyl- β -galactopyranoside degraded for 15min at 30°C

³⁾One unit of activity is expressed as a milliequivalent of ester hydrolysed per minute per 100g of fresh weight at 30°C

⁴⁾One unit of activity is defined as the amount of enzyme required for the formation of 1 mol of cinnamic acid for 1 hour at 30°C

⁵⁾Not detected

잔기는 아라비노오스와 결합하고 serine는 갈락토오스와 결합하여 세포벽을 구성하고 있다(33). 이러한 세포벽 단백질은 과실의 연화 중에 polygalacturonase와 같은 펙틴분해효소에 의해 세포벽의 중층을 구성하고 있는 펙틴질이 분해됨으로써 가용성 단백질로 유리된다(9). Knee 등(28)은 딸기 성숙 중에 세포벽 단백질의 함량이 증가한다고 보고하였고, 신 등(34)도 감 성숙 중에 세포벽 단백질의 함량은 증가하나 연화시에 급격히 감소하며 가용성 단백질의 함량은 뚜렷이 증가한다고 보고하였다. 본 연구의 결과는 이들의 연구 결과와는 상반된 경향이어서 보다 구체적인 연구가 요망된다.

연화관련 효소의 활성변화

Table 5는 딸기의 연화 중 관련효소들의 활성변화를 측정된 결과이다. β -Galactosidase의 활성은 과숙기까지 다소 증가하는 경향을 나타내었고, pectinmethylesterase는 녹숙기에 비해 변색기에서 활성이 감소하였으나 이후에는 변화가 없었다. Phenylalanine ammonia-lyase는 완숙기에는 활성의 변화가 없다가 과숙기에 감소하였다. 그리고 polygalacturonase와 cellulase는 성숙과 과숙기 전반에 걸쳐 활성을 나타내지 않았다.

과실의 연화에 관련된 효소는 polygalacturonase, glycosidase, pectinmethylesterase, cellulase 등이며, 이들 효소는 과실의 연화 중에 활성이 증가하거나 감소한다(9,10). Huber(10)는 과실의 종류에 따라 효소의 조성 과 활성이 다르다고 했는데, 즉 호흡상승형 과실의 경우에는 polygalacturonase와 β -galactosidase의 활성은 증가하고 pectinmethylesterase는 성숙 초기에 증가

하다가 이후에 감소한다. Cellulase의 활성은 성숙과 연화 중에 증가하나 일반적으로 연화 중에 뚜렷한 변화가 없으며 연화에도 영향을 주지 않는다. 바나나와 같은 호흡비상승형 과실에는 polygalacturonase가 존재하지 않으며 이들 과실의 연화현상은 호흡비상승형 과실의 연화현상과는 상당한 차이가 있다. 따라서 딸기 중에 polygalacturonase 활성이 없는 것은 딸기가 호흡비상승형 과실인 것과 관계가 있는 것으로 생각된다.

요 약

알콜 불용성 물질과 수용성 물질의 함량은 성숙 중에 변화가 없었으나 세포벽의 함량은 성숙 중에 다소 감소하였다. 펙틴질은 녹숙기와 변색기까지는 변화를 보이지 않으나, 완숙기 이후에 감소하였다. 헤미셀룰로오스와 셀룰로오스의 함량은 성숙 중에 뚜렷히 증가하였다. 수용성 펙틴의 함량은 딸기의 성숙 중에 증가하였고, EDTA 용해성과 불용성 펙틴은 완숙기까지는 증가하였으나 과숙기에는 감소하였으나 총 펙틴의 함량은 성숙 중에 뚜렷한 변화가 없었다. 수용성과 열가용성 단백질의 함량은 성숙 중에 뚜렷한 변화가 없었으나 세포벽 단백질의 함량은 성숙 중에 다소 감소하는 경향이였다. 총 단백질의 함량은 변색기에는 약간 증가하였으나 이후에는 변화가 없었다. β-Galactosidase의 활성은 과숙기까지 증가하였고, pectinmethylesterase는 녹숙기에 비해 변색기에서 활성이 감소하였으나 이후에는 변화가 없었으며, phenylalanine ammonia lyase는 완숙기에는 활성의 변화가 없다과 과숙기에 감소하였고, polygalacturonase와 cellulase는 활성이 없었다.

감사의 글

본 논문은 1996년도 학술진흥재단 연구비의 지원으로 수행된 연구결과와의 일부이며, 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Biale, J. B. and Young, R. E. : Respiration and ripening in fruits-retrospect and prospect. In "Recent advances in the biochemistry of fruit and vegetables" Friend, J. and Rhodes, M.J.C.(eds.), Academic Press, London, p.2(1981)
2. Huber, D. J. : Strawberry fruit softening. *J. Food Sci.*, **49**, 1310(1984)
3. 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)
4. 신승렬, 김진구, 김순동, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙

중의 β-galactosidase의 활성변화 및 특성. 한국식품영양과학회지, **19**, 596(1990)

5. Ahmed, A. E. and Labavitch, J. M. : Cell wall metabolism in ripening fruit. I. Cell wall changes in the ripening "Bartlett" pears. *Plants Physiol.*, **65**, 1009(1980)
6. Jimenez, A. : Cell wall composition of olives. *J. Food Sci.*, **59**, 1192(1994)
7. Buescher, R. W. and Tigchelaar, E. C. : Pectinmethylesterase, polygalacturonase, cellulase activities and softening of the rin-tomato mutant. *Hortsci.*, **10**, 624(1975)
8. Cheng, G. W. and Breen, P. J. : Activity of phenylalanine ammonia-lyase and concentration of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **116**, 865(1991)
9. 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)
10. Huber, D. J. : The role of cell wall hydrolase in fruit softening. *Horticultural Reviews*, **5**, 169(1983)
11. Labavitch, J. M. and Greive, L. C. : Cell wall metabolism in ripening fruit. III. Purification of an endo-β-1,4-xylanase that degrades a structural polysaccharide of pear fruit cell wall. *Plant Physiol.*, **72**, 669(1983)
12. Lee, S., Kivilaan, A. and Banurski, R. S. : *In vitro* autolysis of plant cell walls. *Plant Physiol.*, **42**, 968(1967)
13. 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**, 452(1981)
14. Bartley, I. M. and Knee, M. : The chemistry of textural changes in fruit during storage. *Food Chem.*, **9**, 4(1982)
15. 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**, 311(1979)
16. Ben-Arie, R., Kisler, N. and Frenkel, C. : Ultrastructural changes in the cell wall of ripening apple and pear fruits. *Plants Physiol.*, **64**, 197(1979)
17. Bitter, T. and Muir, H. M. : A modified uronic acid carbazole reaction. *Anal. Biochem.*, **4**, 330(1962)
18. Hobson, G. E., Richardson, C. and Gillham, D. J. : Release of protein from normal and mutant tomato cell walls. *Plant Physiol.*, **71**, 635(1983)
19. Jarvis, M. C. : The preparation of calcium-bond pectin in plant cell walls. *Planta*, **154**, 344(1982)
20. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. : Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265(1951)
21. Abu-Sarra, A. F. and Abu-Gouku, A. A. : Changes in pectinesterase, polygalacturonase and cellulase activity during mango fruit ripening. *J. Horticult. Sci.*, **67**, 561(1992)
22. Miller, G. L. : Use of denitrisalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chemistry*, **31**, 426(1959)
23. Pesis, E., Fuchs, Y. and Zauberman, G. : Cellulase activity and fruit softening in avocado. *Plant. Physiol.*, **61**,

- 416(1978)
24. Ben-Arie, R., Sonogo, L. and Frenkel, C. : Metabolism of the pectic substance in ripening pears. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, **104**, 500(1979)
 25. Nelmes, B. J. and Preston, R. D. : Wall development in apple fruits : A study of the life history of a parenchyma cell. *J. Exper. Bot.*, **19**, 496(1968)
 26. Malis-Arad, S., Didi, S. and Mizrahi, Y. : Pectic substance: Changes in soft and firm tomato cultivars and in non-ripening mutants. *J. Hort. Sci.*, **58**, 111(1983)
 27. 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)
 28. Knee, M., Sargent, J. A. and Osborne, D. J. : Cell wall metabolism in developing strawberry fruits. *J. Exper. Bot.*, **28**, 377(1977)
 29. 신승렬, 김순동, 김주남, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙 중의 세포벽 구성성분의 변화. *한국식품과학회지*, **22**, 738 (1990)
 30. Knee, M. : Metabolism of polymethylgalacturonate in apple fruit cortical tissue during ripening. *Phytochemistry*, **17**, 1261(1978)
 31. 김광수, 신승렬, 이광희, 문광덕 : 감연화중의 효소, 펙틴 및 조직의 변화. *한국식품영양과학회지*, **22**, 611(1993)
 32. Lamport, D. T. A. : The protein component of primary cell walls. *Adv. Bot. Res.*, **2**, 1151(1965)
 33. Preston, R. D. : Polysaccharide conformation and cell wall function. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **30**, 55(1979)
 34. 신승렬, 김주남, 김순동, 김광수 : 감과실의 성숙과 추숙 중 엽가용성 및 세포벽 단백질의 변화. *한국농화학회지*, **34**, 38(1991)

(1997년 8월 30일 접수)