

## 복숭아 과실의 발육 중 세포벽성분 및 Glycosidase 활성의 변화

장경호 · 김대현\* · 변재균\*  
중부대학교 생명자원학부, \*영남대학교 원예학과

### Changes in the Cell Wall Components and Glycosidases Activity during Development of Peach Fruits

Kyung-Ho Chang, Dae-Hyun Kim\* and Jae-Kyun Byun\*  
Division of Life Resources Science, Joongbu University, Kumsan 312-940, Korea  
\*Department of Horticulture, Yeungnam University, Kyungsan 712-749, Korea

#### Abstract

This study was carried out to know whether  $\beta$ -galactosidase is directly important or not on fruit softening during the development of peach fruits compared to those in the storage stage. It was investigated that the flesh firmness, cell wall components, and the glycosidase activities of the peach fruits with a fast softening cultivar, 'Mibeakdo', a slow softening cultivar, 'Yumyung' and a middle softening cultivar, 'Okubo', at different developmental stages, on 13 May, 16 June, 16 July, and 5 August and on 28 August which harvested only 'Yumyung' fruits. In order to investigate the amounts of total sugar and non-cellulosic neutral sugar, the cell wall materials of each fruit were solubilized in distilled water, 0.05M CDTA, 0.05M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 4% KOH, and 24% KOH sequentially. During the fruit development, the fruit firmness of three cultivars decreased and the fruit firmness of 'Yumyung' was higher than that of 'Mibeakdo' and 'Okubo' in the overall period. During the fruit development, the changes of total sugar amounts of each measured fractions were similar among peach cultivars. Arabinose and galactose were the predominant non-cellulosic neutral sugars in all the fractions including cell wall material of the three cultivars. There was an active relationship between the changes of flesh firmness in three cultivars and the mol % changes of rhamnose on 5 August which was the harvest date of 'Mibeakdo' and 'Okubo' fruits. The activity of soluble  $\beta$ -galactosidase was high at the early developmental stage and then dropped to a very low activity level in all cultivars. The activity of cell wall-bound  $\beta$ -galactosidase was high at the early developmental stage and then decreased continuously through the harvest date. In addition the changes of other glycosidase activities were similar among cultivars.

**Key words** : Fruit, peach, softening, glycosidase, cell wall

#### 서 론

복숭아는 과육이 연하고 단맛과 과즙이 많은 여름

철 과실로서 소비자에게 인기가 높다. 그러나 과실의 보구력이 약한 것이 재배, 유통, 저장 및 가공에 있어서 큰 문제점으로 지적되고 있다. 과실의 보구력은 과실의 연화도와 밀접하게 연관되어 있다. 과실의 성숙과 유통중에 일어나는 연화현상은 과실의 세포벽이 붕괴됨으로써 세포간의 결속력이 약화

Corresponding author : Kyung-Ho Chang, Division of Life Resources Science, Joongbu University, Kumsan 312-940, Korea  
E-mail : khchang@joongbu.ac.kr

되는 현상의 하나이다(1, 2). 세포벽의 붕괴는 세포벽 다당류의 질적·양적 변화의 결과(3, 4)이며 여기에는 세포벽분해효소들이 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(2, 5). 복숭아 과실의 발육도 과육세포의 분열과 비대를 통하여 이루어진다. 과육세포의 분열과 비대가 원활히 이루어지기 위해서는 이들 세포벽의 합성과 분해가 활발히 진행되어야 한다. 따라서 이 과정에서도 세포벽분해효소들의 역할이 클 것으로 생각된다.

최근 Chang 등(6, 7)은 우리나라에서 널리 재배되고 있으며 연화가 느린 '유명'과 연화가 아주 빠른 '미백도'를 사용하여 복숭아 수확후의 연화중에 일어나는 세포벽성분과 세포벽분해효소 활성의 변화를 조사한 바 있다. 그 결과 복숭아 과실의 수확 후 연화중에는 arabinose와 galactose의 변화가 현저했을 뿐만 아니라  $\beta$ -galactosidase의 활성이 연화가 빠른 '미백도'에서 훨씬 더 높게 나타난 점으로 보아 저장 혹은 유통과정에서의 복숭아 과실의 연화에는  $\beta$ -galactosidase가 주요한 역할을 할 것으로 추정할 바 있다.

따라서 본 연구에서는 연화가 느린 품종(유명), 빠른 품종(미백도) 및 그 중간인 품종(대구보)을 사용하여 이들 과실의 발육초기부터 수확기까지의 세포벽 구성당의 변화와  $\beta$ -galactosidase를 포함한 몇몇 glycosidase들의 활성 변화를 조사함으로써 수확후의 과실에서와 마찬가지로 발육중인 과실의 연화과정에서도  $\beta$ -galactosidase가 주요한 역할을 하는지를 알고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재 료

복숭아(*Prunus persica*) 과실은 경북 청도군의 복숭아 재배농가에서 '미백도', '대구보' 및 '유명' 품종(만개기 4월 15일경)의 성목으로부터 각각 5월 13일, 6월 16일, 7월 16일, 8월 5일에 채취하고 수확기가 느린 '유명'은 8월 28일에 한번 더 채취하였다. 채취한 각

각의 과실들은 Texture Analyzer(TA-XT2, England)를 사용하여 과육의 경도를 측정할 다음 과육시료는 -80°C의 냉동고에서 냉동시켜 분석시료로 사용하였다.

### 세포벽물질(AIS)의 조제

세포벽물질의 추출은 Rose 등(8)의 방법을 사용하였다. 복숭아 과실로부터 과피를 제거한 과육 50g에 95% ethanol 250mL를 가하여 40분간 끓인 후 균질화하여 여과하고 남은 잔사를 boiling ethanol 500mL, chloroform : methanol(1:1,v/v)용액 500mL, acetone 500mL를 사용하여 차례로 세척하였다. 세척이 끝난 잔사를 30°C의 oven에서 건조시킨 후 이를 세포벽물질(AIS)로 하였다.

### 세포벽물질의 분획

세포벽물질의 분획은 Rose 등(8)의 방법에 따라 AIS 1g을 증류수, 0.05M CDTA, 0.05M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 4% KOH, 24% KOH를 사용하여 차례로 분획하였다. 각각의 분획들은 증류수로 투석한 다음 동결건조하여 각각의 분석에 시료로 사용하였다.

### Total sugar의 정량

세포벽 분획들의 가수분해는 Ben-Arie 등(9)의 방법에 준하였으며, total sugar는 phenol-sulfuric acid 방법(10)으로 정량하였다. 함량은 표준물질인 glucose를 사용하여 검량선에 의해 산출하였다.

### 비섭유성 중성당의 정량

각 분획별 비섭유성 중성당의 정량은 Blakeney 등(11)의 방법에 따라 실시하였다. 중성당의 분석은 gas chromatograph [Hewlett Packard 5890, capillary column (SP-2380, 30m×0.32mm), injection temp.: 270°C, column temp.: 220°C, detector temp.: 270°C, carrier gas: He 24.5mL/min]로 행하였으며, 표준단당류에 해당하는 alditol acetate의 chromatogram과 비교한 후 internal standard인 myo-inositol과의 비율에 의해 각각의 함량을 구하였다.

### 효소의 추출

효소의 추출은 Pressey(12)와 Moshrefi와 Luh(13)의 방법으로 하였다. 효소의 추출은 4℃에서 행하였으며, 과피를 제거한 과육 50g에 10mM sodium phosphate buffer(pH 7.0) 100mL를 가하고 시료 1g 당 0.1g의 polyvinylpolypyrrolidone(PVPP)을 넣어서 10분간 균질화 한 다음 15,000×g로 30분간 원심분리하여 상정액을 얻었다. 이 상정액을 10mM sodium phosphate buffer(pH 7.0)에 현탁시켜 24시간 동안 저어주고 15,000×g로 30분 동안 원심분리하여 얻은 상정액을 수용성 조효소액으로 하였다. 그 잔사를 0.15N NaCl을 함유한 10mM sodium phosphate buffer(pH 7.0)로 48시간 투석한 다음 15,000×g로 20분간 원심분리하여 얻은 상정액을 세포벽 결합형 조효소액으로 하였다.

### Glycosidase의 활성측정

$\alpha$ -Galactosidase,  $\beta$ -galactosidase,  $\beta$ -glucosidase,  $\beta$ -arabinosidase,  $\alpha$ -mannosidase 및  $\beta$ -xylosidase의 활성들은 각각의  $\rho$ -nitrophenyl glycoside들을 가수분해하는 정도를 측정하여 효소활성도로 나타내었다. 즉, 각각의 기질들을 10mM sodium acetate buffer(pH 4.0)에 0.2% 되게 녹인 용액 0.5mL에 10mM sodium acetate buffer(pH 4.0) 1mL를 잘 혼합한 후, 효소액 1mL를 가하여 30℃에서 60분간 반응시킨 다음 1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 4mL를 가하여 반응을 정지시키고 410nm에서 흡광도를 측정하였다. 각각의 효소활성도는 30℃에서 1시간 동안 100  $\mu$ mol의  $\rho$ -nitrophenyl이 효소작용에 의해 생성되는 것을 1 unit로 하였다. 단백질의 함량은 Lowry 등(14)의 방법에 따라 측정하였으며, 표준단백질은 bovine serum albumin을 사용하였다.

## 결과 및 고찰

### 과중 및 경도의 변화

Fig. 1은 과실의 발육 초기부터 수확기까지 복숭아 '미백도', '대구보' 및 '유명' 과실의 무게와 경도의

변화를 비교한 것이다. 5월 13일부터 7월 16일까지의 과실의 발육속도는 품종별 차이가 없었으나, 7월 16일 이후부터 8월 5일까지는 다른 두 품종에 비하여 '미백도'의 과중 증가율이 훨씬 컸다. 과실의 경도는 조사개시시기인 6월 16일부터 7월 16일까지는 세 품종 모두에서 완만하게 그리고 7월 16일부터 8월 5일까지는 급격하게 감소하였으며, 경도 감소의 정도는 '미백도'에서 가장 큰 경향을 보였다. '유명'의 경우는 조사개시일인 6월 16일부터 과육의 경도가 다른 두 품종에 비해 더 높았으며, 이 같은 경도의 차이는 '미백도'와 '대구보'의 수확일인 8월 5일까지 지속되었다. 이상의 결과로 미루어 볼 때, '미백도'는 성숙기에 과실의 비대 및 연화속도가 아주 빠른 품종인 반면, '유명'은 성숙기의 과실 비대 및 연화속도가 상대적으로 늦은 품종임을 알 수 있었다.

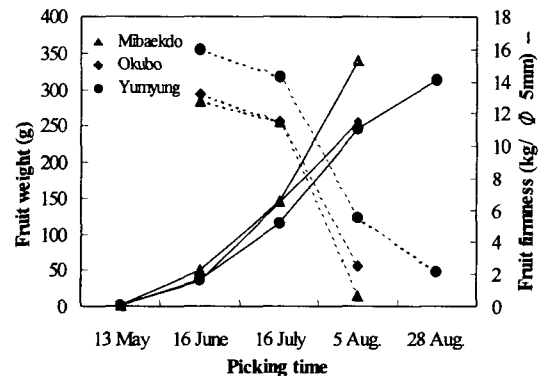


Fig. 1. Changes in the fruit weight and firmness of three different cultivars during development of peach fruits (not detected fruit firmness at 13 May).

### 발육단계별 total sugar의 변화

복숭아 과실에 함유된 AIS의 대부분은 세포벽물질인 것으로 알려져 있으므로(15), 본 실험에서는 AIS를 세포벽물질로 하여 증류수, 0.05M CDTA, 0.05M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 4% 및 24% KOH로서 차례로 분획하여 그 중에 함유된 총당(TS)의 함량을 과실의 발육단계별로 조사하였다(Table 1). 세포벽물질의 TS 함량은 세 품종 모두에서 과실의 발육에 따라 완만히 감소하는 경향이었으나 품종간에 뚜렷한 차이를 인정하기는 어려웠다. 각각의 분획 중 TS 함량의 변화가 가장

Table 1. Contents of total sugar among peach cell wall-polymer fractions

Cultivars	Picking time	Crude cell wall (AIS)	Total sugar(mg · g <sup>-1</sup> AIS) <sup>2</sup>				
			dlH <sub>2</sub> O	CDTA	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	4% KOH	24% KOH
'Mibaekdo'	13 May	436.51 <sup>1</sup>	20.50	5.06	15.70	82.82	28.87
	16 June	425.21	30.52	15.66	28.52	79.68	75.51
	16 July	419.82	20.93	10.58	36.38	83.57	48.09
	5 Aug.	359.72	68.36	6.93	26.03	46.33	34.53
'Okubo'	13 May	461.05	19.97	7.35	20.84	145.70	34.14
	16 June	353.88	23.70	12.73	25.79	60.99	43.57
	16 July	420.00	37.44	11.67	19.15	72.99	52.29
	5 Aug.	387.73	48.90	10.94	24.19	63.79	36.27
'Yumyung'	13 May	433.35	11.35	9.88	15.33	135.78	37.21
	16 June	356.63	25.22	14.37	26.58	55.14	52.12
	16 July	379.03	24.13	18.26	25.22	65.05	52.43
	5 Aug.	363.86	25.45	18.56	20.29	47.17	30.17
	28 Aug.	333.88	41.42	12.24	25.47	64.17	42.48

<sup>1</sup>Measured in glucose equivalents.

<sup>2</sup>Values are the mean of triplicate analyses and for any value the error is less than 10%.

뚜렷한 것은 증류수 가용성 분획이었다. 증류수 가용성 분획의 TS 함량은 발육초기에 비해 중기에 증가한 다음 일정기간동안 변화하지 않다가 성숙기 무렵에 다시 크게 증가하였다. 품종별로는 연화가 빨랐던 '미백도'에서 과실 발육후기(성숙기)의 TS 함량 증가가 다른 두 품종('대구보'와 '유명')보다 컸다. 따라서 세포벽 구성당의 저분자화는 과실의 연화속도가 빠른 '미백도'에서 더욱 빨리 진행됨을 알 수 있었다. Chang 등(6)은 복숭아 '미백도'와 '유명' 과실을 관행의 수확기에 수확·저장하면서 연화의 단계별로 세포벽물질을 추출하여 본 실험에서와 같이 증류수, 0.05M CDTA, 0.05M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 4% 및 24% KOH로서 차례로 분획하여 uronic acid 및 TS 함량을 조사한 결과 세포벽물질의 uronic acid는 '미백도'와 '유명' 모두에서 과실의 연화에 따라 다소 감소하는 경향이었으나 품종간의 차이는 없었던 반면, TS는 연화가 느린 '유명'에 비해 연화속도가 빠른 '미백도'에서 빨리 감소되었다고 하였다. 또한 복숭아 과실은 성숙·연화동안에 cellulose 구조는 거의 변하지 않지만(16), 세포벽 중층의 주 구성물질인 pectic polymer들이 효소작용에 의하여 분해되므로(17) 세포

벽 구성당의 변화가 일어나는 것으로 알려져 있다 (3). 펙틴은 rhamnogalacturonan과 homogalacturonan으로 구성된 산성펙틴 부분이 주 사슬이 되고 여기에 arabinan, galactan 및 arabinogalactan으로 구성된 중성 펙틴 부분이 곁사슬로 결합되어 있다(18). 본 실험에서는 TS를 페놀-황산법으로 분석하였으므로 약간의 galacturonosyl 잔기가 감지될 수도 있으나 감지되는 대부분의 당은 비섬유성 중성당으로 판단된다(8). 이러한 결과들로 미루어 볼 때, 복숭아 과실의 발육과정에서 일어나는 과실의 연화는 수확 후 저장중인 과실에서와는 달리 과실 세포벽의 비섬유성 중성당의 변화와는 크게 관련이 없을 것으로 생각되었다.

Table 2. Non-cellulosic neutral sugar contents(mol %) in cell wall-polymer fractions of 'Mibaekdo' peach

Fraction	Picking time	Rha <sup>2</sup>	Ara	Xyl	Man	Gal	Glu
AIS	13 May	4.5 <sup>1</sup>	27.2	30.0	2.5	20.7	15.1
	16 June	2.2	36.6	10.4	4.7	36.5	9.6
	16 July	3.6	45.5	7.5	3.7	32.1	7.6
	5 Aug.	4.1	44.7	12.4	5.3	18.7	14.8
dlH <sub>2</sub> O	13 May	2.9	41.7	6.1	4.1	32.9	12.3
	16 June	2.1	44.3	7.2	4.6	30.6	11.2
	16 July	2.2	40.9	TR <sup>3</sup>	4.0	28.9	24.0
	5 Aug.	5.0	53.4	4.4	2.6	21.0	13.6
CDTA	13 May	3.0	51.8	TR	TR	26.8	18.4
	16 June	2.8	48.5	7.4	TR	32.8	8.5
	16 July	3.8	65.4	TR	TR	30.8	TR
	5 Aug.	8.4	62.3	4.3	2.4	16.4	6.2
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	13 May	7.1	64.0	2.0	0.6	22.1	4.2
	16 June	10.6	62.3	3.7	TR	23.4	TR
	16 July	6.8	66.4	TR	TR	26.8	TR
	5 Aug.	8.2	78.5	1.4	TR	11.4	0.5
4% KOH	13 May	3.0	21.8	32.4	1.0	16.7	25.1
	16 June	2.4	30.1	26.6	1.3	31.1	8.5
	16 July	3.1	41.0	7.2	1.4	35.2	12.1
	5 Aug.	4.7	22.1	17.0	4.6	23.5	28.1
24% KOH	13 May	2.7	19.2	39.4	2.0	14.0	22.7
	16 June	2.4	24.3	16.8	2.9	30.5	23.1
	16 July	1.7	17.3	22.8	5.0	18.7	34.5
	5 Aug.	1.2	10.6	27.6	6.9	15.1	38.6

<sup>1</sup>Rha: Rhamnose; Ara: Arabinose; Xyl: Xylose; Man: Manose; Gal: Galactose; Glu: Glucose

<sup>2</sup>Values are the mean of triplicate analyses and for any value the error is less than 10%.

<sup>3</sup>TR: Traced.

Table 3. Non-cellulosic neutral sugar contents(mol %) in cell wall-polymer fractions of 'Okubo' peach

Fraction	Picking time	Rha <sup>z</sup>	Ara	Xyl	Man	Gal	Glu
AIS	13 May	2.7 <sup>y</sup>	19.0	42.7	1.2	14.8	19.6
	16 June	4.0	30.5	6.8	5.1	38.5	15.1
	16 July	4.2	39.1	9.0	5.0	30.6	12.1
	5 Aug.	4.8	45.0	12.4	4.7	20.9	12.2
ddH <sub>2</sub> O	13 May	2.9	28.5	8.9	5.9	35.8	18.0
	16 June	1.5	31.4	TR <sup>x</sup>	5.7	35.2	26.2
	16 July	2.2	38.0	3.6	4.8	29.2	22.2
	5 Aug.	3.5	41.7	4.5	2.7	24.6	23.0
CDTA	13 May	9.9	30.2	TR	TR	35.7	24.2
	16 June	4.3	51.7	4.9	4.1	35.0	TR
	16 July	5.1	61.1	TR	TR	33.8	TR
	5 Aug.	6.5	70.5	TR	TR	23.0	TR
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	13 May	8.8	62.0	2.2	TR	23.8	3.2
	16 June	8.1	59.4	2.3	1.1	29.1	TR
	16 July	6.5	64.1	4.4	TR	25.0	TR
	5 Aug.	8.4	75.0	0.8	TR	15.5	0.3
4% KOH	13 May	2.8	16.1	37.8	0.4	32.6	10.3
	16 June	3.6	34.4	5.9	1.4	42.5	12.2
	16 July	3.6	43.1	7.7	1.6	32.3	11.7
	5 Aug.	3.8	46.3	10.2	2.2	20.3	17.2
24% KOH	13 May	2.2	10.5	45.2	1.9	18.6	21.6
	16 June	3.0	25.2	23.9	3.7	20.7	23.5
	16 July	2.6	27.4	17.4	2.9	20.3	29.4
	5 Aug.	2.1	23.5	22.9	4.3	13.7	33.5

<sup>z, y, x</sup> Abbreviations are the same as in Table 2.

#### 비섬유성 중성당의 변화

Table 2, 3 및 4를 보면 세 품종 모두에서 세포벽 물질의 주요 중성당은 arabinose, galactose, glucose 및 xylose였다. 각 분획별 주요 중성당을 살펴보면 증류수 가용성 분획에서는 arabinose, galactose 및 glucose였으며, CDTA와 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 가용성 분획에서는 arabinose와 galactose였고, 4% 및 24% KOH 가용성 분획에서는 arabinose, xylose, galactose 및 glucose였다. 과실 발육초기인 5월 13일에는 세 품종 모두에서 세포벽 물질과 4% 및 24% KOH 분획 중에는 xylose의 mol %가 아주 높았다. 이 사실로 미루어 보아 Table 1에서 '대구보'와 '유명' 과실의 발육 초기에 4% KOH

Table 4. Non-cellulosic neutral sugar contents(mol %) in cell wall-polymer fractions of 'Yumyung' peach

Fraction	Picking time	Rha <sup>z</sup>	Ara	Xyl	Man	Gal	Glu
AIS	13 May	3.3 <sup>y</sup>	19.1	29.9	2.4	16.1	29.2
	16 June	3.9	35.1	7.1	4.8	34.4	14.7
	16 July	3.8	40.0	6.6	4.5	31.1	14.0
	5 Aug.	5.4	43.5	8.3	6.1	24.6	12.1
	28 Aug.	5.4	49.9	10.6	2.9	17.5	13.7
ddH <sub>2</sub> O	13 May	2.8	30.7	5.4	6.5	29.6	25.0
	16 June	2.5	39.0	1.4	6.1	34.1	16.9
	16 July	2.5	34.9	0.8	4.3	30.4	27.1
	5 Aug.	2.5	29.1	1.3	2.9	38.5	25.7
	28 Aug.	3.0	37.1	2.8	2.3	26.8	28.0
CDTA	13 May	6.7	50.8	TR <sup>x</sup>	TR	23.3	19.2
	16 June	5.9	60.5	4.3	2.9	26.4	TR
	16 July	5.6	58.7	2.0	2.6	25.9	5.2
	5 Aug.	5.5	76.3	TR	TR	18.2	TR
	28 Aug.	6.8	76.0	1.7	1.4	11.1	3.0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	13 May	9.1	50.1	3.5	TR	32.6	4.7
	16 June	7.5	59.3	1.9	0.8	30.0	0.5
	16 July	6.9	65.3	1.0	TR	26.8	TR
	5 Aug.	9.1	71.2	1.3	TR	18.4	TR
	28 Aug.	10.8	77.8	1.2	0.5	8.9	0.8
4% KOH	13 May	2.5	19.8	29.7	0.9	14.9	32.2
	16 June	2.9	37.0	6.6	1.3	36.5	15.7
	16 July	3.5	38.2	7.1	1.5	37.4	12.3
	5 Aug.	5.0	49.5	10.7	2.3	13.7	18.8
	28 Aug.	4.8	47.3	8.9	2.1	14.8	22.1
24% KOH	13 May	2.7	17.8	40.8	1.5	13.5	23.7
	16 June	2.8	25.0	20.1	3.8	24.3	24.0
	16 July	3.3	26.3	6.7	4.7	25.9	33.1
	5 Aug.	2.1	15.6	25.2	5.0	11.6	40.5
	28 Aug.	3.2	18.0	25.1	3.5	13.3	36.9

<sup>z, y, x</sup> Abbreviations are the same as in Table 2.

분획에서 TS 함량이 높게 나타났던 것은 이들 과실의 세포벽물질 중에서 xylose의 함량이 높았기 때문인 것으로 생각된다. 세포분열과 세포비대가 활발히 일어나는 과실 발육초기에 hemicellulose의 구성 당 중 하나로 알려진 xylose의 mol %가 높은 것으로 보아 이 시기의 세포벽 확장에는 hemicellulose를 구성하는 물질들의 역할이 클 것으로 추정된다. 과실 발육후기인 8월 5일에는 과실 발육중기인 6월 16일에 비하여 세포벽물질, 4% 및 24% KOH 분획을 제외한 모든 분획 중에서 arabinose는 다소 증가하였으며, galactose

는 4% 및 24% KOH를 포함한 모든 분획 중에서 다소 감소하는 경향을 나타내었으나 그 증감의 정도는 크지 않았다. '미백도'와 '대구보'의 수확일인 8월 5일에는 세 품종의 경도 차이가 뚜렷하였다. 즉, '미백도'의 경도가 가장 낮았고 '유명'의 경도가 가장 높았으며, '대구보'는 그 중간이었다(Fig. 1). 그리고 이 시기에는 세포벽물질의 증류수 분획 중의 uronic acid 함량은 연화속도가 빠른 '미백도'는 140 mg · g<sup>-1</sup> AIS, '대구보'는 109 mg · g<sup>-1</sup> AIS, 연화속도가 느린 '유명'은 50 mg · g<sup>-1</sup> AIS로서(미발표) 경도의 변화와 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 뿐만 아니라 펙틴의 주 골격을 이루는 중성당으로 알려진 rhamnose의 변화도 과실의 경도 변화와 일치하고 있음을 알 수 있다. 즉, 8월 5일의 세포벽물질의 증류수 분획 중의 rhamnose의 mol %는 연화속도가 빠른 '미백도'는 5.0, '대구보'는 3.5, 연화속도가 느린 '유명'은 2.5였다. 따라서 과실 발육의 후기에 일어나는 복숭아 과실의 연화는 세포벽을 구성하는 펙틴질의 주 사슬을 구성하는 uronic acid의 저분자화는 왕성한 반면 결사슬을 구성하는 galactan이나 arabinogalactan 등의 저분자화는 크지 않는 것으로 추측되었다.

Glycosidase 활성의 변화

Table 5와 6은 세포벽의 pectin과 hemicellulose의 결사슬을 분해하는 효소로 알려진 glycosidase들의 활성 변화를 가용성과 세포벽 결합형으로 나누어 조사한 것이다. 세 품종 모두 가용성 glycosidase 중 과실의 모든 발육단계에서 활성이 높게 나타난 것은 α-galactosidase, β-arabinosidase 및 α-mannosidase였다. β-galactosidase, β-glucosidase 및 β-xylosidase는 과실의 발육초기(5월 13일)에만 그 활성이 높게 나타났고 발육중기(6월 16일)부터는 활성이 매우 낮거나 감지되지 않았다. 효소 활성이 높았던 세 종류의 효소들은 세 품종 모두에서 과실의 발육초기에 높았던 활성이 발육중기에 급감하였으며, 과실의 발육단계별 변화는 연화가 빠른 '미백도'와 연화가 느린 '유명'이 비슷하였다. 즉, α-galactosidase는 발육초기에 높았던 활성이 발육중기에 급감한 다음 수확기까지 비슷한 수준이었고, β-arabinosidase는 수확기까지 서서히 감소

하는 경향을 그리고 α-mannosidase는 발육중기까지는 감소하고 성숙기 무렵에 다시 대폭 증가하는 양상이었다. 세포벽 결합형 glycosidase 중 과실의 모든 발육단계에서 활성이 높게 나타난 것은 α-galactosidase, β-arabinosidase, α-mannosidase 및 β-galactosidase였다. 이들의 활성은 과실의 발육과 더불어 과실 발육후기까지 급감하는 양상이었다. 그러나 과실의 발육단계별 변화의 양상은 가용성 효소에서와 마찬가지로 연화가 빠른 '미백도'나 연화가 느린 '유명'이나 큰 차이가 없었다. Chang 등(7)은 연화속도가 빠른 '미백도'와 연화속도가 느린 '유명' 과실을 수확하여 저장하고 연화가 심화됨에 따른 세포벽 분해효소들의 활성을 조사하였다. 그 결과 연화가 진행되는 동안 펙틴의 주 사슬을 분해하는 효소인 polygalacturonase의 활성은 양 품종 모두에서 낮았으나, 펙틴의 결사슬인 galactan이나 arabinogalactan을 분해하는 β-galactosidase 활성은 '유명'에서는 낮았지만 연화가 빠른 '미백도'에서는 높게 유지되었다고 하였다.

Table 5. Changes in activities of soluble glycosidase extracted from peach fruits

Cultivars	Picking time	Protein content (mg) <sup>z</sup>	Enzyme activity(unit) <sup>y</sup>					
			α-Gal <sup>x</sup>	β-Glc	β-Xyl	β-Ara	α-Man	β-Gal
'Mibaekdo'	13 May	3.448	77.77	14.23	101.90	353.94	760.91	28.51
	16 June	0.458	12.65	0.90	0.56	44.57	10.86	0.01
	16 July	0.661	10.40	1.60	0.09	23.77	1.53	ND <sup>w</sup>
	5 Aug.	0.399	13.11	0.59	0.02	10.20	25.81	0.06
'Okubo'	13 May	4.849	122.34	36.11	158.05	452.77	1908.41	50.85
	16 June	0.293	23.83	0.04	0.05	35.56	1.94	ND
	16 July	0.040	17.41	0.02	0.02	13.22	0.10	ND
	5 Aug.	0.448	14.43	0.03	0.03	19.43	41.31	0.04
'Yumyung'	13 May	6.783	122.81	47.48	153.71	478.99	1684.00	93.38
	16 June	1.831	42.66	4.71	10.04	104.71	37.14	0.01
	16 July	0.549	19.13	0.05	0.06	42.59	0.09	ND
	5 Aug.	1.064	37.38	0.05	0.05	57.78	89.50	0.08
	28 Aug.	0.746	37.69	0.04	0.06	43.91	73.44	0.04

<sup>z</sup>Enzymes were extracted from 50g fresh weight of peach fruits.

<sup>y</sup>One unit of enzyme defined as the amount of p-nitrophenyl released at a rate of 100 μ mol/h at 30°C.

<sup>x</sup>α-Gal: α-Galactosidase, β-Gal: β-Galactosidase, β-Glc: β-Glucosidase, β-Xyl: β-Xylosidase, β-Ara: β-Arabinosidase, α-Man: α-Mannosidase.

<sup>w</sup>ND: Not detected.

본 실험에서는 TS와 주요 중성당의 변화는 품종별로 큰 차이가 없었으나, 증류수 가용성 분획의 uronic acid(미발표)와 rhamnose의 변화는 과실의 품종별 경도 변화와 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과들로 추론해 보면, 복숭아 과실의 발육초기에는 모든 glycosidase들이 세포벽 확장을 위한 세포벽 분해 활동에 크게 관여하고 있으나 성숙기의 세포벽 분해에는 수확후의 과실에서와는 달리 glycosidase 외에 다른 효소들의 역할이 큰 것으로 생각되었다. 즉, 복숭아 과실의 연화는 과실의 발육단계에서는 polygalacturonase에 의한 pectin의 주 사슬 절단에 의하며, 수확후의 심한 연화는 pectin의 곁사슬을 절단하는  $\beta$ -galactosidase에 의하여 이루어지는 것으로 추측되었다.

Table 6. Changes in activities of cell wall-bound glycosidase extracted from peach fruits

Cultivars	Picking time	Protein content (mg) <sup>z</sup>	Enzyme activity(μmol) <sup>y</sup>					
			$\alpha$ -Gal <sup>x</sup>	$\beta$ -Glc	$\beta$ -Xyl	$\beta$ -Ara	$\alpha$ -Man	$\beta$ -Gal
'Mibackdo'	13 May	10.544	142.51	976.74	76.68	251.04	740.56	397.55
	16 June	1.192	83.23	52.53	0.05	44.32	31.37	93.69
	16 July	0.378	15.25	0.05	0.01	5.87	86.75	12.40
	5 Aug.	0.520	19.07	0.05	ND <sup>w</sup>	1.89	3.85	8.98
'Okabo'	13 May	11.940	185.28	1720.01	121.74	382.27	1192.09	495.94
	16 June	0.267	16.17	3.16	0.04	31.82	102.15	109.08
	16 July	0.592	19.84	6.32	0.02	16.12	160.55	22.29
	5 Aug.	0.687	22.19	0.08	ND	10.10	43.20	14.64
'Yumyung'	13 May	16.516	186.92	1984.19	136.73	324.30	1430.56	594.47
	16 June	1.674	96.80	29.27	0.56	81.60	208.23	130.81
	16 July	0.579	14.89	0.10	0.01	14.69	204.56	26.16
	5 Aug.	0.516	10.81	0.04	5.87	7.50	37.59	6.99
	28 Aug.	0.554	19.07	0.02	ND	11.68	47.63	3.62

<sup>z</sup>, <sup>y</sup>, <sup>x</sup>, <sup>w</sup> Abbreviations are the same as in Table 5.

## 요약

본 연구에서는 복숭아 '미백도', '대구보' 및 '유명' 과실의 발육단계별로 과실의 경도, 세포벽성분 및 glycosidase 활성의 변화를 조사함으로써 수확후의 저장중 과실에서와 같이 발육중인 과실의 연화에서도  $\beta$ -galactosidase가 중요한 역할을 하는지 알고자 하

였다. 조사시기는 5월 13일, 6월 16일, 7월 16일, 8월 5일이었으며, 수확기가 늦은 '유명'은 8월 28일에 한번 더 조사하였다. Total sugar와 비섬유성 중성당의 함량은 각 품종의 세포벽물질을 증류수, 0.05M CDTA, 0.05M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 4% KOH, 2.4% KOH로 차례로 분획하여 조사하였다. 과실의 발육에 따라 경도는 세 품종 모두에서 감소하였으며, '유명' 과실의 경도는 모든 발육단계에서 '미백도'와 '대구보'보다 높았다. 발육단계에 따른 각 분획별 total sugar의 함량 변화는 품종간에 뚜렷한 차이가 없었다. 세 품종의 세포벽 물질과 각 분획중의 주요 중성당은 arabinose와 galactose였다. '미백도'와 '대구보'의 수확일인 8월 5일의 증류수 가용성 분획의 rhamnose의 mol % 변화는 품종별 경도 변화와 상관관계가 있었다. 가용성  $\beta$ -galactosidase의 활성은 세 품종 모두에서 과실 발육 초기에는 높았으나 초기 이후에는 매우 낮은 수준이었다. 세포벽결합형  $\beta$ -galactosidase는 세 품종 모두에서 발육초기에 높았던 활성이 수확기까지 계속적으로 감소하였다. 다른 glycosidase의 활성들도 품종간에 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다.

## 감사의 글

이 논문은 1999년도 중부대학교 학술연구개발비 지원에 의한 연구결과로서 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Hobson, G.E. (1981) Enzymes and texture changes during ripening. In Recent advances in the biochemistry of fruits and vegetables, Friend J. and Rhodes M.J.C. (Ed.), Academic Press, London. p. 123-132.
- Huber, D.J. (1983) The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Hort. Rev.*, 5, 169-219.
- Hegde, S. and Maness, N.O. (1996) Sugar composition of pectin and hemicellulose extracts of

- peach fruit during softening over two harvest season. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **121**, 1161-1167.
4. Hegde, S. and Maness, N.O. (1998) Changes in apparent molecular mass of pectin and hemicellulose extracts during peach softening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **123**, 445-456.
  5. Pressey, R. (1977) Enzymes involved in fruit softening. In *Enzymes in food and beverage processing*, Ory R.L. and Angelo A.St. (Ed.), ACS Symposium Series. p. 172-191.
  6. Chang, K.H., Lee D.H., Kim I.S., Kang I.K. and Byun J.K. (1999) Changes in the cell wall components during the softening in peach fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.*, **40**, 355-358.
  7. Chang, K.H., Lee D.H. and Byun J.K. (1999) Changes in activity of cell wall hydrolases during the softening in peach fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.*, **40**, 359-362.
  8. Rose, J.K.C., Hadafield K.A., Labavitch J.M., and Bennett A.B. (1998) Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit. *Plant Physiol.*, **177**, 345-361.
  9. Ben-Arie, R., Sonogo L., and Frenkel C. (1979) Changes in pectic substances in ripening pears. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **104**, 500-505.
  10. Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. and Smith F. (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350-356.
  11. Blakeney, A.B., Harris P.J., Henry R.T. and Stone B.A.. (1983) A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydr. Res.*, **113**, 291-299.
  12. Pressy, R. (1983)  $\beta$ -Galactosidase in ripening tomatoes. *Plant Physiol.*, **71**, 132-135.
  13. Moshefi, M. and Luh B.S. (1984) Purification, characterization of two tomato polygalacturonase isoenzymes. *J. Food Biochem.*, **8**, 39-54.
  14. Lowry, O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., and Randall R.J. (1951) Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275.
  15. Shewfelt, A.L., Payter V.A. and Jen J.J. (1971) Textural changes and molecular characteristics of pectin constituent in ripening peaches. *J. Food Sci.*, **36**, 573-575.
  16. Sterling, C. (1961) Physical state of cellulose during ripening of peach. *J. Food Sci.*, **26**, 95-98.
  17. Pressy, R., Hinton D.M., and Avants J.K. (1971) Development of polygalacturonase activity and solubilization of pectins in peaches during ripening. *J. Food Sci.*, **36**, 191-1073.
  18. Lee, S.K. (1996) Postharvest physiology of horticultural crops(Korean). Sungkyun Publishing Co., Suwon, Korea, p.177-191.

---

(접수 2001년 1월 5일)