

‘한아름’, ‘만풍배’ 및 ‘신고’ 배의 성숙 기간 중 과실특성 및 세포벽 관련물질의 변화

부티킴완¹ · 이육용² · 최진호³ · 이한찬³ · 천종필^{2*}

¹하노이농과대학, ²충남대학교 원예학과, ³국립원예특작과학원 배시험장

Changes of Fruit Characteristics and Cell Wall Component during Maturation and Ripening in Asian Pear ‘Hanareum’, ‘Manpungbae’, and ‘Niitaka’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai)

Vu Thi Kim Oanh¹, Ug-Yong Lee², Jin-Ho Choi³, Han-Chan Lee³, and Jong-Pil Chun^{2*}

¹Department of Post-harvest Technology, Hanoi University of Agricultural, Gia Lam, Hanoi, Vietnam

²Department of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

³Pear Research Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Naju 520-821, Korea

Abstract. We investigated the changes of fruit quality parameters, polysaccharide contents and cell wall components during maturation and ripening of two Korean pear cultivar ‘Hanareum’ and ‘Manpungbae’ compared with ‘Niitaka’ pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) which showed different physiological maturity based on days after full bloom (DAFB). Flesh firmness decreased continuously with fruit development and maturation, reaching a final level of 29.4, 33.5, and 27.4N at maturity in ‘Hanareum’ (127 DAFB), ‘Manpungbae’ (163 DAFB), and ‘Niitaka’ (170 DAFB), respectively. The level of ethylene production was very low in early season ‘Hanareum’ pear which showed at most 0.39 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ at maturity and no ethylene was detected in ‘Manpungbae’ and ‘Niitaka’ at maturity. Fructose was the most abundant soluble sugar during fruit maturation in the pears tested and an increase of sucrose was observed during fruit ripening in the Asian pears commonly. Ethanol insoluble solids (EIS) content decreased gradually with different levels among the pear cultivars as fruit ripens consisted of 10.79, 12.72, and 12.75 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ FW. The amount of total soluble polyuronides was higher in early season cultivars ‘Hanareum’ than those of mid-season cultivar ‘Manpungbae’ and ‘Niitaka’. In ‘Niitaka’ which harvested most late season, the level of 4% KOH soluble hemicelluloses was lower than ‘Hanareum’ and ‘Manpungbae’ and maintained constantly during fruit ripening period. Cellulosic residues were determined high level in ‘Niitaka’ which showed 612.33 $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS at maturity when compared with ‘Hanareum’ (408.0 $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS) and ‘Manpungbae’ (538.67 $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS). The main constituents of cell wall neutral sugars which consisted of arabinose, xylose, galactose, and glucose were decreased gradually with onset of fruit ripening regardless of cultivar. Arabinose which was predominant in ‘Hanareum’ pear decreased at the last stage of ripening, but the changes of cell wall neutral sugar during ripening were not occurred in ‘Niitaka’ pear. The change of molecular mass distribution in water soluble pectin observed dominantly at the early stage of fruit development. Depolymerization of 4% KOH-soluble hemicelluloses and degradation of xyloglucan showed in early-season cultivar ‘Hanareum’ during fruit maturation, and degradation of those fractions were detected only at the early stage fruit development in mid-season cultivar ‘Manpungbae’ and ‘Niitaka’. The molecular mass profile of CDTA soluble pectin, Na_2CO_3 -SP and 24% KOH soluble hemicelluloses showed no significant change during fruit maturation regardless of cultivar.

Additional key words: firmness, hemicelluloses, neutral sugar, pectic substance, quality

*Corresponding author: jpchun@cnu.ac.kr

※ Received 16 February 2012; Revised 3 April 2012; Accepted 10 April 2012. 본 연구는 농촌진흥청 FTA대응 기술 개발 사업 과제 (과제번호 PJ9069932011)의 결과물로 지원에 감사드립니다.

우리나라 전체 배 시장의 80%를 차지하고 있는 ‘신고’ 배는 우리나라 배의 최대 소비기간인 추석을 맞추기 위한 조기 수확과 이로 인한 품질적 문제점을 가진 과실이 유통되는 경우 소비자의 배에 대한 선호도가 떨어지게 된다. 또한 수출에 있어서도 ‘신고’ 품종이 주류를 이루고 있어 외국의 소비자들에게 우리나라 배의 다양성과 우수성을 홍보함에 있어 어려움이 있다. 따라서 이를 극복하기 위해서는 시장에서의 배 품종의 다양화가 무엇보다 시급하며 이를 위한 신유성 품종의 농가 보급을 통한 유통물량의 확대가 절실한 실정이다.

‘한아름’ 배는 1988년에 국립원예특작과학원에서 ‘신고’에 ‘추황배’를 교배하여 육성한 품종으로 숙기는 수원지방 기준으로 8월 중순이다. 과중이 480g 전후로 조생종으로는 대과이며, 당도가 13.8°Brix로 높고, 산미가 적어 식미가 우수한 품종이나 상온저장력이 10일 정도로 수확 후 품질 저하가 빠른 품종이다(Kim, 2002). ‘만풍배’는 1982년에 국립원예특작과학원에서 ‘풍수’에 ‘만삼길’을 교배하여 육성한 품종으로 숙기는 수원지방 기준으로 9월 하순으로 우리나라의 주 품종인 ‘신고’에 비해서 다소 빠르므로 추석출하용으로 유리한 품종이다. ‘만풍배’는 당도가 13.0°Brix로 ‘신고’에 비해 높고 석세포가 없어 식미가 매우 우수한 품종이나 과실이 성숙되어도 과피에 녹색이 남아 있어 과피의 착색정도로 수확시기를 판단하기 어려운 품종이다(Cho et al., 2003).

따라서 이들 품종의 지속적인 내수 및 수출 증대를 도모하기 위해서는 고품질 과실의 생산 및 유통에 전제조건이 되는 목적별 수확시기의 정립이 필수적이고 수확 이후의 유통력 증진기술의 개발도 부수적으로 진행되어야 한다. 즉 고품질 과실의 내수 및 수출시장에서의 유통을 위해서는 무엇보다 수확 이후의 과실의 유통력에 영향을 미치는 수확시기에 대한 이해가 필요하다. 기존의 보고에서 ‘원황’ 및 ‘화산’ 배 품종의 경우, 수확시기가 늦어질수록 상온유통 중 과심갈변 등 생리장해의 발생이 급격히 발생하는 것으로 보고되었고(Oh et al., 2010), ‘화산’ 배의 상온 및 고온 유통기간 중 품질악화 방지를 위한 적정 수확 시기의 구명에 관한 연구가 일부 진행되어 왔으나(Lee et al., 2011) 본 시험에 공시한 두 품종에 있어 생육시기별 과실의 특성변화에 관한 연구는 이루어진 바 없다.

이에 본 실험에서는 ‘한아름’ 및 ‘만풍배’ 배의 과실별 발육 및 성숙생리를 ‘신고’ 배와 비교함으로써 고품질 국내 육성 배의 생산 및 유통물량의 확대를 위한 기초자료로 제공하고자 성숙기간 중 과실의 품질 및 세포벽 관련물질의 변화를 비교하였다.

시험 재료

시험 재료는 충남 천안시 성환읍 송덕리 소재 개인농가(장덕용)에서 8년생 ‘한아름’, ‘만풍배’ 및 15년생 ‘신고’ 배 (*Pyrus pyrifolia* Nakai)를 각각 2010년 7월 22일과 8월 11일을 시작으로 일주일 간격으로 20개씩의 과실을 수확하여 실험에 사용하였는데 만개일 기준으로 ‘한아름’ 및 ‘만풍배’는 각각 만개 후 127 및 163일까지 수확하였고 ‘신고’는 만개 후 170일까지 수확하였다. 모든 과실은 지베렐린 도포제 및 기타 생장조절제 처리를 하지 않은 것을 대상으로 만개 후 50일에 수출용 이중봉지를 패대한 과실을 사용하였다.

품질 조사

과실발육 조사는 각 시기별로 수확된 과실을 과경을 제거한 후 저울로 과실중을 측정하였고, 과고 및 과폭은 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 수확된 과실은 20°C 상온에 1일 방치한 후 품질 조사를 실시하였다. 과육의 경도는 Rheometer(CR-100D, Sunscientific, Japan)로, 가용성 고형물 함량은 과즙을 착즙하여 굴절당도계(Atago 100, Japan)로, 산함량은 과즙을 0.1N NaOH로 pH 8.3까지 적정하고 사과산 함량을 기준으로 계산하였다. 전분함량은 착즙한 과즙 1mL를 증류수 4mL에 희석한 후 진단시약(KI 5% + I 1% + 증류수)으로 발색하여 spectrophotometer를 이용하여 640nm에서 측정하였다.

과실 호흡 및 에틸렌 발생량 측정

과실의 에틸렌 발생량 및 호흡량 측정은 각 처리구에서 무작위로 6과를 선택하여 3반복으로 3.4L 용기에 2과씩 넣어 밀폐하고 25°C에서 2시간 방치 후 밀폐된 용기내부의 기체를 주사기로 1mL 포집한 후 에틸렌은 gas chromatography (Shimadzu 14B-PE, Japan, 2m active alumina SUS column, FID)를 이용하여 측정하였고, 호흡량은 채취된 시료를 TCD를 이용하여 측정하였다(Tamura et al., 2003).

가용성 당 분석, Ethanol Insoluble Solids, 세포벽 성분의 추출 및 분석

가용성 당 및 알콜불용성 분획(EIS)의 추출은 조직에 에탄올을 넣고 80% 에탄올상태로 마쇄한 후 -20°C로 보관한 후 Huber(1984)의 방법으로 조제하였다. 가용성 당의 성분 분석을 위하여 80% 에탄올로 과육을 마쇄한 후 증탕으로 가용성 당성분을 추출하였다. 추출된 당은 membrane filter (0.45µm, Whatman)로 여과한 후 100% acetonitrile로 4배

희석하여 75% 혼합액을 만들고 NH2P-50 컬럼(Shodex, Japan)을 이용하여 RI detector(RID 10A, Shimadzu, Japan)를 장착한 HPLC (Younglin Instrument, Korea)로 분석하였다(Chun et al., 2003a). EIS 추출은 80% 에탄올 마쇄액을 취하여 20분간 가열한 후 miracloth(Calbiochem, USA)로 걸러 잔사를 취하고 chloroform:methanol 1:1액으로 수세한 후 80% 에탄올과 아세톤으로 세척하고 37°C에서 건조 후 사용하였다. 가용성펙틴의 추출은 Chun et al.(2003b)의 방법으로 4% 및 24% KOH 가용성 헤미셀룰로스는 Maclachlan and Brady(1994)의 방법으로 추출하였고 나머지 잔사를 Tabuchi and Matsumoto(2001)의 방법으로 추출한 후, 셀룰로스로 정량하였다. EIS로 세포벽 성분을 추출하기 전 90% DMSO를 사용, EIS에 함유된 전분을 제거하였고(Campbell et al., 1990) 펙틴성분의 정량은 *m*-hydrophenyl법 (Blumenkrantz and Asboe-Hansen, 1973)으로, 당의 정량은 phenol-sulfuric acid법(Dubois et al., 1956)으로 실시하였다. 추출된 펙틴 및 헤미셀룰로스 분획의 분자량분획은 Sepharose CL-6B-100 (Sigma, USA)를 이용하였다(Chun et al., 2003b). EIS에 함유되어 있는 non-cellulosic neutral sugar 분석은 5mg의 EIS를 취하여 Blakeney et al.(1983)의 방법을 변형하여 실시하였다. 조제된 시료는 capillary column(SP-2340, Supelco, 0.25mm × 30m, Sigma-Aldrich Japan Co., Japan)이 장착된 gas chromatograph(GC-14B, Shimadzu Co., Japan)로 중성당을 분석하였고 internal standard로 myo-inositol을 사용하였다.

통 계

본 실험에서는 SPSS 프로그램(version 14.0, SPSS, Inc., Chicago, Illinois, USA)을 사용하였다. 분산분석(ANOVA)은 $P < 0.05$ 의 유의수준에서 실행되었으며, 평균은 Duncan's multiple range test를 사용하여 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

과육 경도의 변화

세 품종 모두 생육기간 중 과육의 경도는 감소하는 경향이였다. ‘한아름’은 경도가 생육일수가 증가함에 따라 급격하게 감소하였는데 성숙일 기준 1개월 전인 만개 후 99일의 과육 경도는 44.0N이었고 이후 만개 후 113일에 급속히 감소하여 33.9N으로 떨어졌고 만개 후 120일에는 31.4N, 만개 후 127일에는 29.4N으로 성숙기 무렵 2주간의 경도 변화는 크게 나타나지 않아 수확기간의 폭이 넓은 품종으로 생각되었다. ‘만풍배’의 경우 성숙 1개월 전인 만개 후 135일

의 과육 경도는 47.7N으로 매우 높았고, 성숙 2주전인 만개 후 149일에도 38.2N으로 조사되었는데 성숙기인 만개 후 163일에도 33.5N으로 나타나 ‘한아름’ 및 ‘신고’에 비해 수확기의 과육 경도가 높은 품종으로 생각되었다. ‘신고’의 경우에는 성숙 1개월 전인 만개 후 142일의 과육 경도는 43.1N으로 비교한 3품종 중에는 가장 낮았는데 수확기에 근접할수록 경도가 저하되어 만개 후 170일에는 27.4N을 보였다(Table 1). ‘한아름’과 ‘신고’의 경우 과육 경도는 성숙기 2주 전부터 꾸준히 감소하는 경향을 보였고, ‘만풍배’의 경우에는 경도가 유지되다가 성숙 1주 전에 급속히 경도가 감소하여 과실의 수확시기 폭이 좁은 품종으로 생각되었다.

전분함량의 변화

과실의 식미를 결정하는 요인으로 과실의 전분함량은 중요한 요인인데 미숙과실의 경우 텁텁한 녹말 맛이 많이 나므로 상품성이 저하되는 원인으로 작용한다. 전분함량은 세 품종 모두 과실의 성숙과 더불어 감소하여 수확시기 결정인자로 이용할 가능성이 큰 것으로 판단되었다. ‘한아름’의 경우 성숙 4주 전(만개 후 99일)에는 1.28로 매우 높은 전분지수를 보였고, 성숙 1주 전인 만개 후 120일이 되어야 0.39로 전분이 거의 소실된 결과를 보였다. ‘신고’의 경우에는 성숙 4주 전(만개 후 142일)에 0.73으로 동일시기의 ‘한아름’에 비해 낮았는데 성숙 2주 전(만개 후 156일)에 도달하였을 때 0.37로 전분이 급격하게 낮아지는 경향을 보였다(Table 1). 그러나 ‘만풍배’의 경우에는 성숙기에 도달하더라도 1.12로 매우 높은 전분함량을 유지하고 있어 ‘한아름’과 ‘신고’와는 전혀 다른 패턴을 보였는데 이는 ‘만풍’이 가진 품종 특성(Cho et al., 2003) 중 가장 부정적인 품질요인으로 평가되었다.

가용성고형물 및 산도의 변화

과실의 품질과 관련되어 식미에 가장 중요한 요인인 가용성고형물 함량의 변화를 보면 ‘한아름’의 경우 성숙 1개월 전(만개 후 99일)에 이미 11.5°Brix까지 증가되었고, 성숙 1주 전(만개 후 120일)에 12.6°Brix로 과실발육과 성숙이 진행되더라도 가용성고형물의 축적은 크게 나타나지 않는 품종이라 생각되었다. 이와 같은 양상은 산함량 조사 결과에서도 유사하게 나타났는데 과실생장 및 성숙기간 중 산도가 0.1% 정도로 유지되는 등 변화가 거의 없는 품질특성을 보였다(Table 1). ‘만풍배’의 경우에는 가용성고형물함량이 과실의 비대 및 성숙과 더불어 지속적으로 증가하여 성숙기인 만개 후 163일에 11.4°Brix로 나타났고, 산도는 지속적으로 감소하여 0.12% 수준까지 낮아져 ‘신고’와 유사한 경향을

Table 1. Changes of fruit quality factors during fruit development in ‘Hanareum’, ‘Manpungbae’, and ‘Niitaka’ pears.

Cultivar	Harvest ^z (DAFB)	Firmness (N)	SSC (°Brix)	Acidity (%)	Starch (O.D. 640 nm)	Ethylene ($\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	Respiration ($\text{mL CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
Hanareum	85	64.0 ± 1.5 ^y	10.87 ± 0.17	0.10 ± 0.01	2.21 ± 0.07	0.23 ± 0.11	1.60 ± 0.11
	92	54.5 ± 1.9	10.73 ± 0.03	0.10 ± 0.01	1.92 ± 0.14	0.41 ± 0.18	0.82 ± 0.06
	99	44.0 ± 1.3	11.50 ± 0.23	0.09 ± 0.01	1.28 ± 0.09	0.46 ± 0.20	0.35 ± 0.06
	106	39.3 ± 1.7	12.03 ± 0.03	0.09 ± 0.00	1.14 ± 0.03	0.08 ± 0.06	0.51 ± 0.06
	113	33.9 ± 1.2	11.53 ± 0.06	0.11 ± 0.01	0.63 ± 0.04	0.06 ± 0.06	0.66 ± 0.02
	120	31.4 ± 1.4	12.57 ± 0.09	0.09 ± 0.00	0.39 ± 0.02	0.05 ± 0.05	0.59 ± 0.01
	127	29.3 ± 0.9	11.90 ± 0.06	0.09 ± 0.01	0.30 ± 0.01	0.39 ± 0.05	0.70 ± 0.02
Manpungbae	121	55.6 ± 2.3	9.53 ± 0.03	0.18 ± 0.01	2.09 ± 0.14	0.18 ± 0.05	2.09 ± 0.18
	128	49.8 ± 1.7	10.03 ± 0.09	0.16 ± 0.00	1.87 ± 0.02	0.09 ± 0.01	2.11 ± 0.12
	135	47.9 ± 1.5	9.30 ± 0.15	0.14 ± 0.00	1.99 ± 0.02	TR ^x	1.29 ± 0.03
	142	40.1 ± 0.9	10.17 ± 0.09	0.13 ± 0.00	1.84 ± 0.01	TR	1.30 ± 0.14
	149	38.2 ± 1.0	10.67 ± 0.03	0.14 ± 0.01	1.73 ± 0.07	TR	1.22 ± 0.08
	156	33.9 ± 1.0	11.17 ± 0.09	0.13 ± 0.01	1.34 ± 0.08	TR	1.35 ± 0.03
	163	33.5 ± 1.2	11.43 ± 0.09	0.12 ± 0.01	1.12 ± 0.06	TR	1.10 ± 0.02
Niitaka	121	60.0 ± 3.5	9.40 ± 0.00	0.14 ± 0.00	1.83 ± 0.13	0.11 ± 0.06	1.99 ± 0.07
	128	52.8 ± 3.3	10.07 ± 0.15	0.15 ± 0.00	1.51 ± 0.07	0.10 ± 0.05	2.11 ± 0.15
	135	48.1 ± 2.9	10.77 ± 0.12	0.13 ± 0.00	1.10 ± 0.11	TR	1.69 ± 0.10
	142	43.1 ± 2.2	11.00 ± 0.06	0.13 ± 0.00	0.73 ± 0.08	TR	1.77 ± 0.25
	149	40.8 ± 2.5	11.47 ± 0.22	0.16 ± 0.00	0.71 ± 0.08	TR	1.40 ± 0.09
	156	35.1 ± 2.5	11.83 ± 0.17	0.13 ± 0.00	0.37 ± 0.02	TR	1.65 ± 0.03
	163	32.5 ± 1.9	11.93 ± 0.15	0.13 ± 0.00	0.36 ± 0.02	TR	1.36 ± 0.05
	170	27.4 ± 2.4	12.30 ± 0.06	0.13 ± 0.00	0.31 ± 0.02	TR	1.19 ± 0.01

^zFruits were harvested until horticultural maturity with a week interval based on the days after full bloom (DAFB) in three pear cultivars. TR: trace of peak was detected.

^yData were the average of 10 fruits with S.E.

^xTR: trace of peak was detected.

보였다. 본 실험 결과 ‘한아름’의 가용성고형물의 증가 및 산함량 감소 패턴이 다른 품종들과는 매우 다르게 나타났는데 생육기간 별 전분함량의 감소를 고려할 때 매우 특이적인 특성을 가진 품종이라 생각되었다(Table 1).

에틸렌 및 호흡량의 변화

과실의 성숙기간 중 에틸렌 발생량의 변화를 조사하였다. 에틸렌발생은 과실 특성상 수확기가 상대적으로 빠른 ‘한아름’이 ‘만풍배’와 ‘신고’에 비하여 상대적으로 높은 수준으로 발생하였으나 성숙기의 수준이 $0.05\text{--}0.39\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 극히 소량만이 발생하였다. ‘만풍배’와 ‘신고’의 경우에는 생육초기 $0.09\text{--}0.18\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 가 발생되었으나 생육 후반기에 과실비대 및 성숙이 진행되면서 에틸렌은 거의 발생하지 않았다(Table 1). 이는 일본에서 육성된 대부분의 배 품종은 ACC synthase(ACS) 활성이 낮아 에틸렌 생합성량이 극히 적은 품종군에 속하는데(Itai et al., 1999), ‘한아름’은 ‘신고’에 ‘추황배’를 교배하여 육성한 품종이고, ‘만풍배’는

‘풍수’에 ‘만삼길’을 교배하여 얻어진 품종으로 ‘신고’ 배와 마찬가지로 에틸렌 생합성량이 극히 적은 것으로 판단되었다(Ahn et al., 2009). 한편, Lee et al.(2011)은 ‘원황’ 및 ‘화산’ 배의 경우, 과실의 수확시기에 따라 에틸렌 발생량이 다르게 나타나며 유통온도가 높은 경우에는 에틸렌 발생이 ‘원황’의 경우 최대 $0.8\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 가 발생하며, ‘화산’의 경우에는 동일한 조건에서 $0.2\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이하로 발생한다고 하였다. 즉, 에틸렌의 발생 정도는 품종에 따라 매우 상이하며 수확 후 유통과정을 거치면서 유통온도에 따라 발생량이 다르게 나타나므로 본 연구에서 ‘한아름’은 성숙기간 중 소량이지만 에틸렌발생이 검출되었고, ‘만풍배’ 및 ‘신고’의 경우에는 검출되지 않았다. 따라서 조생종인 ‘한아름’의 경우, 유통 중 신선도를 유지하기 위해서는 수확시기 결정 및 유통온도관리를 더욱 신중히 해야만 할 것으로 판단되었다.

과실의 호흡량은 세 품종 모두 과실비대가 급격하게 일어나는 성숙 40일 전에 $2\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 정도로 가장 높았고, 과실의 성숙 진행과 더불어 떨어지는 경향을 보였는데 성숙기

무렵의 호흡률은 ‘한아름’의 경우 ‘만풍배’와 ‘신고’에 비하여 유의하게 낮은 수준으로 조사되어 품종 간 호흡률의 차이가 있었다. ‘한아름’의 경우 성숙 직전인 만개 후 120일의 호흡량은 $0.59\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이었고 성숙일(만개 후 127일)에는 $0.70\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 다소 상승하였다. ‘만풍배’는 만개 후 156일에 $1.35\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 에서 성숙일(만개 후 163일)에는 $1.10\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로, ‘신고’는 만개 후 163일에 $1.36\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 에서 만개 후 170일에 $1.19\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 낮아져 (Table 1) 본 연구에서 이용한 동양배 품종들은 성숙에 따른 호흡 급등이 일어나지 않는 비클라이맥터릭 호흡형으로 판단되었다. 이와 같은 결과는 ‘원황’과 ‘화산’에 대해 생육 및 성숙기간 중 호흡변화를 조사하였던 결과, 두 품종간 호흡률의 차이가 존재하며 성숙기의 호흡률 변화가 상이하게 나타나 ‘원황’의 경우에는 성숙일인 만개 후 135일에 다소간의 호흡증가가 나타났지만, ‘화산’의 경우에는 성숙일인 만개 후 150일에도 호흡률의 증가가 없었다는 결과(Lee and Chun, 2011)를 감안하면 ‘한아름’의 경우 수확 후 유통과정에서 호흡률의 변화가 나타날 것으로 예상된다. 그러나 이

러한 호흡률의 차이가 실제로 동양배 과실의 클라이맥터릭 현상을 반영하는 것인지 아니면 과실채취기 전후의 온도환경 등에 의해 나타나는 오차(Kitamura et al., 1981; Yoo et al., 2002)에 의한 결과인지는 추후 재검토할 필요가 있다고 판단된다.

당조성의 변화

성숙기간 중 과육 내에 축적되는 당의 성분을 분석하기 위해 가용성 당을 분석한 결과, 품종에 관계없이 과실비대기 이후 성숙기로 근접할수록 가용성당 함량이 증가하는 것으로 나타났는데 세 품종 모두 전 생육시기에 걸쳐 전체 당 성분 중 과당이 우점하고 있었고, 과실성숙기에 근접할수록 자당의 비율이 증가하는 경향이었다(Table 2). 품종별 성숙기간 중 당 조성을 보면, ‘한아름’의 경우 성숙기의 당은 대부분 과당과 자당으로 구성되어 있었는데 과실비대기 중에는 과당이 50% 정도를 차지하고 있었고, 성숙기가 가까워지면서 자당의 비율이 급격하게 증가하여 만개 후 127일에는 $55.13\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW로 과당 46.04, 솔비톨 13.31, 포도당

Table 2. Changes of soluble sugar composition during fruit development in ‘Hanareum’, ‘Manpungbae’, and ‘Niitaka’ pears.

Cultivar	Harvest ^z (DAFB)	Sugar composition ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)				
		Fructose	Glucose	Sucrose	Sorbitol	Total
Hanareum	85	47.85 de ^y	16.64 c	1.28 e	37.56 a	103.33
	92	49.59 cd	17.81 b	0.98 e	30.30 b	98.68
	99	57.81 a	18.93 a	8.35 d	28.64 b	113.73
	106	54.16 b	15.22 d	12.05 d	26.37 c	107.80
	113	56.70 a	14.14 e	28.11 c	22.46 d	121.41
	120	51.57 c	11.94 f	42.09 b	20.62 d	126.22
	127	46.04 e	9.04 g	55.13 a	13.31 e	123.52
Manpungbae	121	44.41 d	11.09 a	1.55 g	23.32 a	80.37
	128	52.61 c	9.12 b	4.81 f	22.23 b	88.77
	135	53.06 c	7.95 c	9.56 e	19.47 c	90.04
	142	52.82 c	6.90 e	20.52 c	18.01 d	98.25
	149	54.24 b	7.74 cd	18.90 d	16.09 e	96.97
	156	52.40 c	5.79 f	35.89 a	16.08 e	110.16
	163	57.18 a	7.57 d	25.40 b	16.07 e	106.22
Niitaka	121	39.39 e	13.14 g	1.64 f	25.33 cd	79.50
	128	41.12 d	13.98 f	1.97 f	25.86 c	82.93
	135	48.22 c	14.24 f	2.72 e	25.27 d	90.45
	142	50.12 b	16.47 d	3.94 d	25.27 d	95.80
	149	52.48 a	14.96 e	3.78 d	27.41 a	98.63
	156	52.43 a	17.91 c	7.04 c	24.64 e	103.78
	163	52.01 a	18.62 b	9.04 b	27.35 a	107.02
170	52.46 a	19.27 a	14.50 a	26.63 b	112.86	

^zFruits were harvested until horticultural maturity with a week interval based on the days after full bloom (DAFB) in three pear cultivars.

^yDifferent letters represent statistical significance within each cultivar by Duncan's multiple range test at 5% level.

9.04mg·g⁻¹ FW에 비하여 가장 높은 비율로 존재하였다. 이와 같은 수준은 동 시기의 ‘만풍배’ 및 ‘신고’에 비하여 2-3 배 이상 높았다. ‘만풍배’ 및 ‘신고’의 경우에도 성숙에 따른 자당의 비율 증가가 나타났으나 ‘한아름’에 비해서는 유의하게 낮은 수준이었다. ‘신고’의 경우 ‘한아름’ 및 ‘만풍배’에 비하여 비대 및 성숙기간 중 포도당의 비율이 높았는데, 자당에 비해 상대적으로 높은 수준으로 조사되었다(Table 2).

이와 같이 동양배에 있어 품종에 따라 생육시기별로 당축적 패턴이 다르게 나타나는 것은 과실의 산함량 변화와 더불어 품종 고유의 식미가 다름을 시사하고, ‘황금배’ 및 ‘신고’의 성숙과정에서 보여지는 당 축적 양상의 변화(Choi et al., 2009) 및 ‘풍수’와 ‘추영’에서 과실 성숙기에 과당의 감소와 자당의 축적이 급격하게 나타나며 밀병장해가 심하게 발생한 조직에서는 자당의 축적이 유의하게 높다는 보고(Chun et al., 2003a)를 고려할 때 조생종 배에서 상대적으로 심하게 발생하는 생리장해(Lee et al., 2011)와 품종별 자당 축적 정도 간의 연관성이 있음을 추정할 수 있었다. 한편,

조사한 세 품종 모두 환원당 축적형으로 조사되었지만 ‘한아름’의 경우 성숙기에 비환원당인 자당의 축적이 급격히 증가하였으므로 ‘한아름’ 품종에 있어 수확 이후의 유통기간 중의 당축적 패턴에 대해서는 추후 보다 면밀한 검토가 필요하다고 생각되었다.

세포벽관련 물질의 양적 변화

본 시험에 이용하였던 ‘한아름’, ‘만풍배’ 및 대조구인 ‘신고’에서 생리적 성숙기를 기준으로 7일 간격으로 7-8회 수확하여 과육의 세포벽함량을 조사하였다. 세 품종 모두 과실비대가 증가하고 성숙기에 근접할수록 알코올불용성 물질(ethanol insoluble solid, EIS)의 함량은 낮아지는 경향이 있었다(Table 3). ‘한아름’의 경우, 생육일수가 127일로 짧아 과육의 EIS의 함량이 세 품종 중 가장 낮았다. 즉, 성숙기의 EIS 함량은 10.79mg·g⁻¹ FW로 ‘만풍배’의 12.72 및 ‘신고’의 12.75mg·g⁻¹ FW에 비해 낮게 조사되었다.

EIS를 대상으로 수용성펙틴, chelator 용해성 펙틴 및

Table 3. Changes of EIS contents and pectic substances of cell wall during fruit development in ‘Hanareum’, ‘Manpungbae’, and ‘Niiitaka’ pears.

Cultivar	Harvest ^z (DAFB)	EIS (mg·g ⁻¹ FW)	Pectic substance (µg Uronic acid·mg ⁻¹ EIS)			
			WSP	CDTA-SP	Na ₂ CO ₃ -SP	Total
Hanareum	85	25.37 a ^y	4.28 c	4.84 a	53.09 c	62.22 cd
	92	21.80 b	3.80 c	4.31 a	57.63 c	65.75 c
	99	15.38 c	5.19 b	5.07 a	68.02 b	78.28 b
	106	14.31 d	5.89 ab	5.94 a	66.25 b	78.08 b
	113	12.14 e	4.75 bc	5.20 a	80.08 a	90.03 a
	120	11.41 f	7.16 a	5.01 a	65.73 b	77.90 b
	127	10.79 f	5.93 ab	5.94 a	69.19 b	81.05 b
Manpungbae	121	25.68 a	8.40 a	4.80 b	29.57 d	42.77 e
	128	19.76 b	6.82 a	3.80 cd	36.88 c	47.50 d
	135	18.54 c	6.89 a	3.97 bcd	41.62 bc	52.48 c
	142	14.90 d	7.31 a	3.57 d	40.27 bc	51.15 c
	149	13.50 e	7.27 a	4.16 bcd	44.99 b	56.42 b
	156	12.08 e	7.23 a	5.81 a	51.67 a	64.71 a
	163	12.72 e	8.20 a	4.66 bc	45.01 b	57.88 b
Niiitaka	121	29.77 a	4.19 a	3.84 b	48.28 ab	56.31 b
	128	28.77 a	2.69 bc	4.30 b	42.43 b	49.42 c
	135	22.85 b	2.12 c	4.55 b	47.87 ab	54.53 bc
	142	19.74 c	1.76 c	4.60 b	52.26 a	58.63 a
	149	19.53 c	2.10 c	4.64 ab	53.17 a	59.91 a
	156	15.95 d	2.01 c	4.81 ab	49.66 ab	56.48 b
	163	16.10 d	2.51 bc	4.63 ab	51.38 a	58.52 a
	170	12.75 e	3.37 ab	5.84 a	52.60 a	61.81 a

^zFruits were harvested until horticultural maturity with a week interval based on the days after full bloom (DAFB) in three pear cultivars.

^yDifferent letters represent statistical significance within each cultivar by Duncan's multiple range test at 5% level.

Na₂CO₃ 용해성 펙틴 분획을 추출, 정량하였던 결과(Table 3), 과실비대기에 비해 성숙기에 근접할수록 총 가용성펙틴의 양은 증가하는 경향을 보였는데 대부분의 펙틴은 Na₂CO₃ 용해성 펙틴이 우점하고 있었다. 총 가용성펙틴의 양은 ‘한아름’이 성숙기에 81.05μg·mg⁻¹ EIS로 ‘만풍배’의 57.88 및 ‘신고’의 61.81μg·mg⁻¹ EIS에 비해 높은 수준이었다. 수용성펙틴의 양은 ‘신고’에서 가장 낮게 조사되었는데 성숙기를 기준으로 3.37μg·mg⁻¹ EIS으로 ‘한아름’의 5.93 및 ‘만풍’의 8.20μg·mg⁻¹ EIS에 비해 유의하게 낮은 수준이었다. ‘신고’의 경우 원예작물에서 성숙 및 연화기간 중 알코올불용성 분획 내의 펙틴의 양적변화 양상은 총량의 변화보다는 각 분획별 가용성이 성숙시기에 따라 비율이 다르게 나타난다는 것이 일반적인 견해인데(Carrington et al., 1993; Chun et al., 2003b; Kondo et al., 1999; Rose et al., 1998), 본 실험 결과에서는 ‘한아름’ 및 ‘만풍배’의 경우 미숙단계의 과실에서는 총 가용성펙틴의 함량이 낮았으나 성숙기가 근접하면서 다소간 증가하다가 성숙기에 이르러 큰 변동이 없

었으므로 과실이 일정 수준까지 비대하는 과정에서는 가용성 펙틴함량이 증가하며 성숙에 근접하면서 총가용성 펙틴의 양적변화는 일어나지 않는다는 것을 확인할 수 있었다 (Table 3). 한편 가용성펙틴을 추출한 이후 4% KOH 가용성 hemicelluloses와 24% KOH 가용성 hemicelluloses 및 cellulose를 정량한 결과, ‘한아름’의 경우 4% KOH 가용성 hemicelluloses 함량은 성숙과 더불어 감소하고 ‘만풍배’는 증가, ‘신고’는 큰 변화가 없는 양상을 보였다(Table 4). 양적으로는 ‘한아름’의 성숙기 함량은 40.93μg·mg⁻¹ EIS로 ‘만풍배’의 49.77μg·mg⁻¹ EIS과 유사하였으나 ‘신고’는 28.05μg·mg⁻¹ EIS로 세 품종 중 유의하게 그 수준이 낮았다. 24% KOH 가용성 hemicelluloses 함량은 과실 성숙에 따른 큰 변화가 없었는데 ‘한아름’은 성숙기 함량이 108.84μg·mg⁻¹ EIS로 ‘만풍배’의 78.77 및 ‘신고’의 62.72μg·mg⁻¹ EIS에 비해 유의하게 높은 수준을 보였다. 반면, 셀룰로오스 함량은 ‘한아름’의 경우 과실비대 및 성숙과 더불어 유의하게 감소하여 408μg·mg⁻¹ EIS로 나타났고 ‘만풍배’ 및 ‘신고’는 함량의

Table 4. Changes of hemicellulosic and cellulosic components of cell wall during fruit development in ‘Hanareum’, ‘Manpungbae’, and ‘Niitaka’ pears.

Cultivar	Harvest ^z (DAFB)	4% KOH-HC	24% KOH-HC (μg glucose equiv.·mg ⁻¹ EIS)	Cellulosic residues
Hanareum	85	36.31 d	104.94 abc	496.33 a
	92	43.69 bc	98.43 c	490.00 a
	99	46.94 ab	99.63 bc	455.00 b
	106	48.43 a	108.39 a	451.00 b
	113	46.87 ab	106.22 ab	427.33 bc
	120	43.77 bc	106.22 ab	408.67 c
	127	40.93 c	108.84 a	408.00 c
	Manpungbae	121	32.69 c	73.31 a
128		38.65 bc	85.69 a	499.33 a
135		33.73 c	86.62 a	491.00 a
142		35.85 c	86.00 a	470.33 a
149		34.04 c	82.15 a	505.33 a
156		43.12 b	82.77 a	523.67 a
163		49.77 a	78.77 a	538.67 a
Niitaka		121	34.85 a	59.37 abc
	128	29.13 bc	54.65 c	639.67 ab
	135	28.69 bc	61.85 ab	682.67 a
	142	27.37 bc	55.29 bc	690.33 a
	149	29.81 b	59.93 abc	665.00 ab
	156	27.61 bc	55.85 abc	686.00 a
	163	26.13 c	60.73 abc	683.67 a
	170	28.05 bc	62.73 a	612.33 b

^zFruits were harvested until horticultural maturity with a week interval based on the days after full bloom (DAFB) in three pear cultivars.

^yDifferent letters represent statistical significance within each cultivar by Duncan's multiple range test at 5% level.

변화 없이 성숙기 각각 538.67 및 612.33 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS으로 조사되었다(Table 4). 결과적으로 보면 세포벽의 조성에 가용성 펙틴분획의 비율은 수확시기가 가장 빠른 품종인 ‘한아름’에서 높은 분포를 보이고, 헤미셀룰로오스의 함량은 수확시기가 빠른 과실일수록 높은 분포를 보였으며, 셀룰로오스 함량은 상온저장력이 가장 긴 ‘신고’ 품종에서 구성비율이 가장 높은 것으로 조사되는 등 과실의 저장성에 영향을 미치는 요인은 전체 세포벽 구성물질 중 효소적 혹은 비효소적 용해가 일어나는 펙틴 및 헤미셀룰로오스 분획의 품종 간 비율 차이에서 기인하는 것으로 추정된다.

세포벽 구성 중성당의 변화

배 과실에 있어 비대 및 성숙기간 중 세포벽을 구성하고 있는 중성당들의 함량 및 조성을 분석한 결과는 다음과 같다(Table 5). 세포벽 구성 중성당 함량은 성숙일 기준으로 ‘한아름’, ‘만풍배’ 및 ‘신고’에서 각각 400.47, 507.98 및 397.42 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS로 품종별로 세포벽 구성 총 중성당 함

량이 차이가 있었고, 품종에 관계없이 과실이 비대하고 성숙이 진행됨에 따라 그 함량이 감소하는 경향을 보였다. 즉, ‘한아름’의 경우, 성숙 30일 전인 만개 후 99일의 세포벽 구성 총 중성당 함량은 455.37 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS이었고, 이후 30일간 성숙과정을 거치면서 만개 후 127일에는 400.47 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS로 낮아져 약 12%의 총 중성당이 감소되었다. ‘만풍배’는 동 기간에 602.75에서 507.98 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS로 약 16%, ‘신고’는 449.50에서 397.42 $\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS로 약 12%가 감소된 것으로 조사되어 세포벽 구성 중성당의 함량 감소로 인한 과실의 연화가 유기되며(Ahmed and Labavitch, 1980; Gross and Sams, 1984), ‘황금배’의 경우에도 성숙기로 근접할수록 세포벽을 구성하고 있는 비섬유성 중성당의 분해가 일어난다고 하였다(Yoo et al., 2002). 과실 성숙에 따른 non-cellulosic 중성당 조사 결과, ‘한아름’의 경우에는 arabinose가 우점 중성당이었고, ‘만풍배’와 ‘신고’에서는 xylose가 우점 중성당이였다. 일반적으로 세포벽 구성 중성당의 경우, 사과 및 복숭아에서는 arabinose가 우점당으로

Table 5. Changes of non-cellulosic neutral sugars of cell wall during fruit development in ‘Hanareum’, ‘Manpungbae’, and ‘Niitaka’ pears.

Cultivar	Harvest ^z (DAFB)	Non-cellulosic neutral sugar ($\mu\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}$ EIS)							
		Rhamnose	Fucose	Arabinose	Xylose	Mannose	Galactose	Glucose	Total
Hanareum	85	12.2 a	5.9 c	144.0 b	153.1 a	9.1 b	70.1 a	95.0 a	489.3 a
	92	12.9 a	6.8 c	141.7 b	158.9 a	8.6 b	70.3 a	97.4 a	496.4 a
	99	12.2 a	6.0 c	149.3 b	142.6 a	8.8 b	70.8 a	65.9 c	455.4 ab
	106	12.4 a	8.4 bc	154.2 ab	128.3 a	9.0 b	67.7 a	75.9 b	455.7 ab
	113	12.8 a	8.4 bc	160.7 ab	130.1 a	10.1 ab	58.3 b	36.4 d	416.8 b
	120	15.7 a	11.0 ab	185.8 a	145.4 a	10.0 ab	54.9 bc	32.6 d	455.4 ab
	127	14.8 a	11.4 a	146.7 b	136.8 a	11.5 a	50.0 c	29.3 e	400.5 b
Manpungbae	121	6.0 d	2.9 c	62.3 d	120.7 c	5.3 a	62.5 b	381.1 a	640.75 a
	128	8.8 c	5.4 b	82.4 c	129.7 bc	5.7 a	80.1 a	276.3 ab	588.5 ab
	135	8.7 c	6.5 b	87.0 bc	118.2 c	5.9 a	80.6 a	296.0 ab	602.8 ab
	142	7.8 cd	5.4 b	74.4 cd	111.9 c	4.7 a	65.3 b	270.5 ab	540.0 bc
	149	9.8 bc	6.9 b	89.9 bc	138.4 bc	4.7 a	67.5 b	190.0 bc	507.1 cd
	156	11.4 ab	8.7 a	102.5 ab	154.7 ab	5.3 a	68.6 ab	112.9 c	464.1 d
	163	12.2 a	9.2 a	113.9 a	170.8 a	5.9 a	68.0 b	128.0 c	508.0 cd
Niitaka	121	7.8 d	4.1 e	98.0 cd	206.2 ab	6.7 a	58.7 a	103.8 a	485.3 a
	128	8.4 cd	4.1 e	97.8 d	207.6 ab	6.2 a	56.5 a	82.3 b	462.7 ab
	135	8.3 cd	4.6 de	103.5 bcd	214.3 ab	6.8 a	49.5 c	49.8 c	436.6 bcd
	142	9.6 bc	5.0 cde	111.8 abc	230.7 a	5.3 a	49.9 c	37.3 d	449.5 abc
	149	9.4 bcd	5.5 bcd	121.2 a	186.3 b	7.1 a	55.4 ab	40.9 d	425.7 bcd
	156	10.8 ab	6.6 b	121.2 a	218.5 ab	5.7 a	48.1 c	22.3 e	433.0 bcd
	163	10.3 b	6.0 bc	116.6 ab	211.1 ab	5.3 a	48.5 c	20.9 e	418.7 cd
	170	11.9 a	9.1 a	111.6 abcd	186.8 b	5.6 a	50.5 bc	22.0 e	397.4 d

^zFruits were harvested until horticultural maturity with a week interval based on the days after full bloom (DAFB) in three pear cultivars.

^yDifferent letters represent statistical significance within each cultivar by Duncan's multiple range test at 5% level.

배에서는 xylose가 우점당으로 보고되고 있고(Gross and Sams, 1984), 동양배의 경우 ‘풍수’ 품종은 성숙 전까지는 arabinose 함량이 높으나 과실이 과숙되어 연화되는 시기에 근접할수록 감소하여 xylose와 유사한 수준으로 존재하는 등 세포벽 구성 중성당의 성숙 및 연화에 따른 변동이 보고(Yamaki et al., 1979)된 바 있다. 또한 이러한 연화과정에서의 중성당의 변화는 주로 헤미셀룰로오스를 구성하고 있는 세포벽구성물질을 공격하는 xylanase, arabanase, β -xylosidase 및 β -galactosidase 등의 지속적인 활성 증가와 관련이 있음을 보고한 바 있다(Yamaki and Kakiuchi, 1979). 본 연구에서 ‘한아름’의 경우 비대와 더불어 꾸준히 증가하던 arabinose 함량이 성숙기인 만개 후 127일에 급격히 낮아진 점과 galactose 함량이 성숙기가 근접함에 따라 꾸준히 감소하였던 결과(Table 5)를 고려하면 ‘한아름’의 성숙 및 연화에 이들 세포벽 가수분해효소들이 관여한 것으로 추정된다. 한편, ‘만풍배’의 경우에는 arabinose의 변동은 없었고 galactose 함량이 성숙 20일 전부터 낮아진 반면 ‘신고’의 경우에는 arabinose 함량이 성숙 직전 다소 감소하였을 뿐 과실 성숙에 따른 세포벽 구성 중성당들의 변동이 크게 나타나지 않은 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 ‘만풍배’ 및 ‘신고’의 경우 최종적으로 수확하여 실험에 이용한 과실의 상태가 성숙과로 과실의 경도가 각각 33.5 및 27.4N으로 아직 연화가 진행되지 않은 과실이었기 때문으로 판단되며(Table 1), 수확시기가 늦어지거나 과숙된 과실이었다면 본 실험에서 나타난 결과에 비해 보다 분명한 변동이 나타났으리라 추정된다.

세포벽 구성물질의 분자량 변화

배 과실에 있어 비대 및 성숙기간 중 세포벽을 구성하고 있는 펙틴, 헤미셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스 내 xyloglucan backbone의 molecular mass size exclusion chromatography를 수행하였다. ‘한아름’의 수용성펙틴 분획의 모양은 ‘만풍배’와 ‘신고’에 비하여 전혀 다른 패턴으로 나타났는데 전 생육기간에 걸쳐 고분자 배제분획은 나타나지 않았고 하나의 메인 피크를 보여 다른 중생종 품종과는 다른 것으로 조사되었다(Fig. 1). ‘만풍배’와 ‘신고’의 수용성펙틴의 분획모양은 유사하게 나타나 고분자 배제분획 피크를 포함한 두 개의 피크를 가지고 있었는데 ‘만풍배’의 경우, 고분자 배제분획의 피크는 생육초기에 분포하다가 성숙기가 가까워질수록 감소하는 경향이었으며, 세 품종 모두 성숙기에 근접하면서 저분자(480kD과 200kD) 분획이 다소 증가하는 등 다소간의 피크의 변화를 보였다(Fig. 1). 한편, CDTA를 이용하여 이온결합된 펙틴을 추출한 chelator 용해성 펙틴 분획의 경우 세 품종 모두 동일한 패턴으로 나타나 고분자 배제

분획 하나의 피크를 가지고 있었고 성숙에 따른 분자량의 변화는 나타나지 않았다(Fig. 1). Na_2CO_3 를 이용하여 공유 결합된 펙틴을 추출한 분획의 경우, 세 품종의 분획 모양이 유사하게 나타났다. 세 품종 모두 두 개의 주요 피크를 보였는데 chelator 용해성 펙틴 분획의 경우와는 반대로 고분자 배제분획의 피크는 낮고 저분자 피크가 높은 모양을 보였다. ‘한아름’의 경우, 성숙기로 근접할수록 고분자 배제분획이 감소되었고, ‘만풍배’의 경우 고분자 배제분획의 변화가 적었던 반면 분자량이 성숙기로 근접할수록 작아지는 경향이 있었다. ‘신고’의 경우에도 두 품종과 유사한 결과를 보였지만 성숙기인 만개 후 170일 수확 과실에서 고분자 배제분획이 유의하게 감소하고 저분자 피크가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1). 이와 같은 결과를 종합하면 본 실험에 이용한 세 품종의 동양배에 있어 가용성 펙틴분획의 분자량의 변화는 수용성펙틴분획 및 Na_2CO_3 가용성 분획에서 일부 보이며 chelator 용해성 펙틴 분획의 변화는 매우 제한적이라는 것을 알 수 있었다.

세 품종의 헤미셀룰로오스를 4% 및 24% KOH로 추출하여 분획한 결과, 세 품종 모두 성숙과정 중 헤미셀룰로오스의 분자량 변화는 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스 분획에서 나타났는데 ‘신고’에 비하여 ‘한아름’ 및 ‘만풍배’의 변화가 유의하게 나타났다(Fig. 2). ‘한아름’의 경우 만개 후 85-99일에 수확한 미숙 과실의 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스 분획은 고분자 배제분획의 피크가 매우 높게 나타났는데 성숙이 진행되면서 유의하게 고분자 배제분획이 줄어들고 저분자 분획의 피크가 증가하는 경향을 보여 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스 분획의 성숙에 따른 분자량 변화가 관찰되었다(Fig. 2). 동일한 분획에서 헤미셀룰로오스의 골격을 구성하고 있는 xyloglucan의 molecular mass를 조사한 결과, ‘한아름’의 경우, 성숙이 진행되는 만개 후 113일부터 고분자 배제분획이 사라지고 저분자 피크를 가지는 단일피크를 가지는 모양으로 전환되었으므로 성숙기에 근접하면서 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스의 분해와 더불어 셀룰로오스 microfibril과 밀접하게 연관되어 있는 것으로 보고(Rose et al., 1998)되는 xyloglucan backbone의 분해도 동시에 일어난다는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 2). ‘만풍배’의 경우, 과실이 미숙상태였던 만개 후 121-135일 수확 과실에서 추출된 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스는 성숙기로 근접할수록 고분자 배제분획이 증가하여 만개 후 142일에 최대피크를 보였고 이를 정점으로 고분자 배제분획의 감소가 일어나는 등 성숙에 따른 다소간의 헤미셀룰로오스 분해가 나타났다. 이러한 양상은 xyloglucan 분획 결과에서도 동일한 패턴으로 나타났는데 ‘한아름’에 비해서는 그 분해 정도

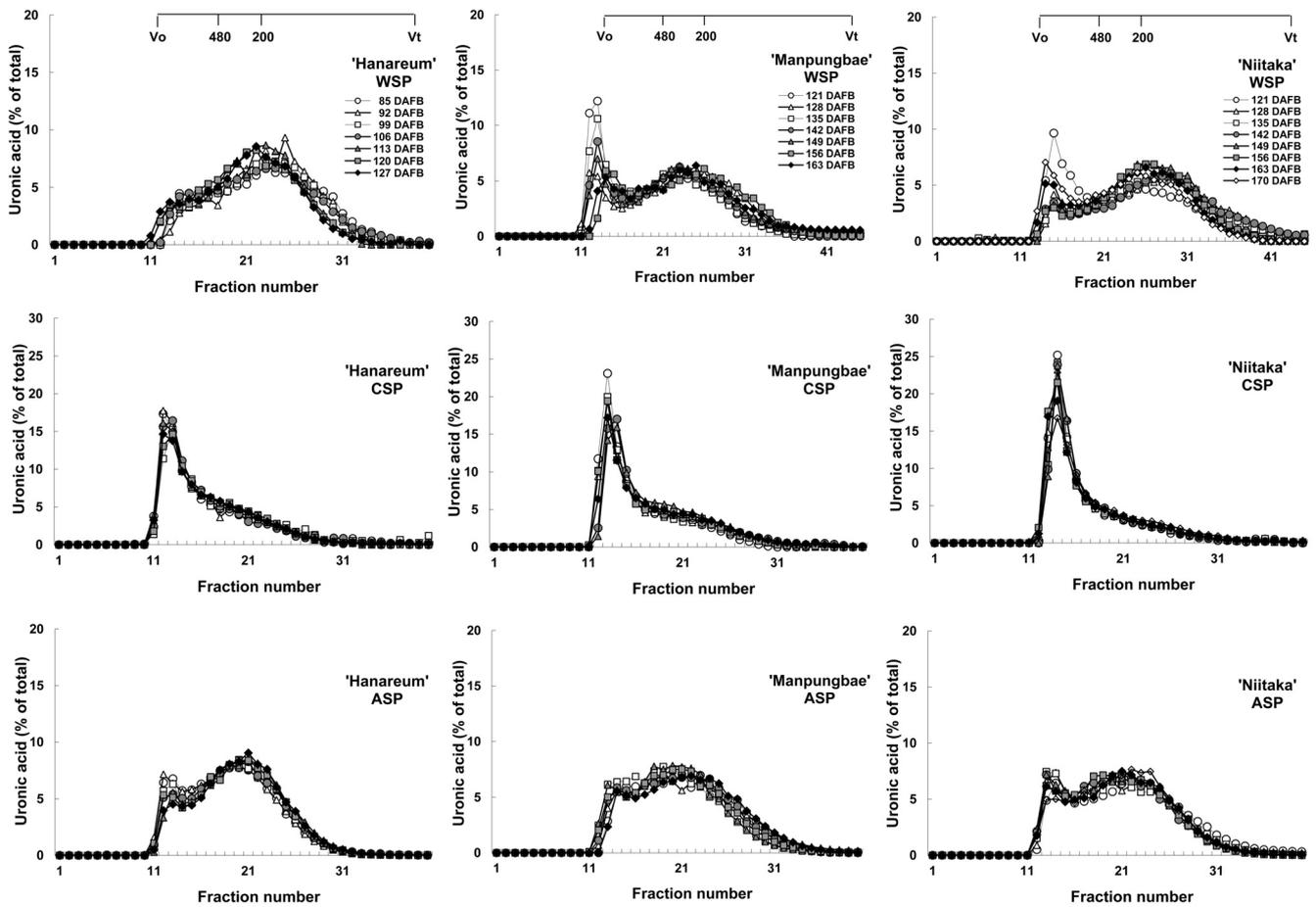


Fig. 1. Gel-filtration profiles of soluble polyuronides derived from cell walls from different developmental stages in 'Hanareum', 'Manpungbae', and 'Niitaka' pears fractionated on Sepharose CL 6B-100. WSP, water soluble polyuronides; CSP, chelator soluble polyuronides; ASP, Na_2CO_3 soluble polyuronides.

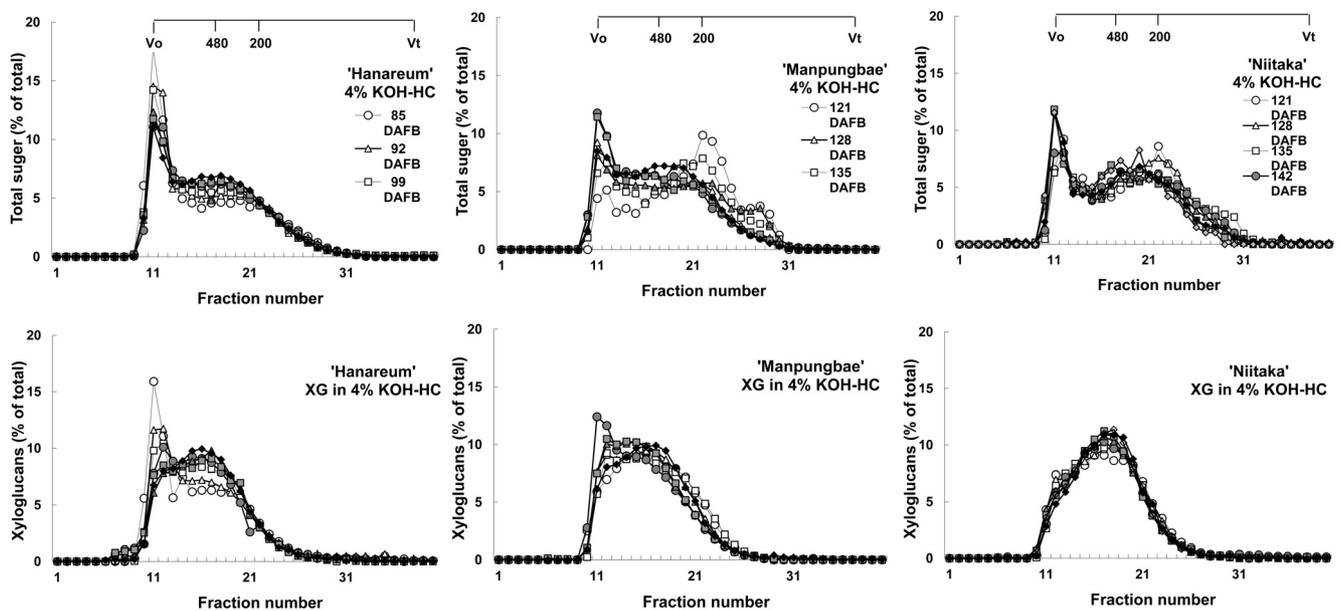


Fig. 2. Gel-filtration profiles of total sugar (upper) and xyloglucans (lower) in 4% KOH soluble hemicellulosic fraction derived from cell walls from different developmental stages in 'Hanareum', 'Manpungbae', and 'Niitaka' pears fractionated on Sepharose CL 6B-100.

가 낮은 것으로 조사되었다(Fig. 2). 한편 ‘만풍배’의 24% KOH 가용성 분획의 변화는 유의하게 나타나지 않았으며 ‘신고’의 경우에는 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스는 성숙기로 근접할수록 고분자 배제분획의 증가가 나타나 ‘한아름’ 및 ‘만풍배’와는 전혀 다른 분획결과를 보였다. 또한 24% KOH 가용성 분획 및 xyloglucan의 변화도 유의하지 않아 ‘신고’에서는 성숙기간에 따른 헤미셀룰로오스의 분해는 매우 제한적인 것으로 판단되었다(자료 미제시).

종합적으로 볼 때 품종에 따라 다르게 나타나는 펙틴 및 헤미셀룰로오스 분획의 분해정도 차이는 동양배에 있어 과실의 성숙도가 증가하여 과숙된 과실이나 생리장해가 발생된 과실(Chun et al., 2003b)에서는 보다 유의하게 나타날 가능성이 있지만 동양배 과실의 성숙에 따른 펙틴 및 헤미셀룰로오스 관련 물질들의 변동은 복숭아 등 다른 과수에 비해서는 상대적으로 급격하지는 않은 것으로 생각되었다(Brummel et al., 2004). 다만 이와 같은 변화들이 각 품종의 저장성과 관련이 있는지는 수확 후 과실의 연화과정 중 변화를 추후 관찰한다면 밝혀낼 수 있을 것으로 판단되며 본 연구 결과는 국내 육성 배의 재배면적 및 유통활성화 촉진을 위한 수확시기 결정의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

초 록

본 실험에서는 국내에서 육성한 조생종 ‘한아름’과 중생종 ‘만풍배’를 ‘신고’ 품종과 대조하여 과실생장 기간 중의 과실 품질요인의 변화 및 세포벽 구성물질의 변화를 조사하였다. 세 품종 모두 생육기간 중 과육의 경도는 지속적으로 감소하여 과실성숙기의 경도는 ‘한아름’, ‘만풍배’ 및 ‘신고’에서 각각 29.4, 33.5 및 27.4N으로 나타났다. 세 품종 모두 성숙기에 에틸렌발생량이 매우 낮았는데 ‘한아름’에서만 성숙일에 $0.39\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 를 보였고 ‘만풍배’와 ‘신고’는 성숙일에 에틸렌이 측정되지 않았다. 세 품종의 가용성당은 과당이 우점하고 있었고, 과실의 성숙과 더불어 공통적으로 자당의 비율이 증가하였다. 세 품종에서 성숙기에 조사한 알코올불용성 물질(EIS)의 함량은 조생종인 ‘한아름’의 경우, $10.79\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ FW로 ‘만풍배’의 12.72 및 ‘신고’의 $12.75\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ FW에 비해 낮았다. 총가용성 펙틴은 ‘한아름’이 성숙기에 $81.05\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS로 ‘만풍배’의 57.88 및 ‘신고’의 $61.81\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS에 비해 높은 수준이었다. 수용성펙틴 분획의 분자량 변화는 과실발육 초기에 공통적으로 유의하였다. 4% KOH 가용성 hemicelluloses 함량은 ‘신고’에서 $28.05\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS로 세 품종 중 유의하게 그 수준이 낮았고 과실 성숙에 따른

큰 변화를 보이지 않았다. 셀룰로오스 함량은 ‘한아름’의 경우 성숙기에 $408.00\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS, ‘만풍배’ 및 ‘신고’는 각각 538.67 및 $612.33\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ EIS이었다. 세포벽 구성 중성당 함량은 품종에 관계없이 과실이 비대하고 성숙이 진행됨에 따라 그 함량이 감소하는 경향을 보였다. ‘한아름’의 경우 우점 중성당인 arabinose 및 galactose 함량이 성숙기인 만개 후 127일에 급격히 감소하였다. 조생종인 ‘한아름’에서 성숙과 더불어 4% KOH 가용성 헤미셀룰로오스 및 xyloglucan의 분해가 유의하였고 ‘만풍배’ 및 ‘신고’는 과실 발육 초기에만 변화가 나타났다. Chelator 및 Na_2CO_3 가용성펙틴과 24% KOH 가용성 헤미셀룰로오스 분획의 분자량 변화는 품종에 관계 없이 매우 제한적이었다.

추가 주요어 : 경도, 헤미셀룰로스, 중성당, 펙틴, 품질

인용문헌

- Ahmed, A.E. and J.M. Labavitch. 1980. Cell wall metabolism in ripening fruit. I. Cell wall changes in ripening ‘Bartlett’ pears. *Plant physiol.* 65:1009-1013.
- Ahn, Y.J., J.S. Choi, B.Y. Moon, and J.P. Chun. 2009. Bagging of Ca-coated bag affects calcium content and physiological changes in ‘Niitaka’ pear fruits. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 27:540-546.
- Blakeney, A.B., P.J. Harris, R.J. Henry, and B.A. Stone. 1983. A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydr. Res.* 113:291-299.
- Blumenkrantz, N. and G. Asboe-Hansen. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. *Anal. Biochem.* 54:484-489.
- Brummel, D.A., V. Dal Cin, C.H. Cristoso, and J.M. Labavitch. 2004. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit. *J. Expt. Bot.* 55:2029-2039.
- Campbell, A.D., M. Huysamer, H.U. Stoltz, L.C. Greve, and J.M. Labavitch. 1990. Comparison of ripening processes in intact tomato fruit and excised pericarp discs. *Plant Physiol.* 94:1582-1589.
- Carrington, C.M.S., L.C. Greve, and J.M. Labavitch. 1993. Cell wall metabolism in ripening fruit. *Plant Physiol.* 111:447-457.
- Cho, K.S., S.S. Kang, H.M. Cho, G.C. Koh, K.H. Hong, D.S. Son, H.C. Kim, and K.Y. Kim. 2003. Breeding of a very soft, juicy, large sized, and high quality mid-season pear cultivar ‘Manpungbae’. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 21:25-28.
- Choi, J.H., J.J. Choi, C.S. Bang, J.S. Lee, D.W. Choi, H.S. Cho, and J.C. Ahn. 2009. Changes of sugar composition and related enzyme activities during fruit development of Asian pear cultivars ‘Niitaka’ and ‘Whangkeumbaek’. *Hort. Environ. Biotechnol.* 50:582-587.
- Chun, J.P., F. Tamura, K. Tanabe, and A. Itai. 2003a. Physiological and chemical changes associated with watercore development induced by GA in Japanese pear ‘Akibaek’ and ‘Housui’. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72:378-384.

- Chun, J.P., F. Tamura, K. Tanabe, A. Itai, and T. Tabuchi. 2003b. Cell wall degradation and structural changes of GA-treated watercored tissues in Japanese pear 'Akibae' and 'Housui'. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72:488-496.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Revers, and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* 28:350-356.
- Gross, K. and C.E. Sams. 1984. Changes of cell wall neutral sugar composition during fruit ripening: A species survey. *Phytochemistry* 23:2457-2461.
- Huber, D.J. 1984. Strawberry fruit softening: The potential roles of polyuronides and hemicelluloses. *J. Food Sci.* 49: 1310-1315.
- Itai, A., T. Kawata, K. Tanabe, F. Tamura, M. Uchiyama, M. Tomomitsu, and N. Shiraiwa. 1999. Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase genes controlling the ethylene level of ripening fruit in Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai). *Mol. Gen. Genet.* 261:42-49.
- Kim, J.H. 2002. Recent pear cultivation. Osung books, Seoul, Korea p. 266-267.
- Kitamura, T., T. Iwata, T. Fukushima, Y. Furukawa, and T. Ishiguro. 1981. Studies on the maturation-physiology and storage of fruits and vegetables. II. Respiration and ethylene production in reference to species and cultivars of pear fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 49:608-616.
- Kondo, S., K. Inoue, and T. Manabe. 1999. Cell wall metabolism of pear fruit on the tree after 2,4-DP treatment. *J. Hort. Sci. Biotech.* 74:614-617.
- Lee, U.Y. and J.P. Chun. 2011. Evaluation of quality indices during fruit development and ripening in 'Wonhwang' and 'Whasan' pears. *CNU J. Agri. Sci.* 38405-411.
- Lee, U.Y., K.Y. Oh, J.H. Choi, Y.S. Hwang, J.M. Choi, and J.P. Chun. 2011. Evaluation of fruit quality during shelf-life at high temperature environment in 'Wonhwang' and 'Whasan' pears. *J. Bio-Environ. Cont.* 20:233-240.
- Maclachlan, G. and C. Brady. 1994. Endo-1,4- β -glucanase, and xyloglucan endo-transglycosylase activities versus potential substrate in ripening tomatoes. *Plant Physiol.* 105:965-974.
- Oh, K.Y., U.Y. Lee, S.J. Moon, Y.O. Kim, H.S. Yook, Y.S. Hwang, and J.P. Chun. 2010. Transportation and distribution temperatures affect fruit quality and physiological disorders in 'Wonhwang' pears. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28:434-441.
- Rose, J.K.C., K.A. Hadfield, J.M. Labavitch, and A.B. Bennet. 1998. Temporal sequence of cell wall disassembly in rapidly ripening melon fruit. *Plant Physiol.* 117:345-361.
- Tabuchi, A. and H. Matsumoto. 2001. Changes in cell-wall properties of wheat (*Triticum aestivum*) roots during aluminum-induced growth inhibition. *Physiol. Plant* 112:353-358.
- Tamura, F., J.P. Chun, K. Tanabe, M. Morimoto, and A. Itai. 2003. Effect of summer-pruning and gibberellin on the watercore development in Japanese pear 'Akibae' fruit. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 72:372-377.
- Yamaki, S. and N. Kakiuchi. 1979. Changes in hemicellulose-degrading enzymes during development and ripening of Japanese pear fruit. *Plant Cell Physiol.* 20:301-309.
- Yamaki, S., Y. Machida, and N. Kakiuchi. 1979. Changes in cell wall polysaccharides and monosaccharides during development and ripening of Japanese pear fruit. *Plant Cell Physiol.* 20:311-321.
- Yoo, W.J., D.H. Kim, D.H. Lee, and J.K. Byun. 2002. Changes in respiration rates, cell wall components and their hydrolase activities during the ripening of 'Whangkumbae' pear fruit. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 43:43-46.