

## 마의 수확후 처리 및 저장 온도 최적화

이동석 · 박윤문\*

안동대학교 식품생명공학과

## Optimization of Curing Treatment and Storage Temperature of Chinese Yam

Dong-Suk Lee and Youn-Moon Park\*

Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong 760-749, Korea

**Abstract.** Effects of curing treatments and storage temperature on the quality of Chinese yams (*Dioscorea polystachya* Turcz.) were investigated stepwise in three consecutive years for the optimization of postharvest handling procedures. Tuberos roots were harvested in early to mid November and cured under ambient or 29°C heated air conditions for various periods according to the treatment conditions. Storage temperatures in the range of 0.5 to 7.5°C were phased in to avoid chilling injury while examining storage potential from 4 to 7 months. As poststorage technology, short-term 60°C hot-air exposure or low shelf temperature treatments were additively imposed. Curing treatments, especially heated air curing for 3-5 days tended to reduce the respiration and weight loss during storage while maintaining flesh firmness. Storage at 0.5°C brought out typical chilling injury symptoms on the shelf with increases in respiration and lower flesh firmness by tissue breakdown resulting in the rapid loss of marketability. Optimum storage temperature appeared to be the 3-4°C range which suppresses quality deterioration while avoiding chilling injury. Low shelf temperature seemed to be a necessary part of postharvest handling system to keep marketability through control of poststorage disorders such as rooting and decay. Overall results suggested that optimized postharvest program consisting of heated-air curing, storage at 3-4°C, and low shelf temperature could extend storage potential of Chinese yam to longer than 7 months.

**Additional key words:** chilling injury, marketability, quality attribute, respiration rate, texture

### 서 언

지하 괴근을 식품으로 이용하는 마과 작물은 식물분류학상 다양한 종으로 분류되는데(KNA and PTSK, 2007), 가장 최근의 분류체계에 의하면(Jeong, 2011), 형태에 따라 편상 장마, 단마, 둥근마로 구분하는 국내 농가 재배종은 모두 *Dioscorea polystachya* Turcz.에 속한다. 최근 마의 건강 기능성이 알려지면서 생마의 소비시장이 확대되고 있으며 기능성 식품으로서의 가공기술에 대한 관심이 높아지는 추세를 보이고 있으나 신선 마의 장기 공급을 위한 수확후 관리 체계가 확립되지 못하고 있다.

마는 수확 시에 상처를 입기 쉽고, 부패균에 의한 손실이 우려되므로(Ryu et al., 2006), 장기저장을 위한 전제조건으

로 수확후 상처 조직의 치유, 부패부위의 제거 및 수세에 의한 오염물질 감소 처리가 필요한 것으로 나타나고 있다. 실제로 저장용 마는 바람이 잘 통하는 그늘에서 2-3일 예비저장하여 상처가 아문 다음 본 저장을 하도록 권하고 있으나(Kang, 2008), 치유 기술의 관점에서 농가나 저장 산업체에 공통적으로 적용할 수 있는 기준이 제시되지 못하고 있다. 이에 비해 지하 괴근을 이용하는 고구마는 저장 중 부패에 의한 손실을 방지하기 위한 대책으로 수확 시 입은 상처의 치유처리(curing) 기술이 확립되어 있다(Kays, 2004). 고구마의 치유를 위해서는 29 ± 1°C 온도와 90-97%의 높은 상대습도 조건에서 4-7일 정도 소요되며(Kushman, 1975; Ray and Ravi, 2005; Wang et al., 1998), 치유과정을 거친 고구마는 장기저장 중 중량손실과 부패가 감소한다고 하였다

\*Corresponding author: park123@andong.ac.kr

※ Received 5 October 2012; Revised 19 December 2012; Accepted 29 December 2012. 본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업 지원에 의해 수행되었음.

(Kays, 2004). 이러한 관점에서 볼 때, 마 역시 수확후 치유 처리기술을 통해 저장력을 높일 수 있을 것으로 생각된다.

한편, 경북지역을 중심으로 많이 재배되는 단마의 저장 온도는 일반적으로 4-7°C로 알려져 있으나(Kang, 2008), 체계적인 연구에 따른 적정 온도에 대한 국내의 연구결과는 매우 미흡하다. 부패율을 기준으로 장마의 저장가능기간을 제시한 자료에 따르면(Ryu et al., 2009), 16°C 저장에서는 미생물성 부패와 맹아에 의한 손실이 크게 발생하지만 4°C에 저장에서는 품질 변화나 손실 발생이 미미하여 49주까지 저장이 가능하다고 하였다. 고구마의 경우에 있어서도 수확 후 치유를 거쳐 14 ± 1°C, 90% RH의 저장 조건을 유지하면 1년까지 저장이 가능하다는 보고를 볼 때(Picha, 1986), 마 역시 적정 저장조건을 조성한다면 1년까지 저장이 가능할 것으로 예측된다. 다만, 국내 재배 마의 저온장해와 연관된 학술적인 연구가 미흡하고 저장 후 유통과정에서의 품질변화에 대한 조사가 제대로 이루어지지 못하고 있어서 보다 체계적인 저장온도의 최적화 및 이후의 유통온도나 저장 후 처리 기술에 대해서도 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 마 중에서 특히 안동지역에서 특화되어 있는 단마의 시장 소비와 가공품의 원료 공급기간을 연장하고자 수확후 처리기술과 저장기술을 최적화하여 수확후 관리 모델을 확립하고자 하였다. 수확후 처리기술로는 치유 조건과 기간에 따른 품질유지 효과를 조사하였고, 저장기술로는 마의 저온장해 여부를 판명하는 호흡속도의 변화와 유통 후 품질을 고려하여 적정온도를 밝히고자 하였다. 또한 시장 유통기간을 고려하여 저장 후 유통과정에서의 상품성 저하 요인을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 괴근 재료 및 실험처리

경북 안동 지역에서 재배한 단마를 2008-2010년 3년 동안 11월 초·중순에 수확하여(Table 1) 치유 및 저장 온도 최적화 실험을 수행하였다.

수확후처리기술로서 상온치유는 빈 저장고에 적재하여

평균 15 ± 3°C 온도와 RH 60 ± 5% 조건에서 실험연도에 따라 3일 또는 7일 동안 수행하였고, 열풍치유는 29°C, RH 90 ± 5% 조건에서 실험연도에 따라 3일 또는 5일 처리하였다. 저장온도는 2008-2009년도에는 0.5와 7.5°C 2개 구간, 2009-2010년도에는 4.0과 7.0°C 2개 구간, 2010-2011년도에는 3.0과 5.0°C 2개 구간으로 설정하여 최적화 과정을 거쳤다. 열풍치유와 저장과정에서의 온도 관리는 설정온도 ± 0.5°C 범위로 하였고 저장 중 상대습도는 90 ± 5%가 유지 되도록 하였다.

저장한 마는 저장 직후 및 상온(18-23°C)에서 7일간 모의 유통과정을 거친 후 품질을 조사하였다. 추가적으로, 유통 품질유지를 위한 저장 후 처리 및 유통처리 기술로는 2010-2011년도 저장 마를 대상으로 무처리 + 상온(20 ± 2°C), 무처리 + 7°C 및 60°C 열풍처리 10분 + 상온유통 등 3개 처리의 효과를 비교하였다. 저장 시 상대습도를 유지하기 위하여 5kg 들이 골판지 박스 내부에 통기구를 처리한 30µm LDPE 필름을 깔고 마 괴근을 담은 후 상부를 겹쳐 덮어(PE 필름 라이닝) 저장 챔버에 치상하였다. 저장 기간 중 PE 필름 라이닝 내부의 실제 상대습도는 85-90% 범위에서 유지되었다.

### 호흡속도 측정

마의 저온장해와 연관된 지표 생리대사로서 호흡속도를 측정하였다. 호흡속도는 수확 시, 치유 후, 저장 후 및 모의 유통 후 4회 조사하였으며 측정 전 마의 온도는 20°C에서 평형을 거쳤다. 온도 평형에 도달한 괴근은, 가스 샘플용 septum이 부착된 1.9L의 용기에 담아 밀폐하는 이른바 정적 시스템(static state system)에 치상하였고 4시간 동안 증가한 CO<sub>2</sub> 농도를 측정 후 1kg 괴근이 1시간 동안 발생시키는 양을 계산하여 호흡속도를 구하였다. 가스시료는 1.0mL 주사기를 이용하여 용기 내 공기(head space)를 취하여 분석하였다.

CO<sub>2</sub> 농도는 thermal conductivity detector(TCD)와 Porapak Q column이 장착된 가스크로마토그래프(Model 600D, Young Lin Co., Seoul, Korea)를 사용하여 90°C injector, 80°C

**Table 1.** Quality attributes and respiration rates of Chinese yam at harvest in 3 consecutive experimental years.

Harvest year (date)	Quality attribute			Respiration rate, 20°C (CO <sub>2</sub> mL·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )
	Firmness (N/8 mm ø)	Viscosity (N·s <sup>-1</sup> )	CIE L* value	
2008 (Nov. 7)	44.4 ± 9.4 <sup>2</sup>	1.1 ± 0.8	86.6 ± 1.5	9.0 ± 1.5
2009 (Nov. 12)	29.0 ± 0.7	1.5 ± 0.6	80.3 ± 0.5	4.6 ± 0.8
2010 (Nov. 12)	36.5 ± 1.7	1.1 ± 0.1	81.0 ± 0.3	5.7 ± 0.8

<sup>2</sup>Mean ± S.E. (n = 4).

column, 및 90°C detector의 조건에서 분석하였다.

### 품질인자 분석 및 관능평가

마 괴근의 공통 품질로서는 조직 경도, 절단면의 색도와 전반적인 상품성을 수확 시, 저장 직후, 7일 모의 유통 후 등 3회에 걸쳐 조사하였다. 3년차 연구에서는 추가적으로 유통 후 맵아와 부패율을 평가하였다.

괴근의 조직경도는 마의 중앙 부분에서 2cm 두께의 절편을 취한 후 물성분석기(model TA-XT2i, Stable Micro Systems Ltd., UK)를 이용하여 직경 8mm 탐침이  $2\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 속도로 침투할 때의 최대저항치(penetration force)를 측정하여 뉴톤(N)으로 표시하였다. 신선 마의 특이한 품질요인으로서 점도 평가는, 경도 측정 시 탐침기가 동일한 침투부위를 2회 왕복할 때 두번째 빠져나올 때 점성물질의 분비로 인한 저항값으로 표현하였는데, 수확 시 측정된 자료만 제시하였고 저장 중 조사한 자료는 별도로 제시하지 않았다.

색도는 마의 둥근 상단 부분을 비스듬히 절단한 후 색차계(model CR-10, Minolta Co., Ltd., Japan)를 이용하여 CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ 값을 측정하였고  $L^*$  값을 비교하여 변색 정도를 판단하였다. 본 연구에서는 점도 조사자료와 마찬가지로 수확 시의  $L^*$  데이터만 제시하였고 저장 후 색도는 별도의 자료를 제시하지 않고 설명으로 대신하였다.

유통 후 맵아율과 부패 발생률은 조사 괴근의 수에 대한 손실 괴근 수 비율을 퍼센트로 계산하였다. 저장 중 중량감소율은 5kg들이 1박스 단위로 동일한 시료를 사용하여 최초의 무게에서 1개월 간격으로 감소된 무게를 누적 % 비율로 계산하였다.

관능 품질로서의 전반적인 상품성 평가는 외관의 부패 발생 정도와 절단면의 변색 정도를 고려하여 5점 채점법을 적용하였다. 점수 별로는, 1점 = 외피에 곰팡이 발생과 조직 연화가 심하고 내부조직이 갈변되어 상품성이 없음, 3점 = 외피의 부패나 연화현상이 경미하고 발생부위가 괴근의 일부에만 한정되었으며 조직 내부 갈변증상이 미약하여 실질적인 이용에 문제가 없음, 5점 = 수확 시의 상품성을 그대로 유지하는 수준 등으로 구분하였다.

### 실험설계 및 데이터 분석

실험은 완전임의배치법에 준하여 치유조건과 저장온도에 따라 2008-2009, 2009-2010년도에는  $2 \times 2(2^2)$ , 2010-2011년도에는  $2 \times 3$  2원분산분석을 전제로 설계하였고, 2010-2011년도에 수행한 저장 후 처리 실험은 1원분산분석법을 전제로 하였다. 모든 처리는 5kg 박스 단위를 1반복으로 하여 4반복을 두었고 생리활성 및 품질조사는 각 반복별로 1개

괴근을 취하여 조사하였다. 실험 처리의 효과분석은 SAS 프로그램(SAS 9.1, SAS Institute Inc., USA)의 2원분산분석법을 이용하였으며(SAS, 1990) 처리 평균 간 유의성은 Duncan의 다중범위검정법으로 분석하였다. 다만, 2010-11년도 조사한 중량감소율은 반복을 두지 않고 1개 박스를 지정하여 동일한 시료를 그대로 사용하여 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 마의 수확 시 특성

마의 이화학적 품질요인으로서 조직의 경도, 절단 혹은 갈았을 때의 점도 및 절단면의 색도 등을 고려할 수 있는데, 실제로 국내 재배 마의 이화학적 품질에 대한 보고는 매우 제한적이다. 2개월 간 옮겨장한 신선 마 절편의 명도, L 값은 73.89라는 보고(Ryu et al., 2009)에 비해서는 본 연구에 사용한 마의 수확 시 절편 명도인  $L^*$  값은 80 이상으로 다소 높은 것으로 나타났다(Table 1). 이러한 차이는 기존의 연구에 사용한 마 시료가 2개월간 옮겨장한 괴근이었기 때문에 수확 후 바로 측정된 절편의 명도에 비해 다소 낮았던 것으로 추정된다.

신선 농식품의 품질변화 속도를 예측할 수 있는 호흡속도에 관한 자료도 마의 경우, 거의 제시된 바 없다. 다만 다른 근채류에 있어서는 이산화탄소 발생량으로 환산한 고구마의 호흡속도는 15-16°C에서 치유 전  $14.5\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 치유 후에는  $10-12\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 이며, 당근은 20-21°C에서  $23-47.55\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 로 정리되어 있다(Hardenburg et al., 1986). 본 연구에서 3년 동안 측정된 마의 수확 시 호흡속도는 20°C에서  $4.6-9.0\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  범위를 보여(Table 1) 근채류 중에서도 다른 작물에 비해서 낮은 생리활성을 나타내는 것으로 평가되었다.

### 수확후 치유 및 저장 온도가 호흡속도에 미치는 영향

치유 후 호흡속도는 2008년 수확한 마에서는 상온치유 후에는 증가를, 열풍치유 후에는 감소하는 반대 현상을 보인데 반해(Table 2), 2010년 수확한 마는 상온치유와 열풍치유 후 모두 감소하였다(Table 4). 신선 농식품의 호흡속도를 정리한 자료에 따르면(Hardenburg et al., 1986), 고구마의 치유 후에는 호흡속도가 다소 감소한다고 하였는데 이는 고구마의 치유과정에서 표피의 유향조직이 형성됨으로써(Walter and Schadel, 1983) 가스교환능이 저하되기 때문인 것으로 추정된다. 이와 마찬가지로 마 괴근도 적절한 환경에서 치유가 되면 호흡속도가 다소 감소할 것이라는 예측이 가능하다. 2008 수확한 마의 치유 후 호흡속도가 높은 이유는 상온 치유기간이 3일로서 치유가 충분히 이루어지지 않고 오히려

측정 시점에서 치유가 진행됨으로써 이에 소요되는 에너지의 필요성으로 인한 순간적인 증가로 해석된다.

한편, 저장 후와 저장 + 7일 상온유통 후 호흡속도는 수확 시에 비해 낮은 경향을 보였는데(Tables 1-4), 예외적으로 2008년도 수확하여 0.5°C에 저장한 마에서는 수확 시에 비해 저장 + 유통 후 2배 이상 증가하였다(Table 2). 2009년도 수확한 마의 4.0과 7.0°C 저장온도 간 호흡속도의 차이는 4개월 저장 직후에 유의성이 있었으나(Table 3), 수확 시에 비해서는 모두 감소한 범위에서의 차이에 불과하였고 2010년도 수확한 마에서는 3.0과 5.0°C 저장온도 간에는 차이가 나타나지 않았다.

수확 후 치유처리는 저장기간이 6개월 이상일 때, 저장 + 유통 후 또는 저장 직후의 호흡속도에 다소의 영향을 미치는

것으로 나타났다(Tables 3 and 4). 치유 유무에 따라서는 치유온도에 관계없이 치유 처리를 한 마에서(Table 4), 열풍 치유 마에서는 치유기간이 길수록 호흡속도가 낮았다(Table 3).

2008년도 수확하여 0.5°C에 저장한 마의 유통 과정에서 호흡속도 증가 현상은(Table 2) 저온장해와 연관된 이상 대사작용의 하나로 해석이 가능하다. 저온장해에 민감한 작물은 저온에 노출되거나 저장 후 증상이 발현될 때 호흡이 증가한다고 하였는데, 저온장해와 연관된 호흡의 증가는 풋고추(Han et al., 2010; Lim, 2008; Lim and Cho, 2009), 단고추(Lim et al., 2007), 오이(McCollum et al., 1995) 등에서 관찰된 바 있다. 국내 풋고추 저장 시 저온장해를 보이는 고추는 2-3배의 호흡속도 증가를 보이는 반면, 비교적 안전한 온도인 10°C에 저장한 풋고추는 3주 저장 후까지도 증가현

**Table 2.** Changes in respiration rate of Chinese yam during curing and 4 month storage plus 7-days marketing as influenced by curing treatment and storage temperature, 2008-2009 season.

Curing environment	Storage (°C)	Respiration rate at 20°C equilibrium (CO <sub>2</sub> mL·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )			
		At harvest	After curing	After 4-months storage	
				Day 0	Day 7
Ambient, 3d (15°C, RH 60%)	0.5	9.0 ± 1.5 <sup>z</sup>	15.0 a <sup>y</sup>	12.0 a	24.7 a
	7.5			9.8 a	4.4 b
Heating, 3d (29°C, RH 80~90%)	0.5		6.0 b	9.1 a	21.9 a
	7.5			4.2 a	5.3 b
Significance					
Curing (C)			*	NS	NS
Storage (S)			-	NS	**
C × S			-	NS	NS

<sup>z</sup>Mean ± S.E. (n = 4).

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at P = 0.05.

NS,\*,\*\* Nonsignificant or significant at P = 0.05 or ≤ 0.01, respectively.

**Table 3.** Respiration rates of Chinese yam after 4- and 6-months storage plus 7-days marketing as influenced by curing treatment and storage temperature, 2009-2010.

Heat curing <sup>z</sup> (days)	Storage (°C)	Respiration rate at 20°C equilibrium (CO <sub>2</sub> mL·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )			
		After 4 months storage		After 6 months storage	
		Day 0	Day 7	Day 0	Day 7
3	4	3.1 a <sup>y</sup>	1.7 a	1.9 a	2.8 a
	7	1.6 b	1.0 a	1.8 a	2.0 b
5	4	2.0 ab	2.2 a	1.8 a	1.6 b
	7	1.7 b	1.4 a	1.5 a	1.4 b
Significance					
Curing (C)		NS	NS	NS	**
Storage (S)		**	NS	NS	NS
C × S		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>At 29°C, 80-90% RH.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at P = 0.05.

NS,\*,\*\* Nonsignificant or significant at P ≤ 0.01, respectively.

**Table 4.** Changes in respiration rates of Chinese yam during curing and 7-months storage plus 7-days marketing period as influenced by curing treatment and storage temperature, 2010-2011 season.

Curing Environment	Storage (°C)	Respiration rate at 20°C equilibrium (CO <sub>2</sub> mL·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )					
		At harvest	After curing	After 5-months storage		After 7-months storage	
				Day 0	Day 7	Day 0	Day 7
No curing	3.0	5.7 ± 0.8 <sup>z</sup>	-	4.8 a	3.1 a	4.8 a	4.8 a
	5.0			4.6 a	2.3 a	4.5 ab	3.8 a
7 d at ambient (15°C, RH 60%)	3.0		4.1 a <sup>y</sup>	4.1 a	3.2 a	3.2 ab	5.1 a
	5.0			4.0 a	3.1 a	2.1 b	5.0 a
5 d by heat dry (29°C, RH 90%)	3.0		4.9 a	4.4 a	2.8 a	3.3 ab	4.5 a
	5.0			4.3 a	2.7 a	4.0 ab	4.6 a
Significance							
Curing (C)		-	NS	NS	NS	*	NS
Storage (S)		-	-	NS	NS	NS	NS
C × S		-	-	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>Mean ± S.E. (n = 4).

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at P = 0.05.

NS, \* Nonsignificant or significant at P = 0.05, respectively.

**Table 5.** Flesh firmness and marketability of Chinese yam after 4-month storage plus 7-day marketing as influenced by curing treatment and storage temperature, 2008-2009 season.

Curing environment	Storage (°C)	After 4-months storage			
		Firmness (N/8 mm ø)		Marketability index score <sup>y</sup>	
		Day 0	Day 7	Day 0	Day 7
Ambient, 3d (15°C, RH 60%)	0.5	47.2 b <sup>z</sup>	51.0 b	2.0 c	1.0 c
	7.5	62.9 a	67.6 a	2.5 b	3.0 a
Heating, 3d (29°C, RH 80-90%)	0.5	61.9 a	63.9 a	2.0 a	1.0 c
	7.5	68.2 a	68.5 a	3.0 a	2.5 b
Significance					
Curing (C)		*	*	NS	**
Storage (S)		**	**	**	**
C × S		NS	NS	NS	**

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at P = 0.05.

<sup>y</sup>Marketability ratings: 1.0, very poor and not marketable; 3.0, acceptable. Critical level for marketing; 5.0, excellent quality.

NS, \*\* Nonsignificant or significant at P = 0.05 or ≤ 0.01, respectively.

상이 나타나지 않는다고 하였다(Lim, 2008).

#### 수확후 치유 및 저장 온도가 마의 품질에 미치는 영향

마 괴근의 경도는 수확 시에 비해 저장 후 오히려 1.5배 이상 증가하였고 저장 후 7일 유통 과정에서는 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다(Tables 1, 5, and 7). 치유처리 별 효과는 해에 따라 상이하게 나타났는데, 2008년 수확한 마에서는 열풍치유한 마가 상온치유 마에 비해 경도가 높고(Table 5), 2009년에는 열풍치유기간이 길 때 경도가 높았다(Table 6). 그러나 2010년에는 치유과정의 적용 유무나 치유 기간에 따른 정도 차이는 나타나지 않았다(Table 7). 저장온도가

마의 정도에 미치는 영향은 저장온도 설정 범위의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 0.5와 7.5°C로 설정한 2008-2009년에는 저장 후 및 유통 후에 모두 유의수준의 차이를, 4.0과 7.0°C로 설정한 2009-2010년에는 유통 후에만 유의성이 있었던데 비해, 3.0과 5.0°C로 설정한 2010-2011년도에는 저장온도의 차이가 정도에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 특히 2008-2009년에는 0.5°C 저장 마의 정도가 오히려 낮았는데 이는 저온장해에 의한 조직의 연화현상의 결과로 판단되었다. 2009-2010년에는 호흡속도(Table 3)나 조직의 이상증상(자료 미제시) 등을 고려할 때 저온장해가 나타나지는 않았음에도 불구하고 4°C에 비해 7°C 저장한 마,

즉 높은 온도에 저장한 마 괴근의 경도가 높았다. 이러한 결과는 작물의 경도에 미치는 마 괴근 조직의 특성이 다른 과일이나 채소의 조직 특성과는 다를 수 있음을 시사하는 자료로 보여진다.

과일과 채소 등 신선 농식품의 수확후 품질 변화를 판단하는데 사용하는 보편적인 이화학 특성은 조직감 지표로서의 경도라 할 수 있다(Han et al., 2010; Park et al., 2006). 이에 비해 마의 품질 평가 요인, 특히 저장과정에서의 품질 변화를 판단하는 이화학 품질요인으로 어떤 특성이 중요한 지에 대해서는 지침이 정확하게 제시된 바 없다. 본 연구 결

과, 마에서는 저장기간 중 경도의 감소 양상이 나타나지 않아 경도 감소치를 품질변화 평가 척도로 사용하기에는 곤란한 것으로 조사되었다. 다만, 특정 시점에서 처리 간 차이를 해석하는 품질요인으로서 제한적인 활용이 가능한 것으로 보인다. 3년의 연구결과, 치유처리나 저장온도가 마의 경도에 미치는 영향이 일관되게 나타나지는 않았으나, 치유과정을 거친 마의 경도가 다소나마 높게 유지되며 저온장해를 입게 되면 조직의 연화가 진행되는 것으로 판단되었다.

저장 후 또는 유통과정에서의 품질을 저하시키는 구체적인 증상으로서 발근, 맹아현상과 조직의 붕괴 및 부패 발생

**Table 6.** Flesh firmness and marketability of Chinese yam after 6-months storage plus 7-days marketing as influenced by curing treatment and storage temperature, 2009-2010 season.

Heat curing <sup>z</sup> (days)	Storage (°C)	After 6 months storage			
		Firmness (N/8 mm ø)		Marketability index score <sup>x</sup>	
		Day 0	Day 7	Day 0	Day 7
3	4	37.3 a <sup>y</sup>	37.0 b	5.0 a	5.0 a
	7	36.5 a	39.3 ab	4.8 a	4.8 a
5	4	42.1 a	38.0 b	4.8 a	4.8 a
	7	44.9 a	46.4 a	4.5 a	4.5 a
Significance					
Curing (C)		*	NS	NS	NS
Storage (S)		NS	*	NS	NS
C × S		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>At 29°C, 80-90% RH.

<sup>y</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$

<sup>x</sup>Marketability ratings: 1.0, very poor and not marketable; 3.0, acceptable. Critical level for marketing; 5.0, excellent quality.

<sup>NS,\*</sup>Nonsignificant or significant at  $P \leq 0.05$ , respectively.

**Table 7.** Flesh firmness and marketability of Chinese yam after 7-months storage plus 7-days marketing period as influenced by curing treatment and storage temperature, 2010-2011 season.

Curing environment	Storage (°C)	Firmness (N/8 mm ø)		Marketability index score <sup>y</sup>	
		After 7-months storage		After 7-months storage	
		Day 0	Day 7	Day 0	Day 7
No curing	3.0	51.0 a <sup>z</sup>	50.3 a	2.8 a	2.8 a
	5.0	47.9 a	50.8 a	2.5 a	2.0 b
7 d at ambient (15°C, RH 60%)	3.0	45.0 a	46.3 a	3.0 a	3.0 a
	5.0	50.0 a	49.7 a	3.0 a	3.0 a
5 d by heat dry (29°C, RH 90%)	3.0	45.1 a	44.6 a	3.0 a	3.0 a
	5.0	51.9 a	46.6 a	2.8 a	2.8 a
Significance					
Curing (C)		NS	NS	NS	NS
Storage (S)		NS	NS	NS	*
C × S		NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$ .

<sup>y</sup>Marketability ratings: 1.0, very poor and not marketable; 3.0, acceptable and critical level for marketing; 5.0, excellent quality.

<sup>NS,\*</sup>Nonsignificant or significant at  $P = 0.05$ , respectively.

을 들 수 있다. 주로 조직 붕괴, 변색 및 부패를 기준으로 판정한 마의 전반적인 상품성 지수는 수확연도에 따라 변이가 커서 2008년도 수확한 마는 4개월 저장 및 유통 후 3.0 이하(Table 5), 2009-2010년도 마의 상품성은 6개월 저장 및 유통 후까지도 4.5점 이상(우수 수준)이었고(Table 6), 2010-2011년도 마는 7개월 저장 + 유통 후 3.0점 수준(보통)으로 유지되었다(Table 7). 실험 처리에 따라서는 치유�처리 를 거친 마의 상품성이 대체로 높았고(Tables 5 and 7), 열풍 치유 기간 3일과 5일간에는 차이가 없었다(Table 6). 저장온도에 따른 저장 후 상품성은 2008-2009년도 0.5°C에 저장한 마는 저온 장해로 인한 조직 붕괴와 내부 갈변으로 인해 상품성이 낮았으며(Table 5), 2009-2010년의 4.0과 7.0°C 간에는 차이가 없었고, 2010-2011년의 3.0과 5.0°C 처리 간에는 치유�처리를 하지 않고 3.0°C에 저장한 마에서 유통 후 상품성이 유의적으로 낮았다(Table 7). 이러한 결과를 볼 때, 마의 저장 온도는 3-7°C 범위에서는 상품성의 큰 차이가 나타나지 않으나 3°C에서 장기 저장을 계획할 경우에는 치유 과정을 거쳐야 할 것으로 판단되었다.

저장 후 유통과정에서의 품질 변화 양상으로 특이한 점으로는, 2009-2010년과 2010-2011년 저장 마의 상품성 저하가 거의 나타나지 않았던데 비해, 2008-2009년도 0.5°C 저장 마는 저장 후 7일 유통기간 중 상품지수 기준으로 1.0 이상의 저하가 발생하였다. 비교적 매우 짧은 유통기간에 품질저하가 빠르게 진행되는 현상은 저온장해 증상이 상온에 노출되면서 급격하게 표출되기 때문이라는 해석이 가능하다. 이러한 저장 후 유통과정에서의 상품성 저하는 저온

장해 증상 표출 시에 비로소 호흡속도가 증가한다는 보고와도 일치한다(Lim, 2008; Lim and Cho, 2009).

본 연구에서 종합적인 상품성 평가 시에는, 소비에 지장을 주지 않는 수준에서의 미약한 발근 또는 맹아 현상은 상품지수 저하요인으로 고려하지 않았으나, 심할 경우 소비 품질의 저하를 초래할 우려가 있다. 2010년에 수확하여 5, 7개월 저장 직후와 유통 7일 후 조사한 발근 및 맹아 현상과 부패발생률은(Table 8) 반복 간 변이가 비교적 크게 나타나 치유풀리의 유형이나 저장온도 간(3.0°C와 5.0°C) 유의수준에서의 차이는 없었으나 5°C 저장에서 다소나마 높은 경향이 있었다.

경제적 품질요인으로서 중량은 저장 중 지속적으로 감소

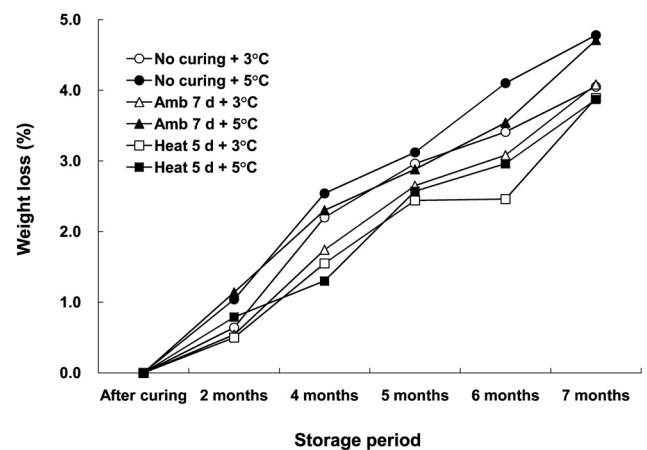


Fig. 1. Changes in weight loss of Chinese yam during storage in 2010-2011 season as influenced by curing treatment and storage temperature.

Table 8. Incidence of sprouting and decay in Chinese yam after 5- and 7-months storage plus 7-days shelf life as influenced by curing treatment and storage temperature, 2010-2011 season.

Curing environment	Storage (°C)	Sprouting (% incidence)				Decay (% incidence)			
		After 5-months storage		After 7-months storage		After 5-months storage		After 7-months storage	
		Day 0	Day 7	Day 0	Day 7	Day 0	Day 7	Day 0	Day 7
No curing	3.0	5.0 a <sup>z</sup>	10.0 ab	5.0 a	25.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a
	5.0	10.0 a	25.0 a	10.0 a	20.0 a	0.0 a	10.0 a	5.0 a	5.0 a
7 d at ambient (15°C, RH 60%)	3.0	5.0 a	10.0 ab	5.0 a	15.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a
	5.0	15.0 a	15.0 ab	10.0 a	20.0 a	0.0 a	5.0 a	0.0 a	0.0 a
5 d by heat dry (29°C, RH 90%)	3.0	0.0 a	5.0 b	5.0 a	15.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a
	5.0	10.0 a	5.0 b	5.0 a	15.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a
Significance									
Curing (C)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Storage (S)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C × S		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>z</sup>Mean separation within columns by DMRT at  $P = 0.05$ .

<sup>NS</sup>Nonsignificant at  $P = 0.05$ .

하여 7개월 후에는 4-5%의 감소율을 보였다(Fig. 1). 비록 통계적인 의미의 반복은 없으나 5kg 박스 단위로 조사한 6개월 후의 처리별 중량감소율은 치유와 저장온도의 영향이 비교적 뚜렷하게 나타나 치유한 마에서 낮았고 상온치유보다는 열풍치유가 보다 효과적이었으며 저장온도별로는 5°C에 비해 3°C에서 낮았다. 중량감소율에 미치는 치유와 저장온도를 고려하면 장기저장을 목표로 할 경우, 열풍치유 5일과 저온장해가 발생하지 않는 수준인 3°C 저장이 최적 조건으로 판단되었다.

장기저장 중 상용저장고 환경에서의 마의 중량감소율에 대해서는 현재까지 정확한 평가가 제시되어 있지 않다. 다만 실험적 규모로 무균 필름 백에 포장하여 9주 동안 저장한 마의 중량감소율은 16°C에서 2.7%인데 비해 4°C에서는 0.8% 발생했다고 하였다(Ryu et al., 2009). 그러나 포장을 한 상태에서는 습도 환경이 100%에 가까울 것이므로 이러한 자료는 상용저장 시 중량감소율 예측과는 크게 다를 수 있다. 신선농산물의 중량감소율은 저장온도와 습도에 따라 결정되므로 낮은 온도와 높은 습도유지가 필요한데, 저장온도가 마와 비슷한 범위인 감자의 2-4°C, 80% 상대습도 조건에서의 중량감소는 저장 10개월까지도 3% 수준에 그친다고 하였다(Kwon and Byun, 1995). 본 연구에서 7개월 저장 후 조사한 마의 중량감소율은 4-5% 범위를 보여 감자에 비해서는 중량감소가 다소 많은 것으로 나타났다.

신선 마를 절편가공 혹은 갈아서 소비할 때는 조직의 경도보다는 마 작물의 특성인 점도나 색도가 중요한 품질요인으로 평가되기도 한다(Kim et al., 2006; Ryu et al., 2009). 본 연구에서 3년 동안 조사한 결과, 수확 후 치유 방식이나 장기저장이 신선 마 절편의 색도, 특히 L\* 값에 미치는 영향은 매우 미미하였고 수확 시와(Table 1)와 저장 후 명도 값을 비교했을 때 저장 중 약간 감소하는 경향이지만 유의적인 변화는 관찰되지 않았다(자료 미제시). 실제로 기존의 연구에서도 4°C에서 저장한 신선 마 절편의 색도 변화는 매우 미미하여 육안으로 색차 변화를 인지하기는 어렵다고 하였

다(Ryu et al., 2009).

마를 절단했을 때 절편조직 자체의 점도는 치유 후에는 다소 증가하고 저장 중에는 감소하는 양상을 보였으나 반복 간 변이가 크고 처리간 차이에 일관성이 없어서(자료 미제시) 저장 중 품질 변화의 지표로는 부적합한 것으로 판단되었다. 마 기능성 성분으로서 건조 후 점성 물질의 변화를 관찰한 연구에서는 점도 측정 시 마 분말을 물에 현탁시켜 측정하는 방법을 사용하였는데(Kim et al., 2006), 이처럼 가공 후 품질요인으로서의 점도 측정은 분말의 희석을 통해 가능할 수 있으나, 신선 마에 있어서 시료와 물을 희석한 후 측정하는 방법이 실제적인 관능 품질이나 성분변화를 반영하는 지에 대해서는 별도의 연구가 필요한 것으로 생각된다.

### 유통과정에서의 품질 보존을 위한 저장 후 처리의 효과

장기저장한 마 괴근의 7일 상온(20°C) 유통과정에서 멍아 또는 부패의 진행을 억제하기 위한 처리로서 고온열풍처리하는 뚜렷한 효과가 없었으나 7°C 저온유통은 멍아와 부패 증상 발현을 억제하는 효과가 뚜렷하였다(Table 9).

비록 단기간의 유통과정에서는 13°C 차이가 이화학적 품질변화를 초래하지 않는다고 하여도, 원예생산물의 Q<sub>10</sub> 이론(Kader, 1992)을 적용하면 호흡속도는 3배 정도 차이가 있다. 실제로 저장 사과는 이후의 유통온도에 따라 상온유통(20°C) 시 호흡속도가 저온유통(7°C)에 비해 2-3배 정도 높은 것으로 조사된 바 있다(Park et al., 2010). 이러한 연구 결과를 참조할 때, 신선 마 역시 상온에서의 유통기간이 길어지면 멍아 현상이나 부패의 증가뿐 아니라 품질의 저하까지 진행될 수 있을 것으로 예상된다.

3년에 걸친 실험 결과를 종합해 보면, 마의 품질저하를 억제하기 위한 수확후 처리기술로서 5일간의 열풍치유는 호흡속도를 낮추고 저장 과정에서의 중량감소, 멍아 및 부패 발생의 위험성을 낮추는 효과를 보였다. 그러나 수확연도에 따라 치유 후 호흡속도 변화양상이나 저장 후 경도에 미치는 효과가 상이하므로, 수확시점에서의 토양수분이나 기상

**Table 9.** Incidence of sprouting and decay in Chinese yam after 5 and 7-months storage plus 7-days shelf life as influenced by post-storage treatment and shelf temperature, 2010-2011 season.

Post-storage treatment and shelf temperature	Sprouting (% incidence)		Decay (% incidence)	
	After 5-months storage + shelf life 7 days	After 7-months storage + shelf life 7 days	After 5-months storage + shelf life 7 days	After 7-months storage + shelf life 7 days
None + 20°C	10.0 a <sup>2</sup>	20.0 a	10.0 a	0.0 a
None + 7°C	0.0 a	0.0 b	0.0 a	0.0 a
60°C air heating (10 min) + 20°C	10.0 a	10.0 ab	0.0 a	0.0 a

<sup>2</sup>Mean separation within columns by DMRT at P = 0.05.



요인을 고려한 치유�처리 최적화 지표가 밝혀져야 할 것으로 생각된다. 마의 저온장해 유기온도는 다른 저온장해 감수성 작물의 장해 유기온도인 7-13°C(González-Aguilar, 2008; Hardenburg et al., 1986; Paull, 1990)에 비해서는 상대적으로 낮은 3°C 이하로 나타남으로써 적정 저장온도로는 저온장해 현상을 보이지 않으면서 품질 저하를 최소화 하는 3-4°C 범위가 적합한 것으로 조사되었다. 이와 함께, 장기저장 후 유통과정에서의 품질을 유지하기 위한 저온유통이 부가적으로 활용되어야 할 것으로 판단되었다.

## 초 록

마의 수확 후 관리기술 최적화 일환으로 3년에 걸쳐 단계적으로 치유 처리 및 저장온도에 따른 품질변화를 분석하였다. 마 괴근은 11월 초·중순에 수확하였고 수확후처리로서 상온과 29°C 열풍 조건에 따라 기간을 달리하는 치유과정을 거쳤다. 치유탈리 후 저장온도는 저온장해 발생여부 판단과 저장 기간 최적화를 위해 0.5-7.5°C 범위에서 검증과정을 거쳤고 저장기간은 4개월에서 7개월까지 점진적으로 연장하였다. 저장 후 유통품질 유지를 위한 처리로는 단시간 60°C 열풍처리 후 20°C 상온유통과 7°C 저온유통 효과를 비교하였다. 수확 후 치유탈리는 마의 호흡속도를 감소시켰고 상온치유보다는 3-5일 열풍치유가 장기저장 후 경도를 유지하고 중량감소를 낮춤으로써 품질유지에 보다 효과적이었다. 다양한 저장온도를 설정한 장기 저장 실험결과, 0.5°C에 저장된 마는 유통과정에서 저온장해 현상으로 판단되는 호흡속도의 증가와 조직붕괴 및 연화현상으로 인한 상품성의 저하가 빠르게 진행되었다. 적정 저장온도로는 저온장해 현상을 보이지 않으면서 품질 저하를 최소화하는 3-4°C 범위인 것으로 조사되었다. 장기저장 후 유통과정에서는 발근과 부패 억제 등 품질유지를 위해 저온유통이 필요한 것으로 나타났다. 연구결과를 종합해 볼 때, 마는 수확 후 열풍치유와 3-4°C 저장 및 저장 후 저온유통 과정으로 구성되는 최적화 프로그램 적용을 통해 7개월 이상 저장 후까지 품질유지가 가능한 것으로 판단되었다.

**추가 주요어 :** 저온장해, 상품성, 품질인자, 호흡속도, 조직감

## 인용문헌

González-Aguilar, G.A. 2004. Pepper. In: K.C. Gross, C.Y. Wang, and M. Saltveit (eds.). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks (Website version,

- revised in April, 2004). Agr. Handbook No. 66. USDA-ARS, Beltsville, MD.
- Han, H.R., S.W. Park, and Y.M. Park. 2010. Effects of precooling and storage temperature on the quality of 'Manna' green peppers during export simulation. Hort. Environ. Biotechnol. 51:403-408.
- Hardenburg, R.E., A.E. Watada, and C.Y. Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. p. 65 USDA Handbook No. 66. USDA-ARS, Beltsville, MD.
- Jeong, D.H. 2011. A taxonomic study on the genus *Dioscorea* L. in Korea. MS thesis, Andong Natl. Univ., Andong, Korea.
- Kader, A.A. 1992. Postharvest biology and technology: An overview, p. 15-20. In: A.A. Kader (ed.). Postharvest technology of horticultural crops. Publ. Univ. California, Oakland, CA.
- Kang, B.D. 2008. Story of Chinese yam. Jinsol Publ. Co. Seoul, Korea.
- Kays, S.J. 2004. Sweet potato. In: K.C. Gross, C.Y. Wang, and M. Saltveit (eds.). The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. Agr. Handbook No. 66. (Website version, revised in April, 2004). USDA-ARS, Beltsville, MD.
- Kim, I.H., H.J. Son, and K.M. Chung. 2006. Viscosity of yam suspension by drying methods and additives. Kor. J. Food Sci. Technol. 38:444-447.
- Korea National Arboretum (KNA) and the Plant Taxonomic Society of Korea (PTSK). 2007. A synonymic list of vascular plants in Korea. KNA, Pocheon, Korea.
- Kushman, L.J. 1975. Effect of injury and relative humidity during curing on weight and volume loss of sweet potatoes during curing and storage. HortScience 10:275-277.
- Kwon, J.H. and M.W. Byun. 1995. Effects of storage temperature and humidity on the quality stability of potatoes. Kor. J. Postharvest Sci. Technol. Agr. Products. 2:243-249.
- Lim, C.S. 2008. Chilling injury of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit in relation to ripening stage, cultivar and storage temperature. PhD Diss., Gyeongsang National Univ., Jinju, Korea.
- Lim, C.S. and J.L. Cho. 2009. Different susceptibility of sweet and hot pepper fruits (*Capsicum annuum* L.) to surface pitting during storage. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:244-249.
- Lim, C.S., S.M. Kang, J.L. Cho, K. Gross, and A.B. Woolf. 2007. Bell pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit are susceptible to chilling injury at the breaker stage of ripeness. HortScience 42:1659-1664.
- McCullum, T.G., H. Doostdar, R.T. Mayer, and R.E. McDonald. 1995. Immersion of cucumber fruit in heated water alters chilling-induced physiological changes. Postharvest Biol. Technol. 6:55-64.
- Park, Y.M., T.M. Yoon, and M.G. Hwang. 2006. Analysis of storage method and shelf temperature effects in determining storage potential of 'Fuji' apples based on sensory evaluation. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24:56-63.
- Park, Y.M., H.G. Park, and B.S. Lim. 2010. Effects of poststorage short-term controlled atmosphere treatment and shelf temperature on physiology and quality of cold-stored 'Fuji' apples. Hort. Environ. Biotechnol. 51:269-274.
- Paull, R.E. 1990. Chilling injury of tropical and subtropical origin,

- p. 17-36. In: C.Y. Wang (ed.). Chilling injury of horticultural crops. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Picha, D.H. 1986. Weight loss in sweet potatoes during curing and storage: Contribution of transpiration and respiration. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 111:889-892.
- Ray, R.C. and V. Ravi. 2005. Post harvest spoilage of sweet potato in tropics and control measures. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 45:623-644.
- Ryu, H.Y., J.I. Kim, and H.Y. Sohn. 2009. Effect of temperature on yam quality during long-term storage. *J. Basic and Life Res. Sci.* 9:61-66.
- Ryu, H.Y., Y.S. Kim, S.J. Park, B.H. Lee, S.T. Kwon, and H.Y. Sohn. 2006. Isolation and characterization of yam-putrefactive psychrotrophic bacteria from rotted yam. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 34:109-114.
- Walter, W.M., Jr. and W.E. Schadel. 1983. Structure and composition of normal skin (periderm) and wound tissue from cured sweet potatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:909-914.
- Wang, Y., R.J. Horvat, R.A. White, and S.J. Kays. 1998. Influence of postharvest curing treatment on the synthesis of the volatile flavor components in sweetpotato. *Acta Hort.* 64:207-212.