

Development of pallet-scale modified atmosphere packaging for ‘Tabor’ tomatoes

Jong Woo Park^{1*}, Jinse Kim¹, Seok Ho Park¹, Dong Soo Choi¹, Seung Ryul Choi¹,
Yong Hoon Kim¹, Soo Jang Lee¹, Chun Wan Park¹, Jung Soo Lee²

¹Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

²Postharvest Research Division, Horticultural and Herbal Science, RDA, Jeonju 54875, Korea

토마토 ‘Tabor’ 품종의 파렛트 단위 MAP 적용 연구

박종우^{1*} · 김진세¹ · 박석호¹ · 최동수¹ · 최승렬¹ · 김용훈¹ · 이수장¹ · 박천원¹ · 이정수²

¹농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ²농촌진흥청 원예특작과학원 저장유통과

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of modified-atmosphere packaging (MAP) on the quality change of ‘Tabor’ tomatoes during long-term exportation periods. Hydroponics tomatoes were harvested at the turning stage, sorted, and box packed and then packaged in nylon film with a pallet. The packaged pallet was filled with a gas composition (5% O₂, 1% CO₂, and 94% N₂) and stored at 10°C for three weeks. The quality changes in weight loss, firmness, color, acidity, soluble solids, and microorganism growth were measured every 7 day interval. During the initial storage, the pallet-scale MAP showed slightly higher weight loss and firmness changes when compared to the conventional pallet. The total color change (ΔE) during ripening was delayed 10% under MAP storage. Acidity, soluble solids and phenolic compound contents decreased with increases in storage time regardless of the storage method; however, the quality changes of tomatoes were delayed in the MAP pallet. Furthermore, the decay rate of the pallet-scale MAP stored for 14 days was less than that of the conventional pallet, and the number of microorganisms was approximately 30% lower in the pallet-scale MAP, showing a positive effect on marketability. These results suggested that the pallet-scale MAP of tomatoes could ensure higher quality and longer storage periods than conventional pallet storage.

Key words : modified atmosphere packaging, tomato, pallet, quality change

서 론

토마토(*Lycopersicon esculentum*)는 라이코펜, 베타카로틴, 페놀화합물, 비타민 및 식이섬유가 풍부한 과채류로서 항산화 및 항암효과와 같은 다양한 효능이 알려지면서 생산 및 소비가 증가하고 있다(1,2). 뿐만 아니라 국제적으로도 높은 수요를 나타내는 작목으로서 국가 농업경쟁력강화를

위한 수출확대 주요 작목으로 수출단지 조성이 활발히 이루어지고 있다. 통계청의 과채류 생산량 지표에 따르면 최근 5년간 국내 토마토 생산량은 평균 402,878.6톤으로 전체 과채류 생산량(2,053,068.4톤)의 19%를 차지하고 있으나 최근 토마토생산량이 차지하는 비중은 2010년 15.82%에서 2014년 22.93%로 지속적인 증가추세를 나타내고 있다.

현재 국내에서 생산되는 토마토에 대한 수출은 상대적으로 유통거리가 가까운 일본을 중심으로 이루어지고 있으나, 최근 엔화 약세에 따른 농가수입 감소로 수출국의 다변화에 대한 노력을 기울이고 있다. 하지만 토마토는 대표적인 호흡 상승형 과채류로서 호흡 및 에틸렌 발생량이 많아 수확 후 품질변화가 급격히 이루어지기 때문에 장기운송이 필요한 수출에 한계를 보이고 있다(3,4). 이처럼 수출을 위

*Corresponding author. E-mail : jwpark0824@chosun.kr
Phone : 82-63-238-4124, Fax : 82-63-238-4105
Received 16 August 2016; Revised 20 September 2016;
Accepted 20 September 2016.
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

한 수확 후 관리에 대한 중요성이 더욱 강조되면서 토마토의 수확 후 저장에 관한 연구로서 저장온도에 따른 토마토의 품질변화(5), 수확시 속도에 따른 저장 온도에 따른 저온 저장 중 토마토의 품질인자의 변화(6), 숨쉬는 필름이 토마토 품질 및 저장성 향상에 미치는 영향(3) 등 다양한 연구가 이루어져 있으나, 대부분 소포장 단위에 대한 연구로서 실제 수출용 운송시스템에 적합한 저장 및 유통방법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

수출용 토마토는 수출 과정에서 상품성 손실을 막기 위하여 유통 단계 및 시간을 고려한 숙기별 수확이 제시되어 이용되고 있으나(7), 토마토는 숙성이 진행될수록 당도, 비타민 C 및 라이코펜이 증가하고 산도는 감소하는 등 품질의 향상이 이루어지기 때문에 미숙과 상태의 수확은 유통 단계별 물리적 손상 및 과숙에 의한 열과 방지에는 효과적이지만 고품질 토마토의 유통은 어렵다는 단점이 있다(8). 뿐만 아니라 숙기별 수확은 유통과정 중 발생하는 과육의 연화 및 미생물 생육에 의한 부패에 대한 해결책은 되지 못하고 있다(6,9). 최근에는 이러한 문제를 해결하고, 고품질의 농산물을 저장 및 유통하기 위하여 국내외적으로 controlled atmosphere(CA) 및 modified atmosphere packaging(MAP)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(10,11). CA 저장의 경우 저장고 내 산소(O₂)농도를 낮추어 농산물의 호흡률 및 이산화탄소(CO₂) 발생을 제어함으로써 품질변화를 최소화하며(12), MAP의 경우 유통단계의 포장용기 내 초기 기체조성을 통하여 농산물의 품질을 유지한다(11). 이러한 기체 제어를 통한 저온저장은 일반 저온저장에 비하여 최대 2배 이상 저장 및 유통기간을 연장할 수 있는 효과적인 기술이지만(13), CA 저장의 경우 국내 기술력에 한계가 있고 물류체계의 특성상 경제성이 낮아 실제 운용에 어려움이 있다(14). 하지만 MAP의 경우 운송물량이 많지 않은 국내 실정에 적합하여 MAP를 이용한 소포장 유통에 대한 활발한 연구 및 이용이 증가하고 있다(3,15).

따라서 본 연구에서는 토마토와 같은 과채류의 수출을 위한 수확 후 관리 연구의 일환으로 파렛트 단위로 MAP를 적용할 수 있는 시스템을 제작하고, 나일론 필름을 이용한 파렛트 단위 MAP를 통하여 고품질 토마토의 장기저장 및 유통 가능성과 미생물 생육 및 토마토의 품질에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용된 시료는 전북 김제의 수출용 토마토 재배법인 로즈밸리로부터 2016년 4월에서 5월 사이에 양액 재배를 통하여 생산된 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill. cv Tabor)를 수확당일 직접 구입하여, 결함이 없는 150 g 내외의 중소과를 선별한 후 5 kg 단위 박스에 포장하여 저장 실험에 사용하였다.

저장실험

선박을 이용한 컨테이너 단위 수출에 대응하기 위한 파렛트 포장을 용이하게 하기 위하여 polyvinyl chloride(PVC) 판을 용접하여 기밀이 유지되는 낮은 바구니 형태(5x110x110 cm)의 상·하 패널을 제작하였다. 파렛트에 하부 패널을 위치시키고 토마토 박스를 적층 후 상부패널을 덮었다. 포장을 위해 선행연구에 이용된 필름은 Table 1에 나타내었다. Mossapak 및 Ati-fog opp는 흡습성, LDPE(low density polyethylene film)는 가장 널리 사용되는 재질로 높은 가공성, PLA(poly lactic acid)는 친환경 등의 장점을 가지지만 강도 및 수분투과도에 약점을 나타내어 수분투과율이 좋은 나일론 필름(Nylon-6, 15 μm , 1.16 g/cm³, Visionmetal Inc., Seoul, Korea)을 선정하고, 상·하부패널 사이에 나일론 필름을 이용하여 전체를 포장한 후 상·하 패널에 실리콘으로 제작된 오링을 결속하여 기밀을 유지시켰다(16). 포장된 파렛트는 Fagundes 등(17) 및 Majidi 등(18)의 연구에 따라 기체혼합기(MAP Mix 9001 ME, PBI Dansenser, Ringsted, Denmark)와 O₂, CO₂ 및 질소(N₂)를 이용하여 5% O₂, 1% CO₂, 94% N₂로 초기 기체조성을 하고 저장기간 동안 토마토의 자가 호흡에 의한 기체조성 변화를 측정하였다. MAP 파렛트와 포장하지 않은 파렛트는 10°C에서 저장하면서 7일 간격으로 품질변화를 비교분석하였다. 저장 중 온도, 습도, O₂, 및 CO₂에 대하여 데이터 기록계 및 센서(ALMEMO 2290-8; FYA600 CO₂; FYA600 O₂, Ahlborn, Holzkirchen, Germany)를 이용하여 10분 간격으로 측정 및 기록하였다.

Table 1. Information of packaging films

Film	Thickness (μm)	Density (g/cm ³)	O ₂ change rate (%/day)	Characteristics	Purchased from
Mossapak	150	0.9-1.1	3.950	Humidity absorbing	Bosspak Co. (Seoul, Korea)
LDPE	120	0.92	0.993	High flexibility and processability	Ok-greenpak (Ik-san, Korea)
PLA	30	1.24	1.960	Biodegradable	Eco-platec (An-san, Korea)
Anti-fog opp	30	0.90	1.450	Preventing moisture condensation	Visionmetal Inc. (Seoul, Korea)
Nylon-6	15	1.16	2.110	High water vapor transmission rate	

The information in this table referenced from the result of Kim et. al., 2016 (16).

감모율 및 경도 분석

박스포장 전 각각의 토마토의 중량을 측정하고 저장기간별 품질분석 당일 각 시료의 중량을 측정하고 아래의 식에 따라 개별단위의 감모율을 산출하였다. 계량이 끝난 30개의 토마토에 대하여 적도면 2곳에서 일정한 크기(2×2 cm)로 절단하여 얻은 시료를 경도계(TA-XT2, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)에 2 mm probe(TA-52; 2 mm dia., 25 mm long, ss)를 장착하고 2 mm/sec의 속도로 5 mm까지의 최대 압축 강도를 측정하여 N 단위로 나타내었다. 시료에서 얻어진 2개의 절편에 대하여 각각 3반복 측정하였다.

$$\text{Weight loss rate(\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

(W_1 =저장 전 중량, W_2 =저장 후 중량)

색도 변화 분석

MAP 포장에 따른 저장기간별 토마토의 색도 변화는 색차계(CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 표준 백색판($L=96.3$, $a=0.57$, $b=0.89$)으로 보정한 후 동일 실험구 당 30개 이상의 시료에 대하여 적도 부위의 2점에 대하여 각각 3회 이상 반복 측정 후 평균 값으로 나타내었다. 색도는 명도(lightness)를 나타내는 L값, 적색도(redness)를 나타내는 a값과 황색도(yellowness)를 나타내는 b값으로 나타내었고, 저장 전후의 색도 변화 비교를 위해 색차값(ΔE)를 산출하였다.

$$\text{Total color difference } (\Delta E) = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

(L_1 =저장 전 명도, L_2 =저장 후 명도, a_1 =저장 전 적색도, a_2 =저장 후 적색도, b_1 =저장 전 황색도, b_2 =저장 후 황색도)

가용성 고형분 및 적정산도 분석

토마토 시료를 분쇄기(HMF-1000, Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 균질화한 후 착즙하여 얻은 추출액에 대하여 디지털 굴절당도계(RX-5000a, Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 당도를 측정하고 °Brix 단위로 나타내었다. 또한 산도는 토마토 추출액 1 mL을 취하여 49 mL의 증류수에 희석한 후 자동 적정기(TitroLine 500, Si Analytics, Mainz, Germany)를 이용하여 pH 8.3이 될 때까지 0.1 N NaOH 용액으로 적정하였다. 각 실험구당 30개의 시료에 대하여 2반복 측정 후 평균값을 citric acid로 환산하여 나타내었다.

총 페놀 화합물의 함량 측정

토마토의 총 페놀화합물 함량은 Folin 등(19)의 방법에 따라 페놀화합물이 phosphomolybic acid와 반응하여 발색되는 현상을 이용하였다. 증류수 1.6 mL에 100% 토마토 착즙액 0.1 mL, 20% Na_2CO_3 용액 0.2 mL, Folin-Denis 용액(Sigma Co., St. Louis, MO, USA) 0.1 mL을 넣고 실온에서

30분간 반응시킨 후 분광광도계(OPRON-3000, Hanson Tech. Co., Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 700 nm의 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 화합물의 함량은 gallic acid(Sigma Co.)를 이용한 표준 검량곡선으로부터 환산하여 토마토 1 g 당 μg gallic acid equivalents(GAE), 즉 μg GAE/g으로 나타내었다.

플라보노이드 함량 측정

토마토의 플라보노이드 함량은 Zhishen 등(20)의 방법에 따라 측정하였다. 토마토 착즙액 0.2 mL에 증류수 0.8 mL을 넣어 희석하고 5% NaNO_2 (Sigma Co.) 0.1 mL을 넣어 실온에서 5분간 반응 후 10% AlCl_3 (Sigma Co.) 0.1 mL을 넣고 6분간 다시 방치한 다음 1M NaOH (Duksan Co., Ansan, Korea) 0.67 mL을 첨가하고 증류수를 1.1 mL을 추가하여 잘 혼합 후 510 nm의 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 quercetin(Sigma Co.)을 이용하여 검량곡선을 작성한 다음 플라보노이드 함량을 구하여 토마토 1 g 당 μg quercetin equivalents(QE), 즉 μg QE/g으로 나타내었다.

미생물분석

총 호기성 세균 및 곰팡이의 정량은 식품공전에 따라 표준평판배양법을 이용하였다. 당 산도분석을 위해 준비된 토마토 착즙액을 무작위로 10배 단계씩 희석하여 준비된 시료를 지름 100 mm 표준천천배지(plate counting agar, Difco, Sparks, MD, USA) 및 감자한천배지(potato dextrose agar, Difco, Sparks, MD, USA)에 도말하고 35°C 및 25°C에서 30~72시간 배양 후 평판 당 30~300개의 집락이 형성된 평판을 선정하여 총 호기성 세균 및 곰팡이의 집락수를 산정하고, 토마토 g당 colony forming unit(CFU/g)으로 나타내었다. 총 호기성 세균은 집락은 표준천천배지에 형성된 가장자리가 뚜렷한 개체수를 계수하였으며, 푸른곰팡이 및 잿빛곰팡이를 비롯한 총 곰팡이는 감자한천배지에 형성된 핵 및 가장자리가 불분명한 개체수를 계수하였다.

통계분석

모든 분석결과는 과실 당 3회 반복 실험한 결과로부터 평균값과 표준편차로 나타내었으며 통계분석은 IBM SPSS Statistics(23, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 ANOVA test와 Duncan's multiple range test를 통해서 시료 간 유의적 차이($p < 0.05$)를 검정하였다.

결과 및 고찰

토마토의 저장

수출용 파렛트 단위 MAP를 위한 장치구성을 Fig. 1에 나타내었다. 토마토 MA 저장연구는 대부분 소포장 유통

상황에서 포장재의 종류에 따른 영향에 대하여 이루어져 왔기 때문에 파렛트 단위 포장에 대한 방법이 고안되어 있지 못하다(21,22). 산지유통센터 및 대규모 농가에서 사용하는 파렛트 포장기는 적층된 박스의 운송 중 전도를 방지하는 목적으로 사용되며, MA를 위한 기밀이 어렵다. 따라서 시간소요 및 인력을 최소화하기 위하여 PVC 판과 몰딩을 이용하여 상하 패널을 제작하고 사이에 토마토 박스를 적층한 후 나일론 필름을 두르고, 실리콘 튜브로 제작한 밴드를 이용하여 결속가능하게 하였다(Fig. 1). 상·하판을 이용한 포장은 새로운 파렛트를 제작할 필요 없이 사용하던 파렛트의 재질에 관계없이 사용가능하며 비용이 저렴하다는 장점을 가진다. 파렛트 포장에는 Kim 등(16)의 연구에 따라 나일론 필름을 이용하였으며, 일반적으로 이용되는 LDPE의 투습도(WVTR, water vapor transmission rate)가 $0.3\sim 0.6\text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$ 인 것에 반해, 나일론 필름의 경우 투습도가 $6\sim 9\text{ g}\cdot\text{mm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$ 으로서 LDPE에 비해 10배 이상 높아 포장재 내부에 결로현상이 현저하게 감소하였다(16,23). 뿐만 아니라 나일론 필름이 LDPE에 비하여 고가로 알려져 있으나, 나일론은 LDPE보다 3배 이상 높은 인장강도를 나타내기 때문에 더 얇은 필름 이용을 통한 비용절감이 가능할 것으로 판단된다(16,24). MAP를 위한 기체조성은 진공 펌프를 이용하여 음압을 가한 상태에서 혼합기체를 주입하여 포장 시간을 단축하였다. 제작된 패널을 이용한 파렛트 단위 포장 및 기체조성에는 1시간가량 소요되었으나 향후 자동포장기 개발 및 다중 공기주입을 통하여 포장시간 및 인력 감축이 가능할 것으로 판단된다.

토마토의 저장 환경변화

토마토 저장중 파렛트 내부의 온습도 및 기체 환경의 변화를 분석한 결과는 Fig. 2와 같았다. MAP용 패널 및

나일론 비닐을 이용한 포장은 파렛트 내부 기밀이 매우 양호하게 유지되었으며, 저장고 내부를 9°C 및 습도 $96\sim 100\%$ 로 설정했을 때, 나일론 비닐을 이용하여 MAP 환경을 조성한 파렛트의 경우(Fig. 2A), 외부 환경의 영향을 적게 받아 저장기간 동안 낮은 온도 편차를 나타내었고 습도는 80%에서 95%까지 지속적으로 증가 하였다. 반면 포장이 이루어지지 않은 파렛트의 경우(Fig. 2B), 저장고 문의 개폐에 따라 온도 및 습도 변화가 높게 나타났으며, 습도는 MAP 포장재 내부보다 높은 90%에서 98%를 나타내었다. 또한 MAP 파렛트의 기체조성은 저장 시작 시점에서 $5\% \text{O}_2$, $1\% \text{CO}_2$ 였으나 토마토의 호흡으로 인하여 24시간 후에는 $3.16\% \text{O}_2$, $3.1\% \text{CO}_2$ 에 도달하였고, 이후 포장재를 통해 들어온 외기로 인하여 저장 종료시점인 21일 차에는 O_2 가 9.74% 까지 증가하였고, 호흡에 의해 축적되는 CO_2 는 9.2% 까지 증가하였다. 이는 파렛트 내부에 토마토 대신 고무공을 넣고 O_2 투과도를 분석했을 때(16) 4%에서 시작한 O_2 농도가 7일 만에 9.8%까지 증가한 것에 비하여 낮은 증가율로 이는 토마토의 호흡에 의하여 O_2 가 소모되어 O_2 증가율은 감소하고 CO_2 는 증가된 것으로 판단된다.

MAP 저장에 따른 감모율 및 경도 변화

MAP 및 관행 파렛트 저장에 따른 감모율 및 경도 변화는 Fig. 3과 같다. 토마토의 감모율(Fig. 3A)은 저장 기간이 길어짐에 따라 증가하는 경향을 나타냈으며, 저장 7일차에는 MAP에서 0.84%로 관행 0.74% 보다 높게 나타났으나 저장기간이 길어짐에 따라 역전이 일어나 21일차 저장에서는 MAP는 1.53%로 관행 1.63%보다 낮은 감모율을 나타냈다. 이는 MAP 파렛트 내부의 초기 습도가 낮아 관행보다 수분증산이 많이 일어난 것으로 판단되며, 저장기간 증가에 따라 포장재 내부의 습도가 증가한 반면, 관행 파렛트에

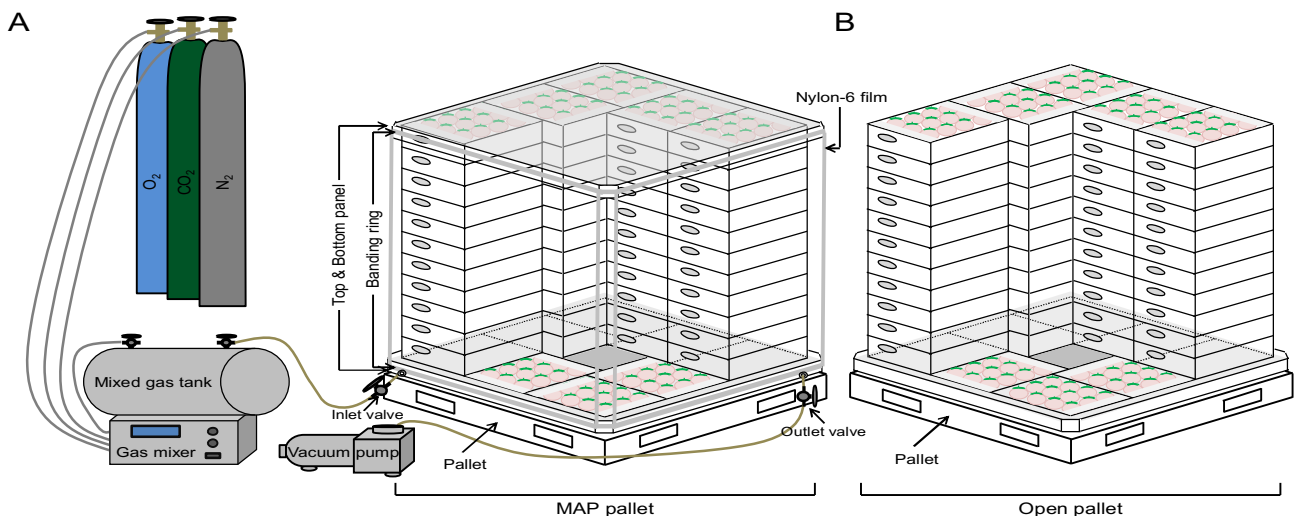


Fig. 1. Schematic diagram of MAP pallet (A), open pallet (B). The MAP pallet was wrapped using customized polyvinyl chloride (PVC) panel, nylon-6 film, and silicon banding ring.

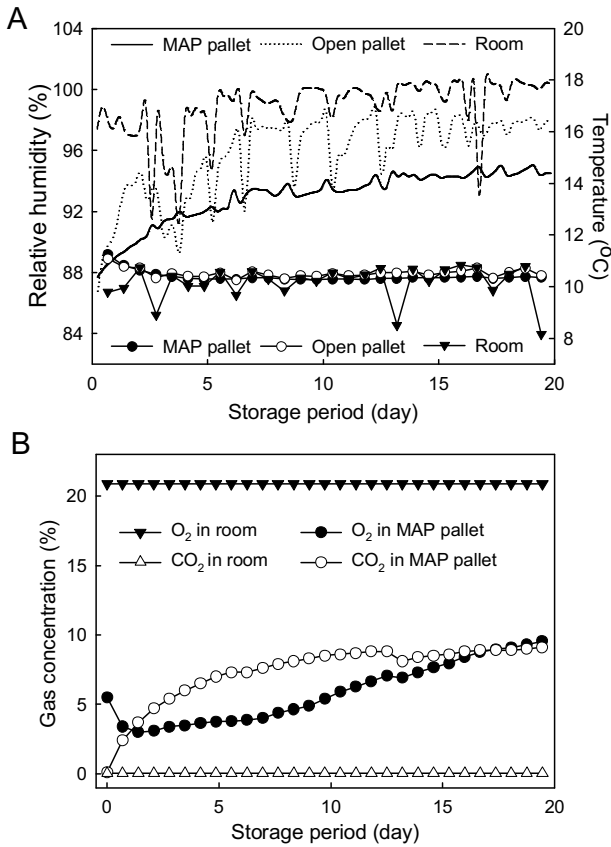


Fig. 2. Changes in relative humidity-temperatures (A) and gas composition (B) of packing during the storage period.

Line plot and line & scatter plot in figure (A) represent the humidity and temperature changes, respectively.

서는 열과 및 부패과 발생에 따라 수분 손실이 일어나 감모율이 증가한 것으로 판단된다. 하지만 이는 토마토 중량 감모율 허용범위로 알려진 7%(25)에 못 미치는 수준으로 MAP 및 관행 파렛트 저장 모두 감모율로 인한 상품성 손실은 미미한 것으로 판단된다. 저장에 따른 토마토의 경도 (Fig. 3B)는 저장기간이 경과할수록 낮아지는 경향을 나타내었으며, 관행에 비해서 MAP 파렛트에서 더 낮게 나타났다. 하지만 이는 급격한 경도 변화로는 보기 어려울 뿐만 아니라 초기 수분손실 높은 환경에 기인한 것으로 판단되며, 추가적으로 MAP 파렛트 내부에서의 수분손실을 최소화 할 수 있는 방법에 대한 연구 또한 필요할 것으로 판단된다. 반면 저장 기간 중 열과 및 부패에 따른 손실을 조사에서는 14일차에 관행 파렛트에서만 10% 가량의 손실이 나타났고, 21일차에는 관행 50%, MAP 파렛트 15%의 손실률이 발생하여, MAP 파렛트 저장이 상품성 유지효과가 높을 것으로 판단되었다.

MAP 저장에 따른 색도 변화

토마토의 색은 성숙도를 판단하는 지표로서 숙성에 따라

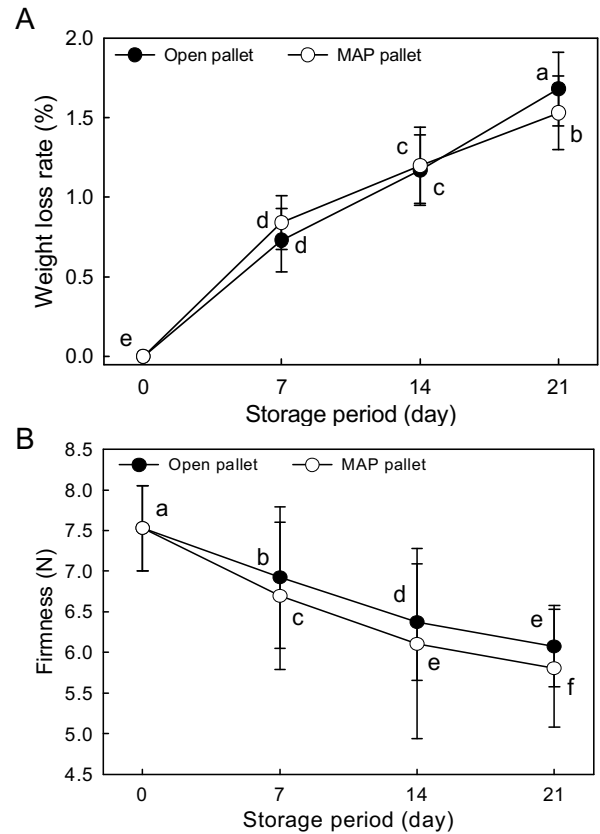


Fig. 3. Changes in weight loss rate (A) and firmness (B) of tomato during the storage periods at 10°C.

The values represent the mean±SD of triplicate experiments. Means with same letters are not significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

녹색에서 적색으로 변화하게 되며, 품질을 판단 할 수 있는 주요 인자로 이용된다(6). MAP 및 관행 파렛트 저장에 따른 색 변화는 Table 2에 나타났다. 저장기간이 증가함에 따라 밝기를 나타내는 L 값이 초기 34.7에서 관행과 MAP에서 21일 후 각각 31.9 및 32.4까지 감소하였고, 적색도를 나타내는 a값의 경우 초기 4.4에서 21일 후 29.1(관행)와 22.3(MAP)로 증가하였다. 황색도를 나타내는 b 값은 초기 12.7에서 저장 21일차에 10.2(관행) 및 10.0(MAP) 까지 감소하였다. Grierson (26)에 따르면 토마토의 숙성 단계는 6개(Green-Breaker-Turning-Pink-Light red-Red)로 나눌 수 있으며 완숙단계에서는 90%이상 붉은색을 띤다고 밝히고 있으나, 본 연구에서 사용된 토마토는 10~30% 적색이 포함된 핑크색 turning 단계에서 시작하여 3주 저장 후 5단계인 light-red 단계 정도 까지만 숙성이 이루어 졌으며, 관행 및 MAP의 색도 값은 적색도 이외에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 Tabor 품종이 적색 보다는 오렌지색에 가까운 색을 나타내어 색차값에 큰 편차가 나타나지 않기 때문으로 판단된다. 하지만 Batu(4)의 적색도(a)와 황색도(b) 비율에 따른 숙성도 지표를 통한 분석 결과에 따르면 저장초기 0.34로 turning과 pink 중간단계였던 토마토가, 관행저장의 경우

7일에 0.72로 light red 였으며, MAP에서는 7일 차에 0.58로 pink단계에 도달했다. 뿐만 아니라 관행의 경우 14일과 21일에 각각 2.6과 2.85로 완숙상태인 red를 유지하는 반면, MAP에서는 14일과 21일에 각각 1.6과 2.23을 나타내어 red 단계에 도달 하는 시간이 지연됨이 확인되었다. 또한 저장기간 중 전체 색변화를 나타낸 ΔE 값을 기준으로 판단할 경우 MAP 파렛트 저장에서 뚜렷하게 낮은 색 변화율을 나타내었다. 이와 같이 관행에서는 저장 14일차와 21일 차에 색변화가 거의 없는 것으로 보아 14일차에 숙성이 종료된 반면, MAP 파렛트의 경우 21일차 까지도 숙성이 지속적으로 이루어지고 있는 상태로서, MAP 파렛트 저장이 토마토의 착색 및 숙성을 지연시키는 효과가 뛰어난 것으로 판단된다.

MAP 저장에 따른 가용성 고형분 및 총산도 변화

토마토 MAP 및 관행 파렛트 저장에 따른 당도 및 총산도의 변화는 Fig. 4와 같다. 저장시작 시점 토마토의 당도(Fig. 4A)는 4.18 °Brix 가량이었으나 관행 파렛트에서는 저장기간이 경과함에 따라 점차적으로 감소하여 저장 21일차에는 3.98 °Brix로 확인되었으나, MAP 파렛트에서는 저장 7일차에 4.31 °Brix로 시작시점보다 증가한 후 다시 감소하여 저장 21차에 4.05 °Brix로 확인되었다. 또한 구연산으로 환산한 총 산도(Fig. 4B)는 수확시 0.46%였으며, 저장 기간이 증가함에 따라 MAP와 관행 파렛트에서 모두 감소하는 경향을 나타내었으나, MAP의 경우 1주차 저장에서 0.02%가 감소하여 0.04%가 감소한 관행대비 낮은 산도 저하를 나타내었다. 일반적으로 토마토의 당 및 산도의 최대 축적 시기는 적숙과 상태이며 이후 당도 및 산도는 점차 감소하게

된다. 국내에서 생산되는 토마토는 대부분 수출 및 유통을 고려하여 turning과 상태에서 수확되게 된다. Beckles (27)에 따르면 토마토는 수확 후에도 대사 작용이 일어나 당을 생성하기 때문에 미숙단계에서 수확된 토마토 또한 당도가 증가할 수 있으며, Sanchez 등(28)은 특정 조건하에서는 풍미합성이 저해되고 가용성 고형분의 증가가 나타나지 않는다고 밝히고 있다. 따라서 본 연구에서 수행된 MAP 파렛트 저장의 경우 7일차까지 대사과정이 일어나 당도가 증가하는 경향을 나타낸 반면 관행저장의 경우 숙성만 이루어지면서 점차 당도 및 산도가 감소한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과에 비추어 볼 때 MAP 저장은 turning과 상태에서 수확된 토마토를 관행 파렛트의 유통과정 중 품질을 개선 및 유지시키는 효과가 우수할 것으로 판단된다.

미생물 분석

총 호기성 세균 및 곰팡이는 식품미생물의 오염 지표로 사용되며, 표준 한천배지 내에서 발육할 수 있는 세균을 의미한다. 총 호기성 세균 및 곰팡이의 검출이 인체 유해성과 비례관계에 있지 않지만, 생산 및 유통상의 위생 상태를 평가 지표로 사용 될 수 있으며, 유통 환경에 의한 미생물의 성장은 농산물의 부패를 촉진시켜 상품성 손실을 야기시킨다(29). 토마토의 MAP 및 관행 파렛트 저장에 따른 미생물 변화는 Table 3에 나타났다. 토마토 저장 당일 총 호기성 균수 및 총 곰팡이 집락은 각각 2×10^2 과 1.8×10^1 CFU/g으로, 일반 유통단계 토마토의 호기성 총 균수 2.7×10^4 CFU/g에 비하여 적게 나타났으며, 이는 본 연구에서 사용된 토마토가 밀폐된 환경에서 양액 재배를 통하여 생산되어 토양에서 재배된 토마토에 비하여 미생물오염이

Table 2. Changes in Hunter's color values of tomatoes during storage

Storage periods (day)	L		a		b		ΔE	
	Open	MAP	Open	MAP	Open	MAP	Open	MAP
0	34.7±1.0 ^{1(a2)}		4.4±3.4 ^f		12.7±0.4 ^c		0.0	
7	32.5±0.8 ^b	32.7±1.1 ^b	9.9±1.3 ^d	8.4±2.0 ^e	13.7±0.6 ^b	14.3±0.7 ^a	6.1	4.7
14	31.7±0.8 ^c	32.5±1.1 ^b	28.1±2.8 ^a	19.2±4.2 ^c	10.8±0.6 ^c	11.6±0.6 ^d	24.1	15.2
21	31.9±0.9 ^c	32.4±0.9 ^b	29.1±3.1 ^a	22.3±2.9 ^b	10.2±0.4 ^f	10.0±1.7 ^e	25.1	18.2

¹⁾The values represent mean±SD for six experiments.

^{2)a-c}Different superscripts within each Hunter's values indicate significant differences at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

Table 3. Counts of total microorganisms in tomatoes during storage

Storage periods (day)	Aerobic bacteria (CFU/g)		Mold (CFU/g)	
	Open pallet	MAP pallet	Open pallet	MAP pallet
0	2.0±1.1×10 ^{21(a2)}		3.6±2.7×10 ^{1c}	
7	2.8±0.8×10 ^{3c}	1.6±0.3×10 ^{3c}	9.4±7.4×10 ^{1c}	2.2±1.9×10 ^{1c}
14	2.3±0.4×10 ^{4bc}	1.7±0.1×10 ^{4bc}	6.6±2.9×10 ^{3c}	1.8±1.4×10 ^{3c}
21	2.0±1.0×10 ^{6a}	5.7±3.1×10 ^{5b}	1.4±0.5×10 ^{5a}	5.3±0.5×10 ^{4b}

¹⁾The values represent mean±SD for three experiments.

^{2)a-c}Different superscripts within each organism CFU/g indicate significant differences at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

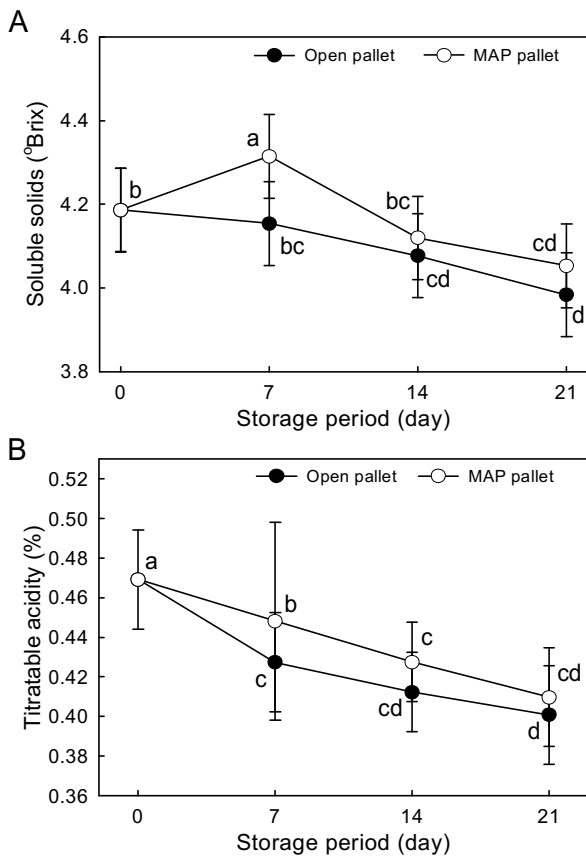


Fig. 4. Changes in soluble solids (A) and titratable acidity (B) of tomato during the storage periods at 10°C.

The values represent the mean±SD of triplicate experiments. Means with same letters side of scatter are not significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

적은 것으로 판단된다(9). 하지만 저장기간이 증가할수록 미생물은 증가하여 관행 파렛트 저장에서 7일차에 총 균수와 곰팡이 집락은 각각 2.78×10^3 및 5×10^1 CFU/g를 나타내었고, 21일 차에는 각각 1.97×10^6 과 1.37×10^5 CFU/g를 나타냈다. 반면 MAP 파렛트 저장에서는 관행 저장에 비해서 증가율이 낮게 나타났으며, 저장 7일차에 총 세균 및 곰팡이 집락수가 각각 1.59×10^3 과 2.2×10^1 CFU/g 이었으며, 21일차에는 5.67×10^5 및 5.3×10^4 CFU/g으로 확인되었다. 이는 방

울토마토 MA 소포장 연구에서 낮은 O_2 농도 및 높은 CO_2 농도가 미생물 성장 적체효과가 있다는 보고와 일치하는 것으로서(15), MAP 파렛트 저장 초기 기체조성이 미생물의 성장을 지연시켜 품질유지에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

MAP 저장에 따른 총 페놀 화합물 및 플라보노이드 함량 변화

토마토는 숙성되는 동안 라이코펜, 페놀화합물, 플라보노이드 등의 항산화물질 또한 증가하는 특성을 지니며(30), 본 연구에서는 MAP 및 관행 파렛트 저장에 따른 페놀화합물 및 플라보노이드의 함량 변화를 분석하고 Table 4에 나타내었다. 페놀화합물과 플라보노이드 모두 저장 14일차까지는 증가하는 경향을 나타내었으며, 증가폭은 MAP 저장에서 더 높게 나타났으며, 14일 이후 감소폭은 더 낮게 나타났다. 이러한 결과를 통해 수확 전에는 토마토의 숙성에 따라 페놀화합물 및 플라보노이드 등이 증가하는 것과는 달리 수확 후 후숙에 따라서는 영양분의 증가가 원활하게 이루어지지 않는 것으로 판단되며, MAP 저장에서는 관행 저장보다 후숙에 따른 영양대사가 일정기간 이루어지며, 이에 따른 품질유지에 유리할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 수출용 토마토의 파렛트 단위 MAP를 통한 저장 및 유통 가능성을 분석하고 미생물 생육 및 토마토의 품질에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. Turning 단계에서 수확된 Tabor 토마토를 박스 포장한 후 제작된 MAP 파렛트에 적층하고 나일론 필름을 이용하여 포장하여 혼합 기체를 주입하여 초기 기체조성(5% O_2 , 1% CO_2)을 하였다. MAP 및 일반 파렛트를 10°C에서 저장하며 감모율, 가용성 고형분 함량, 적정산도, 색변화, 경도 및 페놀화합물함량 변화를 조사하였다. 저장초기 7일 MAP에서는 감모율 및 경도변화가 각각 0.84% 및 0.84N로 관행 파렛트 대비 높게 나타났으나 토마토의 품질에 영향 끼치는 수준은 아닌 반

Table 4. The contents of total phenolic and flavonoid compounds in tomatoes

Storage periods (day)	Total phenol (ug GAE ¹⁾ /g)		Flavonoid (ug QE ²⁾ /g)	
	Open pallet	MAP pallet	Open pallet	MAP pallet
0	16.53±1.10 ³⁾		1.29±0.05 ^c	
7	15.19±0.50 ^d	16.58±0.77 ^c	1.29±0.03 ^c	1.28±0.04 ^c
14	17.13±0.45 ^b	21.88±1.36 ^a	1.59±0.03 ^b	1.62±0.05 ^a
21	14.49±0.64 ^e	17.18±1.03 ^b	1.39±0.04 ^d	1.43±0.05 ^c

¹⁾Total phenolic content was expressed as $\mu\text{g/g}$ gallic acid equivalent.

²⁾Total flavonoid content was expressed $\mu\text{g/g}$ quercetin equivalent.

³⁾The values represent mean±SD for triplicate experiments. Means with same letters within a column are not significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

면, 후숙에 따른 총 색변화는 MAP에서 4.72로 관행저장 5.99 대비 21.2% 낮게 나타나 뚜렷한 후숙 지연효과를 나타냈다. 가용성 고형분 함량 및 적정산도는 저장기간이 증가함에 따라 저장방법에 관계없이 감소하는 경향을 나타내었으나, 저장 21일차까지 MAP에서 가용성 고형분, 적정산도 감소율이 각각 1.7% 및 1.9% 지연되었다. 뿐만 아니라 페놀 화합물의 경우 관행저장에서 12.4%가 감소한 반면 MAP에서는 3.9%가 증가하였다. 그밖에 저장에 따른 부패율은 MAP 파렛트에서 14일차에 10%, 21일차에 35%이상 낮게 나타났으며, 미생물 성장률에서 총호기성 세균 및 곰팡이의 성장률은 MAP 파렛트에서 관행저장 대비 각각 28.8% 및 38.8% 가량 낮게 나타나 곰팡이 억제를 통한 토마토의 상품성 유지에 뛰어난 효과를 보였다. 이러한 결과에 비추어 볼 때 파렛트 MAP 패널 및 나일론 비닐을 이용한 수출용 토마토의 파렛트 단위 MAP는 실용 가능한 기술로서 토마토의 품질 유지 및 저장기간 연장에 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01088701) 및 국립농업과학원 박사후 연수과정 지원 사업에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

References

- Karakaya S, El SN, Tas AA (2001) Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. *Int J Food Sci Nutr*, 52, 501-508
- Clinton SK (1998) Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutr Rev*, 56, 35-51
- Islam MZ, Kim YS, Kang HM (2011) Effect of breathable film for modified atmosphere packaging material on the quality and storability of tomato in long distance export condition. *J of Bio-Environment Control*, 20, 221-226
- Choi SJ, Kim YC, Park KW (1983) Changes in pectic substances during the storage of tomato fruits at varied temperatures. *J Kor Soc Hort Sci*, 24, 118-123
- Kim JH, Gu JR, Kim GH, Choi SR, Yang JY (2010) Effect of storage temperature on the quality of tomato. *Korean J Food Nutr*, 23, 428-433
- Choi JH, Jeong MC, Kim DM (2013) Changes in quality parameters of tomatoes harvested at different mature stages during storage. *Korean J Food Preserv*, 20, 151-157
- Batu A (2004) Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *J Food Eng*, 61, 471-475
- Getinet H, Seyoum T, Woldestsadik K (2008) The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *J Food Eng*, 87, 467-478
- Yu YM, Youn YN, Hua QJ, Cha GH, Lee YH (2009) Biological hazard analysis of paprikas, strawberries and tomatoes in the markets. *J Fd Hyg Safety*, 24, 174-181
- Ali MS, Nakano K, Maezawa S (2004) Combined effect of heat treatment and modified atmosphere packaging on the color development of cherry tomato. *Postharvest Biol Technol*, 34, 113-116
- Charles F, Guillaume C, Gontard N (2006) Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. *Postharvest Biol Technol*, 48, 22-29
- Lim BS, Park YM, Hwang YS, Do GR, Kim KH (2009) Influence of ethylene and 1-methylcyclopropene treatment on the storage quality of 'Hongro' apples. *Kor J Hort Sci Technol*, 27, 607-611
- Park YM, Park HG, Lim BS (2011) Analysis of postharvest 1-MCP treatment and CA storage effects on quality changes of 'Fuji' apples during export simulation. *Kor J Hort Sci Technol*, 29, 224-231
- Park SH, Park JW, Choi DS, Kim JS, Kim YH, Choi SR, Oh SS, Oh YS, Lee JS (2016) Development of the purge-type controlled atmosphere storage container and analysis of gas control performance. *Food Eng Prog*, 20, 15-20
- Lee SY, Lee SJ, Choi DS, Hur SJ (2014) Effect of quality change of cherry by tomato by CO₂ concentration of flushed gas and storage period. *Korea J of Culinary Res*, 20, 200-210
- Kim JS, Park JW, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Lee JS, Cho BK (2016) Study of pallet scale modified atmosphere packaging films for reducing water condensation. *J Biosystems Eng*, 41, 98-107
- Fagundes C, Moraes K, Perez-Gago MB, Palou L, Maraschin M, Monteiro AR (2015) Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biol Technol*, 109, 73-81
- Majidi H, Minaei S, Almassi M, Mostofi Y (2014) Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. *J Food Sci Technol*, 51, 2155-2161

19. Folin O, Denis W (1912) On phosphotungstic phosphomolybdic compounds as a color reagents. *J Bio Chem*, 12, 239-249
20. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem*, 64, 555-559
21. Park KW, Kang MH, Kim DM, Park HW (1999) Effects of the packaging films and storage temperatures on modified atmosphere storage of ripe tomato. *J Kor Soc Hort Sci*, 40, 643-646
22. Jeong CS, Park SM, Yun IJ, Park JN, Lee SJ, Lee SJ (2005) Effects of functional packaging paper on quality maintenance of tomato fruit during simulated marketing. *Kor J Hort Sci Technol*, 23, 26-30
23. Linke M, Geyer M (2013) Condensation dynamics in plastic film packaging of fruit and vegetables. *J Food Eng*, 116, 144-154
24. Mangaraj S, Goswami TK, Mahajan PV (2009) Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. *Food Eng Rev*, 1, 133-158
25. Burton WG (1982) *Postharvest physiology of food crops*. Longman, London and New York, p 62
26. Grierson A, Kader AA (1986) *Fruit ripening and quality; tomato crop*. Chapman and Hall Ltd, USA, p 241-280
27. Beckles DM (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol Technol*, 63, 129-140
28. Sancheza FD, Zaldivarb CP, Cabreraa FR, Valadeza MP, Alejandrea XA, Fernandezb FJ, Buendiac HB, Floresa LJ (2009) Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. *Postharvest Biol Technol*, 54, 93-100
29. Das E, Gurakan GC, Bayindirli A (2006) Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Sallmonela* Enteritidis on cherry tomatoes. *Food Microbiol*, 23, 430-438
30. Cano A, Acosta M, Arnao MB (2003) Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biol Technol*, 28, 59-65