

포장 방법에 따른 아스파라거스의 저온저장 중 품질변화

왕 립¹ · 최인이² · 강호민^{3*}

¹강원대학교 원예시스템공학부 대학원생, ²강원대학교 원예시스템공학부 박사 후 연구원, ³강원대학교 원예시스템공학부 교수

Changes of Qualities of Green Asparagus Packed with Different Types during Low Temperature Storage

Lixia Wang¹, In-Lee Choi², and Ho-Min Kang^{3*}

¹Graduate Student, Division of Horticulture and Systems Engineering, Program of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Post Doctor, Division of Horticulture and Systems Engineering, Program of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³Professor, Division of Horticulture and Systems Engineering, Program of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract. Effect of 6kg large unit with the carton box (20% open ratio) and MA box (10,000cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ oxygen transmission rates modified atmosphere package), and the 100g small unit with MA film on asparagus sensory quality were evaluated. The CO₂ concentration depended largely on the packing unit and maintained at around 3% in small MA packages, whereas in the MA box increased to 12%. Ethylene concentration rapidly increased until after 3 days of storage in MA packages and then decreased to maintain 5μL·L⁻¹. Unrelated to the unit size, the lower weight loss was obtained in MA packages. A significant difference in visual quality was shown since the 15th day, the best and worst were the MA box and small MA package on the finish day. Off-odor was the highest in small MA packages and the lowest in the carton box (< 3.0). Although there was no significant difference in firmness among all treatments, the packages showed the highest firmness in tips and stems, respectively. The sugar content and hue angle decreased during storage, but there was no statistical difference in all treatments. EL was lowest and highest in small MA package and carton box, respectively. On the 10th day, the total aerobic bacteria was lowest in small MA packages, but no significant difference on the 20th day. *E. coli* was not found in all treatments on the 10th day, while it was the lowest in the MA box on the 20th day. The mold and yeast were not observed during the whole storage. Based on the above results, the carton box packaged with 10,000cc OTR film was more effective in maintaining the quality of green asparagus with the suitable CO₂ concentration for asparagus cold storage.

Additional key words : aerobic bacteria, firmness, modified atmosphere, shelf-life

서 론

건강에 대한 관심이 증가함에 따라 아스파라거스(*Asparagus officinalis* L.)의 소비가 증가하고 있다(Seong 등, 2012). 국내에서도 아스파라거스의 국내 재배 지역은 2016년 약 55.4ha로 확대되었고(Rural Development Administration, 2019), 2019년에는 84.5ha까지 증가하였다. 현재 아스파라거스는 국내에서 유통 및 판매를 위해 천공필름을 사용하여 포장되고 있으며 수출 시에는 6kg 유공 상자에 포장되어 유통

되고 있는데(Kang 등, 2018), 이러한 유공상자나 천공필름은 아스파라거스의 높은 호흡 및 증산률에 의해 보관 및 유통 과정에서 급격한 중량 손실을 초래할 수 있다(Yoon 등, 2016b). 활력이 높은 어린 조직을 이용하는 아스파라거스는 비호흡급 등형(non-climacteric) 작물이나(Zhang 등, 2012), 호흡률이 매우 높기 때문에 장기간 저장이 어려운 작물로 알려져 있다(Kader, 2002). 따라서 많은 연구에서 CA(controlled atmosphere) 조건과(Lee, 1981), MA(modified atmosphere) 방법(Baxter와 Waters, 1991; Garipey 등, 1991), 그리고 고압 저장(high hydrostatic pressure storage) 방법을 연구해 왔다(Yi 등, 2016). 이 중 MA 저장은 처리 비용이 저렴하고 유통 현장에 적용하기 쉬우므로 아스파라거스의 품질을 유지하기 위한

*Corresponding author: hominkang@kangwon.ac.kr
Received March 09, 2020; Revised April 29, 2020;
Accepted May 22, 2020

가장 효과적인 저장 방법으로 유통 현장에서 적용할 수 있다 (Kang 등, 2018). 그러나 아스파라거스의 높은 호흡 속도는 MA 저장에서 포장 내부의 산소 함량이 낮아져 이취를 유발할 수 있는데(Gariepy 등, 1991; Siomos 등, 2000), 낮은 산소 수준(2% 미만)에서는 이취와 아스파라거스의 황변이 발생하여 기존의 천공 포장에 비해 저장 수명이 짧아지기도 하였다 (Baxter와 Waters, 1991). 일부 연구자들은 호흡 수준이 높은 작물의 MA 저장의 문제점을 개선하기 위해 필름의 산소 투과율(oxygen transmission rate, OTR)을 향상시키는 기술을 개발하였는데(Blakistone, 1998; Zeng 등, 2002), Sohn 등 (2008)은 10-15초 간격으로 785nm 레이저를 조사하여 천공 되지 않은 필름의 OTR을 5,000에서 최대 50,000cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹으로 조정하는 기술을 개발하였다. 이 기술로 만들어진 OTR 필름은 사과(Choi 등, 2014), 새싹채소(Choi 등, 2013a) 및 합초(Baek 등, 2013) 등을 대상으로 한 MA 저장에서 품질 유지에 효과적이었으며, 아스파라거스는 100g의 소포장에서는 10,000cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR 필름 포장에서 품질 유지가 가장 우수하였다고 하였다(Yoon 등, 2017).

본 연구는 국내에서 생산된 아스파라거스의 수출용 대량 포장과 소포장 방법에 따른 4°C 저온저장 기간 중 품질 변화를 비교하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 저장 처리조건

강원도 양구군에서 생산한 직경이 약 1.4±0.1cm인 아스파라거스(*Asparagus officinalis* L., cv 'Wellcome')를 공시재료로 사용하였다. PP(Polypropylene) 필름을 레이저로 가공하여 10,000cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹의 산소 투과율을 갖는 OTR 필름(Dae Ryung Precision Packaging Industry Co., Ltd., Korea)을 100g 소포장과 6kg 상자에 MA packaging 처리하였으며, 수출에 적용하고 있는 상자는 polypropylene copolymer 수지를 압축 성형한 Danpla sheet의 재질로 6kg 용량에 가공율 20% 수준인 유공 상자를 사용하였다. 모든 처리구는 상대습도 85%로 4°C에서 20일간 저장하였다.

2. 품질 분석

감모율은 생체중을 포장 전, 후에 측정하여 중량 손실량을 백분율로 기록하였다. 포장 내 이산화탄소, 산소, 그리고 에틸렌 가스 농도는 적외선 센서(Checkmate, PBI, Denmark) 및 가스크로마토그래피(GC-2010, Shimadzu, Japan)를 사용하여 측정하였다(Park 등, 2000). 아스파라거스의 경도는 화두(순의 끝으로부터 5cm)와 줄기(수확 절단면으로부터 8cm)로

나누어 조사하였는데, 1.0m·s⁻¹의 속도로 3.0mm 직경의 probe를 사용하여 Rheometer(Compac-100, Sun Scientific, Japan)로 측정하였다. 전해질 용출량은 아스파라거스 생체 조직 1.0g 내외의 직경 1.0cm 디스크를 0.4M mannitol (C₆H₁₄O₆) 25ml에 침지하여 회전교반기(SH30, FINEPCR, Korea) 100rpm에서 3시간 용출시켜 전기전도도(Electrical conductivity)를 EC 측정기(Cyberscan PC 300, Eutech instruments, Singapore)로 측정된 값과 2회의 냉각과 해동을 반복하여 측정된 값을 백분율로 표시하였다(Choi 등, 2013b). 저장 중 색차의 변화를 조사하였는데, 아스파라거스 순과 줄기의 Hue angle을 색차계(CR-400, Konica Minolta, Japan)로 측정하였다(Chang과 Kim, 2015).

3. 관능검사

외관상 품질 및 이취정도의 평가는 5명의 숙련 된 패널리스트가 진행한 panel test로 수행하였다(Choi 등, 2015). 외관 품질은 1-5의 척도로 평가되었으며, 5는 가장 높은 품질을 나타내고, 1은 낮은 품질을 나타내는데, 3이상의 등급을 상품성 한계점으로 정하였다. 이취는 0-5의 규모로 평가되었으며, 0은 이취가 거의 없으며 5는 이취가 강한 것으로 하였다.

4. 세균, 곰팡이 및 대장균 측정

시료 2g을 무균백(BPR-4590, Labplas, Canada)에 담아 멸균수 18ml를 가하여 3분 동안 균질화(Power, mixer, B&F KOREA, Korea) 한 후, 시료 0.2ml를 최종 1,000배 희석하였다. 희석액 1.0ml를 각각 세균용(AC), 대장균용(EC), 곰팡이 용(YM) 건조배지 필름(3M Microbiology products, USA)에 분주하여 일반세균은 35°C에서 72시간, 대장균은 35°C에서 24시간, 그리고 곰팡이는 25°C에서 72시간 배양하였다. 배양 후 자동균수 측정기(Petrifilm Plate Reader, 3M, USA)로 집락수(colony form unit: CFU)를 조사하였다(Lee 등, 2009).

5. 통계분석

실험은 5 반복으로 저장 중 포장내 기체농도, 경도, 외관상 품질, 그리고 이취와 저장 후 전해질 용출량, 색도, 세균, 곰팡이 및 대장균은 SPSS Statistics 24 program을 사용하여 표준편차와 던킨의 다중범위검정으로 분석하였다.

결과 및 고찰

저장 중 감모율을 조사한 결과, MAP 처리구들은 0.5% 이하로 감모가 억제되었으며, 필름을 처리하지 않은 6kg 상자

포장구에서는 저장 20일 후 3%에 육박하였으나, 아스파라거스 최대 감모 허용률(Kays와 Paull, 2002)인 8%보다는 낮았다(Fig. 1). OTR 필름을 적용한 MAP 처리구의 생체중 감소 억제 효과는 큰다닥냉이 어린잎채소(Kim 등, 2018)의 경우 1.2% 감소된 미세천공필름에 비해 OTR 처리구는 0.5%, 딸기(Choi 등, 2017)는 10-12% 감소된 무처리구에 비해 OTR 처리구는 1% 이하, 그리고 양채류인 양송이(Lee 등, 2018)도 대조구가 15% 이상 감소한 것에 비해 OTR 처리구는 0.4%로 생체중 감소를 효과적으로 억제한다고 보고하였다. Yoon 등(2017)은 10,000cc OTR 필름으로 포장한 아스파라거스의 생체중 감소율이 1% 이하라고 하였다. 포장 내 이산화탄소 농도는 동일한 필름을 사용하였음에도 불구하고 포장 단위에 따라 크게 차이를 보였는데, 소포장 MA 처리구는 3% 내외를 유지하였고 6kg 박스 MAP 처리구는 최대 12%까지 증가하였다(Fig. 1). 아스파라거스의 적정 CA조건의 이산화탄소 농도가 5-12%인 점을 볼 때, 대용량 MAP에서 이산화탄소 농도 증가로 인한 품질 저하는 일어나지 않을 것으로 판단된다. 한편, 소포장과 6kg 상자 모두 같은 필름(10,000cc·m⁻²·day⁻¹·atm⁻¹ OTR 필름)으로 포장하였음에도 포장 내 이산화탄소 농도에 차이를 보인 것은 포장재용량 대비 아스파라거스 양의 차이가

원인인 것으로 판단된다. 소포장은 100g/460cc로 0.217g/cc 이었던 것에 반해 6kg 상자는 6,000g/15,000cc인 0.400g/cc로 포장용량대비 아스파라거스 양이 1.8배 이상 많아 호흡으로 인한 포장 내 이산화탄소 축적이 많았던 것으로 생각된다. Ahn 등(2001)도 부유 단감 저장에서 있어 포장 내 free-volume이 클수록 이산화탄소 농도가 상대적으로 낮았다고 하였다. 포장 내 에틸렌 농도는 MAP 저장하였던 두 처리구 모두 저장 직후 3일까지 급속히 증가하였으나, 이후 감소하여 저장 종료일까지 5µL·L⁻¹의 농도를 유지하였으며 대조구인 6kg 상자 포장에서는 검출되지 않았다(Fig. 1). Kader (2002)는 아스파라거스의 경우 에틸렌에 대한 민감성은 보통이지만 발생량은 매우 적다고 보고하였는데 이와 유사한 결과를 나타냈다. 경도의 경우 처리에 따른 통계적 유의차는 나타나지 않았는데, 화두는 소포장 처리구, 줄기는 6kg 박스 MA 처리구가 가장 높았다(Fig. 2). 일반적으로 에틸렌은 원예작물에서 성숙, 엽록소분해 및 연화과정을 가속화하며, 화기의 색 변화, 가식 부위의 향, 맛 및 식감을 변화시키며 polygalacturanase 활성 증가로 인한 경도의 감소를 유기한다(Kays와 Paull, 2004). 그러나 아스파라거스의 경우에는 에틸렌에 노출되면 조직의 경화가 발생하여 경도가 증가하는데, 저장 전 24시간 동안 1.0

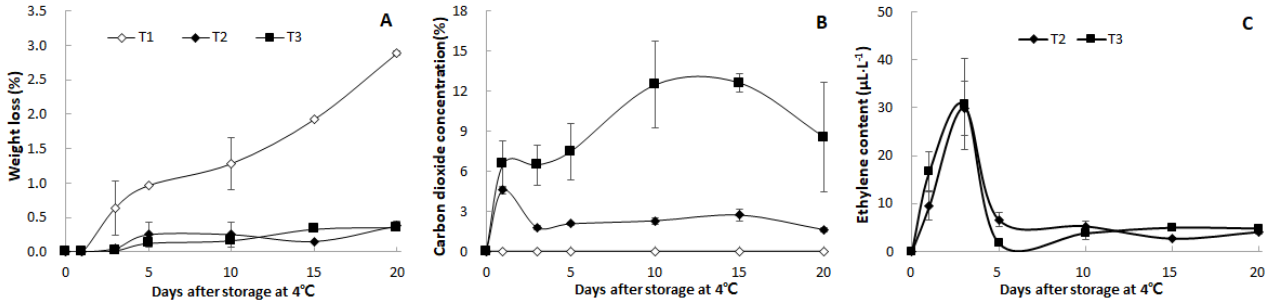


Fig. 1. Changes of weight loss (A), CO₂ (B), and C₂H₄ (C) concentration in asparagus treated with three different types of packages during 20 days of storage at 4°C(T1: 6kg Box, T2: 6kg Box + MAP, and T3: 100g + MAP). All the values are expressed at the means ± SD (n=5).

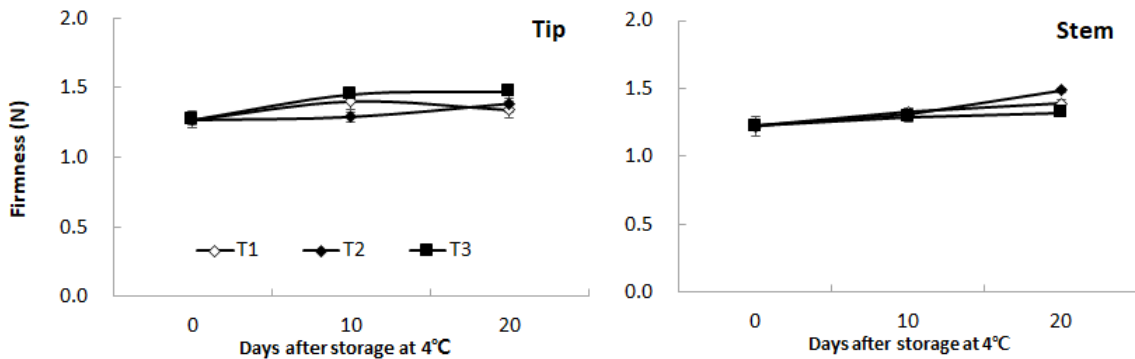


Fig. 2. Changes of tip and stem firmness in asparagus treated with three different types of packages during 20 days of storage at 4°C(T1: 6kg Box, T2: 6kg Box + MAP, and T3: 100g + MAP). All the values are expressed at the means ± SD (n=5).

$\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 의 농도로 에틸렌을 전처리하면 phenylalanine ammonia-lyase와 peroxidase를 활성화시켜 조직의 리그닌화가 유도된다고 하였다.(Liu와 Jiang, 2006). 또한 저장 중 아스파라거스의 경도는 에틸렌 농도가 높고 PAL과 POD활성, 그리고 리그닌 함량이 높았던 MA 처리구에서 증가하였다고 하였다(Yoon과 Kang, 2017).

저장 종료일의 전해질 용출량은 소포장 MA 처리구가 가장 낮았으며 6kg박스 대조구가 가장 높았다. 일반적으로 원예작물에 대해 전해질 용출량은 저온장해 정도를 파악하는 지표로 알려져 있으며(Kang 등, 2005), 세포막의 견고한 정도를 반영할 수 있어 식물 조직의 손상이나 식물 스트레스 내성을 평가하는데 널리 사용되어 왔다(Demidchik 등, 2014). 색도는 화두와 줄기 모두 저장 기간이 길어짐에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 처리구간의 차이에 통계적 유의성은 없었다. Hue angle 값으로 측정할 수 있는 아스파라거스의 황변은 장기 저장 중 품질 변화의 시각적 지표로 사용할 수 있고(Yoon 등, 2016a), 이는 엽록소 파괴가 원인으로 작용하는데 Lee (2015)는 아스파라거스의 엽록소가 $10\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 에틸렌에 노출될 경우 급격히 감소되었다고 하였다. 본 실험에서도 포장내 에틸렌 농도가 가장 높게 유지되었던 소포장에서 다소 낮은 Hue

angle 값을 나타내었다(Table 1).

이러한 황변은 패널테스트로 조사한 외관상 품질에도 영향을 미쳤는데, 저장 15일째부터는 처리간 차이가 나타나 종료일에 6kg박스 MA 처리구가 가장 양호하였고, 황변이 가장 컸던 소포장 MA가 가장 낮았다. 이취는 소포장 MA가 가장 높았으며, MA조건이 아닌 6kg박스 대조구가 가장 낮았다(Fig. 3). MA 저장 중 이취는 높은 포장 내 높은 이산화탄소 및 낮은 산소농도에 의한 무기호흡이 원인이 되는데(Kader, 2002), 포장내 12% 이상의 높은 이산화탄소 농도를 보인 MA 6kg박스에서 3% 수준을 보인 소포장보다 낮은 이취를 보인 것으로 보아, 아스파라거스는 12%의 이산화탄소 농도에 의해 무기호흡 등의 생리적 장애를 초래하지 않는 것으로 판단되었다.

저장 10일째 총 세균수는 소포장 MA가 가장 낮았으나, 저장 종료일인 20일째에는 모든 처리구에서 유사하게 조사되었다. 대장균수는 10일째 모든 처리구에서 나타나지 않았으나, 20일째에는 6kg박스 MA 처리구가 $2.10 \log \text{CFU/g}$ 로 가장 낮았으며 곰팡이는 저장기간 모든 처리구에서 관찰되지 않았다(Table 2). 고농도의 이산화탄소에 의한 미생물 생육 억제는 여러 연구에서 보고된 바 있는데(Economou 등, 2009; Meredith 등, 2014), 본 실험에서도 이산화탄소 축적이 없었

Table 1. The electrolyte leakage and tip and stem color(Hue angle) of asparagus treated with three different types of package and stored for 10 and 20days at 4°C.

	Electrolyte leakage (%)	Color (Hue angle)			
		Tip		Stem	
		10days	20days	10days	20days
6kg Box	31.7 a ^c	122.0 b	121.3 ab	119.0 b	118.3 b
6kg Box + MAP	29.5 a	125.9 a	124.2 a	121.7 a	120.5 a
100g + MAP	12.1 b	120.2 b	117.4 b	119.5 b	118.1 b

^cMean separation within columns by duncan's multiple range test at 5% level.

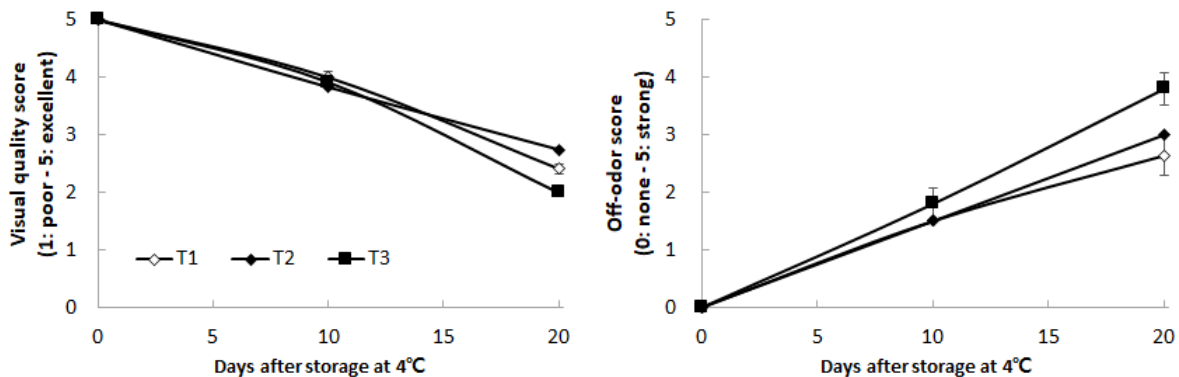


Fig. 3. Changes of visual quality and off-odor score in asparagus treated with three different types of packages during 20 days of storage at 4°C(T1: 6kg Box, T2: 6kg Box + MAP, and T3: 100g + MAP). All the values are expressed at the means \pm SD (n=5).

Table 2. The population of aerobic bacteria, *Escherichia coli*, and yeast and mold of asparagus treated with three different types of package and stored for 10 and 20 days at 4°C.

	Aerobic count (log CFU/g)		<i>E.coli</i> (log CFU/g)		Yeast and mold (log CFU/g)	
	10 days	20 days	10 days	20 days	10 days	20 days
Initial	6.26 ± 0.24 ^c		-		-	
6kg Box	6.83 a	8.70 a	-	6.50 a	-	-
6kg Box + MAP	4.00 a	7.56 b	-	2.10 b	-	-
100g + MAP	2.16 a	8.70 a	-	7.66 a	-	-

^cMean separation within columns by duncan's multiple range test at 5% level.

던 6kg 상자포장에 비해 MA 처리구에서 총 세균과 대장균 생장 억제를 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해보면, 대용량 6kg 박스를 10,000cc OTR 필름으로 포장할 경우 포장 내 이산화탄소 농도가 아스파라거스 CA 조건과 부합하였고, 감도가 억제되는 등 외관상 품질 유지에 효과적이었다.

적 요

저장 중 생체중 감소율은 MAP 처리구들은 0.5% 이하의 낮은 수치를 보였으며, 무포장 대조구의 경우 저장 종료일 3%에 육박하였으나, 아스파라거스 최대 생체중 감소 허용량보다는 낮았다. 포장 내 이산화탄소 농도는 동일한 필름을 사용하였으나 포장 단위에 따라 크게 차이를 보였는데, 소포장 MA 처리구는 3% 내외를 유지하였고 6kg 박스 MAP 처리구는 최대 12%까지 증가하였다. 포장 내 에틸렌 농도는 MA 저장한 100g과 6kg 포장 모두 저장 직후 3일까지 급속히 증가하였다가 이후 감소하여 저장 종료일까지 $5\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 수준을 유지하였다. 저장 중 패널테스트로 조사한 외관상 품질은 저장 15일째부터 처리에 따른 차이가 나타나 종료일에 6kg 박스 MA 처리구가 가장 양호하였고, 소포장 MA 처리구가 가장 낮았다. 이 취는 소포장 MA가 가장 높았으며, 6kg 박스 대조구가 가장 낮았다. 경도의 경우 처리에 따른 차이에 통계적 유의성은 나타나지 않았는데, 화두는 소포장 처리구, 줄기는 6kg 박스 MA 처리구가 가장 높았다. 저장 종료일의 전해질 용출량은 소포장 MA 처리구가 가장 낮았으며 6kg 박스 대조구가 가장 높았다. 화두와 줄기의 Hue angle은 모두 저장 기간이 길어짐에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 처리구간의 차이가 나타나지 않았다. 저장 10일째 총 세균수는 소포장 MA 처리구가 가장 낮았으나, 종료일인 20일째에는 모든 처리구에서 유사하게 나타났다. 대장균수는 10일째 모든 처리구에서 검출되지 않았으나, 20일째에는 6kg 박스 MA 처리구가 가장 낮았으며 곱팡이는 저장기간 모든 처리구에서 관찰되지 않았다.

추가 주제어: 경도, 외관상 품질, 저장 기간, 총 세균수

사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 수출전략기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(114092-03, 117035-3)

Literature Cited

- Ahn, G.H., W.D. Song, D.S. Park, Y. Lee, D.S. Lee, and S.J. Choi. 2001. Package atmosphere and quality as affected by modified atmosphere conditions of persimmon (*Diospyros kaki*. cv. Fuyu) fruits. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 33:200-204.
- Baek, J.P., H.J. Lee, I.L. Choi, H.J. Jung, J.S. Son, I.S. Kim, C.S. Jeong, and H.M. Kang. 2013. Effect of temperature and gas permeability of functional packing films on storability of fresh-cut *Salicornia herbacea* classified by size. *Protected Hort. Plant Fac.* 22:175-181.
- Baxter, L. and L. Waters. 1991. Quality changes in asparagus spears stored in a flow-through CA system or in consumer packages. *HortScience.* 26:399-402.
- Blakistone, B.A. 1998. Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods. Blackie Academic and Professional, United kingdom.
- Chang, M.S. and G.H. Kim. 2015. Combined effect of hot water dipping and vacuum packaging for maintaining the postharvest quality of peeled taro. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56:662-668.
- Choi, I.L., J.P. Baek, and H.M. Kang. 2013a. Effect of non-perforated breathable films on the storability of sprout vegetables in modified atmosphere condition. *Protected Hort. Plant Fac.* 22:167-174.
- Choi, I.L., J.S. Yoon, H.S. Yoon, K.Y. Choi, I.S. Kim, and H.M. Kang. 2017. Effects of carbon dioxide fertilization on the quality and storability of strawberry 'Maehyang'. *Protected Hort. Plant Fac.* 26:140-145.
- Choi, I.L., S.M. Hong, M.J. Jung, J.P. Baek, and H.M. Kang.

2014. Effect of non-perforated breathable films on the storability of 'Fuji' apples in modified atmosphere condition in the different storage temperature. *Protected Hort. Plant Fac.* 23:60-64.
- Choi, I.L., T.J Yoo, and H.M. Kang. 2015. UV-C treatments enhance antioxidant activity, retain quality and microbial safety of fresh-cut paprika in MA storage. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 56:324-329.
- Choi, I.L., Y.B. Lee, I.S. Kim, J.P. Baek, and H.M. Kang. 2013b. Effect of several treatments on chilling injury of paprika fruits during low temperature storage. *Prot. Hortic. Plant Fact.* 22:427-431.
- Economou, T., N. Pournis, A. Ntzimani, and I.N. Savvaidis. 2009. Nisin-EDTA treatments and modified atmosphere packaging to increase fresh chicken meat shelf-life. *Food Chem.* 114:1470-1476.
- Garipey, Y., G.S.V. Raghavan, F. Castaigne, J. Arul, and C. Willemot. 1991. Precooling and modified atmosphere storage of green asparagus. *J. Food Process Pres.* 15:215-224.
- Kader, A.A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops* (3rd ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, USA.
- Kang, H.M., K.W. Park, and I.S. Kim. 2005. Effects of postharvest heat treatment on alleviation chilling injury and improvement storability of oriental melon. *Protected Hort. Plant Fac.* 14:137-143.
- Kang, H.M., K.S. Kim, B.S. Kim, S.G. Kim, I.S. Kim, Y.G. Goo, N.I. Park, Y.R. Yong, J.K. Lee, H.T. Seo, S.J. Cheon, and S.J. Hong. 2018. *Asparagus*. Worldscience Co., Seoul, Korea.
- Kays, S.J. and E.R. Paull. 2004. *Postharvest Biology*. Exon Press, Athens, GA, USA.
- Kim, J.Y., S.J. Han, I.L. Choi, J.S. Yoon, Y.H. Moon, S.M. Kim, and H.M. Kang. 2018. Effects of OTR film type on the quality of *Lepidium sativum* L. baby leaf vegetable during MA storage. *Prot. Hortic. Plant Fact.* 27:180-184.
- Lee, J.H., J.W. Choi, E.H. Chang, I.S. Shin, and Y.P. Hong. 2018. Quality changes in mushroom (*Agaricus bisporus*) due to storage temperature and packing film. *Korean J. Food Preserv.* 25:742-753.
- Lee, J.S. 2015. Quality characteristics, carbon dioxide, and ethylene production of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) treated with 1-Methylcyclopropene and 2-Chloroethylphosphonic acid during storage. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 33:675-686.
- Lee, K.A., Y.A. Lee, and I.S. Park. 2009. Sanitation effect of sprouts by chlorine Water. *Journal of Life Science.* 19:751-755.
- Lee, Y.C. 1981. Effect of controlled atmosphere storage on quality of harvested asparagus. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 13:25-29.
- Liu, Z.Y. and W.B. Jiang. 2006. Lignin deposition and effect of postharvest treatment on lignification of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.). *Plant Growth Regul.* 48:187-193.
- Meredith, H., V. Valdramidis, B.T. Rotabakk, M. Sivertsvik, D. McDowell, and D.J. Bolton. 2014. Effect of different modified atmospheric packaging (MAP) gaseous combinations on *Campylobacter* and the shelf-life of chilled poultry fillets. *Food Microbiol.* 44:196-203.
- Park, K.W., H.M. Kang, and C.H. Kim. 2000. Comparison of storability on film sources and storage temperature for fresh Japanese mint in MA storage. *Protected Hort. Plant Fac.* 9:40-46.
- Rural Development Administration, 2016. Revenue model for asparagus production in highland area in Korea. Gangwondo Agricultural Research and Extension Services.
- Seong, K.C., C.H. Kim, J.S. Lee, Y.C. Eum, and D.K. Moon. 2012. Determination of optimum heating date for off-season production of *Asparagus (Asparagus officinalis* L.). *Protected Hort. Plant Fac.* 21:276-280.
- Siomos, A.S., E.M. Sfakiotakis, and C.C. Dogras. 2000. Modified atmosphere packaging of white asparagus spears: composition, color and textural quality responses to temperature and light. *Sci. Hort.* 84:1-13.
- Sohn, I.B., Y.C. Noh, S.C. Choi, D.K. Ko, J. Lee, and Y.J. Choi. 2008. Femtosecond laser ablation of polypropylene for breathable film. *Appl. Surf. Sci.* 254:4919-4924.
- Yi, J., H. Feng, J. Bi, L. Zhou, M. Zhou, J. Cao, and J. Li. 2016. High hydrostatic pressure induced physiological changes and physical damages in asparagus spears. *Postharvest Biol. Technol.* 118:1-10.
- Yoon, H.S., I.L. Choi, J.P. Baek, and H.M. Kang. 2016a. Effects of 1-MCP and MA storage treatments for long-term storage of asparagus spears. *Protected Hort. Plant Fac.* 25:118-122.
- Yoon, H.S., I.L. Choi, G.E. Choi, S.J. Han, J.Y. Kim, and H.M. Kang. 2016b. Influence of different stem diameters on qualities of asparagus during storage. *J. Agri. Life Environ. Sci.* 29:53-59.
- Yoon, H.S. and H.M. Kang. 2017. Influence of several pretreatments and modified atmosphere packaging on toughness and quality of asparagus spears during storage. *Hortic. Sci. Technol.* 35:717-726.
- Yoon, H.S., I.L. Choi, and H.M. Kang. 2017. Different oxygen transmission rate packing films during modified atmosphere storage: effects on asparagus spear quality. *Hortic. Sci. Technol.* 35:314-322.
- Zeng, D.W., K.C. Yung, and C.S. Xie. 2002. XPS investigation of the chemical characteristics of Kapton films ablated by a pulsed TEA CO₂ laser. *Surf. Coat. Technol.* 153:210-216.
- Zhang, P., M. Zhang, S. Wang, and Z. Wu. 2012. Effect of 1-methylcyclopropene treatment on green asparagus quality during cold storage. *Int. Agrophys.* 26:407-411.