

산소투과도를 달리한 MA 필름으로 포장한 딸기 '매향'의 모의 수출 조건에서 품질 고찰

윤혁성¹ · 최인이^{1,2} · 한수정¹ · 김주영¹ · 최가은¹ · 윤재수¹ · 강호민^{1,2*}

¹강원대학교 원예 · 시스템공학부 원예과학전공

²강원대학교 농업생명과학연구원

Study on Strawberry 'Maehyang' Qualities Packed with MA film of Different Oxygen Transmission Rate during Simulated Export Distribution Conditions

Hyuk Sung Yoon¹, In-Lee Choi^{1,2}, Su Jung Han¹, Ju Young Kim¹,
Ga Eun Choi¹, Jae Su Yoon¹, and Ho-Min Kang^{1,2*}

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

²Agricultural and Life Science Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract This study was conducted to determine types of oxygen transmission rate (OTR) films suitable for modified atmosphere (MA) storage treatment of strawberries (cv. 'Maehyang') for export and examination related changes in quality of strawberries during simulated shipping distribution conditions (2°C for 10 days~8°C for 11 days). Strawberries were packed by 1,300, 10,000, 20,000, and 30,000 cc/m²-day-atm OTR films for MA storage treatment and perforated film as the control for MAP. Fresh weight loss rate was less than 0.5% in OTR films except for the perforated film. Carbon dioxide and oxygen content in packages prevailed in permissible range for strawberries under recommended CA/MA conditions (i.e., CO₂: 15~20%, O₂: 5~10%) at 10,000 cc, 20,000 cc, and 30,000 cc OTR films. Ethylene content in OTR films did not reveal significant differences during storage. The 1,300 cc OTR film revealed highest off-flavor and lowest fungal incidence rate by sensory evaluation. The firmness, soluble solids, and visual quality were preserved the highest at 10,000 cc OTR film. In conclusion, 10,000 cc OTR film preserved the highest quality and extended shelf-life by 13 days if compared with conventional distribution conditions.

Keywords Carbon dioxide, Fungal incidence, High oxygen transmission rate film, Off-flavor, Visual quality

서 론

딸기는 고소득 작물로써 대부분 시설에서 재배되고 있으며²⁾, 수출량이 약 3,063톤(2014년)에 달한다¹⁴⁾. 특히 딸기 품종 'Maehyang'은 높은 저장성과 동남아시아 소비자의 높은 선호도로 수출용 딸기로 이용되고 있다^{4,15,16)}. 현재 동남

아시아로의 국내 딸기 수출은 선박 수송 시 최종 소비자까지 도달하는데 최대 10일 이상의 시일이 소요된다⁴⁾. 이러한 이유로 10일 이상의 품질 유지를 위한 수확 후 관리 기술이 요구된다. 이러한 딸기의 저장성 향상을 위해 controlled atmosphere(CA) 저장²²⁾과 modified atmosphere(MA) 저장¹³⁾, 그리고 저장 전 고농도 이산화탄소 처리⁵⁾ 등의 다양한 연구가 진행됐다. 이 중 처리 비용이 저렴하고 유통 현장에 적용이 편리한 MA 저장 처리는 딸기의 품질 유지에 효과적이나, 호흡으로 인한 포장 내 저 산소에 따른 이취 발생들의 피해가 발생한다고 하였다¹⁹⁾. 이처럼 호흡률이 높은 작물에 단점을 보이는 MA 저장 기술을 보완하기 위해 필름의 산소

*Corresponding Author : Ho-Min Kang
Division of Horticulture and Systems Engineering, Program of Horticulture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
Tel : +82-33-240-6425 Fax : +82-33243-6620
E-mail : hominkang@kangwon.ac.kr

투과율을 향상시키는 기술 개발이 진행되어 왔는데²⁴⁾, Sohn 등²⁰⁾은 785 nm의 레이저를 10^{-15} 초 간격으로 조사하여 비친공인 상태로 필름의 산소투과율을 5,000 cc에서 50,000 cc/m²·day·atm까지 조절하는 기술을 보고하였다. 또한, 최근 들어 이러한 기술로 생산한 고 산소투과율(OTR) 필름을 이용한 MA 저장 처리로 새싹채소³⁾ 및 아스파라거스²³⁾에서 저장성이 향상되었다고 보고하였다.

이에 본 연구는 모의 선박 수출 조건에서 딸기 ‘Maehyang’의 MA 저장 처리에 적합한 OTR 필름 구멍과 필름의 산소투과율에 따른 품질 변화를 비교하기 위해 실시하였다.

재료 및 방법

경상남도 진주에서 재배한 딸기(cv. ‘Maehyang’)를 수출용 숙기인 60% 착색에서 수확하여 실험에 사용하였다. MA 저장 처리를 위해 polypropylene(PP) 필름을 레이저로 가공하여 산소투과율이 10,000, 20,000, 그리고 30,000 cc/m²·day·atm인 고 산소투과율 (OTR) 필름(Dae Ryung precision packaging industry Co., Ltd, Korea)을 사용하였고, 레이저 가공을 하지 않은 1,300 cc 필름과 관행 유통 형태인 유공 필름 포장지에는 지름 0.5cm의 구멍을 25/cm 당 한 개씩 뚫은 PP 필름을 이용하였다. 모든 실험구는 모의 싱가포르 선박 수출 조건을 적용하여 2°C(10일)~8°C(현지 유통), 상대습도 85% 조건으로 저장하였다. 생체중 감소율은 감소하는 중량을 백분율로 표시하였다. 포장 내 이산화탄소와 산소 농도는 infrared sensor(Checkmate, PBI, Denmark), 에틸렌 농도는 gas chromatography(GC-2010, Shimadzu, Japan)를 이용하여 측정하였다¹⁷⁾.

색도는 딸기의 과육을 색차계(CR-400, Minolta, Japan)로 측정하여 hue angle 값으로 표현했다. 경도는 rheometer (Compac-100 II, Sun scientific, Japan)를 사용하였고, 이때 측정 조건은 Ø 5.0mm probe를 이용하여 50mm·min⁻¹속도로 측정하였다. 당도는 굴절당도계(PAL-1, Atago, Japan)로 측정하여 Brix로 나타내었다. 외관상 품질과 이취는 Rhee 등¹⁸⁾의 방법을 참고하여 5명의 숙련된 패널에 의한 관능평가로 조사하였으며, 1부터 5까지 등급으로 평가하였다. 외관상 품질의 등급의 경우 가장 좋은 상태를 5점, 판매 가능 상태를 3점, 그리고 완전폐기 상태를 1점으로 하였다. 이취의 평가 등급은 이취가 발생하지 않는 수준을 0점, 이취가 매우 많이 발생하는 수준을 4점으로 하였다. 곰팡이 발생률은 포장 처리구에 대해 곰팡이가 발생한 시료 개체수를 백분율(%)로 나타냈다. 실험 결과 통계분석은 Microsoft Excel 2013 program을 이용하여 표준편차로 표현하였고, 또한 SPSS statistics 21 program을 이용하여 던컨의 다중범위검정으로 분석하였다.

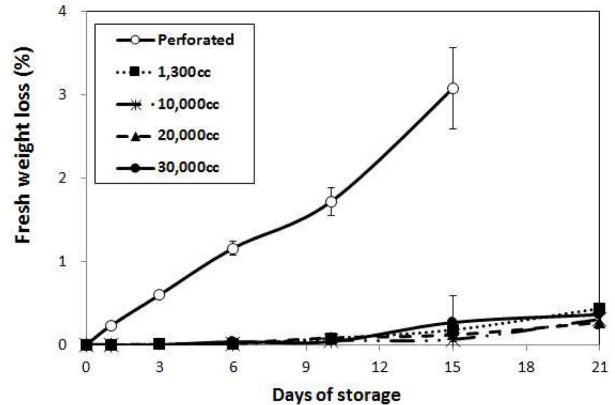


Fig. 1. Changes in fresh weight loss rate of strawberry ‘Maehyang’ packaged with several oxygen transmission rate (OTR) film treatments (from 1,300 to 30,000 cc/m²·day·atm) for MA storage for 21 days and the perforated film for 15 days. Vertical bars represent \pm SD (n=5).

결과 및 고찰

딸기의 생체중 감소율은 유공 필름에서 3.0% 내외이었고, 모든 MA 저장 처리는 0.5% 미만을 보였는데, 처리 간 산소투과율에 따른 차이를 보이지 않았다(Fig. 1). 딸기와 같은 장미과인 블랙베리(blackberry)의 저장 중 최대 허용 생체중 감소율은 6.0%로 알려져 있어¹¹⁾, 본 실험의 모든 저장 처리에서 저장 중 수분 손실로 인한 딸기의 품질저하는 없었던 것으로 판단된다. 또한 MA 저장 처리는 생체중 감소율이 관행 유통 처리인 유공 필름보다 매우 낮았는데, 이는 MA 포장 내 높은 상대습도가 증산을 억제하였기 때문이다⁶⁾.

저장 중 필름 포장 내 가스 농도 측정은 MA 저장 처리에서만 측정하였다. 저장 중 포장 내 이산화탄소 농도는 1,300 cc OTR 필름에서 저장 10일 이후 40% 이상의 농도를 저장 종료일까지 유지하였고, 나머지 처리에서는 15~25%의 농도를 유지하였다(Fig. 2A). 포장 내 산소 농도는 저장 1일차에 감소하였는데 가장 낮은 농도를 보인 1,300 cc OTR 필름에서 저장 10일 이후 0%를 보였고, 나머지 처리는 저장 중 5~7%의 농도를 유지하였다(Fig. 2B). 저장 10일차 이후 이산화탄소 및 산소농도 변화가 컸는데, 이는 선박 유통(2°C) 이후 8°C 조건에 따른 결과라고 판단된다. 일반적으로 딸기 저장에 적합한 CA/MA 조건은 이산화탄소 15~20%, 산소 농도 5~10%로 알려져 있는데¹⁰⁾, 본 실험에서는 레이저 가공으로 인한 산소투과율의 조절의 효과로 저장종료일까지 4% 이상의 산소 농도를 꾸준히 유지하였다. 에틸렌 농도는 OTR 필름의 산소투과율에 따른 처리간 차이를 보이지 않았고, 저장 3일차까지 증감하였다가 그 이후에 급격히 증가하여 저장이 진행됨에 따라 점차 감소하여 저

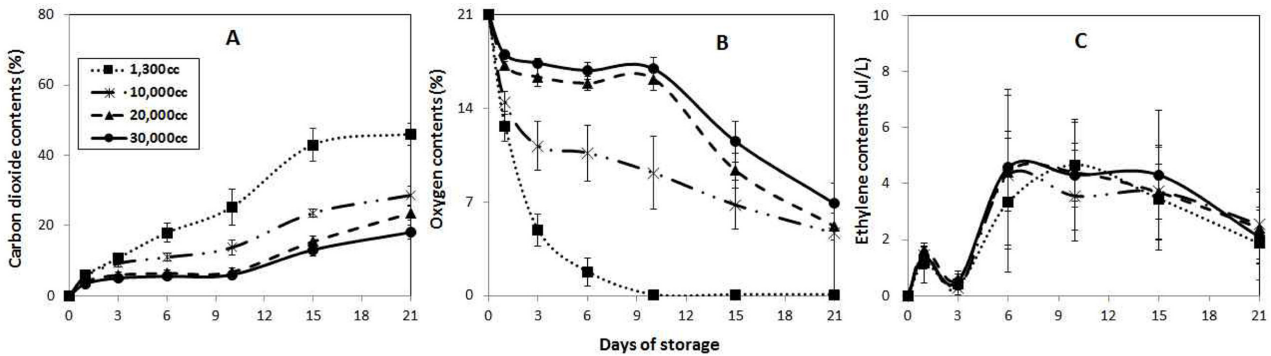


Fig. 2. Changes in carbon dioxide (A), oxygen (B), and ethylene (C) concentration of strawberry ‘Maehyang’ packaged with several oxygen transmission rate (OTR) film treatments (from 1,300 to 30,000 cc/m²·day·atm) for MA storage for 21 days. Vertical bars represent ± SD (n=5).

장 종료일에는 모든 처리가 약 2.0 μL/L수준을 보였다(Fig. 2C). Li와 Kader⁸⁾은 이산화탄소 농도의 증가로 에틸렌 발생량은 감소한다고 했으나, Song 등²¹⁾은 이산화탄소 처리와 에틸렌 발생과는 특별한 연관성이 없다고 하였다. 또한 기존의 딸기는 에틸렌 발생이 적고 민감도도 낮다고 보고되었다¹⁰⁾.

저장 종료일에 조사한 이취는 저장방법으로 비교하였을 때, 유공 필름에서 가장 높았다. 이는 저장종료일에 관찰된 과육 부분의 무름 증상(data not shown)과 곰팡이가 원인이라 판단된다. Cho 등¹⁾은 브로콜리에서 무름 증상 및 부패 진행으로 인하여 이취발생에 영향을 미친다고 하였다. MA 저장에서 부적합한 필름을 적용하였을 경우 저장 후반부에 높아지는 이취 발생이 문제인데¹⁰⁾, 산소투과율이 가장 낮았던 1,300 cc OTR 필름에서 가장 많은 이취가 발생하였다. 본 실험에서는 10,000 cc, 20,000 cc, 그리고 30,000 cc OTR 필름에서 이취 발생이 억제되었는데, 저장 기간 동안의 산소농도가 5% 이상을 유지하여 무기호흡¹¹⁾이 발생하지 않았고 무름 증상 등 품질 저하가 발생하지 않았기 때문이라 판단된다. 저장종료일의 경도는 저장방법별로 비교하였을 때, MA 저장 처리가 다소 높았고, 10,000 cc OTR 필름에서 가장 높았다. 이는 저장 중 필름 포장 내 고이산화탄소 조건으로 인한 효과라고 판단된다. 딸기의 이산화탄소 처리 시 세포와

세포 사이 응집력의 증가하는데, 수용성 펙틴 물질이 감소하여 펙틴 중간 박막층의 강도가 증가됐다고 보고하였다¹²⁾. 당도는 10,000 cc OTR 필름에서 가장 높았고, 유공 필름에서 가장 낮았다. 이는 MA 저장 처리가 적정 CA/MA 조건으로 인하여 호흡이 억제되어 당 소모가 적었기 때문이라 사료된다. 저장 중 과육의 색변화 정도를 알아보기 위해 딸기 과육의 hue angle 값을 조사하였는데, 유공 필름보다 모든 OTR 필름에서 높은 수치를 보였다. 이는 MA 저장 처리로 포장 내 이산화탄소 농도 증가 및 산소 농도의 감소에 따른 anthocyanin의 안정성 증대와 갈변의 억제에 따른 결과라 판단된다¹³⁾. 곰팡이 발생률은 유공 필름에서 58%로 가장 높았고, 1,300 cc OTR 필름에서는 전혀 발생하지 않았다(Table 1). 이는 저장 기간 중 포장내 고농도 이산화탄소가 곰팡이 증식을 억제하였기 때문이라 판단되는데, Hwang 등⁹⁾도 수확한 딸기를 고농도 이산화탄소에 노출하였을 때 부패균 증식이 억제된다고 하였다.

저장 기간에 조사한 외관상 품질은 OTR필름 내에서는 통계적 차이를 보이지 않았으나, 10,000 cc OTR 필름은 가장 높았으며, 유공 필름은 8일 이후 판매가능 점수인 3점 이하로 평가되었다. 외관상 품질이 3점 이상이 유지되었던 날짜로 계산한 저장수명의 경우 10,000 cc OTR 필름은 21일인

Table 1. The sensory test of off-flavor, firmness, soluble solid, hue angle and fungal incidence of packaged with several oxygen transmission rate (OTR) film treatments (from 1,300 to 30,000 cc/m²·day·atm) for MA storage for 21 days and the perforated film for 15 days

Treatments	Off-flavor	Firmness (N)	Soluble solid (°Brix)	Hue angle (°)	Fungal incidence (%)
Perforated	3.75 a ²	4.20 a	7.48 c	34.5 b	58
1,300cc	3.67 a	5.12 a	8.40 ab	42.9 a	0
10,000cc	3.17 b	5.28 a	8.88 a	41.9 a	8
20,000cc	3.17 b	5.04 a	8.56 ab	43.4 a	25
30,000cc	3.22 b	5.22 a	8.16 b	43.5 a	29

²Mean separation within columns of treatments by DMRT at 5% level.

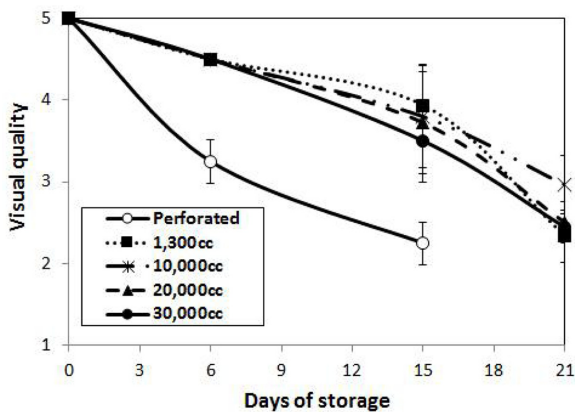


Fig. 3. Changes in visual quality of strawberry 'Maehyang' packaged with several oxygen transmission rate (OTR) film treatments (from 1,300 to 30,000 cc/m²·day·atm) for MA storage for 21 days and the perforated film for 15 days. Vertical bars represent \pm SD (n=5).

반면 관행 유통 조건인 유공 필름처리에서는 8일에 불과하였다(Fig. 3). 유공 필름의 경우 높은 생체중 감소율(3%), 색 변화, 그리고 곰팡이 발생이 품질 감소의 원인으로 판단된다⁷⁾. 이에 반해 적정 CA/MA 조건을 보인 10,000 cc OTR 필름은 딸기의 외관 품질 저하의 요인인 색변화 및 곰팡이 발생 억제로 13일의 저장 수명 연장 효과를 보였다.

이상의 결과를 종합해보면 선박 유통 조건에서 딸기는 10,000 cc OTR 필름으로 포장할 때, 적정 CA/MA 조건이 유지되어 생체중, 색변화, 당도, 이취, 곰팡이 발생의 억제, 그리고 외관상 품질이 유지되어 기존의 유공 포장 처리보다 저장 수명을 13일 정도 연장할 수 있었다. 이에 'Maehyang' 딸기의 MA 저장 처리는 수출시 저장성 향상에 효과가 있다고 판단된다.

요 약

본 연구는 딸기(cv. 'Maehyang')의 모의 선박 수출 온도 조건(2°C(10일)~8°C(11일))에서 MA 저장에 적합한 고 산소 투과율(OTR) 필름 종류 구명과 이에 따른 품질 변화를 알아보기 위해 실시하였다. MA 저장 처리는 산소투과율이 각각 1,300, 10,000, 20,000, 그리고 30,000 cc/m²·day·atm OTR 필름으로 하였고, 관행 유통 처리는 유공 필름으로 포장한 대조구로 두었다. 저장 중 생체중 감소율은 유공 필름을 제외한 모든 MA 저장 처리에서 0.5% 미만이었다. 포장 내 이산화탄소와 산소 농도는 10,000 cc, 20,000 cc, 그리고 30,000 cc OTR 필름에서 딸기의 적정 CA/MA 조건(이산화탄소 15~20%, 산소 농도 5~10%)을 유지하였다. 에틸렌 농도는 처리간 차이를 보이지 않았다. 이취는 1,300 cc OTR

필름은 관능 평가를 통해 높은 이취와 가장 낮은 곰팡이 발생률을 보였다. 경도, 당도, 그리고 외관상 품질은 10,000 cc OTR 필름에서 가장 높게 유지되었다. 결론적으로, 10,000 cc OTR 필름은 가장 높은 품질과 관행 유통 조건보다 저장 수명을 13일 정도 연장할 수 있었다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 수출전략기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(314027-03).

참고문헌

1. Cho, M. A., Hong, Y. P., Choi, J. W., Won, Y. B., and Bae, D. H. 2009. Effect of packaging film and storage temperature on quality maintenance of broccoli. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 27: 128-139.
2. Choi, H. G., Moon, B. Y., Kang, N. J., Ko, D. W., Kwon, J. K., Lee, J. H., and Park, K. S. 2016. Analysis on growth and yield of cherry tomato grown in a two-story bed system adapted to strawberry cultivation as affected by the planting time during the uncultivated period. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 34: 228-235.
3. Choi, I. L., Baek, J. P., and Kang, H. M. 2013. Effect of non-perforated breathable films on the storability of sprout vegetables in modified atmosphere condition. *Prot. Hort. Plant Fact.* 22: 167-174.
4. Choi, I. L., Yoon, J. S., Yoon, H. S., Choi, K. Y., Kim, I. S., and Kang, H. M. 2017. Effects of carbon dioxide fertilization on the quality and storability of strawberry 'Maehyang'. *Prot. Hort. Plant Fact.* 26: 140-145.
5. Harker, F. R., Elagr, H. J., Watkin, C. B., Jackson, P. J., and Hallett, I. C. 2000. Physical and mechanical changes in strawberry fruit after high carbon dioxide treatments. *Postharvest Biol. Technol.* 19: 139-146.
6. Lee, S. K. 1996. *Postharvest physiology of horticultural crops.* Postharvest Horticulture, Sungkyunsa.
7. Lee, S. M., Park, I. S., Chung, D. S., Jeong, C. S., and Lee, Y. S. 2014. Current postharvest management and packaging technology of strawberries in Korea. *J. Korean Soc. Packag. Sci. Technol.* 20: 17-24.
8. Li, C. and Kader, A. A. 1989. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 629-634.
9. Hwang, Y. S., Kim, Y. A., and Lee, W. S. 1999. Effect of postharvest CO₂ application time on the flesh firmness and quality in 'Nyoho' strawberries. *J. Korean Soc. Hort. Sci.* 40: 179-182.
10. Kader, A. A. 2002. *Postharvest technology of horticultural crops.* 3rd Ed. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. USA.

11. Kays, S. J. and Paull, E. R. 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens, GA.
12. Kim, J. G., Choi, J. W., and Park, M. H. 2016. Effect of different days of postharvest treatment and CO₂ concentrations on the quality of 'Seolhyang' strawberry during storage. Korean J. Food Preserv. 23: 12-19.
13. Kim, J. K., Moon, K. D., and Sohn, T. H. 1993. Effect of PE film thickness on MA (modified atmosphere) storage of strawberry. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 22: 78-84.
14. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corp. (aT). 2015. Import & export statistics.
15. Korea Rural Economic Institute (KREI). 2010. Agricultural outlook. 198-210.
16. Ministry for food, agriculture, forestry and fisheries (MIFAFF). 2010. Annual report of greenhouse vegetable product.
17. Park, K. W., Kang, H. M., and Kim, C. H. 2000. Comparison of storability on film sources and storage temperature for fresh Japanese mint in MA storage. J. Bio-Environ. Cont. 9: 40-46.
18. Rhee, J. K., Yu, J. H., Kim, M. K., and You, Y. S. 2016. Characterization of shelf life extension packaging material for food and fresh cut agricultural product: A review. J. Korean Soc. Packag. Sci. Technol. 22: 119-125.
19. Shin, Y., Ryu, J. A., Liu, R. H., Nock, J. F. Polar-Cabrera, K., and Watkins, C.B. 2008. Fruit quality, antioxidant contents and activity, and antiproliferative activity of strawberry fruit stored in elevated CO₂ atmospheres. J. Food Sci. 73: 339-344.
20. Sohn, I. B., Noh, Y. C., Choi, S. C., Ko, D. K., Lee, J., and Choi, Y. J. 2008. Femtosecond laser ablation of polypropylene for breathable film. Appl. Surf. Sci. 254: 4919-4924.
21. Song, J. C., Park, N. K., Chung, W. K., and Lee, S. Y. 1995. Studies on post-harvest physiology and storability of strawberry with controlled CO₂ concentrations. RDA J. Agri. Sci. 37: 687-695.
22. Yang, Y. J. and Lee, K. A. 1999. The changes of acetaldehyde, ethanol and firmness during CA storage of strawberries. J. Korean Soc. Hort. Sci. 40: 303-305.
23. Yoon, H. S., Choi, I. L., Baek, J. P., and Kang, H. M. 2016. Effects of 1-MCP and MA storage treatments for long-term storage of asparagus spears. Prot. Hort. Plant. Fact. 25: 118-122.
24. Zeng, D. W., Yung, K. C., and Xie, C. S. 2002. XPS investigation of the chemical characteristics of Kapton films ablated by a pulsed TEA CO₂ laser. Surf. Coat. Technol. 153: 210-216.

투고: 2017.05.29 / 심사완료: 2017.07.06 / 게재확정: 2017.07.26