

항균성 플라스틱 필름을 이용한 딸기의 환경기체조절포장

정순경 · 조성환 · 이동선*

경상대학교 식품공학과, *경남대학교 식품공학과

Modified Atmosphere Packaging of Fresh Strawberries by Antimicrobial Plastic Films

Sun Kyung Chung, Sung Hwan Cho and Dong Sun Lee*

Department of Food Science and Technology, Gyeongsang National University

*Department of Food Engineering, Kyungnam University

Abstract

Low density polyethylene (LDPE) films incorporated with 1% antimicrobial agents of *Rheum palmatum* extract, *Coptis chinensis* extract, and Ag-substituted inorganic zirconium matrix, were applied to modified atmosphere packaging of 200 g fresh strawberries. Plain LDPE film package, PVC wrap and perforative pinhole package of the film impregnated with 1% *Rheum palmatum* extract were also constructed for comparative purpose. All the packages were stored for 13 days at 5°C and measured in package atmosphere, microbial count and quality attributes of the strawberry fruits. The antimicrobial LDPE films retarded the growth in total aerobic bacteria, lactic acid bacteria and yeast on the fruits, and resulted in significantly lower decay. The degrees of reduced microbial growth and fruit decay in the antimicrobial film packages were more pronounced, when applied by hermetical sealing to produce the modified atmospheres of low O₂ (<4.0%) and CO₂ concentrations with 6.3~9.0%. The hermetically sealed packages of antimicrobial LDPE films also showed better retention of fruit firmness and did not give any negative effect on the physical and chemical qualities of strawberries.

Key words: *Fragaria ananassa*, *Rheum palmatum*, *Coptis chinensis*, Ag-substituted inorganic zirconium matrix, package atmosphere

서 론

딸기(*Fragaria ananassa* Duch.)는, 호흡속도가 높고 곰팡이에 의한 부패를 잘 받으며 육질이 연하기 때문에 수확후 품질저하가 심하고 저장가능기간이 아주 짧다⁽¹⁾. 빠른 부패변질을 억제하기 위하여 수확후 빠른 냉각과 저온의 유지가 필수적으로 요구된다^(2,3). 또, 저장고나 포장 내에 저산소 및 고이산화탄소 농도를 유지함에 의해 호흡속도와 에틸렌발생을 감소시키고 부패와 연화를 억제할 수 있음이 여러 연구자에 의하여 보고되고 있다^(4,5). 딸기와 같은 호흡을 하는 원예산물을 적절한 기체 투과도를 갖는 플라스틱 필름으로 포장함에 의해서 요구되는 저산소 및 고이산화탄소 농

도를 포장내에 유지할 수 있으며⁽⁶⁾, 이는 저장성을 향상시킬 수 있을 것으로 전망된다.

또한, 비교적 최근에 항균제를 첨가한 포장필름을 이용하여 과채류를 포장함에 의하여 미생물에 의한 부패를 억제하는 연구가 이루어지고 있다^(11,12). 포장에 첨가된 항균제나 보존제가 포장재와 접촉하는 과채류 표면에 지속적으로 작용하여 부패 미생물의 성장 억제에 기여할 것으로 생각된다⁽¹³⁾. 적절한 투과도를 갖는 항균성 플라스틱 필름으로 딸기를 포장하면 포장내에 형성되는 저산소와 고이산화탄소 농도의 변형기체와 항균제의 복합적인 효과에 의하여 그 저장성을 크게 향상시킬 것으로 기대된다. 따라서 본연구에서는 항균제를 함유시킨 플라스틱 필름에 의하여 딸기를 포장함에 의하여 얻을 수 있는 기체조성을 검토하고, 이러한 환경기체조절포장이 저장성 향상에 기여할 수 있는지를 연구하였다.

Corresponding author: Dong Sun Lee, Department of Food Engineering, Kyungnam University, 449, Wolyoung-dong, Masan 631-701, Korea

재료 및 방법

딸기

진주지역의 농가에서 1998년 2월 13일 오후에 수확된 순베리 품종의 딸기를 바로 실험실로 수송하여 하루 저녁 보관한 후 다음날 아침에 부패가 없는 완숙과를 골라서 포장실험에 사용하였다.

항균성 포장필름

항균제로서 대황(*Rheum palmatum*) 추출물 분말, 황련(*Coptis chinensis*) 추출물 분말, 지르코니움계 은치환무기이온교환체(Ag-substituted inorganic zirconium matrix)를 저밀도폴리에틸렌 수지(Grade 5302, 밀도 0.921 g/cc, 한화화학(주), 여천)에 1% 농도로 첨가하여 제조한 두께 50 μm 내외의 항균성 필름⁽¹²⁾을 딸기의 포장에 사용하였다. 동일한 저밀도폴리에틸렌(LDPE) 수지에 아무런 첨가없이 제조한 두께 28 μm 필름을 대조구 필름의 하나로 사용하였다. 그리고 현재 일반적으로 많이 사용되는 스트레치 랩(stretch wrap)용 두께 14 μm 의 PVC 필름(주)럭키, 나주)도 하나의 대조 포장 필름으로 사용하였다. 실험에 사용된 필름의 산소 및 이산화탄소 투과도를 준등압법(isostatic method)⁽¹⁴⁾에 의하여 mL/m² atm hr의 단위로 측정하였다.

딸기의 포장 및 저장

우선 18×13 cm 크기의 폴리스티렌 트레이 위에 같은 넓이로 재단된 항균성 필름 혹은 대조구 LDPE 필름을 간 다음 200±5 g의 딸기를 담았다. 이를 25×22 cm 크기의 항균성 혹은 대조구 저밀도폴리에틸렌 필름 봉지에 넣고 밀봉하여 포장하였다. 항균성 포장에 의한 미생물 억제 효과는 포장필름과 직접 접촉된 부분으로의 항균물질의 이행에 의하여 주로 얻어질 것으로 기대되기 때문에, 본실험에서 사용한 이러한 포장 상태는 가급적 딸기와 포장필름의 증가된 접촉을 위한 것이다. 또 다른 포장처리구로 대황함유 필름의 포장 조건에 대해서 두 개의 직경 0.5 mm의 핀홀을 내어 외부의 통기성을 증가시킨 포장을 세공성 포장으로 제작하였다. 통기성이 있는 보편적인 대조구 포장의 하나로서 같은 크기의 폴리스티렌 트레이에 딸기를 담은 후 PVC 필름으로 밀착되게 스트레치 랩하였다.

분석

포장된 딸기를 5°C 냉장고에서 13일간 저장하면서 포장내 기체조성과 품질변화를 측정하였다. 포장내 O₂ 및 CO₂ 농도는 포장내 기체 1 mL를 취하여 기체

로마토그래프(Hitachi Model 163, Hitachi사, Tokyo, 일본)에 의해서 측정하였다. 통과기체(carrier gas)로는 30 mL/min. 유량의 He를 사용하여 Alltech CTR 1 column (Alltech Associates, Inc., Deerfield, IL 미국)에 의해서 분리된 O₂ 및 CO₂를 열전도도 검출기(thermal conductivity detector)로 정량하였다. 오븐 온도는 40°C, injector 온도는 70°C, 검출기 온도는 90°C로 유지되게 조절하였다.

딸기 표면에서의 미생물수를 측정하기 위하여 딸기의 표피로부터의 깊이 5 mm까지의 과육 5 g을 무작위 3반복으로 취하여 무균적으로 10 mL의 멸균수와 혼합하여 3분간 마쇄하였다. 이 마쇄액을 순차적으로 희석하여 영양배지에 도말배양하였다. 호기성 총균수는 Plate count agar (Difco Laboratories, Detroit, 미국)에서 25°C에서 3일간 배양하였다. 유산균수는 MRS배지(Difco Laboratories, Detroit, 미국)를 사용하여 30°C에서 혐기 용기에서 5일간 배양하였다. 효모수는 시료 용액을 chloroamphenicol을 첨가시킨 PDA 배지(Difco Laboratories, Detroit, 미국)에서 도말하고 25°C에서 5일간 배양하였다. 부패율은 각각의 포장에서 연부현상을 나타내거나 곰팡이가 핀 딸기를 골라서 전체에 대한 개수의 비율로서 표시하였다.

저장중 포장을 개봉한 후 딸기의 무게를 측정하여 초기 중량과의 차이를 중량감소로 정의하고 이를 초기 중량에 대한 백분비로 나타내었다. 딸기의 texture로서 Rheometer Compac-100 (Sun Scientific Co., Japan)에 의하여 직경 5 mm의 원통형 probe에 의해서 종방향으로 이등분된 딸기의 표면을 깊이 10 mm까지 60 mm/min의 속도로 수직으로 관입시킬 때 얻어지는 항복력(yield force)을 측정하고 이를 경도(firmness)로 표시하였다. 가용성 고형분은 굴절당도계(Atago사, 일본)에 의하여 °Bx 농도로 측정하였다. pH는 마쇄된 딸기 즙액에 대하여 pH meter (Model 230A, Orion Research Inc., Boston, MA, 미국)로 측정하였다. 총산은 딸기 5 g을 물 100 mL와 합하여 균질화시킨 후 0.1 N NaOH로서 pH 8.1이 될 때까지 pH meter (Model 230A, Orion Research Inc., Boston, MA, 미국)로 적정하여 구연산%로 나타내었다. 부패율의 측정은 8개 포장에 대해서 행하였고, 다른 모든 실험은 3반복의 시료에 대하여 수행하였다.

결과 및 고찰

포장필름의 기체투과도 및 포장내 기체조성

Table 1에서는 본 실험에 사용된 포장필름의 기체투

Table 1. Gas permeabilities of plastic films used for packaging of strawberries

Film	Thickness (μm)	Gas permeabilities at 5°C (mL/m ² atm hr)	
		O ₂	CO ₂
PVC	14	238.1	1251.9
Plain LDPE	28	89.6	380.0
LDPE with 1% <i>Rheum palmatum</i> extract	55	68.5	304.1
LDPE with 1% <i>Coptis chinensis</i> extract	48	79.9	359.5
LDPE with 1% Ag-substituted inorganic zirconium matrix	50	68.3	305.3

과도를 보여주고 있다. 가장 얇은 PVC wrap 필름이 가장 높은 기체투과도를 가지며, 두께가 50 μm 부근인 항균성 소재 첨가 필름은 O₂ 투과도에서 68~80 mL/m² atm hr의 범위를, CO₂ 투과도에서 304~360 mL/m² atm hr의 범위를 보여주고 있다. 그리고 두께 28 μm인 LDPE 필름은 이보다 약간 낮은 기체투과도를 가지고 있었다.

Fig. 1에서 보여주듯이 PVC wrap 포장은 밀봉포장이 아닌 점으로 인하여 저장 3일 이후에 측정된 기체 조성에서 15% 이상의 높은 O₂ 농도와 2.5~3.7% 범위의 낮은 CO₂ 농도를 보여주고 있다. 대항합유 필름에 핀홀을 낸 세공성 포장도 핀홀에 의한 통기성의 증가로 인하여 저장 13일까지 비교적 높은 10% 이상의 O₂ 농도를 보이나, CO₂ 농도는 시간에 따라 점차 증가하여 저장 13일 후에는 8.4%에 달하였다. 그리고 대조구 LDPE 포장 및 항균성 LDPE 필름 포장구는 저장 3일 이후에 4.0% 이하의 O₂ 농도와 5.4~9.0% 범위의 CO₂ 농도를 나타내어 서로간에 비교적 비슷한 기체조성을 형성시켰다. 밀봉성 포장의 이러한 포장기체조성은 딸기의 저장성에 도움이 되기에는, O₂ 농도는 충분히 낮은 수준이나 CO₂ 농도는 부패변질의 억제에 필요한 20% 수준에 미치지 못하고 있었다^(1,4,6-9). 일반적인 환경기체조절포장의 설계원리를 따를 때, 포장의 표면적을 감소시키거나 포장내의 딸기량을 증가시키면 높은 CO₂ 농도를 얻을 수 있으나, 이 경우 O₂ 농도가 0%에 근접하는 혐기적 조건이 형성되기 때문에 바람직하지 않다⁽¹⁰⁾. 따라서 Fig. 1에서 얻어지는 포장환경은 LDPE계 필름에 의해서 혐기적인 조건을 유발시키지 않으면서 가급적 높은 CO₂ 농도를 달성하는 현실적인 한계로 생각되며, 이가 딸기의 저장성에 약간의 도움을 줄 수 있는 지를 점검하였다.

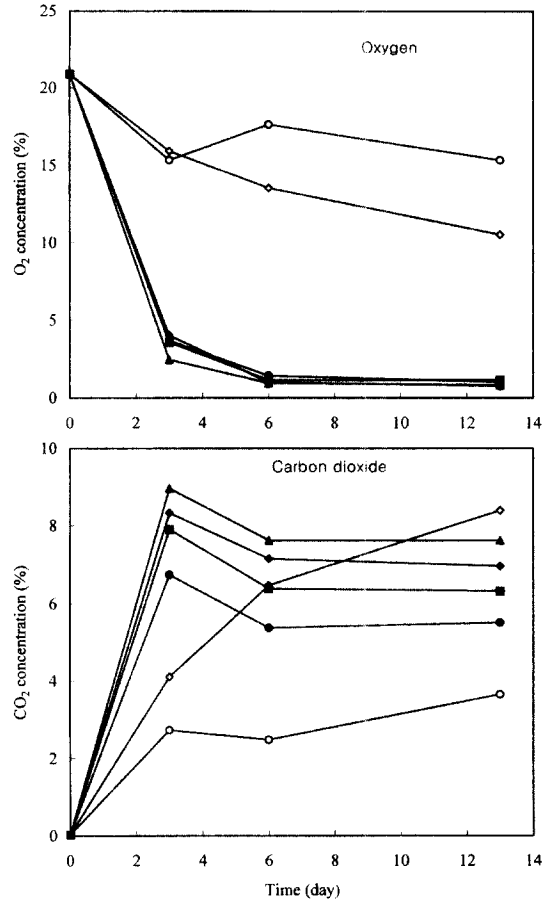


Fig. 1. Gas compositions in the strawberry packages at 5°C. ○—○: PVC wrap, ●—●: Plain LDPE, ▲—▲: LDPE with 1% Ag-substituted inorganic zirconium matrix, ◆—◆: LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ◇—◇: Perforative pinhole package of LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ■—■: LDPE with 1% *Coptis chinensis* extract.

미생물적 품질변화 및 부패율

Fig. 2에서는 여러 조건별로 포장된 딸기에서의 미생물수의 변화를 보여주고 있다. 총균수, 유산균수, 효모수, 모두에서 항균성 LDPE 필름으로 포장된 딸기가 저장 6일 이후에 현저히 낮은 미생물 성장을 보여주고 있다. 대조구 LDPE포장이 밀봉된 항균성 필름(대항합유, 황연합유, 지르코니움계 은치환무기이온교환체합유)의 밀봉 포장구와 비교적 비슷한 기체조성을 보였음에도(Fig. 1) 저장 6일 이후에 현저히 높은 미생물 성장을 보인 점은 항균성 포장의 미생물 억제 효과를 분명히 보여주는 것으로 판단된다. 대항합유 필름을 사용한 세공성 핀홀 포장이 대조구 LDPE 포장에 비해 저장중 높은 O₂ 농도를 유지하면서도(Fig. 1) 현저

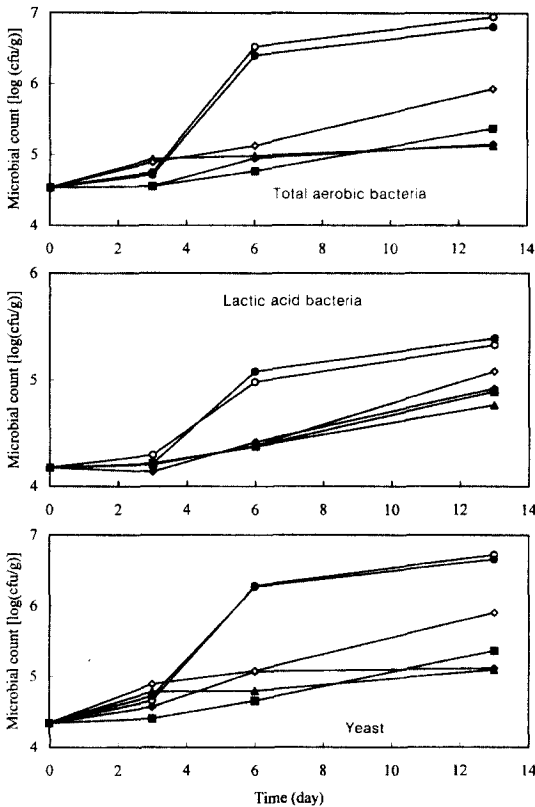


Fig. 2. Changes in microbial counts on the strawberries packaged with different films and stored at 5°C. ○—○: PVC wrap, ●—●: Plain LDPE, ▲—▲: LDPE with 1% Ag-substituted inorganic zirconium matrix, ◆—◆: LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ◇—◇: Perforative pinhole package of LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ■—■: LDPE with 1% *Coptis chinensis* extract.

히 낮은 미생물 성장을 보인 점은, 포장된 딸기의 저장 중 미생물 생육억제의 면에서 항균성 필름이 주는 효과가 크다는 점을 나타내고 있다. 20% 이상의 높은 CO₂ 농도를 갖는 변형기체가 딸기의 저장성을 향상시킨다^(1,4,6-9), 앞에서 언급한 바와 같이 높은 CO₂ 농도를 얻는 LDPE계 필름의 포장조건은 동시에 혐기적인 조건에 가까운 O₂ 농도를 유발시키고, 이는 이취를 발생시킨다^(1,6). 따라서 현실적인 플라스틱 포장에서 2% 이상의 O₂ 농도와 20% 이상의 CO₂ 농도를 동시에 얻을 수 있는 포장조건을 얻는 것이 쉽지 않다. 즉, LDPE계 필름 밀봉포장으로 얻을 수 있는 0.8~4.0%의 O₂ 농도와 5.4~9.0% 범위의 CO₂ 농도의 효과만으로는 호기성 세균, 유산균, 효모와 같은 미생물의 생육억제를 얻기는 어려운 것으로 보인다. 이러한 포장조건의 달성을 위해서는 능동적인 가스치환포장을 적절한 기체투

과도의 필름포장에 도입하여야 하나 이는 현실적으로 어려운 점이 많다. 그 예로 Shamaila 등⁽¹⁵⁾이 딸기에 대해서 가스치환에 의한 능동적인 환경기체조절포장을 시도하였으나 관능적인 품질에서 오히려 열등한 것으로 보고한 바 있다.

저장 6일까지 모든 포장구에서 육안적인 부패는 관찰되지 않았고 관능적 품질에서 비교적 양호한 것으로 평가되었으며 저장 13일에 포장조건에 따른 부패의 차이를 확인할 수 있었다. 항균제를 함유시킨 LDPE 필름을 딸기와 밀착시키는 형태로 포장하면 저장 13일에서 육안적으로 측정된 부패율을 현저하게 낮추어 주었다(Fig. 3). LDPE 밀봉포장도 통기성의 PVC wrap 포장에 비해서 부패율을 유의하게 낮추어 줄 수 있었다. 대항함유 필름을 사용한 세공성 핀홀 포장은 호기성 세균, 유산균, 효모의 성장억제면에서는 필름의 항균성으로 인해 대조구 LDPE 밀봉포장보다 양호하였지만(Fig. 2) 부패율에서는 비슷한 것으로 나타났다. 세공성 핀홀 포장에서는 상대적으로 높은 포장내 산소농도와 낮은 기체변형이 얻어져서, 포장필름의 항균성에도 불구하고 저장 6일 이후에 비교적 높은 호기성 미생물(세균, 효모)의 성장을 보인 점이 주목된다. 또, 이러한 상태에서는 딸기의 부패에 영향을 미치는 곰팡이의 성장도 상대적으로 증가함으로써 부패율을 증가시킨 것으로 추측된다. 4% 이하의 낮은 O₂ 및 6.3~9.0%의 CO₂ 농도를 갖는 항균성 필름의 밀봉포장이(Fig. 1) 세공성 항균필름 포장에 비해서 현저히 낮은 부패율을 보여서, 부패율 억제 면에서는 변형기체의 효과와 항균성 필름의 미생물 억제효과가 상승적으로 작용한

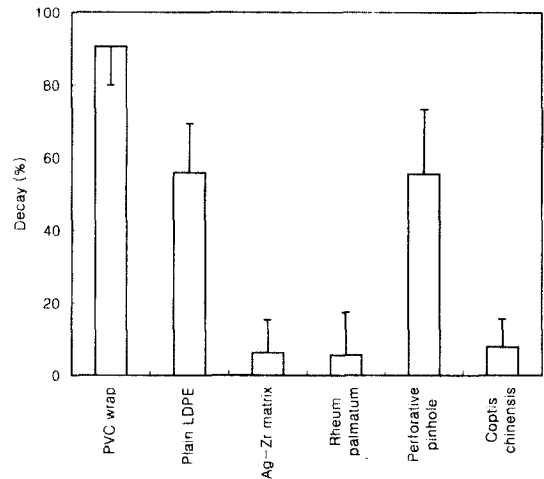


Fig. 3. Decay of the strawberries packaged with different films and stored at 5°C for 13 days. Bars indicate standard deviations of the data.

것으로 생각된다. 저장된 딸기의 부패변질은 곰팡이 감염에 의하여 이루어지는 경우가 많으므로⁽¹⁶⁾ 미생물 성장과 부패와의 직접적인 연관성을 보기 위해서는 곰팡이의 성장을 함께 살펴볼 필요가 있으며 이는 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다. 그리고 포장에 1% 농도로 첨가된 대황추출물, 황련추출물, 지르코늄계 은치환무기이온교환체는 미생물증식 및 부패의 억제 면에서 서로간에 차이 없이 비슷한 효과를 나타내었다.

물리화학적 품질변화

포장의 통기성으로 인하여 PVC wrap 포장이 저장 중 가장 빠른 수분손실을 보여주고 있으며, 세공성 필름 포장이 밀봉성 포장에 비해서 약간의 증가된 수분손실을 보여주나 큰 차이를 보이지는 않았다(Fig. 4). 2개의 필름은 외부와의 증가된 기체이동으로 포장내에 높은 산소농도와 함께 완전한 CO₂ 농도 증가를 보이지만 중량감소에서는 크게 영향을 주지는 않았다. 빠른 수분손실, 미생물성장 및 부패의 빠른 진행으로 인하여 PVC wrap 포장은 과육의 경도에서 빠른 감소를 보여주었다(Fig. 5). 그리고 세공성 필름포장을 포함하여 항균성 소재 함유필름에 의한 포장은 모두 높은 정도의 유지를 저장 중 보여주었다. 딸기와 같은 신선 과일의 연화는 polygalactronase와 같은 자체 자가분해효소와 번식된 미생물에 의해 분비되는 endopolygalactronase,

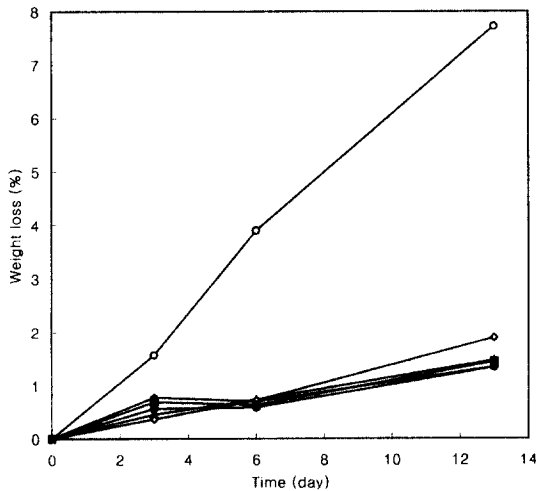


Fig. 4. Weight losses of the packaged strawberries at 5°C. ○—○: PVC wrap, ●—●: Plain LDPE, ▲—▲: LDPE with 1% Ag-substituted inorganic zirconium matrix, ◆—◆: LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ◇—◇: Perforative pinhole package of LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ■—■: LDPE with 1% *Coptis chinensis* extract.

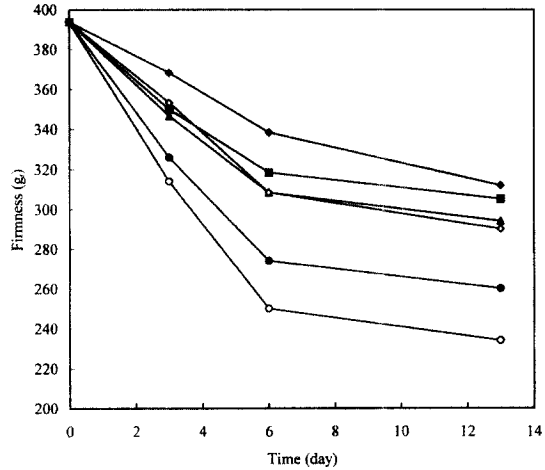


Fig. 5. Changes in firmness of the strawberries packaged with different films and stored at 5°C. ○—○: PVC wrap, ●—●: Plain LDPE, ▲—▲: LDPE with 1% Ag-substituted inorganic zirconium matrix, ◆—◆: LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ◇—◇: Perforative pinhole package of LDPE with 1% *Rheum palmatum* extract; ■—■: LDPE with 1% *Coptis chinensis* extract.

endopectin lyase, cellulase, hemicellulase 등의 세포벽 분해효소에 의한 조직의 붕괴와 관련된다^(4,17). 따라서 이러한 조직연화속도는 호흡과 같은 생리적 변화와 미생물적 부패가 억제되는 CA(controlled atmosphere) 저장 조건에서 현저히 낮아지고 있음이 보고되고 있다^(5,7,8). Fig. 5에서도 미생물 생육이 억제되었던 항균성 필름 포장구에서 경도가 잘 유지되었으며, 대황함유 항균성 필름 포장구들에서는 세공성 필름 포장에 비해서 낮은 O₂와 높은 CO₂ 농도를 유지한 밀봉성 포장이 우수한 정도유지를 보였다.

포장된 딸기를 13일간 저장하는 중, 가용성 고형분은 9 °Bx에서 8 °Bx 부근으로 감소하였고, pH는 3.9에서 4.2 부근으로 상승하고 총산은 0.8%에서 0.5% 정도로 감소하였다. 시간에 따른 이러한 화학적 품질변화의 경향은 Kim 등⁽¹⁸⁾에 의해서 2°C에서 공기 및 CA 하에 저장된 딸기에서의 변화와 일치하고 있다. 하지만 전반적인 변화경향에서 현저하거나 뚜렷한 처리구간의 차이와 특징을 발견할 수 없었다.

결론적으로 대황추출물, 황련추출물, 지르코늄계 은치환무기이온교환체 등을 1% 농도로 함유시킨 LDPE 필름을 사용하여 딸기를 밀봉 포장하면 미생물 생육을 억제하고 부패율을 감소시키고 아울러 경도를 잘 보존할 수 있었다. 항균제 함유 필름의 밀봉포장에 의한 변형기체조성도 부패 억제에 유의적인 효과를 보여주었다. 따라서 이러한 항균성 포장필름에 의한

딸기의 포장이 딸기의 신선도유지와 저장기간 연장에 효과적인 수단의 하나로 사용될 수 있을 것으로 평가된다. 앞으로 딸기와 포장필름간의 접촉을 가능케 하면서 소비자의 이용에 편리한 포장조건의 개발이 요구된다.

요 약

대항추출물, 황련추출물, 지르코늄계 은치환무기이온교환체 등의 항균성 소재를 1% 농도로 함유시킨 LDPE 필름(O₂ 투과도 : 68~80 mL/m² atm hr, CO₂ 투과도 : 304~360 mL/m² atm hr)을 사용하여 200 g 단위의 딸기에 대해서 환경기체조절포장을 실시하고 5°C에서 저장하면서 포장내 기체조성, 미생물 증식, 물리화학적 품질변화를 측정하였다. 또한 대항추출물 함유 필름의 포장에 0.5 mm의 편홀을 2개 낸 세공성 포장, 항균제 무침가의 대조구 LDPE 밀봉포장, PVC wrap 포장과도 비교하였다. 항균성 LDPE 필름은 포장된 딸기의 총균수, 유산균수, 효모수에서 미생물의 생육을 억제하였고, 밀봉포장될 때 4% 이하의 낮은 O₂ 농도 및 6.3~9.0%의 CO₂ 농도의 변형기체조성을 유지하였다. 포장필름의 미생물생육억제와 변형기체의 복합적인 상승 효과로 인해 항균성 LDPE 밀봉포장은 대조구 LDPE 포장, 통기성의 PVC wrap 및 세공성 편홀 포장에 비해 현저하게 낮은 부패율을 보였다. 그리고 이러한 포장은 딸기의 경도 유지에도 긍정적인 효과를 가짐과 아울러 다른 물리화학적 변화에도 부정적인 영향을 주지 않았다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행한 농림수산물특성연구사업의 연구결과의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Kotecha, P.M. and Madhavi, D.L.: Berries. In *Handbook of Fruit Science and Technology*, Salunke, D. K. and Kadam, S.S.(Ed.), Marcel Dekker, New York, USA, p. 315 (1995).
2. Sommer, N.F., Fortlage, R.J., Mitchell, F.G. and Maxie, E.C.: Reduction of postharvest losses of strawberry fruits from gray mold. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **98**, 285-288 (1973).
3. Park, I.K, Jang, K.S., Kim, M.K. and Kim, S.D.: Circulation state of strawberry and quality changes during ripening

(in Korean). *Korean J. Postharvest Sci. Technol. Agri. Products*, **1**, 45-53 (1994).

4. Kim, D.M., Kang, H.S. and Kim, K.H.: On the storability of strawberry in air included the different CO₂ concentrations (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **18**, 66-70 (1986).
5. Li, C. and Kader, A.A.: Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **114**, 629-634 (1989).
6. Woodward, J.R. and Topping, A.J.: The influence of controlled atmospheres on the respiration rates and storage behavior of strawberry fruits. *J. Hort. Sci.*, **47**, 547-553 (1972).
7. El-Kazzaz, M.K., Sommer, N.F. and Fortlage, R.J.: Effect of different atmospheres on postharvest decay and quality of fresh strawberries. *Phytopathology*, **73**, 282-285 (1983).
8. Ke, D., Goldstein, L., O'Mahony, M. and Kader, A.A.: Effect of short-term exposure to low O₂ and high CO₂ atmospheres on quality attributes of strawberries. *J. Food Sci.*, **56**, 50-54 (1991).
9. Harris, C.M. and Harvey, J.M.: Quality and decay of California strawberries stored in CO₂-enriched atmospheres. *Plant Disease Reporter*, **57**, 44-46 (1973).
10. Yam, K.L. and Lee, D.S.: Design of modified atmosphere packaging for fresh produce. In *Active Food Packaging* Rooney, M.L. (ed.), Blackie Academic & Professional, London, p. 55 (1995).
11. Miller, W.R., Spalding, D.H., Risse, L.A. and Chew, V.: The effects of an imazalil-impregnated film with chlorine and imazalil to control decay of bell peppers. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, **97**, 108-111 (1984).
12. An, D.S., Hwang, Y.I., Cho, S.H. and Lee, D.S.: Packaging of fresh curled lettuce and cucumber by using low density polyethylene films impregnated with antimicrobial agents (in Korean). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, in press (1998).
13. Hotchkiss, J.H.: Safety considerations in active packaging. In *Active Food Packaging*, Rooney, M.L. (Ed.), Blackie Academic & Professional, London, England, p. 238 (1995).
14. Karel, M, Issenberg, P., Ronsivalli, L. and Jurin, V.: Application of gas chromatography to measurement of gas permeability of packaging materials. *Food Technol.*, **17**(3), 91-93 (1963).
15. Shamailla, M., Powrie, W.D. and Skura, B.J.: Sensory evaluation of strawberry fruit stored under modified atmosphere packaging (MAP) by quantitative descriptive analysis. *J. Food Sci.*, **57**, 1168-1172 (1992).
16. Ryall, A.L. and Pentzer, W.T.: *Handling, Transpiration and Storage of Fruits and Vegetables*. Vol. 2, AVI Publishing Co., Westport, USA, pp.525-529 (1984).
17. Burton, W.G.: *Post-harvest Physiology of Food Crops*. Longman Group, UK, pp.188-189, pp.221-222 (1982).
18. Kim, D.M., Kim, K.H. and Kim C.S.: On the changes in organic acids of strawberry in air with different CO₂ concentration (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **18**, 71-76 (1986).