

고 CO₂농도 기체조성으로 자동제어된 용기에 저장된 삼겹살의 품질특성

정수연 · 이동선 · 안덕순*

경남대학교 제약공학과

Quality Characteristics of Pork Belly Meat Stored in a Container Automatically Controlled under High CO₂ Atmosphere

Soo Yeon Jung, Dong Sun Lee, and Duck Soon An*

Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, Changwon 51767, Korea

Abstract Container system automatically controlled in its atmosphere of high CO₂/low O₂ was devised to contain and store pork belly meat at chilled temperature. The meat in the container system was compared in the quality preservation at 0°C for 21 days to that in air-filled container and vacuum package. The container atmosphere could be controlled to be of 47~60% CO₂ and 7~10% O₂ through time-controlled intermittent CO₂ injection. The controlled atmosphere in the developed system was effective in suppressing pH change and aerobic bacterial growth contributing to sensory quality preservation. Compared to control of air-filled container, vacuum packaging showed lower microbial growth and slower pH change on the meat but with high drip loss. The devised container system to keep high CO₂ and mildly low O₂ concentrations is effective in the meat quality preservation on overall, and may be extended to a variety of meat products with possible modification tuned for product requirements.

Keywords Modified atmosphere, Container, Automatic control, CO₂ flushing, Microbial growth

서 론

단백질과 지방함량이 높은 육류는 영양성분이 풍부하여 보관 및 저장 중 육류에 존재하는 단백질의 변패와 지질 성분의 산화로 이취가 발생할 수 있으며 호기성균의 성장으로 미생물적 부패와 육의 변색이 발생한다. 이러한 미생물학적, 이·화학적 변패를 지연시키기 위해 다양한 포장 방법들이 개발 및 적용되고 있는데 육류 포장에 적용 가능한 포장방식으로 진공포장과 O₂, CO₂, N₂, CO를 적절히 배합한 기체 치환포장(MAP, modified atmosphere packaging) 방법이 있다. 진공포장은 O₂와의 차단을 통해 지질의 산화를 억제하고, 호기성 미생물의 성장을 지연시키지만, 진공포장 적용 시 O₂차단으로 육색이 적자색을 나타내어 육류 선택 시 소비자의 구매결정을 감소시키게 된다. 또한, 진공에 의한 육 조직에의 물리적 스트레스로 drip 양이 증가되고¹⁾ 이는 소

분 작업 시 O₂와 접촉하여 미생물 성장을 증가시킬 수 있다. 육류의 MAP에 사용되는 기체 중 O₂는 고농도로 적용 시 육류의 색을 선홍색으로 유지하여^{2,3)} 소비자 구매도를 높일 수 있으나, 지질 산화로 육류의 보수력 감소⁴⁾와 호기적 미생물 성장을 촉진시킬 수 있으며⁵⁾, 효소 촉매제로 작용하기도 하여 육류의 유통기한을 단축시킬 수 있다. MAP에 사용되는 CO₂는 박테리아와 곰팡이의 성장을 저해하는 능력이 있어 MAP에 많이 사용하고 있는데, 육류 포장에서는 보통 20~100%의 범위로 O₂ 및 N₂와 혼합하여 사용하고 있다. 이때 N₂는 식품과 반응하지 않으므로 MAP에서 지질의 산화를 억제하거나 충전 가스로 활용된다^{6,7)}. 육류 또는 가금류에 고 CO₂농도의 MAP 효과에 대한 많은 연구들이 이루어졌는데, 소고기를 100% CO₂로 치환하고 0°C에 저장한 결과 우수한 품질을 유지하였으나⁸⁾, 신선육색이 변했으며, 80% CO₂/20% O₂의 조건이 신선육색 유지에 도움이 되지만 유통기한 연장 효과는 없었다. 돼지고기의 경우 1% CO/99% CO₂의 조건에서 품질보존과 소비자 수용도에 긍정적인 효과를 보였으며⁹⁾, 65% CO₂/5% O₂/30% N₂로 치환된 닭고기 제품에서 미생물 성장과 휘발성 amine류의 생성을 감

*Corresponding Author: Duck Soon An
Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University,
7 Kyungnamdaehak-ro, Changwon 51767, South Korea
Tel: +82-55-249-2360
E-mail: ads2004@kyungnam.ac.kr

소시켜 관능적 품질에 기여하였다¹⁰⁾. 육류 제품에 긍정적으로 작용할 수 있는 변형기체(modified atmosphere, MA)의 O₂/CO₂ 비율을 생각한다면 포장 내 최소 O₂ 농도로 육류의 밝은 적색을 유지하고 고 CO₂ 농도로 미생물적 산화적 안전성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 일정한 고농도의 CO₂에 지속적으로 보관하면 육류의 맛 향상과 품질 유지에 기여할 수 있어서 육류포장에 긍정적인 효과가 있지만, 지속적으로 일정한 농도로 유지하는 부분에 있어 한계가 있다. 유통 또는 보관 중 포장재의 손상으로 누설이 생기거나, CO₂ 기체가 식품의 조직내로 녹아 들어가는 경우, 충전 당시의 기체조성이 유지되지 못하게 된다. 그리고, 소비자가 구입하여 개봉 후 일부를 사용하고 남은 제품을 보관하고자 할 때, MAP 조건으로 재포장이 어려워 최적 조건으로 유지할 수 없다. 이럴 경우 존재하는 O₂ 농도로 인해 미생물 성장과 산화촉진으로 육류에 이취가 발생한다. 따라서 소비자 단계에서 지속적으로 바람직한 MA 조성으로 유지하는 방법을 마련할 필요가 있다.

본 연구에서는 육류에서의 미생물 성장, 단백질 변패 및 지질 산화를 억제하여 품질 유지에 도움을 주기 위해 포장 내 적절한 MA 유지 방법을 고안하였다. 재사용 가능한 밀폐 포장 용기를 선택하고, 육류의 붉은 색을 유지하면서 미생물의 성장을 저해할 수 있는 조건으로 용기내 O₂ 농도는 최소 농도로 조절하고, CO₂는 고 농도로 지속적으로 유지 가능하도록 자동제어의 CO₂ 주입 시스템을 제작하였다. 이러한 용기 시스템에서 유지된 고CO₂/저O₂ 농도의 MA 조건이 육류의 품질에 미치는 영향을 검토하였다. 대상 육류로는 우리나라 가정에서 소비가 많은 돼지고기 삼겹살을 택하여 실험에 사용하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

실험에 사용한 돼지고기의 삼겹살 부위는 지역 소재 육류 판매처로부터 도축장에서 도살 후 진공 포장된 제품을 당일 공급받아 시료로 사용되었다.

2. 포장 용기 시스템

대조구 포장은 10 L (37 cm × 26 cm × 17 cm) 밀폐용기에 1700 g의 삼겹살을 보관하는 것으로 하고, 진공포장은 동일한 무게를 기체차단성 다층 필름 소재 T6035B (두께 90 μ m, 50 cm × 35 cm, PP/PE/nylon/EVOH/nylon/PE/LLDPE, Cryovac Division, Sealed Air Corporation, Ducas, NC, USA) 봉지에 진공조건하에서 열접착 밀봉하였다. 고CO₂ 제어 용기 시스템에서는 CO₂ 기체를 시간적으로 제어하여 주입할 수 있는 용기 시스템을 제작하여 사용하였다. 자동제어 용기 시스템은 기체 입출부, 연결부, 조작부로 구성하여 자체 제작하였다(Fig. 1). 기체 입출부에는 약 10 L (37 cm × 26 cm × 17 cm) 크기의 밀폐용기의 뚜껑에 CO₂를 주입할 수 있는 quick-release 기능이 부여된 주입밸브(SS-QC4, Swagelok com., Solon, OH, USA)와 용기 내부 O₂와 N₂를 배출할 수 있는 배출밸브를 장착하였다. 배출밸브는 Swagelok (SS-4C-1/3) 제품의 one-way check valve로써 내외 압력차이가 0.03 bar 이상이면 밸브가 열려서 내부에서 외부로 공기의 이동이 이루어지도록 하였다. 기체 연결부에는 용기내부로 CO₂를 공급하기 위해 CO₂ 실린더를 연결하였다. CO₂ 실린더(Delight Co. Paju, Korea)에 압력 조절기를 장착하고, 압력 조절기에 전원을 공급하여 실린더에 달린 밸브가 자동으

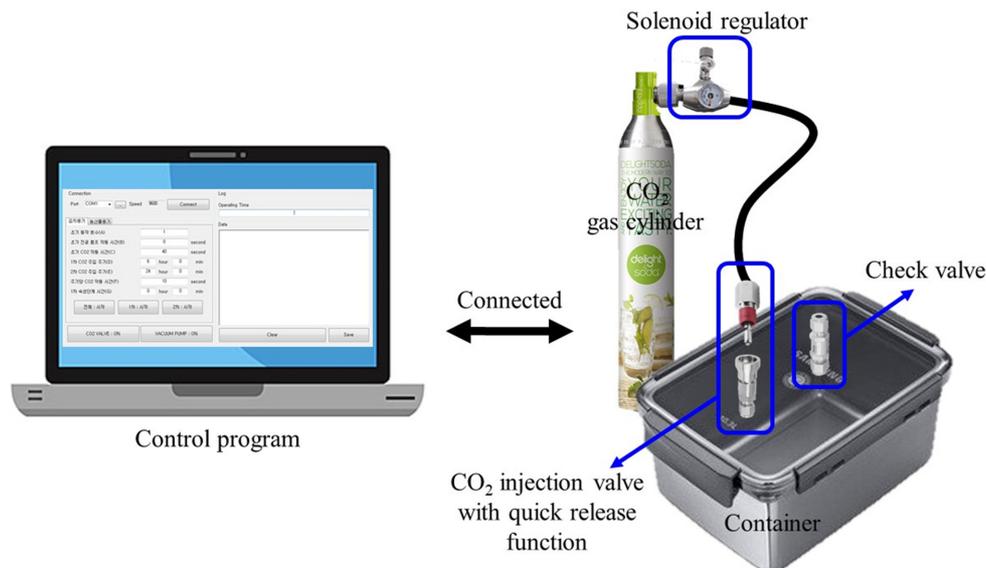


Fig. 1. Automatically controlled food container system for keeping high concentration CO₂ inside.

로 열리거나 닫히도록 하였다. 기체 조작부에는 CO₂ 주입 시 밸브가 ON/OFF 되도록 설정된 프로그램을 통해 자동적으로 제어되도록 하였다. 고CO₂ 치환 용기 시스템에 1700 g의 삼겹살을 넣고 저장 초기에 CO₂ 40초 주입, 저장 1일 동안은 6시간 간격으로 10초 주입, 저장 2일부터 24시간 간격으로 10초 주입하여 고CO₂ 치환 용기내 O₂ 농도가 6~10% 범위로 유지되도록 설정하였다. 모든 포장 용기 처리구는 온도 0°C에서 저장하였고, 저장 7일, 14일, 21일 이후에 삼겹살 시료의 품질을 측정하였다.

3. 품질측정

용기 내 기체조성을 확인하기 위해 기체 시료 1 mL를 기밀성 syringe로 취하여 CTR I column (Alltech Associates, Chicago, IL, USA)과 TCD가 장착된 기체크로마토그래피 (Model 3800, Varian Inc, Palo Alto, CA, USA)에 주입하여 CO₂, O₂, N₂ 농도를 측정하였다. 삼겹살의 drip 손실은 저장 중 무게를 측정하여 초기 무게에서 감소한 양을 얻어서 초기 무게 기준 백분율(%)로 표시하였다. 육류의 표면 pH는 Orion Model 920 A plus pH meter (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)로 Orion 927005MD 전극을 사용하여 육류 시료 표면에서 측정하였다. 육류의 조직 내 침투 pH는 HACCP compliant pH 측정기(Hanna instruments, Woonsocket, RI, USA)를 사용하여 5×5 cm 크기의 조직에 찢어서 측정하였다. 호기성 총균수는 육류 조직 10 g에 0.05% 펄톤수 90 mL로 희석하고, 균수에 따라 필요시 10배 희석 후 총균수 선택배지에 도말하여 배양하였다. Plate Count Agar (Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA)를 사용하고 30°C에서 2~3일간 배양하여 콜로니 수를 계수하였다. 그리고, 저장 7일과 14일에 가열 팬 표면과 접촉한 삼겹살 표면온도를 125°C로 유지하면서 약 8분 열처리 후 7점 척도로(1= 가장 나쁘다, 7= 가장 좋다) 6명의 관능요원이 참석하여 누린내, 부드러운 식감, 종합적인 기호도 항목에 대해 관능검사를 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 밀폐 용기 내 기체 조성

Fig. 2는 삼겹살을 담은 대조구인 일반 밀폐 용기와 고 CO₂ 치환 용기에 대해 저장기간 동안 CO₂ 와 O₂ 농도를 측정한 결과이다. 대조구의 함기 조건에서 삼겹살을 담은 일반 밀폐 용기(Fig. 2(A))의 경우, 저장 7일과 14일에 O₂는 약 18.5%로 감소하고, CO₂는 약 2.5% 정도 증가하다가 저장 16일 이후 기체 농도 변화가 크게 나타나면서 저장 21일에 O₂는 11%로 감소하고, CO₂는 6%로 증가하였다. 이는 이 시기에 호기성균의 급격한 증식으로 O₂는 감소하고, CO₂는 증가한 것으로 보이며, 보통 호기성균이 성장하

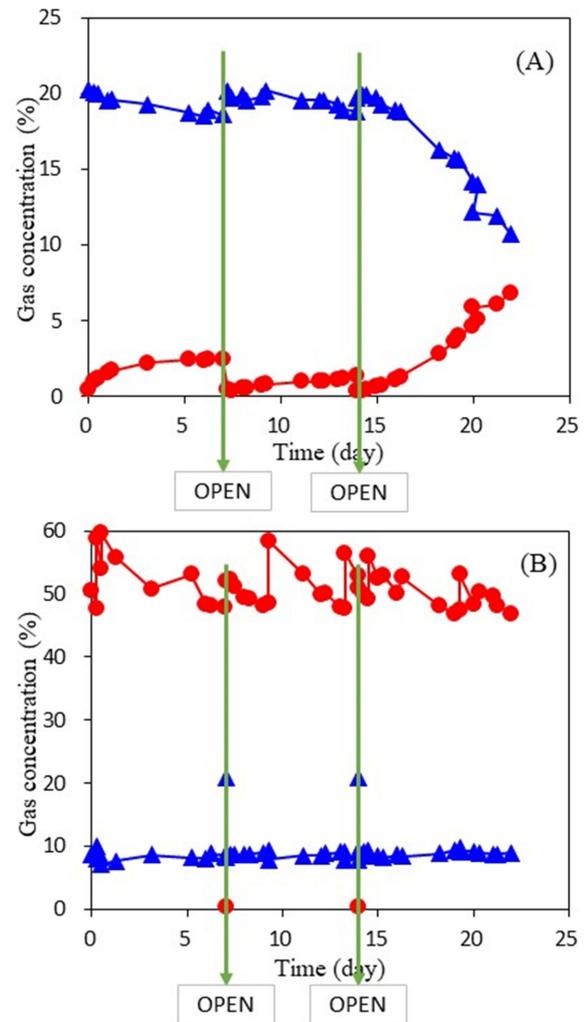


Fig. 2. O₂ and CO₂ concentration in (A) airtight container (control) and (B) high CO₂ flush container of pork belly meat stored at 0°C. ●: CO₂; ▲: O₂

면 O₂를 흡수하고, CO₂를 방출하는 것으로 알려져 있다³⁾. Fig. 2(B)에서 보듯이 고CO₂ 치환 용기에 삼겹살을 넣고, 저장 초기 CO₂를 40초 주입 후 저장 1일 동안 6시간 간격으로 10초 주입을 통해 용기의 O₂는 7%, CO₂는 59%의 농도로 측정되었다. 품질 측정을 위해 용기를 열기 전까지 24시간 간격으로 10초 주입하였는데, 24시간 간격 10초 주입으로 O₂ 농도는 7~10%, CO₂ 농도는 47~60% 범위로 유지되었다. 용기에서 이러한 높은 CO₂ 농도는 미생물 성장을 억제하고, 7~10%의 O₂ 농도범위는 육의 적색유지에 기여할 것으로 생각된다. 저장 7일과 14일에 품질 측정을 위해 용기의 뚜껑을 열었을 경우에는 앞서 설명한 방법으로 CO₂ 40초 주입 후 1일동안 6시간 간격 10초, 2일부터 24시간 간격 10초 주입하였다. 대조구와 고CO₂ 치환 용기에서 저장 7일과 14일에 O₂ 농도가 21%로 증가하고, CO₂ 농도가 0%

로 감소한 것은 용기를 열고 측정할 시료를 꺼내는 동작으로 인해 나타난 결과이다. Fig. 2(B)의 결과부터 CO₂의 시간제어적인 주입으로 육류 저장에 도움이 되는 적정 범위의 저 O₂ 농도/고 CO₂ 농도 기체조성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 적정 범위의 기체 농도를 유지하기 위해 제시된 주입 간격은 저장 온도, 제품 중량, 용기 부피에 따라 달라질 수 있다. 향후 추가 연구를 통해 조건별 적정 기체 농도 범위 유지를 위한 주입 간격 데이터를 구한 후 제어 프로그램에 입력하여 데이터베이스화 가능하다. 사용자가 저장 온도, 제품 중량 등의 기본적인 정보를 입력하고 프로그램을 작동시키면 자동으로 주입 간격이 정해져서 포장 용기 내 적정 기체 농도를 유지할 수 있다.

2. 저장 중 삼겹살의 품질 변화

삼겹살 육으로부터 빠져나온 액즙의 양을 확인하기 위해 저장 전후 무게 측정을 통해 중량 손실정도를 확인해 본 결과, 대조구와 고CO₂ 치환 용기에서는 drip 손실율이 0.02~0.31% 범위인데 비해 진공 포장에서 손실율이 0.7~1.2% 범위로 약간 높았다. 진공 포장된 제품에서 액즙이 유출되는 부분을 육안적으로 확인할 수 있었으며 이는 포장 중 육 조직이 외부 진공의 영향을 받아 액즙 손실이 발생하는 것으로 보인다(구체적인 데이터 생략). 삼겹살 육의 표면 pH는 저장 14일까지 세 처리구에서 비슷하게 유지되다가 저장 21일에 대조구의 pH가 6.96으로 상승하였는데, 이는 호기성 균 증식에 따른 염기성 산물의 생산에 기인하는 것으로 생각된다. 육 조직 내부를 찢어서 측정한 침투 pH는 표면 pH에 비해 측정값이 다소 낮으며, 저장 21일에 대조구의 pH가 6.34로 다른 두 처리구에 비해 중성 부근으로 수치가 높아졌으며 표면 pH 값과 비슷한 경향을 보인다. 단백질 변패 시 아민이나 암모니아와 같은 염기성 산물이 생성되면 이로 인해 육류의 pH가 높아질 수 있다. 저장기간 동안 대조구의 pH가 다른 처리구에 비해 증가하는 것으로 보아 단백질 변패로 인한 염기성 산물의 생성으로 추정된다. Fig. 3에서 보면 O₂ 21%에 노출된 대조구는 저장 7일 이후 호기성 균 증식 속도가 높았으며, O₂ 농도가 7~10%로 유지되는 고CO₂ 치환 용기와 O₂가 거의 없는 진공 포장에서는 균 증식이 억제되는 것을 확인하였다. 저장 14일에 고

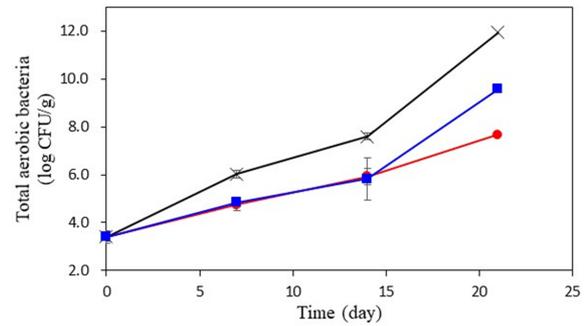


Fig. 3. Total aerobic bacteria of pork belly at 0°C. × : control; ● : CO₂-flush; ■ : vacuum.

CO₂ 치환 용기와 진공 포장에서 호기성 균수가 초기 부패 수준인 6 log CFU/g 이하로 유지되고 있는데 포장내 낮은 O₂ 농도가 호기성 균 증식의 억제에 관련성이 있는 것으로 생각된다. 저장 14일 이후 진공 포장 조건에서 균 증식이 증가되기 시작하여 저장 21일에 고CO₂ 치환 용기에 저장된 삼겹살보다 균 증식이 높았으며, 저장 중 진공 조건이 서서히 풀려서 외부 O₂가 포장 내 유입되거나 육즙으로 인해 세균 증식이 이루어진 것으로 예상된다. 그리고 고CO₂ 치환 용기에서 지속적으로 높게 유지된 CO₂ 농도가 미생물 성장을 억제한 것으로 추정된다. 이러한 미생물 성장에서의 차이가 앞에서 언급한 pH 변화에도 영향을 끼친 것으로 생각된다(Table 1).

저장 7일과 14일에 누린내, 부드러운 식감, 종합적인 기호도 관점에서 구운 삼겹살에 대해 관능검사를 진행하였으며, 21일에는 전체 처리구에서 부패가 심각하여 관능검사를 진행하지 않았다. 점수가 낮을수록 누린내가 심한 경우인데, 저장 14일까지 고CO₂ 치환 용기에 저장된 삼겹살의 누린내가 거의 없었으며, 진공포장의 삼겹살은 7일까지 좋은 품질을 유지하였으나 저장 14일에 대조구와 동일한 이취를 발생하였다. 대조구에서 누린내가 심한 것으로 보아 지질산화가 상당히 진행된 것으로 생각된다. 삼겹살의 부드러운 식감 정도는 저장 7일에 고CO₂ 치환 용기의 삼겹살이 4.67점으로 높았고, 진공포장이 3.33점으로 낮았다. 저장 14일에는 대조구에서 4.83점으로 조직감이 좋았고, 진공포장이 3.67점으로 낮았다. 진공포장에서의 열등한 육 조직감은 앞에서 살

Table 1. Surface and inner pH of pork belly meat stored at 0°C*

Time (day)	Surface pH			Inner pH		
	Control	CO ₂ -flush	Vacuum	Control	CO ₂ -flush	Vacuum
7	5.88 ± 0.05 ^b	6.14 ± 0.06 ^a	6.09 ± 0.03 ^a	5.91 ± 0.15 ^a	5.83 ± 0.05 ^a	5.77 ± 0.07 ^a
14	6.17 ± 0.14 ^a	6.17 ± 0.44 ^a	6.11 ± 0.11 ^a	5.87 ± 0.13 ^a	5.89 ± 0.16 ^a	5.72 ± 0.08 ^a
21	6.96 ± 0.26 ^a	6.52 ± 0.17 ^b	6.13 ± 0.04 ^c	6.34 ± 0.18 ^a	5.94 ± 0.14 ^b	5.73 ± 0.12 ^b

*Initial sample before storage had surface pH of 5.96 ± 0.09 and inner pH of 5.73 ± 0.13. Different superscripts mean significant difference among treatments at α = 0.05.

Table 2. Hedonic scores* from sensory evaluation of pork belly meat stored at 0°C

Attribute	7 days			14 days		
	Control	CO ₂ -flush	Vacuum	Control	CO ₂ -flush	Vacuum
Lack of fatty smell	2.33 ± 0.52 ^c	5.67 ± 1.03 ^a	4.00 ± 1.26 ^b	2.83 ± 1.30 ^b	4.33 ± 0.55 ^a	2.67 ± 0.89 ^b
Texture softness	4.17 ± 1.33 ^a	4.67 ± 1.21 ^a	3.33 ± 0.82 ^a	4.83 ± 1.00 ^a	4.50 ± 1.14 ^a	3.67 ± 1.52 ^a
Overall preference	3.67 ± 1.03 ^b	5.33 ± 1.21 ^a	3.33 ± 0.82 ^b	3.33 ± 1.14 ^b	4.50 ± 0.55 ^a	2.50 ± 0.55 ^b

*Score span: 1=very bad, 7=very good. Different superscripts mean significant difference among treatments at α=0.05.

퍼본 drip loss와 관계될 것으로 보이지만 모든 처리구에서 조직감에서 유의적인 차이는 없었다. 종합적인 기호도 측면에서 고CO₂ 치환 용기에 저장된 삼겹살이 우수하였다. 육류의 밝은 색을 유지하는 7~10% 범위의 O₂ 농도와 50% 부근의 CO₂ 농도의 기체조성 조건은 누란내로 감지되는 산화의 정도를 억제하면서 미생물적 변패를 억제하여 전체적인 관능적인 품질유지에 효과적인 것으로 보인다. 자동 제어 용기 시스템의 성능을 확인하기 위해 대표적인 삼겹살 제품에 대해 살펴보았으며, 향후 육류의 종류와 부위를 달리한 저장 실험으로 종합적이고 체계적인 품질보존효과를 검토할 필요가 있다.

요 약

저온에서 신선육을 보관 저장하는 용기의 기체조성을 고 CO₂/저O₂ 농도로 자동적으로 제어하는 용기 시스템을 제작하고, 0°C에서 21일간 돼지고기 삼겹살을 담아 저장하면서 품질보전의 측면에서 진공 포장과 합기 대조구 조건과 비교하였다. CO₂ 주입 시간 프로그램에 의하여 CO₂ 농도는 47~60%, O₂ 농도는 7~10%로 유지될 수 있었고, 이는 호기적 세균 증식과 pH 증가의 억제의 효과와 함께 관능적 품질유지에 기여하였다. 진공포장은 합기 대조구에 비하여 낮은 미생물 성장과 pH 증가를 보여주었으나 높은 drip 손실의 단점을 보였다. 전체적 품질보존의 측면에서 고안된 고CO₂ 치환 용기는 육류의 품질유지에 효과적이며, 육류의 종류와 특성에 맞게 기체 농도 조건을 변경하여 활용범위를 확장할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 융복합연구센터지원사업에 의하여 진행된 연구결과로 연구비 지원에 감사드립니다(Project #710013-03).

References

1. Payne, S.R., Durham, C.J., Scott, S.M. and Devine, C.E. 1998. The effects of nonvacuum packaging system on drip loss from chilled beef. *Meat Sci.* 49(3), 277-287.
2. Taylor, A.A. 1973. Gases in fresh meat packaging. *Institute Meat. Bull.* 79, 26-32.
3. Mcmillin, K. W. 2008. Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Sci.* 80, 43-65.
4. Wang, C., Wang, H., Li, X. and Zhang, C. 2019. Effects of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on water holding capacity of pork steaks. *Meat Sci.* 148, 189-197.
5. Lund, M., Lametsch, N.R., Hviid, M.S., Jensen, O.N. and Skibsted, L.H. 2007. High-oxygen packaging atmosphere influences protein oxidation and tenderness of porcine *longissimus dorsi* during chill storage. *Meat Sci.* 77, 295-303.
6. Holley, R.A., Garipey, C., Delaquis, P., Doyon, G. and Gagnon, J. 1994. Static, controlled (CO₂) atmosphere packaging of retail ready pork, *J. Food Sci.* 59(6), 1296-1301.
7. Hotchkiss, J.H. 1989. Modified atmosphere packaging of poultry and related products, in A. L. Brody (ed.), *Controlled/modified atmosphere/vacuum packaging of food.* Trumbull, CT: Food and Nutrition Press, 39-58.
8. Skandamis, P.N. and Nychas, G.J.E. 2002. Presentation of fresh meat with active and modified atmosphere packaging conditions. *Inter. J. Food Micro.* 79, 35-45.
9. Viana, E.S., Gomide, L.A.M. and Vanetti, M.C.D. 2005. Effect of modified atmosphere on microbiological, color and sensory properties of refrigerated pork. *Meat Sci.* 71, 696-705.
10. Balamatsia, C.C., Patsias, A., Kontominas, M.G. and Savvaiddis, I.N. 2007. Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaging chicken fillets: correlation with microbiological and sensory attributes. *Food Chem.* 104, 1622-1628.

투고: 2022.11.18 / 심사완료: 2022.11.26 / 게재확정: 2022.12.07