

가스치환 포장 및 감마선 조사된 소시지의 NO-Mb 함량과 색 특성

안현주 · 김재현 · 조철훈 · 이주운 · 육홍선¹ · 변명우*
한국원자력연구소 방사선식품 · 생명공학 기술개발팀, ¹충남대학교 식품영양학과

Effects of Modified Atmosphere Packaging and Gamma Irradiation on NO-Mb Contents and Color of Sausage

Hyun-Joo Ahn, Jae-Hyun Kim, Cheorun Jo, Ju-Woon Lee,
Hong-Sun Yook¹ and Myung-Woo Byun*

Team for Radiation Food Science & Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute
¹Department of Food and Nutrition, Chungnam National University

Combined effects of modified atmosphere packaging and gamma irradiation on color characteristics of emulsion-type cooked pork sausage were investigated. Nitrosomyoglobin (NO-Mb) contents and CIE color values of sausage with aerobic, CO₂, N₂, and CO₂/N₂ packagings were observed during storage for 4 weeks. Irradiation reduced NO-Mb content in sausage, inducing denitrosylation of nitrite-cured meats. CO₂ and CO₂/N₂ packagings were effective for maintaining NO-Mb content. In CIE color values, a* was significantly reduced by irradiation at 5 kGy and above. The a* values of sausages with CO₂ and CO₂/N₂ packagings were higher than those of aerobic or N₂ packaging. Results indicated that modified atmosphere packaging, such as CO₂ or CO₂/N₂ packaging, was effective for minimizing the loss of red color in sausage caused by irradiation.

Key words: irradiation, packaging, sausage, color, nitrosoheme pigments

서 론

신선육 및 육제품의 색은 품질과 미각을 좌우하는 주요인자로서 소비자의 기호도 측면에서 중요한 선택요인이 된다. 특히 아질산염 첨가 육가공제품의 경우 nitrosomyoglobin 생성으로 염지육 특유의 pink color를 나타낸다⁽¹⁾.

최근 식품의 새로운 위생화 방법으로 대두되고 있는 방사선 조사는 완포장한 상태로 연속처리가 가능하고 살균처리 후 재포장에 따른 2차 오염의 방지, 에너지의 효율 증진 및 냉온살균·살충방법으로 유해성분의 생성이나 잔류성분이 남지 않는다는 장점을 갖고 있다⁽²⁾. 방사선 조사는 저선량의 전자선 혹은 감마선 조사로 식품내 병원성 위해 미생물인 대장균 O157:H7, 살모넬라 등을 효과적으로 사멸시킬 수 있으며, 세계보건기구(WHO)에서 이미 건전성과 안전성이 승인되어 있다⁽³⁾. 이미 육류에 대한 방사선 조사는 신선육(fresh meat)의 경우 4.5 kGy, 냉동육(frozen meat)은 7 kGy의 선량으로 FDA에서 승인이 되어있다⁽⁴⁾. 신선육 및 육제품에 방사선

조사시 병원성 미생물을 효과적으로 제거할 수 있는데, 최근 미국 농무성(USDA)은 2002년 12월부터 미국내 수백만 아동들의 학교급식에 방사선 조사된 신선육을 허용한다는 방침을 공표할 만큼 세계적으로 방사선 조사 기술의 이용이 확대되고 있다⁽⁵⁾. 그러나 방사선 조사시 육색의 변화를 초래할 수 있는데, 신선육의 경우 적색의 증가 혹은 감소된다는 상반된 연구결과가 보고되고 있으며, 이러한 변화는 감마선 조사선량, 근섬유 형태, 포장환경 등에 따라 다르게 나타날 수 있다^(6,7). 현재까지 방사선 조사 신선육의 색 변화에 대해서는 많은 연구가 진행되어 있지만, 육가공제품과 같은 cooked meat에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 방사선 조사된 육제품의 색 변화를 최소화하기 위해서 유화형 소시지를 가스치환 포장한 후 감마선 조사하여 각 포장환경에 따른 nitrosomyoglobin 및 육색의 변화를 관찰하였다.

재료 및 방법

유화형 소시지의 제조

유화형 소시지의 제조방법은 돈육(60%)을 사일런트커터(Silent cutter, C-75, Fatosá, Barcelona, Spain)에 넣고 낮은 속도로 혼합하면서 정제염(1.5%)과 인산염(trisodium phosphate, 0.3%)을 첨가하고 1분간 혼합세절한 다음 준비된 얼음(20%)

*Corresponding author: Myung-Woo Byun, Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute, Yuseong, P.O. Box 105, Daejeon 305-600, Korea
Tel: 82-42-868-8060
Fax: 82-42-868-8043
E-mail: mwbyun@kaeri.re.kr, Homepage: www.mfb.co.kr

의 1/2을 첨가하고 고속으로 세절을 실시하였다. 사일런트커터의 온도가 1~2°C에 도달했을 때 분쇄한 돼지 등지방(pork backfat, 20%)과 나머지 얼음을 첨가하여 계속 세절하면서 설탕(0.6%), monosodium glutamate(MSG, 0.03%), 복합향신료(spicemix, 0.5%), 아질산염(sodium nitrite, 150 ppm) 및 sodium ascorbate(200 ppm)를 첨가하고 사일런트커터 내부의 온도가 13°C에 도달했을 때 유회를 종결시켰으며, 총 소요시간은 약 10분 정도이고 작업장의 온도는 12°C였다. 이때 아질산염과 sodium ascorbate의 첨가량은 돈육, 등지방에 대한 비율로서 각각 첨가하였다. 고기유회물을 콜라겐 케이싱(collagen casing, 2.5 cm diameter, Woosung Co., Seoul, Korea)에 충전한 후 45°C에서 30분간 건조시키고, 55°C에서 40분간 훈연한 후 중심온도가 70°C가 되도록 훈연실(Fracomat 1200, Franke Gm bH & Co., Germany)에서 가열처리(약 1시간)하였다. 가열처리가 끝난 제품은 찬물로 분무하여 냉각시키면서 표면의 수분을 건조시킨 후 포장하였다.

가스치환 포장

포장기(Leapack, Hanguk Electronic, Kyunggi, Korea)를 이용하여 합기 포장 및 산소 불투과성 polyethylene bag(2 mL O₂/m²/24 hr at 0°C; 20 cm×30 cm; Sunkyung Co. Ltd., Korea)에 CO₂(ultra pure CO₂, 99.999%), N₂(ultra pure N₂, 99.999%), CO₂/N₂(25% CO₂+75% N₂)로 각각 가스치환 포장하여 방사선 조사 전까지 4°C에 보관하였다.

감마선 조사

방사선 조사는 한국원자력연구소 내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 실온(14±1°C)에서 분당 83.3 Gy의 선량률로 각각 0, 5, 10 및 20 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량 확인은 ceric cerous dosimeter (Bruker Instruments, Rjeomstetterm, Germany)를 사용하였고 총 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다. 방사선 조사 후 소시지를 4°C에 4주간 저장하면서 실험에 사용하였다.

Nitrosoheme pigments

소시지의 nitrosoheme pigments(ppm haematin) 함량 측정은 Hornsey의 방법⁽⁸⁾을 이용하여 acetone/water 혼합용액으로 압실에서 추출 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

색도 측정

소시지의 색도 측정은 Ahn 등⁽⁹⁾의 방법과 동일하게, Color difference meter(Spectrophotometer CM-3500d, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였으며, CIE color values인 L*(lightness, 명도), a*(redness, 적색도), b*(yellowness, 황색도)로 나타내었다.

통계 분석

모든 데이터는 statistical analysis system(Version 5 edition)⁽¹⁰⁾을 이용하여 General linear model 분석 후 Duncan's multiple range test로 P<0.05 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

NO-Mb 함량

가스치환 포장 및 감마선 조사된 유회형 소시지의 감마선 조사직후와 저장 4주 후의 nitrosomyoglobin(NO-Mb) 함량 변화는 Table 1과 같다.

감마선 조사 직후 CO₂ 포장구와 CO₂/N₂ 포장구의 NO-Mb 함량은 조사에 의한 유의적인 감소를 보였으며, 합기포장 및 N₂ 포장된 소시지의 경우 감마선 조사에 의한 함량변화가 나타나지 않았다(P<0.05). Kamarei와 Karel⁽¹¹⁾은 감마선 조사시 염지육의 NO-Mb는 점차 denitrosylation 반응을 거쳐 metmyoglobin을 형성하는 것으로 보고하였다. Nitrosomyoglobin의 경우 구조적으로 NO의 결합세기가 약하기 때문에 감마선 조사시 생성되는 hydroxyl radical(·OH)의 공격을 쉽게 받아 NO-Mb의 denitrosylation을 유발할 수 있을 것으로 사료된다. 포장방법에 따른 NO-Mb 함량변화를 살펴보면, 비조

Table 1. Nitrosoheme pigments (ppm haematin) of irradiated emulsion-type cooked pork sausage with various packaging during storage^{1),2)}

| Storage period (week) | Treatment | Irradiation dose (kGy) | | | | SEM ³⁾ |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | 0 | 5 | 10 | 20 | |
| 0 | Aerobic | 39.2 ^z | 37.4 ^y | 37.7 | 37.5 | 0.69 |
| | CO ₂ | 59.4 ^{xy} | 46.7 ^{abxy} | 42.1 ^{ab} | 39.8 ^b | 4.68 |
| | N ₂ | 48.7 ^{yz} | 42.8 ^y | 43.7 | 43.4 | 1.91 |
| | CO ₂ /N ₂ | 64.7 ^{ax} | 60.8 ^{bx} | 46.3 ^c | 41.6 ^c | 3.36 |
| | SEM ³⁾ | 3.62 | 3.65 | 2.92 | 1.53 | |
| 4 | Aerobic | 43.3 ^y | 42.8 | 37.7 | 36.2 | 2.69 |
| | CO ₂ | 49.5 ^{axy} | 42.9 ^{ab} | 43.2 ^{ab} | 37.9 ^b | 1.97 |
| | N ₂ | 44.9 ^{xy} | 44.9 ^a | 42.2 ^{ab} | 40.1 ^b | 0.93 |
| | CO ₂ /N ₂ | 53.1 ^{ax} | 43.6 ^{ab} | 46.6 ^b | 40.6 ^b | 1.93 |
| | SEM ³⁾ | 1.64 | 2.22 | 2.43 | 1.47 | |

¹⁾Different letters (a-c) within a same row differ significantly (P<0.05).

²⁾Different letters (x, y) within a same column differ significantly (P<0.05).

³⁾SEM: Standard error of the means (n=8).

Table 2. CIE color values of irradiated emulsion-type cooked pork sausage with various packaging at 0 week^{1),2)}

| Treatment | Irradiation dose (kGy) | | | | SEM ³⁾ |
|---------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | 0 | 5 | 10 | 20 | |
| L* | | | | | |
| Aerobic | 65.30 | 64.87 | 64.11 ^{xy} | 65.44 | 0.732 |
| CO ₂ | 65.63 | 66.29 | 67.25 ^x | 65.27 | 0.708 |
| N ₂ | 65.28 | 65.10 | 64.05 ^y | 66.13 | 0.688 |
| CO ₂ /N ₂ | 64.56 | 66.31 | 65.43 ^x | 65.43 | 0.662 |
| SEM ³⁾ | 0.596 | 0.741 | 0.696 | 1.066 | |
| a* | | | | | |
| Aerobic | 3.30 ^a | 2.60 ^{bxy} | 2.10 ^c | 1.99 ^{cy} | 0.075 |
| CO ₂ | 3.14 ^a | 2.66 ^{bxy} | 2.39 ^c | 2.07 ^{dx} | 0.084 |
| N ₂ | 3.29 ^a | 2.56 ^{by} | 2.30 ^b | 1.96 ^{cy} | 0.102 |
| CO ₂ /N ₂ | 3.20 ^a | 2.79 ^{bx} | 2.37 ^c | 2.37 ^{cx} | 0.097 |
| SEM ³⁾ | 0.051 | 0.073 | 0.119 | 0.080 | |
| b* | | | | | |
| Aerobic | 7.12 ^{ax} | 6.93 ^{abx} | 6.80 ^{abxy} | 6.54 ^b | 0.131 |
| CO ₂ | 7.06 ^{xy} | 6.97 ^x | 7.04 ^x | 6.79 | 0.115 |
| N ₂ | 7.04 ^{axy} | 6.63 ^{aby} | 6.21 ^{by} | 6.67 ^{ab} | 0.177 |
| CO ₂ /N ₂ | 6.70 ^y | 6.99 ^x | 6.67 ^{xy} | 6.68 | 0.133 |
| SEM ³⁾ | 0.102 | 0.139 | 0.169 | 0.237 | |

¹⁾Different letters (a-d) within a same row differ significantly (P<0.05).

²⁾Different letters (x, y) within a same column differ significantly (P<0.05).

³⁾SEM: Standard error of the means (n=12).

사구와 5 kGy 조사구에서 포장법에 따른 유의적인 차이를 보였다. 즉, CO₂/N₂ 포장구의 NO-Mb 함량이 다른 포장구에 비해 높았으며, 합기포장구는 가장 낮은 함량을 보였다. Ahn 등⁽¹²⁾은 감마선 조사된 신선육의 적색도 변화는 신선육의 종류, 근육섬유조성, 감마선 조사선량, 포장환경 등에 의해 다양하게 나타난다고 보고하였다.

저장 4주후의 NO-Mb 함량은 모든 처리구에서 감소하는 경향을 보였으며 CO₂ 및 N₂ 포장구에서는 20 kGy, CO₂/N₂ 포장구에서는 10 kGy 이상에서 유의차를 보였다. 또한 포장 방법에 따른 함량변화를 살펴보면 합기포장구의 NO-Mb 함량이 가장 낮은 것으로 나타났으며 이는 비조사구에서만 처리구간 유의차를 보였다.

이상의 결과를 살펴볼 때 감마선 조사에 의한 염지 육색소의 손실을 최소화하기 위해서는 CO₂ 혹은 CO₂/N₂ 포장과 같은 가스치환 포장법을 병용하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

색도 특성

가스치환 포장 및 감마선 조사된 유화형 소시지의 CIE L*a*b* 변화는 Table 2 및 3과 같다.

감마선 조사 직후 L*값은 조사선량에 의한 유의적인 차이를 보이지 않았다(P<0.05). 단지 10 kGy 조사구에서 포장 방법에 따른 차이를 보였는데, 다른 포장구와 비교할 때 N₂ 포장구의 L*값이 가장 낮은 것으로 나타났다. a*값은 염지육 제품 색의 주요인자로서 감마선 조사에 의해 유의적인 감소를 보였다. 또한 포장 방법에 의한 유의적 차이를 보였는데, 5 kGy와 20 kGy 조사구의 경우 다른 포장구에 비해 합기포장 및 N₂ 포장구의 a*값이 감소하는 것으로 관찰되었다. b*

값의 경우 감마선 조사에 의해 감소하는 것으로 나타났으며 (합기 및 N₂ 포장구), 포장 방법에 따른 유의적 차이를 보였으나 저장 초기에는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

저장 4주째의 L*, b*값은 감마선 조사구 및 비조사구간의 유의적인 차이를 보이지 않았으며, b*값의 경우 N₂ 포장구에서만 유의적 차이를 보였다(Table 3). a*값은 감마선 조사 직후와 유사한 경향으로 감마선 조사구의 값이 비조사구에 비해 낮은 것으로 나타났다. 그러나 가스치환 포장한 소시지의 a*값은 합기포장의 값보다 유의적으로 높아 이러한 포장 방법이 감마선 조사에 의한 a*값 손실을 저장동안 어느 정도 보완할 수 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 감마선 조사에 의해 소시지의 적색도와 황색도는 감소하는 경향을 보였는데, 특히 이러한 적색도의 감소를 고려할 때 가스치환 포장방법이 감마선 조사에 의한 적색저하를 억제할 수 있을 것으로 사료된다.

Nanke 등⁽¹³⁾은 돈육, 우육, 가금류를 포함한 신선육을 합기 포장 했을 경우 감마선 조사시(≤4.5 kGy) 적색이 감소되는 것을 관찰하였으며, 이후 진공포장된 신선육에 대한 감마선 조사 적용 연구에서는 돈육, 가금육의 경우 적색도가 증가하였지만 우육의 적색도는 감소하는 것으로 보고한 바 있다⁽¹⁴⁾. Nanke 등⁽¹³⁾은 이러한 결과를 감마선 조사시 산화(oxidation) 환경조성에 의한 oxymyoglobin 함량 증가로 설명하였는데, 최근 Nam과 Ahn⁽¹⁵⁾은 이와 다른 결과를 발표하였다. 이는 감마선 조사시 몇가지 가스화합물이 형성되는데, 이중 carbon monoxide(CO)가 생성되어 CO-Mb를 형성하기 때문에 육의 적색을 향상시키는 것으로 보고하였다. 따라서 신선육 및 가공육제품에 감마선 조사시 적색이 향상되거나 혹은 감소할 수 있는데, 일반적으로 신선육의 경우 포장환경에 따라 증가

Table 3. CIE color values of irradiated emulsion-type cooked pork sausage with various packaging after 4 weeks of storage^{1,2)}

| Treatment | Irradiation dose (kGy) | | | | SEM ³⁾ |
|---------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| | 0 | 5 | 10 | 20 | |
| L* | | | | | |
| Aerobic | 63.16 | 63.02 | 63.11 | 63.50 | 0.760 |
| CO ₂ | 62.80 | 63.77 | 64.79 | 63.64 | 0.983 |
| N ₂ | 62.97 | 63.97 | 62.50 | 64.01 | 0.939 |
| CO ₂ /N ₂ | 63.18 | 63.09 | 63.37 | 64.16 | 0.939 |
| SEM ³⁾ | 0.987 | 0.859 | 0.838 | 1.085 | |
| a* | | | | | |
| Aerobic | 2.96 ^a | 2.11 ^{by} | 2.02 ^{bcy} | 1.77 ^{cy} | 0.107 |
| CO ₂ | 3.28 ^a | 2.82 ^{bx} | 2.28 ^{cx} | 2.15 ^{cx} | 0.080 |
| N ₂ | 3.04 ^a | 2.70 ^{bx} | 2.43 ^{bx} | 2.10 ^{cx} | 0.103 |
| CO ₂ /N ₂ | 3.21 ^a | 2.72 ^{bx} | 2.40 ^{cx} | 2.17 ^{dx} | 0.069 |
| SEM ³⁾ | 0.109 | 0.992 | 0.070 | 0.081 | |
| b* | | | | | |
| Aerobic | 7.21 | 7.26 | 7.08 | 6.78 | 0.202 |
| CO ₂ | 6.74 | 7.15 | 7.30 | 6.65 | 0.218 |
| N ₂ | 6.49 ^b | 7.37 ^a | 6.87 ^{ab} | 6.64 ^b | 0.237 |
| CO ₂ /N ₂ | 6.72 | 6.92 | 7.05 | 6.87 | 0.208 |
| SEM ³⁾ | 0.245 | 0.198 | 0.179 | 0.239 | |

¹⁾Different letters (a-d) within a same row differ significantly (P<0.05).

²⁾Different letters (x, y) within a same column differ significantly (P<0.05).

³⁾SEM: Standard error of the means (n=12).

및 감소할 수 있고, 염지육제품은 NO-Mb의 denitrosylation에 의해 적색이 감소하는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 볼 때 감마선 조사에 의한 염지육색의 손실은 가스치환 포장법을 사용할 때 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

요 약

감마선 조사에 의한 육제품의 색 변화를 최소화하기 위하여 합기, CO₂, N₂ 및 CO₂/N₂ 포장한 후 각 포장환경에 따른 소시지의 NO-Mb 함량 및 CIE color values를 측정하였다. 감마선 조사에 의해 NO-Mb 함량이 다소 감소하여 조사에 의한 denitrosylation이 일어나는 것으로 나타났으며, CO₂/N₂ 혹은 CO₂ 포장시 저장동안 NO-Mb함량을 유지하는데 효과적이었다. CIE color values 중 a*값은 감마선 조사 및 포장 방법에 의한 유의적인 차이를 보였는데, 5 kGy 이상의 감마선 조사시 a*값이 감소하였으며, 합기포장구의 적색도가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 CO₂/N₂, CO₂와 같은 가스치환 포장시 감마선 조사에 의한 육색변화를 억제하는데 효과적 인 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Chasco, J., Lizaso, G., and Beriain, M.J. Cured colour development during sausage processing. *Meat Sci.* 44: 203-211 (1996)
- W.H.O. Wholesomeness of irradiated food. Report of joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series 659: 34 (1981)
- Loaharanu, P. Worldwide status of food irradiation and the FAO/IAEA/WHO/ITCUNCTAD/GATT International conference on the acceptance. *Radiat. Phys. Chem.* 34: 1013-1030 (1989)
- I.A.E.A. Report of the Joint AAEA/FAO/IAEA Regional workshop on present status and guidelines for preparing harmonized legislation on food irradiation in the near east. Tunnis, Tunisia, October 12-16, IAEA, Vienna (1998)
- Fabi, R. USDA to allow irradiated meat in U.S. school lunches. October 25, Reuters (2002)
- Kamarei, A.R., Karel, M., and Wierbicki, E. Spectral studies on the role of ionizing radiation in color changes of rappedertized beef. *J. Food Sci.* 44: 25-31 (1979)
- Satterlee, L.D., Duane, B.W., and Lycometros, C. Stability and characteristics of the pigment produced by gamma irradiation of metmyoglobin. *J. Food Sci.* 37: 213-217 (1972)
- Hornsey, H.C. The colour of cooked cured pork. I. Estimation of the nitric oxide-haem pigments. *J. Sci. Food Agric.* 7: 534-540 (1956)
- Ahn, H.J., Jo, C., Lee, J.W., Kim, J.H., and Byun, M.W. Irradiation and modified atmosphere packaging effects on residual nitrite, ascorbic acid, NO-Mb, and color in sausage. *J. Agric. Food Chem.* 51: 1249-1253 (2003)
- SAS Institute, Inc. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA (1990)
- Kamarei, A.R., and Karel, M. Effects of ionizing radiation on

- nitric oxide myoglobin. I. Effects on the NO-haem moiety. *Int. J. Radiat. Biol. Phys. Chem. Med.* 44: 123-134 (1983)
12. Ahn, D.U., Olson, D.G., Jo, C., Chen, X., Wu, C., and Lee, J.I. Effects of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production and color in raw pork patties. *Meat Sci.* 47: 27-39 (1998)
13. Nanke, K.E., Sebranek, J.G., and Olson, D.G. Color characteristics of irradiated aerobically packaged pork, beef, and turkey. *J. Food Sci.* 64: 272-278 (1999)
14. Nanke, K.E., Sebranek, J.G., and Olson, D.G. Color characteristics of irradiated vacuum-packaged pork, beef, and turkey. *J. Food Sci.* 63: 1001-1006 (1998)
15. Nam, K.C., and Ahn, D.U. Carbon monoxide-heme pigment is responsible for the pink color in irradiated raw turkey breast meat. *Meat Sci.* 60: 25-33 (2002)

(2003년 1월 6일 접수; 2003년 4월 7일 채택)