

감마선과 전자선 조사에 의한 분쇄 닭고기 펫푸드의 비열 살균 효과 및 품질 지표 분석

강수왕 · 황정현 · 정아현 · 박은영¹ · 박상은¹ · 윤요한^{1,2} · 박성희*

서울과학기술대학교 식품공학과, ¹숙명여자대학교 식품영양학과, ²숙명여자대학교 위해분석연구센터

Effect of Non-thermal Pasteurization on Minced Chicken Meat Based Pet Food and Its Quality Attributes through Gamma Ray and Electron Beam Irradiation

Su Wang Kang, Jeong Hyeon Hwang, Ah Hyun Jung, Eunyoung Park¹,
Sangeun Park¹, Yohan Yoon^{1,2}, and Sung Hee Park*

Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology

¹Department of Food and Nutrition, Sookmyung Women's University

²Risk Analysis Research Center, Sookmyung Women's University

Abstract

The potential of non-thermal pasteurization was evaluated for elimination of hazardous pathogenic microorganisms in feed ingredients for pet food. *Salmonella* and *Escherichia coli* were inoculated into minced chicken based feed ingredients at 6.05±0.75 and 6.80±0.14 log CFU/g, respectively. Feed ingredients were irradiated at a dose of 3, 5, 7 and 10 kGy of gamma ray and electron beam irradiation. In the gamma ray irradiation, the microbial population of both *Salmonella* and *E. coli* was reduced to the limit of detection (LOD) level from the lowest dose of 3 kGy. Electron beam irradiation also inactivated both microorganisms under the LOD at 3 kGy. The lowest dose level of 3 kGy was sufficient to provide a pasteurization effect for both *Salmonella* and *E. coli*. For the quality attributes, gamma ray and electron beam irradiation did not show any detrimental effect on pH and color of minced chicken meat. Electronic nose analysis indicated an off flavor in irradiated chicken meat. With gamma ray irradiation, the off flavor was detected from the 3 kGy dose, showed similar levels up to 7 kGy, and then increased markedly after 10 kGy irradiation. Electron beam irradiation also induced the off flavor from 3 kGy, and this gradually increased in accordance with rises in the dose level.

Key words: pet food, chicken, gamma ray, electron beam, pasteurization

서 론

최근 반려동물 양육 인구의 증가로 관련산업이 빠르게 성장하고 있는데 2010년부터 2018년까지 펫푸드 소매 시장 동향은 연평균 10.3%의 성장률을 보여주고 있으며 전체 펫푸드 시장규모는 10,809억원에 이르고 있다(Cho, 2021). 반려동물 소유자의 펫푸드의 소비자 지불 의향에 의하면 유기농원료를 사용한 사료에 대해 kg 당 7,253원, 알레르기 물질을 첨가하지 않은 사료에 대해 5,868원, 국내산 원료를 사용한 사료에 대해 2,386원을 더 지불할 의향이 있는 것으로 분석되어 반려동물 소유자들이 펫푸드를 구매하는데 지출을 아끼지 않고 있다(Ji et al., 2017). 과거

에는 펫푸드를 동물가죽 또는 살처분한 가축 사체를 열처리 후 분쇄한 육분을 사용하였으나 최근 들어 소비가 늘어나고 있는 프리미엄 펫푸드는 생고기를 분쇄하여 원료사료로 사용하고 있다. 반려동물 소유자들은 펫푸드에서 중요한 영양성분인 단백질을 식물성 단백질 또는 곤충 유래 단백질보다 육류로부터 유래되는 것을 선호하고 이는 반려동물의 기호도와도 일치한다(Acuff et al., 2021). 생고기를 원료로 한 프리미엄 펫푸드의 안전성은 반려동물과 소유주 모두의 건강에 중요하다. 동물성 원료를 기반으로 한 다양한 유형의 펫푸드 제품이 출시되고 있는 상황에서 펫푸드는 산업동물용 사료와 달리 일반소비자가 직접 접촉할 수 있는 제품이기 때문에 더욱 더 엄격한 위생 기준을 요구하고 있다(Ji, 2021). 생고기를 원료사료로 제조한 펫푸드의 경우여서 *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* 등의 주요 위해 미생물에 오염될 위험이 있다고 보고 된다(Behravesh et al., 2010; Nemser et al., 2014; Yadav & Roopesh, 2020). 이를 위해서는 펫푸드의 살균 과정이

*Corresponding author: Sung Hee Park, Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Republic of Korea
Tel: +82-2-970-6621; Fax: +82-2-976-6460
E-mail: sunghpark@seoultech.ac.kr
Received May 3, 2021; revised May 18, 2021; accepted May 20, 2021

필수적인데 현재까지는 사료관리법에 명시된 주로 열처리에 의하여 멸균 및 살균이 이루어져 왔다. 사료의 열처리 조건은 입자 크기에 의해서 다른데 일반적으로 습열기준 70-121°C에서 이루지고 있다. 펫푸드의 가공은 인간이 섭취하는 식품과 유사한 기술과 원리를 이용하는데 현재까지 전통적으로 식품내 존재하는 주요 위해 미생물은 열처리에 의존하여 왔다. 열처리에 의한 멸균 및 살균은 원료 식품 고유의 맛과 향의 파괴에 의한 관능적 품질의 저하와 주요 영양성분의 손실이 일어나는 문제가 있으며 열처리를 대체하고자 많은 비열처리 기술들이 연구되어 왔다(Al-Bachir & Al-Adawi, 2015; Eliasson et al., 2015; Hu et al., 2016; Kaavya et al., 2021). 다양한 비열처리 살균 방법 중 현재 사료관리법에서 허용된 것은 방사선 조사기술이다. 방사선 조사 기술은 대표적인 비가열 살균기술로 제품을 완전히 포장한 상태에서 처리가 가능하며 (Je et al., 2015) 미생물 DNA 분자 결합을 파괴하는 직접효과와 세포내 수분을 radical로 전환시키는 간접효과에 의하여 살균하는 원리이다(Kim, 2006). 방사선 조사는 우수한 미생물 사멸효과와 함께 잔류독성에 무해하다고 알려져 있다(Jo et al., 2001; Sohn et al., 2006). 식품공전에 우리나라의 식품조사처리 기준에 의하면 식품조사처리에 이용 가능한 선종은 감마선과 전자선이 있는데 감마선은 60Co를 선원으로 사용하고 전자선을 방출하는 선원으로는 전자선 가속기를 이용하며 살균 시 흡수 선량은 10 kGy를 넘지 않도록 하고 있다 (Ministry of Food and Drug Safety, 2021).

비열처리 펫푸드에 대한 소비자의 요구가 증대되고 있는 시점에서 방사선 조사에 의한 펫푸드의 살균효과 및 품질 지표에 대한 연구는 부족한 실정이며 이에 대한 연구의 필요성이 지속적으로 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 방사선 조사 중 주로 사용되는 감마선과 전자선을 이용하여 분쇄 닭고기 원료사료의 주요 위해 미생물(*Salmonella*, *E. coli*)의 사멸효과와 품질지표를 분석함으로써 프리미엄 반려동물 사료 살균을 위한 방사선 조사 적용 가능성을 연구하고자 한다.

재료 및 방법

분쇄 닭고기 원료사료

펫푸드 원료사료는 시판 냉동 분쇄 닭고기(갈은통닭, FOOD DUCK, Anseong, Korea)을 이용하였으며 4°C 냉장고에서 24 h 동안 해동하여 사용하였다. 해동된 분쇄 닭고기는 밀폐용 백(17.8×18.8 cm)에 25 g씩 소분하여 위해 미생물 접종 시료로 사용하였다.

위해미생물 접종

비열 처리 살균 실험에 사용된 주요 위해미생물은 일반 세균, *Salmonella*, *E. coli* 가 선택되었다. *Salmonella*의 경우

Salmonella NCCP12231, NCCP12236, NCCP12243, NCCP14544, NCCP10140 혼합 균주를 분쇄 닭고기에 초기 농도 6.05±0.75 Log CFU/g의 수준으로 접종 후 밀봉하였다. *E. coli* 혼합균주는 *E. coli* NCCP14037, NCCP14038, NCCP14039, NCCP15661, ATCC43888로 준비되어 분쇄 닭고기에 초기 농도 6.80±0.14 Log CFU/g 수준으로 접종 후 밀폐용 백에 밀봉하였다.

감마선 조사

감마선 조사의 경우 한국원자력 연구원 기술지원 업체인 (주)그린피아기술의 고에너지 전자 가속기(JS-8900, Nordion, Ottawa, ON, Canada)를 이용하여 살균 실험을 진행하였다. 위해 미생물(일반세균, *Salmonella*, *E. coli*)을 접종하여 밀봉된 분쇄 닭고기를 감마선 흡수선량 3, 5, 7, 10 kGy로 조사된 후 살균 효과를 분석하였다.

전자선 조사

본 실험에서 전자선 조사는 한국원자력 연구원 기술지원 업체인 (주)그린피아 기술의 고에너지 전자 가속기(Rhodotron TT-200, IBA-Radiation dynamics INC, NY, USA)를 이용하였다. 위해 미생물(일반세균, *Salmonella*, *E. coli*)이 접종된 분쇄 닭고기를 밀봉상태로 3, 5, 7, 10 kGy의 흡수선량으로 조사한 후 사멸 효과를 분석하였다.

미생물 사멸 시험

감마선 및 전자선 처리에 의한 분쇄 닭고기 원료 사료내 일반세균, *Salmonella*, *E. coli* 사멸 효과를 분석하기 위하여 조사 처리된 원료사료에 0.1% buffered peptone water (BPW, Becton Dickinson and Company, Sparks, MD, USA) 50 mL을 첨가하고 균질기(BagMixer; Interscience, St. Nom, France)를 이용하여 1분간 균질 후 10진 희석하였다. 일반세균의 경우 희석 시료를 plate count agar (Becton Dickison and Company, BD, Sparks, MD, USA)에 1 mL씩 도말한 후 37°C에서 24시간 배양 후 모든 희석 집락을 계수하였다. *Salmonella*의 경우 Xylose Lysine Deoxycholate (XLD, Becton Dickinson and Company, BD, Sparks, MD, USA) agar에 1 mL씩 도말한 후 35°C에서 24시간 배양 후 검은 집락을 확인 후 계수하였다. *E. coli*의 경우 대장균 균 및 대장균용 건조필름배지(3M™ Petrifilm™ E. coli/Coliform Count Plate, 3M, St. Paul, MN, USA)에 1 mL씩 분주하여 35°C에서 24시간 배양 후 기포가 생성된 푸른 집락을 확인하고 계수하였다.

pH 측정

감마선 및 전자선 처리된 분쇄 닭고기 시료 5.0 g을 채취하여 증류수 20 mL과 함께 Homogenizer (SR-30, Misung Scientific Co. Ltd, Seoul, Korea)를 이용하여 8,000 rpm에

서 1분간 균질 후 pH meter (ORION STAR A211 pH meter, Thermo Fisher Scientific, Chelmsford, MA, USA)를 사용하여 측정하였다.

색도 측정

감마선 및 전자선 처리된 분쇄 닭고기는 Colorimeter (CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Sakai, Osaka, Japan)을 이용하여 L^* (백색도), a^* (적색도) 및 b^* (황색도)를 측정하였다. 총 색도 변화(ΔE)는 감마선 및 전자선 처리된 시료의 각 색도 항목을 대조구 시료의 색도 항목과 비교하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

L^* : 처리 후의 백색도, L_0^* : 대조구의 백색도, a^* : 처리후의 적색도, a_0^* : 대조구의 적색도, b^* : 처리 후의 황색도, b_0^* : 대조구의 황색도

전자코 이취 시험

전자코 이취 시험은 감마선 및 전자선 처리시 발생하는 시료의 이취(냄새)를 분석하기 위하여 전자코 분석기 (Heracles II, Alpha-MOS, Toulouse, France) 장비를 사용하여 시험하였다. 감마선 및 전자선 처리가 된 시료를 20 mL Headspace vial에 6g씩 넣고 측정하였다. 각 시료는 50°C에서 5분간 균질하여 휘발성 향미성분을 포집할 수 있도록 처리 후 주성분 이취 분석(Principle Component Analysis, PCA)을 수행하였다. PCA 이취 분석은 제1주성분(PC1)을 X축에 배열하고 제2주성분(PC2)을 Y축에 배열하여 대조구를 기준으로 이취가 많이 발생할수록 PC1과 PC2의 좌표상 거리가 멀어지게 된다. PC1과 PC2의 종합적 분석은 대조구와의 거리 차이를 범용 좌표 분석 프로그램인 Engauge Digitizer을 이용하여 수치화 하였다. 대조구와 처리 시료와의 거리는 무차원수로 표현되었으며 거리가 증대될수록 보다 많은 이취가 발생된 것으로 해석할 수 있다.

통계처리

감마선 및 전자선 조사 시험은 3회 반복 처리하였으며 Statistical Analysis System (SAS) 소프트웨어(version 9.1.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 ANOVA (Analysis of Variance) 분석을 Fisher의 최소유의차 검증법 (Least Significant Difference, LSD)으로 95% 유의수준에서 시행하였다.

결과 및 고찰

미생물 사멸 효과

Table 1은 감마선 및 전자선 처리된 분쇄 닭고기 원료사료의 위해 미생물 사멸 효과를 보여주고 있다. 감마선 조사 살균 시험에서는 시험된 0, 3, 5, 7 및 10 kGy의 흡수선량 중 최소 선량인 3 kGy부터 일반세균, *Salmonella* 및 *E. coli*가 모두 사멸함을 보여주었다. 선행 연구에 의하면 *Salmonella*의 경우 감마선 조사 시 흡수선량 2.5 kGy에서 생육 억제와 닭고기의 유통기한이 증대됨을 확인하였다(Lescano et al., 1991; Lamuka et al., 1992; Thayer & Boyd, 1992; Spoto et al., 2000). 주요 위해 미생물 (*Salmonella*, *E. coli*, *Staphylococcus*)은 일반적인 감마선 조사 조건 흡수선량 2-3 kGy 수준에서 효과적인 사멸 효과를 보여주었다(Lee et al., 2005). 반면에 Thayer et al. (1990)는 닭고기 속 *Salmonella panama*는 2.5 kGy 흡수선량의 감마선에서 사멸되지 않으며 충분한 사멸효과를 기대하기 위해서는 흡수선량 7.0 kGy까지 증대되어야 한다고 보고 하였다. 따라서 감마선 조사 강도는 원료사료의 오염된 주요 위해 미생물의 균주 특성에 따라 결정되어야 한다. 감마선 조사는 미생물 세포의 DNA의 화학적 결합을 파괴하고 세포막의 투과성을 변화시켜 사멸하는 것으로 알려져 있으며, 식품에 조사할 경우, 식품 내 물분자와 산소의 반응에 의한 라디칼 형성으로 미생물의 사멸 효과를 증대시킬 수 있다(Urbain, 1986; Lopez-Gonzalez et al., 1999; Kawasaki et al., 2019). 감마선의 *E. coli*에 대한 살균 효과는 *Salmonella*와 유사하여 3 kGy의 흡수선량으로 충분한 사멸 효과를 거둘 수 있었다. *E. coli*의 경우 감마선의 단일 조사

Table 1. Effect of gamma ray and electron beam irradiation on microbial inactivation of chicken based pet food ingredient (Unit: Log CFU/g)

		Irradiation dose (kGy)				
		0	3	5	7	10
Gamma ray	Aerobic bacteria	7.58±0.20	LOD*	LOD	LOD	LOD
	<i>Salmonella</i>	6.05±0.75	LOD	LOD	LOD	LOD
	<i>E. coli</i>	6.80±0.14	LOD	LOD	LOD	LOD
Electron beam	Aerobic bacteria	7.58±0.20	LOD	LOD	LOD	LOD
	<i>Salmonella</i>	6.05±0.75	LOD	LOD	LOD	LOD
	<i>E. coli</i>	6.80±0.14	LOD	LOD	LOD	LOD

*LOD, Limit of detection

로 충분한 사멸 효과를 거두기 위해서는 2 kGy이상의 흡수 선량으로 조사하여야 하며 그 보다 낮은 선량에서는 반복조사에 의해 살균 효과를 증대시킬 수 있다(Je et al., 2015).

전자선 조사는 흡수선량 0, 3, 5, 7, 10 kGy 수준으로 시험되었고, 3 kGy의 최소 흡수선량부터 시험된 모든 위해미생물이 검출 한계 이하로 사멸함을 보여주었다. 선행 연구에 의하면 *Salmonella*의 경우 전자선 2 kGy 흡수선량 수준에서 3.78 log CFU/g 수준으로 사멸되었다(Song et al., 2011). *Salmonella*의 전자선에 대한 높은 감수성은 여러 연구에서 보고되었다(Foong et al., 2004; Zhu et al., 2008; Song et al., 2011). 비열처리 살균 효과는 미생물의 오염도에 의하여 크게 영향을 받는데 초기 오염도가 높을수록 비열처리 시 사멸효과는 저하된다고 보고 되었다(Yadav & Roopesh, 2020). 본 연구에서 시험된 초기 오염도 6.05 log CFU/g 수준에서는 3 kGy의 전자선 흡수선량으로 원료사료에 존재하는 *Salmonella*를 충분히 사멸할 수 있을 것으로 기대된다.

*E. coli*도 전자선 조사에 높은 감수성을 보였는데 분쇄 닭고기 원료사료 내 초기 오염도가 6.80 Log CFU/g 인 경우 3 kGy의 낮은 흡수선량에서도 검출 한계 이하로 충분한 살균이 이루어짐을 확인하였다. Clavero et al. (1994)는 *E. coli*가 *Salmonella*보다 전자선에 대한 감수성이 높아 2.5 kGy 전자선 조사 시 *Salmonella*는 3.13 log CFU/g의 수준으로 감소하는 것에 반하여 *E. coli*의 경우 이보다 높은 8.14 log CFU/g의 사멸 정도를 보여주었다. 전자선의 경우 반복조사는 오히려 *E. coli*의 방사선 저항성을 증대시킬 수 있다고 보고되었다(Levanduski & Jaczynski, 2008). 따라서 원료사료내에 존재하는 *E. coli*의 안전성을 확보하기 위해서는 초기오염도와 원료사료 성분 등을 고려하여 방사선 저항성에 영향을 미치지 않으며 충분한 사멸 효과를 기대할 수 있는 적정 흡수선량을 선택하는 것이 중요할 것으로 생각된다. 본 연구에서 감마선과 전자선 조사는 열처리를 하지 않은 상태로 생고기 원료 사료의 위해 미생물을 효과적으로 제거할 수 있는 것으로 나타나 원료 고유의 맛과 향을 최대한 보존할 수 있는 프리미엄 펫푸드의 생산에 이용될 수 있음을 보여 주었다.

pH 측정

Table 2는 분쇄 닭고기를 감마선 및 전자선 조사 시 pH

변화를 보여주고 있다. 감마선을 조사하지 않은 분쇄 닭고기의 pH는 6.77±0.05를 나타냈으며 감마선 조사 시 pH가 0.24-0.36정도 낮아지는 경향을 보여주었다. Ham et al. (2017)는 감마선과 조사 시 흡수 선량의 강도가 강해질수록 육제품의 pH가 감소된다고 보고하였다. 반면 전자선 조사는 육류의 pH에 영향을 주지 않는다는 연구 결과도 보고되었다(Yildirim et al., 2005; Hassanzadeha et al., 2017; Kim et al., 2020; Rodrigues et al., 2020). 일반적으로 저장 과정 중 육류의 부패는 pH를 상승시키는데(Kuffi et al., 2018; Ramezani et al., 2019; Wang et al., 2020), 이는 단백질 분해와 무기 인산의 축적으로 인한 biogenic amine 형성에 기인한다(Chang et al., 2019; Konuk Takma & Korel, 2019; Piedrahíta et al., 2019; Wang et al., 2020). 본 실험에서 감마선 조사 시 육류의 pH가 0.24-0.36 낮아진 것은 펫푸드의 품질 지표에 특별한 영향을 주지 않을 것으로 생각된다. 전자선 처리의 경우 대조구(0 kGy)와 비교 시 pH의 변화가 특별한 경향성을 보이지 않았는데 이는 전자선 조사가 육류의 pH에 유의미한 영향을 미치지 않은 선행 연구와 동일한 결과를 보였다(Park et al., 2007; García-Márquez et al., 2012; Arshad et al., 2020).

색도 측정

Fig. 1은 감마선 및 전자선 조사된 분쇄 닭고기 원료사료의 색도 변화를 보여주고 있다. 대조구 시료의 백색도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)는 각각 39.7±1.8, 21.9±1.1, 19.7±0.9을 나타내었다. 감마선 조사의 경우 모든 색도 값에 통계적으로 유의적인 변화를 초래하지 않았으며, 전자선 조사의 경우도 적색도를 제외하고는 통계적 차이를 나타내지 않았다. 전자선 조사 분쇄 닭고기 원료사료의 적색도는 대조의 21.9에서 3 kGy 처리 시 최소 18.2까지 감소하였으며 흡수선량에 의한 차이는 보이지 않았다. 백색도(L*), 적색도(a*) 및 황색도(b*)의 변화를 모두 고려한 총색도 변화(ΔE)의 경우도 감마선 및 전자선 조사에 의한 경향성을 찾을 수 없었다. 선행연구에 의하면 감마선 및 전자선 조사는 닭고기 시료에 유의적인 변화를 초래하지 않는다고 보고하였다(de Azevedo Gomes et al., 2003). 반면 소고기의 경우는 감마선 및 전자선 등의 방사선 조사가 백색도, 적색도 그리고 황색도 모두 감소시켰다(Lee & Lee, 2004). 이는 닭고기와 소고기의 마이오글로빈 함량 차이에

Table 2. pH changes of chicken based pet food ingredient after gamma ray and electron beam irradiation at different dose

	Irradiation dose (kGy)				
	0	3	5	7	10
Gamma ray	6.77±0.05 ^a	6.43±0.03 ^c	6.47±0.03 ^{bc}	6.53±0.02 ^{bc}	6.41±0.04 ^c
Electron beam	6.77±0.05 ^{ab}	6.61±0.06 ^b	6.66±0.15 ^b	6.87±0.11 ^a	6.73±0.03 ^{ab}

LOD, Limit of detection

¹⁾Means with different superscript letters are significantly different at 95 confidence level of Fisher's LSD test.

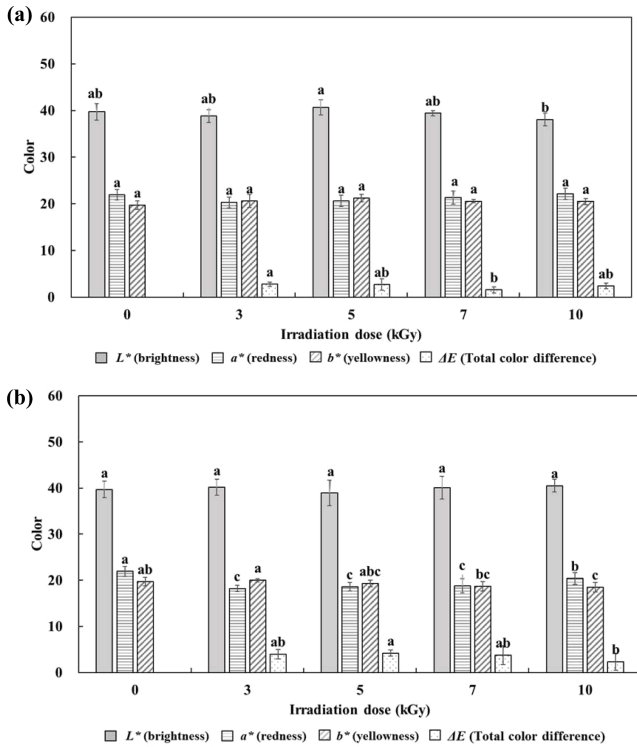


Fig. 1. Effect of gamma ray and electron beam irradiation on color of chicken based pet food ingredient at different dose.
^{a-c}Means (±SD) with a different letter in each color parameter are significantly different at 95 confidence level of Fisher's LSD test.

기인하여 마이오글로빈 함량이 많을수록 방사선 조사에 의하여 큰 영향을 받는 것으로 생각된다. 소고기의 경우 닭고기, 돼지고기에 비하여 헴 색소(Heme pigment)의 함량이

10배이상 높기 때문에 방사선 조사에 의한 metmyoglobin 파괴에 의해 CO-Mb의 생성비율이 낮아 방사선 조사 시 상대적으로 적색도가 감소된다(Ahn and Lee 2006; Park et al., 2009). 본 연구에서 감마선 및 전자선 조사의 백색 육인 닭고기 원료 펫푸드의 색도 품질 지표에 부정적 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

전자코 이취 분석

Fig. 2는 PCA 전자코 이취 분석 결과를 보여주고 있다. 전자코 분석은 최근 들어 방사선 조사식품에서의 이취를 감지하는데 널리 사용되고 있는 분석 기술이다(Ahn et al., 2013; Jo et al., 2018; Chung et al., 2019).

대조구 시료의 경우 제1주성분(PC1)은 -33,155에 위치하며 감마선 및 전자선 조사 시 양의 값으로 이동하여 10 kGy의 감마선 및 전자선 조사 시 최대 20,617 및 25,919의 수치를 보여주었다. PC1의 이취 발생 기여율은 90.367%으로 매우 높게 나타났다. 제2주성분(PC2)의 경우 기여율은 5.099%로 낮게 나타났으며 감마선 및 전자선 조사에 의해서 변화되는 특별한 경향성을 보여주지 않았다. 방사선 조사에 의한 이취 발생을 유의미하게 나타낸 PC1을 흡수선량에 따라 수치적으로 분석하기 위하여 범용 좌표분석 소프트웨어를 이용하여 대조구와 처리구간의 거리를 계산하여 Fig. 3에 제시하였다. 감마선 조사 닭고기 원료사료의 경우 3 kGy 조사 시 대조구로부터 PCA 주성분 좌표가 31,445 수치로 거리가 멀어졌다. 5 및 7 kGy 감마선 조사 시 분쇄 닭고기 원료사료의 이취 발생은 3 kGy 조사와 유의적차이를 보여주지 않았다($p>0.05$). 10 kGy 감

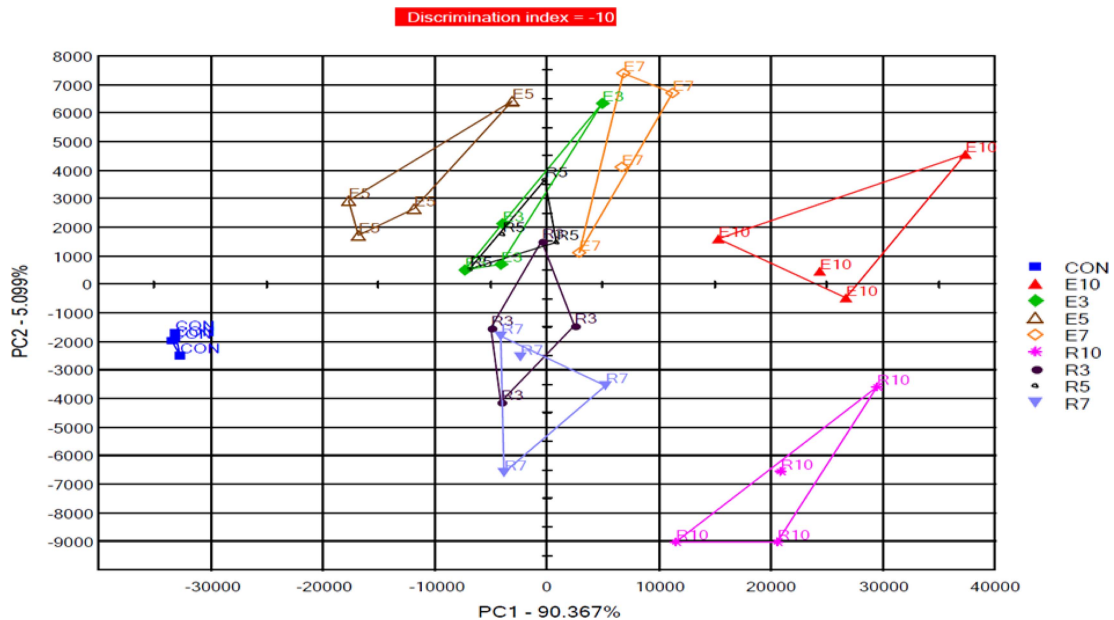


Fig. 2. PCA electric nose analysis of gamma ray and electron beam irradiated chicken based pet food ingredient at different dose (CON: Control, R3: gamma ray 3 kGy, R5: gamma ray 5 kGy, R7: gamma ray 7 kGy, R10: gamma ray 10 kGy, E3: electron beam 3 kGy, E5: electron beam 5 kGy, E7: electron beam 7 kGy, E10: electron beam 10 kGy).

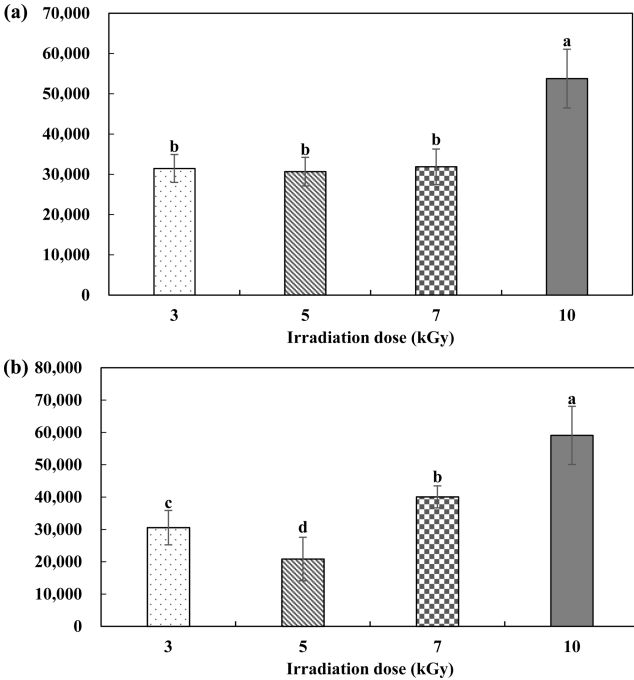


Fig. 3. Numerical estimation of PC1 electronic nose analysis results through isolation distance of (a) gamma ray and (b) electron beam irradiated chicken based pet food ingredient from control sample at different dose. ^{a-d}Means (\pm SD) with a different letter are significantly different at 95 confidence level of Fisher's LSD test.

마선 조사시에는 53,773의 수치를 보여 이취 발생이 급격하게 증가하였다. 연구의 PCA 수치 분석 결과에서는 감마선의 흡수선량이 증대될수록 분쇄 닭고기 원료사료의 이취 발생이 증가하는 것으로 판단된다. 전자선 조사 닭고기 원료사료의 경우 대조구로부터 3 kGy 조사 시료의 30,547 수치만큼 차이를 보였다. 전자선 조사 5 kGy에서는 3 kGy와 비교하여 20,842 수치로 대조구와의 거리가 오히려 감소하였다. 전자선 조사 7 및 10 kGy에서는 조사선량이 강해질수록 대조구와의 거리가 멀어져 이취가 발생함을 보여주었다. 방사선 조사 시 휘발성 향미 성분의 변화는 방사선 조사 흡수량에 비례한다(Kong et al., 2017; Chung et al., 2019). 방사선 조사에 의한 이취 발생은 주로 지방산화와 휘발성 황화합물 형성에 기인한다(Brewer, 2009). 분쇄육의 경우 지방산화에 취약하여 방사선 조사 시 이취 발생이 정육에 비하여 더욱 증가한다(Kanatt et al, 1998; Ohene-Adjei et al., 2004). 방사선 조사된 식육의 이취는 상한 달걀 냄새, 가열취 및 비린내 등의 향이 복합적으로 발생된다고 보고되었다(Groninger et al., 1956; Hampson et al., 1996; Lee et al, 1996a; Lee et al, 1996b; Luchsinger et al., 1997; Jo et al., 1999; Brewer, 2009). 이러한 이취가 반려견 또는 반려묘의 선호도에 영향을 주는지에 대한 여부는 본 연구에서 시험되지는 않았다. 그러나 반려견 사료를 구매하는 것은 견주인데 이취의

발생은 견주의 구매 의향에 매우 큰 영향을 미친다(Delime et al., 2020). 반려견 사료의 개발은 반려견과 반려동물 소유자의 선호도를 모두 고려하여야 한다(Donfrancesco et al., 2013). 이러한 관점에서 방사선 조사 펫푸드의 상용화를 위해서는 방사선 조사 이취 발생과 반려견의 기호도 특성과의 상관관계에 대한 보다 체계적인 연구가 요구된다.

요 약

본 연구는 감마선 및 전자선 조사에 의한 닭고기 원료 사료 내에 존재하는 주요 위해 미생물을 비열처리 살균 효과를 검증하기 위하여 진행되었다. 일반세균, *E. coli* 및 *Salmonella*의 위해 미생물을 분쇄 닭고기 원료사료에 접종 후 3, 5, 7, 10 kGy의 전자선과 감마선으로 조사하였다. 전자선과 감마선 모두 3 kGy의 조사 시 시험된 미생물을 검출 한계 이하로 사멸시켜 분쇄 육류 원료 사료의 경우 3 kGy의 흡수선량이 충분한 비열 살균 조건임을 보여주었다. 방사선 조사에 의한 원료 사료의 품질 지표 변화를 알아보기 위하여 분쇄 닭고기의 조사 처리 후 pH 변화, 색도 측정, 전자코 이취 분석을 수행하였다. pH와 색도의 경우 감마선 및 전자선 조사에 의해 유의미하게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 전자코 이취 시험의 경우 감마선 조사의 경우 3 kGy의 저선량 조사부터 이취가 발생되기 시작하였으며 10 kGy 조사 시 급격하게 이취의 정도가 증가하는 것으로 나타났다. 전자선 조사 역시 3 kGy의 조사부터 이취가 발생하였으며 5 kGy의 선량 이후 흡수선량이 증가함에 따라 이취가 점진적으로 증가하였다. 본 연구 결과 3 kGy의 저선량에서도 닭고기를 원료로한 펫푸드의 비열 살균 효과를 충분히 이루어짐을 확인하였고 품질 지표에도 부정적인 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이러한 비열처리 펫푸드의 살균 기술 개발은 국내 펫푸드 시장의 활성화와 반려 동물의 복지 향상에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농축산물안전생산·유통관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(320033-01-1).

References

Acuff HL, Dainton AN, Dhakal J, Kiprotich S, Aldrich G. 2021. Sustainability and Pet Food: Is There a Role for Veterinarians?. *Vet Clin. North Am Small Anim Pract.* 51: 563-581.
 Ahn DU and Lee EJ. 2006. Mechanisms and prevention of quality changes in meat by irradiation. In: *Food Irradiation Research and Technology.* Sommers CH, Fan X. (eds.). Blackwell pub-

- lishing IFT Press, IA, USA. 127-142.
- Ahn, JJ, Akram K, Jeong MS, Kwak JY, Park EJ, Kwon JH. 2013. Luminescence properties and compositions of contaminating inorganic minerals separated from gamma-irradiated fresh and white ginsengs from different areas. *J. Ginseng Res.* 37: 483-490.
- Al-Bachir M, Al-Adawi M. 2015. Comparative effect of irradiation and heating on the microbiological properties of licorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) root powders. *Int J. Radiat Biol.* 91: 112-116.
- Arshad MS, Kwon JH, Ahmad RS, Ameer K, Ahmad S, Jo Y. 2020. Influence of E-beam irradiation on microbiological and physicochemical properties and fatty acid profile of frozen duck meat. *Food Sci. Nutr.* 8: 1020-1029.
- Behravesch CB, Ferraro A, Deasy M, Dato V, Moll M, Sandt C, Rea NK, Rickert R, Marriott C, Warren K, Urduaneta V, Salehi E, Villamil E, Ayers T, Hoekstra RM, Austin JL, Ostroff S, Williams IT, the Salmonella Schwarzengrund Outbreak Investigation Team. 2010. Human Salmonella Infections Linked to Contaminated Dry Dog and Cat Food, 2006-2008. *Pediatrics.* 126: 477-483.
- Brewer MS. 2009. Irradiation effects on meat flavor: A review. *Meat Sci.* 81: 1-14.
- Chang W, Liu F, Sharif HR, Huang Z, Goff HD, Zhang F. 2019. Preparation of chitosan films by neutralization for improving their preservation effects on chilled meat. *Food Hydrocoll.* 90: 50-61.
- Cho HJ. 2021. Finding of future oriented animal feed examination through analysis of current regulations. *Bimonthly Feed Magazine.* 107: 50-55.
- Chung N, Ameer K, Jo Y, Kwon JH. 2019. Comparison of electronic sensing techniques for screening dried shrimps irradiated using three types of approved radiation with standard analytical methods. *Food Chem.* 286: 395-404.
- Clavero MRS, Monk JD, Beuchat LR, Doyle MP, Doyle MP, Backett RE. 1994. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, salmonellae, and *Campylobacter jejuni* in raw ground beef by gamma irradiation. *Appl. Environ Microb.* 60: 2069-2075.
- de Azevedo Gomes H, da Silva EN, Cardello HMAB, Cipolli KMVAB. 2003. Effect of gamma radiation on refrigerated mechanically deboned chicken meat quality. *Meat Sci.* 65: 919-926.
- Delime P, Koppel K, Pachot P, De Ratuld A. 2020. How the odor of pet food influences pet owners' emotions: A cross cultural study. *Food Qual. Prefer.* 79: 103772.
- Di Donfrancesco B, Koppel K, Aldrich CG. 2018. Pet and owner acceptance of dry dog foods manufactured with sorghum and sorghum fractions. *J. Cereal Sci.* 83: 42-48.
- Eliasson L, Isaksson S, Lövenklev M, Ahrné L. 2015. A comparative study of infrared and microwave heating for microbial decontamination of paprika powder. *Frot. Microbiol.* 6: 1071.
- Foong SC, Gonzalez GL, Dickson JS. 2004. Reduction and survival of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat meats after irradiation. *J. Food Protect.* 67: 77-82.
- Groninger HS, Tappel AL, Knapp FW. 1956. Some chemical and organoleptic changes in gamma irradiated meats. *Food Res.* 21: 555-564.
- García-Márquez I, Ordóñez JA, Cambero MI, Cabeza MC. 2012. Use of E-beam for shelf-life extension and sanitizing of marinated pork loin. *Int J. Microbiol.* 96: 28-46.
- Ham YK, Kim HW, Hwang KE, Song DH, Kim YJ, Choi YS, Song BS, Park JH, Kim CJ. 2017. Effects of irradiation source and dose level on quality characteristics of processed meat products. *Radiat Phys. Chem.* 130: 259-264.
- Hampson JW, Fox JB, Lakritz L, Thayer DW. 1996. Effect of low dose gamma radiation on lipids in five different meats. *Meat Sci.* 42: 271-276.
- Hassanzadeh P, Tajik H, Rohani SMR, Moradi M, Hashemi M, Aliakbarlu J. 2017. Effect of functional chitosan coating and gamma irradiation on the shelf-life of chicken meat during refrigerated storage. *Radiat Phys. Chem.* 141: 103-109.
- Hu Y, Nie W, Hu X, Li Z. 2016. Microbial decontamination of wheat grain with superheated steam. *Food Control.* 62: 264-269.
- Je GS, Chung DH, Shim WB. 2015. Reducing effect of microorganism on meat and fish products by repeated γ -irradiation at low dose. *J. Food Hyg. Saf.* 30: 92-97.
- Jo C, Lee JI, Ahn DU. 1999. Lipid oxidation, color changes and volatile production in irradiated pork sausage with different fat content and packaging during storage. *Meat Sci.* 51: 355-361.
- Jo C, Lee JW, Byun MW. 2001. Short communication of novel application of food irradiation. *J. Food Sci. Nutr.* 6: 253-256.
- Jo Y, Ameer K, Kang YH, Ahn DU, Kwon JH. 2018. Calibrated photo-stimulated luminescence and e-sensing analyses discriminate korean citrus fruits treated with electron beam. *Food Anal Method.* 11: 3190-3200.
- Ji IB, Kim HJ, Kim WT, Seo KC. 2017. Development strategies for the companion animal industry. *Korean Rural Economic Institute R* 824: 3-7.
- Ji SY. 2021. Current research trend of virus contamination prevention in animal feed. *Bimonthly Feed Magazine.* 107: 56-61.
- Kaavya R, Pandiselvam R, Abdullah S, Sruthi NU, Jayanath Y, Ashokkumar C, Chandra Khanashyam A, Kothakota A, Ramesh SV. 2021. Emerging non-thermal technologies for decontamination of Salmonella in food. *Trends. Food Sci. Tech.* 112: 400-418.
- Kanatt SR, Paul P, D'Souza SF, Thomas P. 1998. Lipid peroxidation in chicken meat during chilled storage as affected by antioxidants combined with low-dose gamma irradiation. *J. Food Sci.* 63: 198-200.
- Kawasaki S, Saito M, Mochida M, Noviyanti F, Seito H, Todoriki S. 2019. Inactivation of *Escherichia coli* O157 and *Salmonella* Enteritidis in raw beef liver by gamma irradiation. *Food Microbiol.* 78: 110-113.
- Kim DH. 2006. Principles of radiation sterilization of food materials. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 11: 21-29.
- Kim TK, Hwang KE, Ham YK, Kim HW, Paik HD, Kim YB, Choi YS. 2020. Interactions between raw meat irradiated by various kinds of ionizing radiation and transglutaminase treatment in meat emulsion systems. *Radiat Phys. Chem.* 166: 108452.
- Kong Q, Yan W, Yue L, Chen Z, Wang H, Qi W, He X. 2017. Volatile compounds and odor traits of dry-cured ham (Prosciutto crudo) irradiated by electron beam and gamma rays. *Radiat Phys. Chem.* 130: 265-272.
- Konuk Takma D, Korel F. 2019. Active packaging films as a carrier of black cumin essential oil: Development and effect on

- quality and shelf-life of chicken breast meat. *Food Packag. Shelf Life*. 19: 210-217.
- Kuffi KD, Lescouhier S, Nicolai BM, De Smet S, Geeraerd A, Verboven P. 2018. Modelling postmortem evolution of pH in beef M. biceps femoris under two different cooling regimes. *J. Food Sci. Technol.* 55: 233-243.
- Lamuka PO, Sunki GR, Chawan CB, Rao DR, Shackelford LA. 1992. Bacteriological quality of freshly processed broiler chickens as affected by carcass pretreatment and gamma irradiation. *J. Food Sci.* 57: 330-332.
- Lee KA, Lee YJ. 2004. Physico-chemical changes in irradiated beef and pork loins. *Korean J. Hum Ecol.* 13: 1301-1036.
- Lee NY, Jo C, Jong HJ, Kang HJ, Kim JK, Kim HJ, Byun MW. 2005. The prediction of the origin of microbial contamination in kimbab and improvement of microbiology safety by gamma irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 279-286.
- Lee M, Sebranek J, Parrish Jr FC. 1996a. Accelerated post-mortem aging of beef utilizing electron-beam irradiation and modified atmosphere packaging. *J. Food Sci.* 61: 133-136.
- Lee M, Sebranek JG, Olson DG, Dickson JS. 1996b. Irradiation and packaging of fresh meat and poultry. *J. Food Protect.* 59: 62-72.
- Lescano G, Narvaiz P, Kairiyama E, Kaupert N. 1991. Effect of chicken breast irradiation on microbiological, chemical and organoleptic quality. *Lebensm. Wiss. Technol.* 24: 130-134.
- Levanduski L, Jaczynski J. 2008. Increased resistance of *Escherichia coli* O157:H7 to electron beam following repetitive irradiation at sub-lethal doses. *Int J. Food Microbiol.* 121: 328-334.
- Lopez-Gonzalez V, Murano PS, Brennan RE, Murano EA. 1999. Influence of various commercial packaging conditions on survival of *Escherichia coli* O157:H7 to irradiation by electron beam versus gamma Rays. *J. Food Protect.* 62: 10-15.
- Luchsinger SE, Kropf, DH, Chambers IV E, Garcia-Zepeda CM, Hunt MC, Stroda SL, Hollingsworth ME, Marsden JL, Kastner CL. 1997. Sensory analysis of irradiated ground beef patties and whole muscle beef. *J. Sens Stud.* 12: 105-126.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2021. Food Code. Ministry of Food and Drug Safety. Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea. p. 46-47.
- Nemser SM, Doran T, Grabenstein M, McConnell T, McGrath T, Pamboukian R, Smith AC, Achen M, Danzeisen G, Kim S, Liu Y, Robeson S, Rosario G, McWilliams Wilson K, Reimschuessel R. 2014. Investigation of *Listeria*, *Salmonella*, and toxigenic *Escherichia coli* in various pet foods. *Foodborne Pathog. Dis.* 11: 706-709.
- Ohene-Adjei S, Bertol T, Hyung Y, Ellis M, McKeith FK, Brewer MS. 2004. Effect of vitamin E, low dose irradiation and display time on the quality of pork. *Meat. Sci.* 68: 19-26.
- Park JG, Park JN, Han IJ, Kim WG, Song BS, Kim JH, Choi JI, Yoon YH, Byun MW, Hwang HJ, Lee JW. 2009. Comparison of the effects of gamma ray and e-beam irradiation on the quality of minced beef during storage. *J. Radiat. Ind.* 3: 71-77.
- Park TS, Shin TS, Park GB, Oh SH, Lee JI. 2007. Effects of electron-beam irradiation on the physico-chemical properties of Hanwoo meat. *J. life Sci.* 17: 260-265.
- Piedrahita Márquez DG, Fuenmayor CA, Suarez Mahecha H. 2019. Effect of chitosan-propolis edible coatings on stability of refrigerated cachama (*Piaractus brachypomus*) vacuum-packed fish fillets. *Packaging Technol. Sci.* 32: 143-153.
- Ramezani F, Najafi MA, Rahnama M, Haddadi T. 2019. Separate and combined effects of lactic acid, chitosan and modified atmosphere packaging on the shelf life of quail carcass under chilled conditions. *Int J. Food Microbiol.* 289: 215-222.
- Rodrigues LM, Sales LA, Fontes PR, Torres Filho RA, Andrade MPD, Ramos ALS, Ramos EM. 2020. Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. *Food Chem.* 313: 126137.
- Sohn SH, Jo C, Oh MJ, Sohn CB, Byun MW. 2006. Studies on the Changes of Biological Activity and Physicochemical Characteristics of Gamma Irradiated Dandelion Extracts. *Food Eng. Pro.* 10: 40-47.
- Song HJ, Lee JH, Song KB. 2011. Effects of irradiation and fumaric acid treatment on the inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* inoculated on sliced ham. *Radiat Phys. Chem.* 80: 1291-1293.
- Spoto MHF, Gallo CR, Alcarde AR, Gurgel MSA, Blumer L, Walder JMM, Domarco RE. 2000. Gamma irradiation in the control of pathogenic bacteria in refrigerated ground chicken meat. *Sci Agric.* 57: 389-394.
- Thayer DW, Boyd G, Muller WS, Lipson CA, Hayne WC, Baer SH. 1990. Radiation resistance of *Salmonella*. *J. Ind Microbiol.* 5: 383-390.
- Thayer DW, Body G. 1992. Gamma ray processing to destroy *Staphylococcus aureus* in mechanically deboned chicken meat. *J. Food Sci.* 57: 848-851.
- Urbain WM. 1986. Food irradiation. Academic Press, Orlando, FL, USA.
- Wang Z, He Z, Zhang D, Lia H, Wang Z. 2020. Using oxidation kinetic models to predict the quality indices of rabbit meat under different storage temperatures. *Meat Sci.* 162: 108042.
- Yadav B, Roopesh MS. 2020. In-package atmospheric cold plasma inactivation of *Salmonella* in freeze-dried pet foods: Effect of inoculum population, water activity, and storage. *Innov Food Sci. Emerg.* 66: 102543.
- Yildirim I, Uzunlu S, Topuz A. 2005. Effect of gamma irradiation on some principle microbiological and chemical quality parameters of raw Turkish meat ball. *Food Control.* 16: 363-367.
- Zhu MJ, Mendonca A, Ismail HA, Ahn, DU. 2008. Effects of irradiation on survival and growth of *Listeria monocytogenes* and natural microflora in vacuum-packaged turkey hams and breast rolls. *Poultry Sci.* 87: 2140-2145.

Author Information

강수왕: 서울과학기술대학교 대학원생

황정현: 서울과학기술대학교 대학원생

정아현: 서울과학기술대학교 대학원생

박은영: 숙명여자대학교 대학원생

박상은: 숙명여자대학교 대학원생

윤요한: 숙명여자대학교 교수

박성희: 서울과학기술대학교 교수