Research article

가금폐사체 사료화를 위한 최적 처리 온도 및 열처리 시간 연구

최용준¹ · 김흥순² · 이상락³ · 안지연² · 나영준^{4,5} · 이은채^{4*}

¹건국대학교 동물자원과학과 박사후연구원, ²건국대학교 동물자원과학과 연구원, ³건국대학교 동물자원과학과 교수,

⁴건국대학교 동물자원연구센터 학술연구교수, ⁵(주)앤티러 AnimalData Lab. 대표

A study of optimal treatment temperature and heat treatment time to utilize poultry carcass as a feed ingredient

Yongjun Choi¹, Heungsun Kim², Sangrak Lee³, Jiyeon Ahn², Youngjun Na^{4,5}, Eunchoe Lee^{4*}

¹Postdoctoral Researcher, Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05029, Republic of Korea

²Researcher, Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05029, Republic of Korea

³Professor, Department of Animal Science and Technology, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05029, Republic of Korea

⁴Academic Research Professor, Animal Resource Research Center, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05029, Republic of Korea

⁵CEO (Chief Executive Officer), AnimalData Lab., Antler Inc, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05029, Republic of Korea

Corresponding author

Eunchoe Lee

Konkuk University, 120 Neungdong-ro,
Gwangjin-gu, Seoul, 05029,
Republic of Korea

Tel : +82-2-450-3696

Fax : +82-2-455-1044

E-mail : cpu23@konkuk.ac.kr

Received : January 20, 2021

Revised : February 22, 2021

Accepted : February 25, 2021

This study was conducted to study optimal treatment temperature and heat treatment time to utilize poultry carcass as a feed ingredient. Experiment was performed to decide a critical control point using lab-scale analysis under various conditions. To decide a critical treatment temperature and heat treatment time, the experiment was performed at four different temperatures (100, 140, 180, and 220°C) in a completely randomized design and sampling was performed at 0, 4, 6, 8, and 10 h. Dry matter (DM), pepsin digestibility, salmonella, coliform, fungi, aflatoxin, and ochratoxin were analyzed to determine the potential of the heat-processed chicken carcass as a feed ingredient. It has been found that the optimum drying temperature was 140°C ($p < 0.05$) and it took about 4 h to reach to 95% DM content except for the treatment at 100°C ($p < 0.05$). Pepsin digestibility of treatment temperature at both 100 and 140°C was greater than those of 180 and 220°C ($p < 0.05$). Detection frequency of Salmonella and Coliform was greatest in the 100°C of treatment temperature and there was no detection of Salmonella and Coliform in the other treatments. Therefore, as chicken carcass was processed at a temperature of 140°C and higher than 4 hours using the chicken carcass treatment system, it is considered that chicken dead bodies can be used as a valuable feed ingredient.

Key words : Chicken carcass, Optimal treatment temperature, Heat treatment time, Salmonella, Escherichia coli

서론

전염성 질병과 도태 등으로 발생하는 가금폐사체를 처리할 때 발생하는 악취 및 오염물질에 대해 많은 문제점이 지적되고 있다. 대부분의 축산 농가는 땅에 매몰하는 방식으로 폐사체를 처리하는데 이는 처리방법이 단순하고 단 시간 내에 많은 폐사체를 처리할 수 있어 전국적인 전염성 질병 대유행 시 즉각적인 대응이 용이하다. 하지만 매몰 이후 유출된 침출수가 지하수를 오염시킬 우려가 있고 야생 동물에 의한 제2차 전염을 유발할 수 있는 문제점을 갖는다(Kim and Kim, 2017). 더불어 소각, 렌더링 등 열에너지를 사용하는 열처리 방법이 있다. 열처리로 폐사체 내 유해한 병원성균들은 효과적으로 사멸될 수 있지만, 소각의 경우 대기오염의 문제가 있으며 (Scudamore et al., 2002) 렌더링의 경우 많은 에너지를 필요로 한다.

가금폐사체에 존재하는 유해균들이 열처리를 통해 확실하게 사멸된다면 이는 좋은 동물성 단백질원으로 사용될 수 있다(Seidavi et al., 2019). 가금폐사체를 열처리하는데 고려해야 할 요소들로는 단위면적당 용량, 온도, 처리시간 및 교반상태 등이 있으며, 특히 처리 온도 및 열처리 시간에 따라 사료적 가치에 많은 영향을 줄 수 있다. 그러나 가금폐사체의 처리온도와 열처리 시간에 따라 사료적 가치를 평가한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 가금폐사체에서 열처리 최적 처리온도 및 가열 시간을 도출하고 처리 후 가금폐사체의 건물함량, 펩신소화율 및 유해균 변화에 미치는 영향을 연구하고자 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 가금폐사체

가금폐사체는 전라북도 익산에 위치한 종계 농장에서 발생한 Hy-Line brown종 폐사체를 수거하여 실험에 사용하였으며 (Figure 1 및 Table 1), 실험 전까지 -20°C에 냉동 보관 하였다.

2. 시험설계

가금폐사체 최적 처리온도 도출을 위하여 100, 140, 180 및 220°C 조건에서 가열하고 0, 4, 6, 8 및 10시간에 샘플링을 수행하였다. 실험의 수행은 각 처리구별로 가열할 샘플은 원물 기준 약 50 g을 칭량하여 3반복으로 건조오븐

Figure 1. A picture of ground chicken carcass.

Table 1. Chemical composition of chicken carcass.

Item (%)	Chicken carcass
DM [†]	39.3 ± 0.6
CP	23.3 ± 2.6
EE	7.0 ± 1.6
CF	0.9 ± 0.0
Ash	6.6 ± 3.5
Ca	3.0 ± 0.9
P	1.5 ± 0.4

[†] DM, dry matter; CP, crude protein; EE, ether extract; CF, crude fiber; NA, not-analysis.

(Daihan Scientific, Smart-LabTM System oven, Korea)를 이용하여 실험을 수행하였다. 각 온도별로 설정된 오븐에서 각 가열시간 (0, 4, 6, 8 및 10시간)에 샘플을 꺼낸 뒤 1시간 방냉 후 칭량하여 가열 온도와 시간에 의한 가금폐사체의 건물함량 및 소실율을 계산하였다. 각 온도 및 시간별 샘플에 대하여 펩신소화율, 유해균, 아플라톡신 및 오클라톡신의 분석을 수행하였다.

3. 조사항목 및 방법

(1) 건물함량

건물 (Dry matter, DM)은 AOAC (2005)의 방법에 따라 분석을 수행하였다. 건물은 열풍 건조기 (HB-503-LF, Hanbaek scientific technology, Korea)를 사용하여 60°C에서 48시간 동안 건조하여 측정하였다.

(2) 펩신소화율

펩신소화율 (AOAC 971.09)과 조단백질 (AOAC 968.06)의 함량은 AOAC (2005)의 방법에 따라 분석하였다. 시료 1 g을 샘플링하여 탈지 후 250 mL 삼각플라스크에

넣고 0.2% 펩신염산액 (0.075 N 염산 1 L에 펩신 2.0 g을 녹여 제조) 150 mL를 가하고 45°C 조건에서 배양기에서 교반하면서 16시간 소화시킨 후 여과지 (Whatman No.1, Cytiva, Massachusetts, USA)로 여과한다. 불소화물은 세척 후 불소화물과 여과지를 Kjeldhal 방법 (Bremner, 1960)에 따라 조단백질 함량을 구하고, 시료에 대한 조단백질의 함량을 구하여 펩신소화율을 계산하였다. 조단백질의 함량은 시료 1 g을 샘플링하여 황산 20 mL와 촉매제 (CuSO₄와 K₂SO₄를 1 대 9 비율로 혼합)를 첨가하여 오토샘플러 (Kjeltec AutoSampler System) 및 조단백질 자동분석기 (Kjeltec 8400, FOSS, Hilleroed, Denmark)에서 620°C로 분해 후 측정하였다. 아래의 식 (1)에 따라 계산하였다.

$$\text{펩신소화율 (\%)} = \{(A - B) / A\} \times 100 \quad (1)$$

A : 시료 내 조단백질 함량 (%)

B : 불소화물 내 조단백질 함량 (%)

(3) 유해균 수 측정

유해균으로 살모넬라, 대장균군, 대장균, 곰팡이의 수를 조사하였다. 사료의 미생물 균총 검사를 위해 사료 1 g에 증류수 9 mL를 첨가해 희석시킨 후 단계적으로 희석하였다. 그리고 처리구별 가금폐사체 내에 존재하는 살모넬라, 대장균군과 대장균 그리고 곰팡이는 각각 *Salmonella* sp. 용, Coliform/E. coli 용, Mold/Yeast 용 필름배지 (MC-Media Pad, JNC Co., Japan)를 이용하여 희석된 샘플액을 1,000 µL씩 접종시켜 배양하였다. 살모넬라, 대장균군 및 대장균은 37°C에서 24 시간동안, 곰팡이는 25°C에서 48 시간 동안 배양하여 각각의 균 수를 조사하였다. 미생물의 수는 각 선택배지에서 colony forming unit (CFU)으로 계수 후 10진법으로 환산하였다

(4) 아플라톡신 및 오크라톡신 분석

아플라톡신 및 오크라톡신의 측정은 사료 등의 기준 및 규격의 사료표준분석방법 (제13조 관련) 내 분석방법에 따라 분석하였다. 아플라톡신과 오크라톡신은 사료표준 분석방법에 제시된 전처리 방법에 따라 액체 형태로 전처리한 후 HPLC (High Resolution Orbitrap LC/MS, Thermo Scientific, MA, USA)를 이용하여 분석하였다.

4. 통계분석

온도 및 건조시간의 효과에 대한 통계분석은 SAS (2013)의 PROC MIXED procedure를 이용하였다. 모델 모형은,

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad (2)$$

모델에서 μ 는 평균값, T_i 는 처리구 및 E_{ij} 는 실험오차를 나타낸다. 모델의 고정 변수는 온도이며, 임의 변수는 고려하지 않았다. 각 처리 구간에 비교는 CONTRAST 옵션을 이용하여 Repeated measurement를 수행하였고 (Littell et al., 1998), 유의성은 $p < 0.05$ 수준에서 검정하였다. 그래프는 Excel 프로그램의 “Solver”를 사용하여 시그모이드 방정식을 활용하여 관측값에 대하여 추세선을 추정하였다.

결과 및 고찰

건조온도 및 건조시간에 따른 가금폐사체의 건물함량 변화를 Figure 2에 나타내었다. 건조 온도 100°C를 제외하고 4시간이 지난 후 가금폐사체의 건물함량은 90% 이상을 나타내었고, 100°C 온도에서 8시간 후 건물 90%를 초과하였다. 전반적으로 140°C 이상 처리 구가 100°C 처리 구보다 건조 능력이 높게 나타났으며 ($p < 0.05$), 140°C 이상의 처리구 간에는 유의한 차는 나타나지 않았다.

농림축산식품부에서 사료관리법 내 ‘사료 등의 기준 및 규격’ (2017 개정 고시)에 따르면 남은 음식물 등의 성분 등록 사항에 대하여 기준 성분 (조단백질, 조지방, 수분, 염분 등) 항목과 더불어 열처리 공정 (100°C)에 관한 내용을

Figure 2. Dry matter content of chicken carcass according to drying temperature and drying time. □, 100°C; ○, 140°C; △, 180°C; ×, 220°C. Sampling time was 0, 2, 4, 8 and 10 h. Each line represent a predicted value that is fitted to the sigmoid equation using “Solver” in the excel program.

추가하였으며, 가금 사료 및 사료원료에 대하여 수분함량 14% 이하 등의 기준을 추가하여 명시하고 있다. 이에 사료 원료로서 건물함량을 86%를 기준으로 평가하여야 하나 미생물의 생존능력이 수분함량 5%까지 나타날 수 있어 건물함량을 95%를 기준으로 평가하였다(López-Malo and Alzamora, 2015). 본 실험 결과에 따르면 효율적으로 가금 폐사체를 건조하기 위해서는 140°C에 근접한 온도에서 건조를 하는 것이 효율적으로 사료되며, 140°C보다 높은 온도에서 건조를 수행할 경우 에너지의 소모 대비 건조 효율이 급격하게 낮아지기 때문이다. 열처리하는 사료 산업에서 유해균을 사멸하고 소화율을 증진하는 용도로 널리 사용되고 있다. 본 연구에서 최적의 건조 효율을 나타내는 140°C에서는 대부분의 유해 미생물은 사멸하는 것으로 알려져 있으며 (Walstra et al., 2005) 이 과정은 가금폐사체의 사료화를 위해 필수적인 과정으로 사료된다. 사료를 열처리할 경우 단백질 및 아미노산의 펩신소화율에 미치는 거의 없다고 보고되었으나 (Lee et al., 2007), 반대로 열처리가 아미노산의 소화율에 부정적인 영향을 미친다는 연구 결과가 보고된 바 있다 (Bellagamba et al., 2015). 이전 연구에서 열처리에 대한 사료의 이용성에 대한 상반된 보고가 있는 만큼 본 연구에서도 사료에서 가장 중요하게 여겨지는 단백질의 소화율에 대한 검증은 필요할 것으로 사료된다.

건조온도 및 건조시간에 따른 가금폐사체의 펩신소화율을 Figure 3에 나타내었다. 100°C 및 140°C에서 건조를 수행한 가금폐사체 처리구의 펩신소화율이 180°C 및 220°C에서 건조를 수행한 처리구의 펩신소화율에 비하여 실험

Figure 3. Pepsin digestibility of chicken carcass according to drying temperature and drying time. □, 100°C; ○, 140°C; △, 180°C; ×, 220°C. Sampling time was 0, 2, 4, 8 and 10 h. Each line represent a predicted value that is fitted to the sigmoid equation using "Solver" in the excel program.

전체에서 유의적으로 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

이전 연구에서 단백질의 고온에서 열처리하는 아미노산의 소화율에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 보고가 있었다 (Bellagamba et al., 2015). 그러나 본 연구의 결과에서 140°C에서의 건조는 단백질의 펩신소화율에는 영향을 주지 않았다. 본 실험에서 140°C 온도에서 가금폐사체를 열처리할 경우 에너지의 효율은 가장 높고 단백질의 이용성에 미치는 영향이 낮게 나타남에 따라 140°C의 열처리 온도가 가금폐사체를 처리하기 위한 최적으로 판단되었다.

건조온도 및 건조시간에 따른 가금폐사체의 살모넬라, Coliform, 곰팡이, 아플라톡신 및 오크라톡신의 균수 측정 결과를 Table 2에 나타내었다. 유해성이 높은 살모넬라와 Coliform의 수치는 100°C 처리구를 제외하고 모든 처리구에서 검출되지 않았다. 곰팡이는 모든 처리구에서 검출되

Table 2. Colony number of Salmonella, coliform and fungi and toxins according to each treatment.

	Temperature, °C			
	100	140	180	220
Time, h	----- Salmonella, Log10 CFU/g -----			
4	3.70	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND
Time, h	----- Coliform, Log10 CFU/g -----			
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND
Time, h	----- Fungi, Log10 CFU/g -----			
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND
Time, h	----- Aflatoxin, µg/kg -----			
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND
Time, h	----- Ochratoxin, µg/kg -----			
4	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND
8	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND

지 않았다. 아플라톡신 및 오클라톡신은 모든 처리구에서 검출되지 않았다.

본 연구 결과에서 100°C의 건조온도는 폐사체 내에 있는 살모넬라와 Coliform을 완벽하게 사멸시키지 못하는 것으로 사료된다. 이전 연구에서 살모넬라의 경우 90°C 조건에서 15분 이상 가열 시 살모넬라는 5% 미만으로 살아 남는다고 보고되었다 (Hussemann and Buyske, 1954). 또한, Coliform 박테리아의 경우 60°C의 온도에서 10분 이상 가열 시 거의 소멸하는 것으로 보고되었다 (Denis et al., 2006). 그러나 본 연구에서 100°C에서 유해균이 검출된 이유는 열을 충분히 전달받지 못한 가금폐사체 내 잔존 살모넬라와 Coliform 박테리아가 검출된 것으로 사료되며, 본 실험에서 140°C 이상의 온도에는 유해균이 검출되지 않은 점을 볼 때 사료화를 위해서는 140°C 이상에서 건조를 수행하여야 할 것으로 사료된다.

결론

본 연구에서 제시한 140°C 온도에서 4시간 이상 열처리 는 가금폐사체를 사료화할 경우 유해균이 충분히 사멸하고 단백질 소화율에 부정적인 영향을 미치지 않는 가금폐사체 사료화를 위한 최적 처리 조건으로 사료된다. 다만, 본 처리조건을 바탕으로 처리 장치를 개발할 경우 장치의 용적과 가금폐사체 투입량에 따라 조건이 달라질 수 있기 때문에 이에 대한 추가 연구는 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 도출된 처리조건에서 가금폐사체를 처리할 경우 버려지는 가금폐사체를 사료원료로 재활용 가능할 것으로 기대되며, 단백질 원료 선택의 폭을 넓히고 국내 축산 환경 개선에 도움을 줄수 있을 것으로 사료된다.

사사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품 기술기획평가원의 농생명기술개발사업 (314010-04-4-SB 010) 및 2019년도 건국대학교 우수연구인력 양성사업의 지원을 받아 연구되었음.

인용문헌

- AOAC, 2005. Official methods of analysis 18th edition. Pub AOAC International Maryland.
- Bellagamba, F., Caprino, F., Mentasti, T., Vasconi, M., Moretti, V.M., 2015. The impact of processing on amino acid racemization and protein quality in processed animal proteins of poultry origin. *Italian Journal of Animal Science*, 14(3), 770.
- Bremner, J.M., 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Journal of Agricultural Science*, 55, 11-33.
- Denis, C., Cadot, P., Leguerinel, I., Thuault, D., Sohier, D., 2006. Heat resistance of coliform species isolated from cooked ham, snail flesh, and 'bouchées à la reine.' *Letters in Applied Microbiology*, 42, 160-164.
- Hussemann, D.L., Buyske, J.K., 1954. Thermal death time-temperature relationships of *Salmonella typhimurium* in chicken muscle. *Food Research international*, 19, 351-356.
- Kim, M.H., Kim, G., 2017. Analysis of environmental impacts of burial sites. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19, 432-442.
- Lee, H.S., Kim, J.G., Shin, Y.W., Park, Y.H., You, S.K., Kim, S.H., Whang, K.Y., 2007. Comparison of laboratory analytical values and in vivo soybean meal quality on pigs by employing soyflakes heat-treated under different conditions. *Animal Feed Science and Technology*, 134, 337-346.
- Littell, R.C., Henry, P.R., Ammerman, C.B., 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76, 1216-1231.
- López-Malo, A., Alzamora, S.M., 2015. Water activity and microorganism control: past and future. *Water Stress in Biological, Chemical, Pharmaceutical and Food Systems*. Springer, New York, 245-262.
- SAS, 2013. Base SAS 9.4 procedures guide: Statistical procedures. Cary NC, USA, SAS Inst. Inc.
- Scudamore, J.M., Trevelyan, G.M., Tas, M.V., Varley, E.M., Hickman, G.A.W., 2002. Carcass disposal: Lessons from Great Britain following the foot and mouth disease outbreaks of 2001. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 21(3), 775-784.
- Seidavi, A.R., Zaker-Esteghamati, H., Scanes, C.G., 2019. Chicken processing: impact, co-products and potential. *World's Poultry Science Journal*, 75, 55-68.
- Walstra, P., Wouters, J.T., Geurts, T.J., 2005. *Dairy science and technology*. CRC Press.