



육계 발바닥 피부염의 발생원인, 점수 시스템 및 관련 연구 동향에 대한 총설

전진주^{1*} · 홍의철¹ · 강환구¹ · 김현수¹ · 손지선¹ · 유아선¹ · 김희진² · 강보석³

¹국립축산과학원 가금연구소 농업연구사, ²국립축산과학원 가금연구소 전문연구원
³국립축산과학원 가금연구소 농업연구관

A Review of Footpad Dermatitis Characteristics, Causes, and Scoring System for Broiler Chickens

Jin-Joo Jeon^{1*}, Eui-Chul Hong¹, Hwan-Ku Kang¹, Hyun-Soo Kim¹, Jiseon Son¹,
 Are-Sun You¹, Hee-Jin Kim² and Bo-Seok Kang³

¹Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

²Post-Doctor, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

³Senior Researcher, Poultry Research Institute, National Institute of Animal Science, Pyeongchang 25342, Republic of Korea

ABSTRACT Footpad dermatitis (plantar surface footpad lesions) is an increasing problem in the global poultry industry, affecting foot quality, overall welfare, and production performance. The growing consumer demand for chicken feet in Asian markets has given poultry companies interest in reducing footpad dermatitis. The lesions are multiply associated with various factors affecting the moisture content of litter such as nutrition, drinker type and management, environmental conditions (e.g., temperature, relative humidity, ammonia levels, ventilation rate), and flock health. This review addresses footpad dermatitis characteristics, causes, and the assessment system to provide a guide for future research.

(Key words: animal welfare, broiler, chicken paw, footpad dermatitis)

서 론

발바닥 피부염(footpad dermatitis; FPD)은 발바닥 표면에 피사성 상처가 생기는 접촉성 피부염(contact dermatitis)으로 pododermatitis, foot burn 또는 footpad lesions라고도 불린다(de Jong and van Harn, 2012). FPD는 전세계적으로 가금산업에서 흔하게 발생하고 있는 문제 중 하나로 육계, 산란계, 육용종계 등에서 나타나며, 연평균 20% 정도 비율로 나타나고, 심할 경우 100%까지 발생한다(Jim, 2020). 홍콩, 중국 및 한국 등을 포함한 아시아 먹거리 시장에서의 닭발 수요가 커짐에 따라(Yang, 2013), 닭발의 품질을 결정하는 FPD에 대한 관심이 높아지고 있다(Shepherd and Fairchild, 2010). 동물복지 지표로 사용되는 FPD는 농장 내 기본적인 사양

관리 방법에 영향 받을 뿐만 아니라, 물이나 사료 섭취를 위해 이동하는 행동에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 농장에서 발생하는 발바닥 피부염 비율과 염증 정도를 평가하는 것은 중요하다(Jim, 2020). 발바닥에 상처가 생기면 *Staphylococcus aureus*나 *E. coli*와 같은 병원체가 발바닥 혈류에 들어오게 되며, 이러한 병원체는 2차 감염을 야기시켜 염증을 일으키고(Shepherd and Fairchild, 2010), 그람 양성 구균 감염에 의한 폐사율도 증가하게 된다(Mohamed, 2020).

그러므로, 가금 동물복지를 향상시키고 품질 좋은 닭발을 생산하기 위한 FPD 발생 저감 연구가 필요하다. 본 논문에서는 FPD발생에 영향을 미치는 요인과 FPD를 감소시키기 위한 방법들을 살펴보고, 이와 관련한 최근 연구 정리를 통해 FPD에 대한 전반적인 이해를 돕고자 한다.

* To whom correspondence should be addressed : sesil1207@korea.kr

본 론

1. 발바닥 피부염(FPD) 특징

닭 발바닥의 피부층은 각질, 표피, 진피 및 피하조직으로 이루어져 있으며, 염증 정도에 따라 피부 표면에서부터 더 깊은 피부층까지 영향을 받게 된다(Pié Orpí, 2020). FPD는

발바닥 피부가 침식하면서 시작되어 초기에는 깔짚에 있는 물질이 묻은 자국처럼 보일 수 있으나, 피부층이 한 번 무너지면 고통을 주는 궤양으로 발달하게 된다(de Jong and van Ham, 2012).

Fig. 1에서와 같이, 유형 I은 피부염 형성 초기단계로 가벼운 상처가 발생하여 육안으로 확대된 상처 크기와 홍반

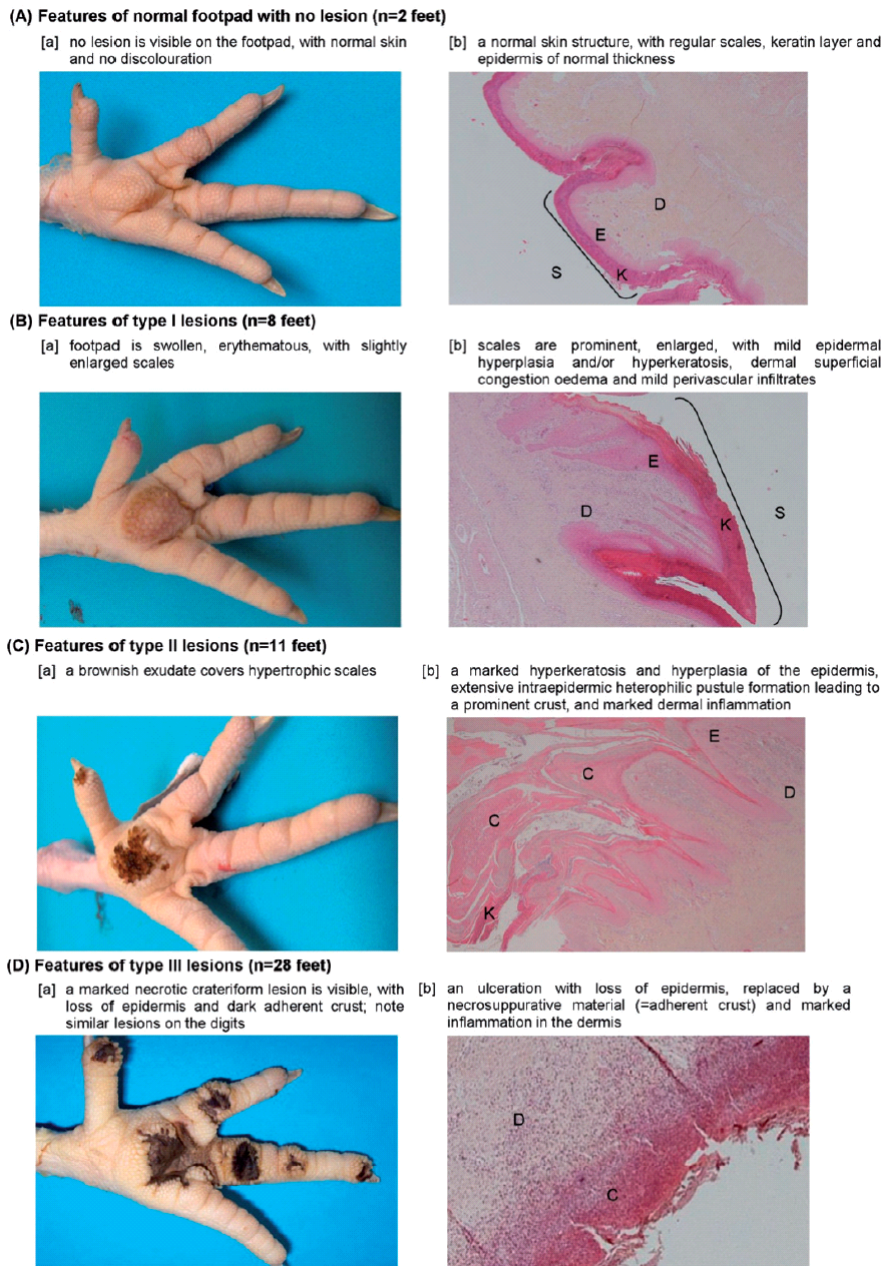


Fig. 1. Macroscopic (a) and microscopic (b) features of footpads (K=keratin layer, E=epidermis, D=dermis, S=scale) (Michel et al., 2012).

(erythematous)이 보이며, 조직학적으로는 표피 조직의 비대증이나 과각화증(hyperkeratosis), 진피 표면의 충혈(congestion)과 부종(oedema)의 특징이 있다. 유형 II는 중간 염증 수준으로 표면에 나타나는 상처로, 누르스름하거나 갈색 빛이 도는 삼출액으로 덮인 비대성 및 과각화성 상처를 외적 특징으로 보이며, 조직학적 특징으로는 오돌토돌하거나 딱지가 현저한 발바닥 표면을 볼 수 있다. 유형III는 가장 심하게 염증이 진행된 상태로 두꺼운 딱지가 붙어 있고, 케양이 넓은 범위로 형성되어 있다(Michel et al., 2012).

이러한 FPD는 닭에게 고통을 줄 뿐만 아니라, 박테리아의 출입 통로 제공에 의한 2차 감염, 닭발 품질 저하 등 부정적 영향을 초래한다(de Jong and van Harn, 2012).

FPD가 있는 닭발에서 106종의 박테리아균을 볼 수 있는데, *Staphylococcus aureus*가 68%로 가장 많이 발견되었으며, 그 다음으로 *Enterococcus faecalis* 14%, *E. coli* 9.43%, *Staphylococcus hyicus* 4.72%, *Gallibacterium anatis* 2.83%, *Trueperella pyogenes* 1.88%, *Aerococcus urinaequi* 0.94% 순으로 발견된 것으로 확인되었다(Olsen et al., 2018).

가장 많이 발견된 *Staphylococcus*의 경우, 닭의 피부와 점막에 일반적으로 존재하는 정상적인 세균종이다. 이 균은 병원성 균에 의한 감염을 억제하는 긍정적 작용을 하기도 하지만, 피부와 점막에 상처가 생겨 혈류에 침투할 수 있는 환경이 되거나, 면역이 약한 개체와 접하게 될 경우, 일부 균들은 병원성이 드러나 관절염, 골수염 및 괴저성 피부염 등을 일으키는 위험성을 지니고 있다(Saif et al., 2003; Yuko and Mohamed, 2020).

체중이 많이 나가 움직임이 적은 수컷일 경우에 깔짚에 접촉하고 있는 시간이 늘어나 FPD가 더 흔하게 발생하며 (Yuko and Mohamed, 2020), 외부 온도가 낮은 겨울에 더 많이 발생하고, 계사 내·외부 상대습도 및 무릎지루(hock burn)와 정의 상관관계를 보인다(Dunlop et al., 2016).

면역시스템과 각질층이 완전하게 발달되어 있지 않은 단계의 어린 육계일수록 FPD가 생기지 않도록 관리해 주는 것이 중요하다.

2. 발바닥피부염(FPD) 발생 원인

FPD는 젖거나 축축한 깔짚에 의해 발생하는데, 깔짚을 젖게 하는 가장 큰 요인은 많은 양의 계분이다. 계분 외에도 고밀도 사육, 추운 기후, 부족한 환기(Farm Health Online, 2018), 출하 및 입식 간 짧은 간격, 미흡한 계군 건강 프로그램 및 급수기 관리 방법, 고수준의 영양 등 복합적인 요인들이 깔짚 내

수분함량을 높이는 원인이 된다(Wang et al., 1998; Mayne et al., 2007). 이러한 FPD 발생과 연관된 다양한 원인들은 크게 병리학적, 관리적, 영양적 측면으로 나눌 수 있다.

1) 병리학적 측면

전염성 감염원과 곰팡이 독소는 위장관 내 문제를 일으켜 계분 농도를 묽게 만들고, 결과적으로 깔짚 품질을 떨어뜨려 FPD 발생을 증가시킨다. 가장 흔하게 문제가 되는 전염성 감염원은 박테리아(e.g., *E. coli*, *Clostridium*), 진균(곰팡이)와 coccidia 같은 원생동물이다. 이러한 미생물들은 장 세포를 감염시켜 상피세포를 파괴하고 장 점막을 자극하며, 곰팡이 독소는 근위나 소장 용모를 손상시켜, 결과적으로 영양소 소화 및 흡수율을 떨어트린다(Pié Orpi, 2020). 이 외에도 닭의 설사를 유발하는 질병은 신장형 IB(Infectious Broncheitis), 살모넬라(*Salmonella pullorum*)등이 있다(Mathiyazhagan et al., 2018; Davies, 2020).

손상된 발바닥은 구균(cocci)이 침입할 수 있는 통로 역할을 하는데, FPD가 있을 경우, 없는 경우에 비하여 그램 양성 구균(Gram-positive coccal) 감염에 의한 폐사 위험이 60.5% 증가하였다(Thøfner et al., 2019). 또한, *Staphylococci*는 일반적으로 손상된 발바닥 상피세포를 통해 들어와 발바닥 중앙에 고름을 형성하는 데에 관여한다(Lay et al., 2011; Heidemann Olsen et al., 2018).

2) 사육 관리적 측면

FPD는 일반적으로 깔짚 내 과도한 수분함량과 높은 암모니아 농도에 의한 피부의 화학적 자극에 의해 생긴다(Berg, 2004; Dunlop et al., 2016). 깔짚 수분함량이 25% 이상일 경우 암모니아 발생량이 증가한다고 보고되고 있다(Banrie, 2013). De Jong et al.(2015)은 깔짚 수분함량이 증가하면 심각한 FPD를 유발할 뿐만 아니라, 육계의 생산성 및 도체율을 감소시키고 동물복지 측면에 부정적 영향을 미친다고 보고하고 있다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이, 사육 관리 방식에서 깔짚 수분함량에 영향을 미치는 요인은 급수기 형태 및 관리, 환기량, 깔짚 종류와 두께, 사육 밀도 및 계군의 건강 등 다양하다.

(1) 급수기 형태 및 관리

깔짚 수분함량에 영향을 미치는 요인 중 가장 중요한 것은 급수기 형태와 관리방법이다. 닭의 일령에 맞지 않게 급수기 높이가 너무 낮거나 수압이 너무 높을 경우, 닭이 물을 먹으면서 깔짚으로 떨어지는 물의 양이 증가한다. 니플이나

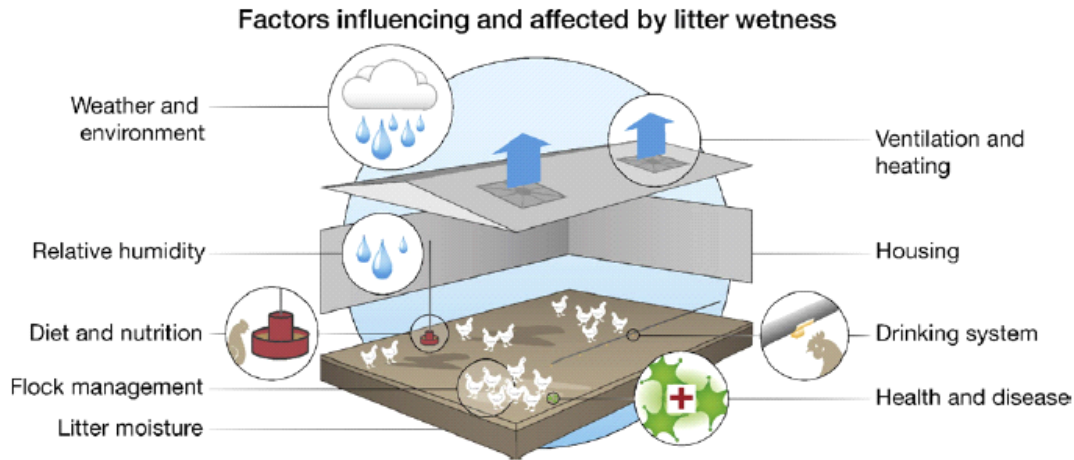


Fig. 2. Factors influencing and affected by litter wetness (Dunlop et al., 2016).

컵 받침대가 있는 급수기를 적정 높이로 맞춰주면 깔짚 내 수분함량을 7%까지 낮출 수 있다고 보고되고 있다(Defra, 1994; Pié Orpi, 2020). Bray and Lynn(1986)은 컵이 없는 니플 급수기나 벨형 급수기보다 컵을 포함한 니플 급수기를 사용했을 때 깔짚 품질이 더 좋아지는 것을 확인했다.

또한, 급수 라인에 바이오 필름이나 다른 입자들이 쌓여 있을 경우, 급수기에서 물이 새어 깔짚 수분함량을 증가시켜 깔짚의 품질이 감소하였다(Shepherd and Fairchild, 2010).

(2) 사육 밀도

FPD에 영향을 미치는 깔짚 내 수분은 계분에서 나오게 된다. 깔짚은 이러한 수분이 흡수되고 마를 수 있는 충분한 시간이 필요하다(Grimes et al., 2002; Bilgili et al., 2009). 평당 사육수수가 늘어날수록 깔짚이 흡수해야 하는 계분 내 수분의 양도 함께 늘어나게 된다. 깔짚이 흡수할 수 있는 수분량은 한계가 있기 때문에 고밀도 사육 시 깔짚 수분함량이 늘어나 깔짚 품질은 더욱 나빠지게 되고(Shepherd and Fairchild, 2010), 닭들의 움직임도 제한되어 FPD가 증가하게 된다(Defra, 1994; Berg, 1998). Feddes et al.(2002)은 고밀도 사육일수록 음수량이 늘어나 계분이 더 묻어지고, 결과 적으로 깔짚 수분함량이 늘어나는 것을 확인하였다. 고밀도 사육을 할 경우에는 음수량, 깔짚 수분함량 등에 영향을 미치는 적정한 온도와 습도를 닭에 제공할 수 있도록 더 세심하게 관리해 주어야 한다.

(3) 깔짚 종류와 두께

깔짚은 계사 내에서 상대습도, 급수기, 계분 등에 의해 발

생하는 수분을 흡수하고, 바닥을 단열하며 닭들에 방석같은 환경을 제공하는 역할을 한다. Ritz et al.(2009)은 계사 내 이상적인 깔짚 수분 함량으로 20~25%를 제시하고 있는데, 젖은 깔짚은 100년 가까운 시간 동안 육계 산업에서 지속적으로 문제가 되어 왔다(Dunlop et al., 2016).

수분 흡수율이 좋은 깔짚으로 대패밥(wood shaving), 볏짚(chopped straw) 등이 있으나(Defra, 1994), 국내의 경우 대부분 왕겨(rice husk)를 사용하고 있으며, 일부가 톱밥(sawdust)을 이용하고 있다. 잘 부스러지는 깔짚을 계속 쌓아주면, 계분 대비 깔짚의 비율이 증가해 깔짚 품질을 잘 유지할 수 있다(Defra, 1994).

Shepherd et al.(2017)의 보고에 따르면, 깔짚두께가 증가할수록 깔짚 수분함량이 감소하고 닭 발바닥 상태가 좋아지며, 깔짚두께가 감소할수록 암모니아 수치가 높아져 닭의 생산성과 복지가 감소한다. 또한, 깔짚 수분함량을 조절하기 위한 적정 두께로 최소 7.6 cm를 제안하고 있다. 반면, Ekstrand et al.(1997)은 깔짚두께가 5 cm 이하일 경우 5 cm 이상일 때보다 FPD 발생률이 적었다고 보고하였다. 깔짚두께에 대해 상반된 결과들이 있는 것을 고려했을 때, Shepherd and Fairchild(2010)는 각 연구들의 사육밀도, 점등주기가 다르게 설정되었기 때문에 깔짚두께에 대한 실제 효과는 알기 어렵다고 언급하였다. 따라서, 깔짚두께와 FPD 발생률에 대한 추가 연구들이 필요할 것으로 사료된다.

(4) 환기량

닭의 일령이 증가할수록 늘어나는 계사 내 수분을 제거하기 위해서는 환기량도 함께 늘려줘야 한다. 계사 내 습도는

닭의 사육수수와 체중의 영향을 받는데(Defra, 1994), 습도 수준을 50~70% 사이로 유지하지 못할 경우 깔짚 수분함량은 증가하고 해로운 병원균이 증가하는 환경이 조성되어 닭의 건강, 복지가 저해된다(Donald et al., 2009). 따라서, 계사규모에 비하여 팬용량이 부족한 환기시설을 갖추고 있거나, 겨울철 낮은 온도를 인식하여 팬용량을 줄일 경우, 일령이 증가할수록 깔짚 수분함량이 급격하게 높아지는 환경이 된다.

(5) 계군의 건강

질병이나 골격 이상 증세로 인해 닭의 움직임이 감소되면, 깔짚에 접촉하는 시간이 늘고 복지에 부정적 영향을 미치게 된다. 장염(Enteritis), 영양분 흡수 장애, 전염성 F낭병과 같은 증상이 생기면 계분 내 수분이 증가하게 되어 깔짚 내 수분도 증가하고(Defra, 1994), 결과적으로 FPD 발생률이 높아진다.

3) 영양적 측면

영양은 음수량, 계분 점도, 깔짚 품질에 영향을 미치므로 육계 사육 시 매우 중요한 요인이다(Pié Orpi, 2020). 닭의 음수량을 증가시키는 식이 요인은 계분을 묽게 만들어 깔짚 수분함량을 증가시키고 결과적으로 FPD가 발생하게 된다(Defra, 1994).

사료 에너지가 낮을 경우, 사료섭취량이 증가하여 단백질, 미네랄 섭취량도 함께 증가하며, 이는 음수량을 증가시켜 묽은 계분을 유발한다(de Jong et al., 2015). 단백질 함량이 높거나 불균형할 경우, 음수량과 묽은 분을 증가시키는 요산의 축적량이 증가한다(Pié Orpi, 2020). 지방이 과다하거나 품질이 좋지 않은 지방을 사용하면, 지방 이용률이 떨어져 지방이 많은 계분이나 설사가 배출되어 깔짚 품질을 떨어뜨리게 된다(Fuhrmann and Kamphues, 2016). 또한, 비전분성 다당류(non-starch polysaccharides; NSP)가 높은 밀, 보리, 호밀과 같은 사료 원료는 수분을 머금어 수분이 장애 재흡수되는 것을 방해하기 때문에 물기가 많고 점성이 높은 계분을 발생시킨다(Dunlop et al., 2016). 나트륨이나 칼륨과 같은 미네랄이 높을 경우, 음수량이 증가되어 깔짚 수분함량이 증가하게 된다. 또한, biotin과 같은 비타민 B군이 부족할 경우에 발바닥 상피세포가 약해져 FPD가 발생할 확률이 높아진다(Pié Orpi, 2020).

3. 발바닥 피부염(FPD) 관련 연구

최근 10년간 진행된 FPD관련 연구를 Table 1에 정리하였

다. FPD와 관련한 연구들은 1940년대부터 영양, 환경, 유전 분야에서 진행되어 왔다(Shepherd and Fairchild, 2010). 영양 분야에서는 에너지, 단백질, 지방, 비타민과 미네랄 수준, 사료 첨가제 등 음수량, 분 및 깔짚 수분함량 등에 영향을 미치는 다양한 요인이 존재하기 때문에 최근에도 사료와 관련한 연구들이 대다수를 차지하고 있다. 각 영양 요인에 대한 연구결과가 상반되기는 하지만, 대다수의 연구들은 사료첨가제(non-starch polysaccharides hydrolyzing enzyme, zinc 등)뿐만 아니라, 사료 내 조단백질, 비타민 및 전해질(i.e., Na, K)의 적정 수준이 깔짚 수분함량과 FPD 발생률을 낮추는데 효과가 있다고 보고하고 있다(Swiatkiewicz et al., 2016).

Table 1을 보면, 에너지 수준은 성장단계별(초이, 전기 및 후기)로 200 kcal/kg씩 높여주었을 때(2,950, 3,050 및 3,100 kcal/kg), 조단백 수준은 전기 및 후기에 20.8%와 19.8%에서 2.2~2.3% 낮추었을 때 깔짚 상태가 더 좋다고 제시되고 있다. Fuhrmann and Kamphues(2016)가 진행한 연구에서 조지방 수준이 높거나 팜유를 사용했을 경우, 일반적으로 보고된 바와 다르게 계분 내 지방함량은 영향을 받았으나, 깔짚 상태와 FPD에는 영향을 미치지 않았다. 사료 내 전해질 균형을 나타내는 dietary electrolyte balance(DEB, mEq/kg)는 육계 생산성, 골격 발달 및 깔짚 상태에 영향을 미치는 요인으로(Oliveira et al., 2010), 다음 식을 통해 수치를 구한다: $dEB (mEq) = Na/0.023 + K/0.039 - Cl/0.035$ (Jason, 2017). Arantes et al.(2013)은 생산성, 골격 및 미네랄 수준에 부정적 영향을 미치지 않으면서 깔짚 내 수분함량을 낮추기 위한 DEB 수치로 200 mEq/kg을 권장한다. 또한, Delezie et al.(2015)은 FPD 발생률을 낮추기 위해서는 Ca과 P 수준보다는 Ca과 P의 균형을 맞춰야 한다고 보고하였다.

이 외에도 새 깔짚을 도포하거나 깔짚 두께를 두껍게 할수록 깔짚 수분함량이 낮아지고 육계가 해를 이용했을 경우 FPD가 더 감소했다는 연구들이 보고되고 있다(Table 1).

또한, 최근 연구에서는 기존 분야뿐만 아니라, 행동, 질병, 장내 미생물 환경 등과 FPD 발생과의 연관성을 살펴보고 있으며, FPD 평가시스템의 농가 현장 적용성 등 평가시스템을 평가하고 보완하는 연구들이 진행되고 있다.

4. 발바닥 피부염(FPD) 평가체계 종류

계군 내 FPD 발생률과 염증 정도를 판단하기 위하여 여러 연구들을 통해 점수 측정 시스템들이 개발되었다. FPD 평가 시스템은 육계의 발바닥 상태를 점수로 표현하여 계산식을 이용해 발바닥 피부염을 점수로 산출하는 방법이다.

Table 1. Summary of studies on the footpad dermatitis of broiler

Experimental factor	Treatments	Results or conclusion	Reference
Nutrition (energy content)	Low energy (2,750, 2,850, 2,900, and 2,900 kcal/kg) and High energy (2,950, 3,050, 3,100, and 3,100 kcal /kg) content for starter, grower I, grower II, and finisher diets, respectively	Moisture content of the litter in the LE treatment was higher than HE treatment leading to more FPD at d 36 in broilers fed the LE program compared to broilers fed the HE program	De Jong et al. (2015)
Nutrition (protein content)	Control (208 and 198 g/kg CP in the grower and finisher phase, respectively) and with 1%, 2% and 3% lower dietary CP content in each phase	Broilers fed the 2.2~2.3% units lower CP protein feeding programs of grower and finisher diets had a better litter quality and less FPD	van Harn et al. (2019)
Nutrition (protein source)	Two protein sources (all vegetable or vegetable plus animal)	The incidence of FPD on 35 d and 49 d, as well as severity on 49 d were highest on treatments receiving all vegetable protein sources.	Cengiz et al. (2013)
Nutrition (fat content and source)	Two fat contents (55 or 110 g/kg DM) and three fat sources (mixed fat, palm oil and palm fatty acid distillate)	High fat contents or the use of palm oil or palm fatty acid distillate led to considerable fat losses via excreta but this did not go along with lower litter quality or higher FPD scores	Fuhrmann and Kamphues (2016)
Nutrition (electrolyte balances)	Four DEB values (200, 240, 280, 320 mEq/kg of diet)	Diets with 200 mEq/kg can be recommended for broilers between 7 and 38 days of age to reduce litter moisture without any negative influence	Arantes et al. (2013)
Nutrition (calcium and phosphorus)	Tr 1 = Normal calcium (Ca) and normal phosphorus (P), Tr 2 = Low Ca and low P, Tr 3 = Normal Ca and low P + normal phytase, Tr 4 = Normal Ca and low P + high phytase, Tr 5 = Low Ca and low P + normal phytase, Tr 6 = Low Ca and Low P + high phytase	The highest percentage of FPD was seen when broilers fed the imbalanced (normal Ca and low P) diets. Reducing addition of Ca, P by 20 ~25% is practicable if done in a balanced way	Delezie et al. (2015)
Nutrition (trace minerals)	Three trace minerals (Zn:Cu:Mn) levels; 0:0:0 ppm (NTM), 32:8:32 ppm (LTM), 64:16:64 ppm (HTM)	Compared to NTM, LTM reduced area under the curve (AUC) of FPD1 lesion scores during d 21~42, HTM reduced the AUC of FPD lesion scores during d 7~21 and d 21~42. TM reduced FPD development by promoting FPD wound healing.	Chen et al. (2017)
Nutrition (feed enzyme supplement)	Tr 1 = none, Tr 2 = galactosidase, Tr 3 = xylanase, protease, amylase, Tr 4 = amylase, xylanase and glucanase, Tr 5 = endo-1,4- β -xylanase, Tr 6 = β - mannanase, Tr 7 = xylanase	The prevalence and severity of FPD was not affected by enzyme supplementation. FPD prevalence and severity were consistent with litter moisture	Cengiz et al. (2012)
Nutrition (synbiotic supplement)	Tr 1 = none, Tr 2 = the synbiotic in-feeds throughout the growing cycle (1,000, 500, and 250 g/ton according to feeding phase), Tr 3 = sprayed as gel droplets onto newly hatched chicks at the hatchery (100 g/10,000 birds) during the rearing period, Tr 4 = treated with the synbiotic both at the hatchery and in the feed.	Only the treatment which administers synbiotics through gel droplets at the hatchery combined to in-feed supplementation produced significant results in comparison with the control group; lowering FPD occurrence at slaughter (17% vs. 5%; $P < 0.05$).	Brugaletta et al. (2020)

Table 1. Continued

Experimental factor	Treatments	Results or conclusion	Reference
Litter (bedding materials and litter depth)	Study 1 : fresh shavings (FS), used shavings (US), peat moss Study 2 : fresh litter (2.5 cm, 7.6 cm, 12.7 cm)	Peat moss is an acceptable bedding material, with no significant effects on broiler performance and had better paws at both d 21 and 42. Increasing litter depth led to decreased moisture levels and improved paw quality. A litter depth of at least 7.6 cm should be used to accommodate moisture added throughout the flock	Shepherd et al. (2017)
Litter (reusing litter)	Litter type (new/used)	FPD scores for new litter significantly lower than those for reused litter ($P<0.05$).	Yamak et al. (2016)
Management (stocking densities, litter type and perches)	Tr 1 = chopped straw + 12 birds/m ² , Tr 2 = chopped straw + 20 birds/m ² , Tr 3 = sand +12 birds/m ² , Tr 4 = sand + 20 birds/m ²	The rate of FPD was significantly higher in Tr 4 group, compared with Tr 2 group. There was no effect of stocking density and litter type on perching, but perches proved efficient in reducing the rate of FPD	Matković et al. (2019)
Genetic (strains and gender)	Two fast-growing broiler strains (Ross 308 and Cobb 500) and two sexes	A higher number ($P<0.05$) of Cobb broilers presented FPD score 1 (no lesions) both in the right and left feet compared with Ross broilers and FPD was higher in females	Martins et al. (2016)
Disease (systemic bacterial infections)	Gram+ coccal (<i>Staphylococcus</i>) infection, No Gram+ coccal infection	Birds have a 60.5% increased risk (RR=1.605) of dying from a Gram-positive coccal infection when having footpad lesions compared to having intact footpads.	Thøfner et al. (2019)

FPD, footpad dermatitis; CP, crude protein; DEB, dietary electrolyte balance.

1) Welfare Quality®의 FPD 점수평가 시스템
 염증 정도별로 발바닥을 구분한 Fig. 3를 참고하여 발바닥 상태를 점수 0~4로 평가한 후, 점수 0은 a, 점수 1, 2는 b, 점수 3, 4는 c로 구분한 후 아래의 식을 이용하여 지수(I_p)를 구한다.

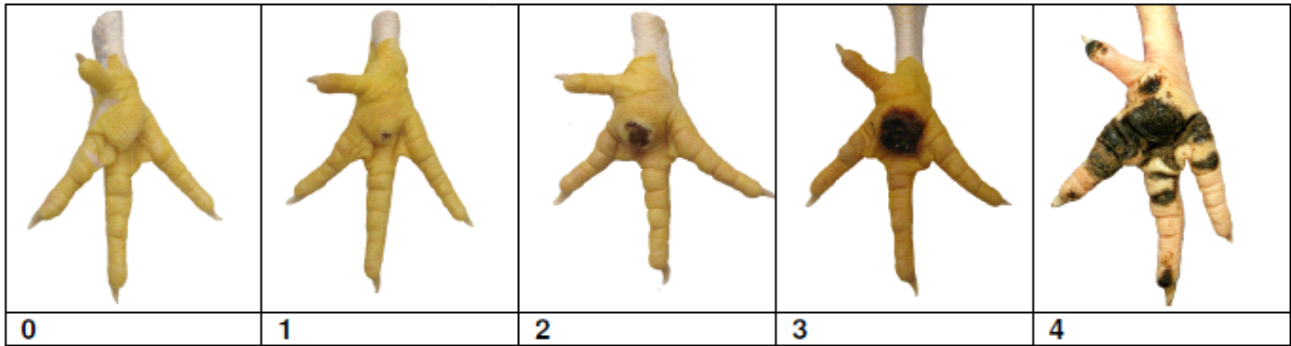
$$I_p = \{100 - [2(a \text{ 비율, \%}) + 7(b \text{ 비율, \%})]/7\}$$

I_p가 70보다 낮을 경우, 최종 점수(S_p)는 $(0.50686 \times I_p) - (0.0072409 \times I_p^2) + (0.000081315 \times I_p^3)$ 식을 이용해 산출하며, I_p가 70보다 높을 경우 최종 점수 (S_p)는 $-513.33 + (22.507 \times I_p) - (0.32152 \times I_p^2) + (0.0015779 \times I_p^3)$ 식을 이용해 최종적인 발바닥 피부염 점수(S_p)를 산출한다.

2) 스웨덴 및 RSPCA의 FPD 점수평가 시스템
 유럽 국가들은 일반적으로 점수가 세 종류로 나누어진 스웨덴 시스템(Berg, 1998)을 적용하여 FPD 상태를 평가한다 (Aviagen, 2008). Fig. 3, 4에서 볼 수 있듯이 염증 정도에 따

라 점수 0(none/minor), 1(mild), 2(severe)로 나누어 FPD 염증 수준을 평가하며, 점수 0은 상처가 없거나 1~2 mm 정도의 매우 작거나 피부표면의 상처, 일부 부위에서의 경미한 착색과 과각화증을 특징으로 한다. 점수 1은 일부 부위에서 상당한 착색이 이루어지고, 어두운 돌기, 피부 표면에 상처가 보이는 경우를 특징으로 한다. 점수 2는 발바닥의 넓은 부위에 영향을 받아 종종 발가락 부분에도 상처가 나타나며, 궤양을 동반한 깊은 상처, 큰 딱지, 심각한 부종 상태가 나타나는 것을 특징으로 한다. 스웨덴 시스템의 경우, 이러한 점수를 바탕으로 아래의 식을 사용하여 계군의 최종 FPD 점수를 산출한다. 최종 점수가 80 아래일 경우 양호, 80~120 사이일 경우 주의, 120보다 높을 경우 긴급조치를 취하거나, 사육밀도를 감소가 필요한 것으로 점수 별 평가결과를 제시하고 있다(De Gussem et al., 2013).

$$\begin{aligned} &\text{최종 FPD 점수} \\ &= \{[(0.5 \times \text{점수 1의 개체수}) + (2 \times \text{점수 2의 개체수}) / \text{전체 측정 개체수}] \times 100\% \end{aligned}$$



© A Butterworth, University of Bristol

Fig. 3. Footpad dermatitis assessment guide of Welfare Quality® (2009).

Score 0	Score 1	Score 2
Smooth, no lesion	Superficial lesion, discolouration	Dark papillae and ulcer
Small discolouration	Dark papillae, no ulceration	Ulcer covered by crust
Almost healed lesion, scar	Substantial discolouration	Abscess/bumble foot swollen
Score 0- No lesion: No lesions or very small and superficial lesions, slight discolouration on a limited area, mild hyperkeratosis, old scars. Only the footpad should be evaluated.	Score 1- Mild lesion: Substantial discolouration of the footpad, superficial lesion, dark papillae. Only the footpad should be evaluated.	Score 2- Severe lesion: Ulcers or scabs of significant size, signs of haemorrhages or severely swollen footpad. Only the footpad should be evaluated.

Fig. 4. Footpad dermatitis assessment guide by Wageningen UR Livestock Research based on the Swedish system (De Gussem et al., 2013).

RSPCA는 Fig. 5를 참고하여 점수 2 수준의 FPD가 보이지 않지만 점수 1 수준의 FPD가 많이 보일 경우, 상태가 급격히 나빠질 가능성이 있어 개선책이 필요하다는 징후로 파악해야 한다고 언급하고 있다.

5. 발바닥 피부염(FPD) 발생 저감 방안

FPD를 예방하기 위해서는 기본적으로 발바닥이 닿는 깔짚 내 수분함량과 암모니아 수준을 적정하게 유지시켜 좋은 깔짚 품질을 유지하는 것이다. 깔짚 수분함량을 관리하는 것은 출하 일령이 가까워질수록 더욱 중요해진다.

1) 사육밀도

FPD를 예방하기 위해서는 깔짚에 충분한 공기가 접할 수 있도록 낮은 사육밀도가 유리하며, 사육밀도가 높을 경우에는 환기 시설, 급수기 등 계사 시설 및 환경을 더욱 세심하게 관리해 주어야 한다(de Jong and van Harn, 2012).

2) 환기

계절에 상관없이 닭의 일령에 맞는 충분한 환기량을 설정

해 주면서, 환기로 인해 떨어진 온도를 계사 규모에 맞는 충분한 수의 열풍기를 이용하여 다시 올려주면 상당한 양의 계사 내 수분이 제거된다. 계사 내 습도를 50~70%로 유지하도록 해주어야 하며, 그 이상이 될 경우 추가 환기와 난방을 실시해 주어야 한다(de Jong and van Harn, 2012).

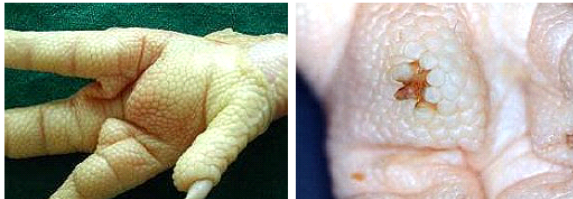
3) 계사 내 시설

닭들이 한쪽으로 몰리지 않도록 모든 지역에 균등한 밝기의 빛이 전달될 수 있는 점등 시설을 구비해야 한다(Aviagen, 2008). 닭의 일령에 맞게 급수기 높이와 수압을 조정하는 것 뿐만 아니라, 오염물질이나 바이오 필름이 쌓이지 않도록 급수기 내부 청결을 유지하고, 새거나 막히는 곳이 없도록 수시로 점검하여야 한다(Pié Orpi, 2020).

4) 사료

영양 수준은 음수량, 분 및 깔짚 수분함량 등에 영향을 미쳐 결과적으로 FPD 발생에 영향을 미치는 주요한 요인 중 하나이다(Swiatkiewicz et al., 2017). 따라서, 소화가능한 원료만을 이용할 경우 가소화 아미노산을 기본으로 사료를 배

Score 0 (none/minor): No lesion/s or very small and superficial (1-2mm), slight discolouration in a limited area, mild hyperkeratosis.



Score 1 (mild): Area affected does not extend over entire plantar pad, substantial discolouration, dark papillae, superficial lesion, no ulceration.



Score 2 (severe): Greater surface of plantar pad usually affected, sometimes with lesions on toes. Deeper lesion/s with ulceration, sometimes haemorrhage, scabs of significant size, severely swollen foot pad.



Fig. 5. Footpad dermatitis assessment guide of RSPCA (2017).

합하고 나트륨과 칼륨 수준을 높지 않게 설정해야 한다. 또한, 사료 내 zinc 및 biotin을 포함하는 비타민 B군이 충분하도록 해주어야 한다(de Jong and van Harn, 2012).

결 론

FPD는 닭의 건강, 복지 및 생산성에 부정적 영향을 미치고, 가금산업에 있어 경제적 이익을 감소시킬 수 있는 요인이 된다. 이러한 FPD 발생률은 계사 내에서 생성되는 수분을 어떻게 조절하느냐에 따라 결정된다. 이 논문에서 볼 수 있듯이 계사 내 수분은 계분, 외부의 찬 공기 유입으로 인한 응결, 급수기에서 주로 생겨나며, 이를 조절하기 위하여 환기량 조절, 깔짚관리 방법, 계군 건강 프로그램뿐만 아니라, 사료 영양 수준 등 여러 요인을 복합적으로 점검하고 관리해 주어야 한다.

FPD를 감소시킬 수 있는 방안을 모색하기 위하여, 농장 내에서 FPD 수준을 주기적으로 평가하고, 각 수준에 맞는 즉각적인 조치를 취하는 동시에 사육관리 방법이나 사료 영양수준 측면에서의 다양한 FPD 발생요인에 대해 세부적으로 접근하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

발바닥 피부염은 발바닥 표면에 생기는 상처로 세계 가금 산업에서 더욱 중요한 문제가 되고 있다. 발바닥 피부염은 닭의 복지뿐만 아니라, 닭발의 품질과 생산성에도 영향을 미치기 때문이다. 아시아 먹거리 시장에서 닭발에 대한 소비자 수요가 증가함에 따라 발바닥 피부염을 줄이기 위한 방법을 찾는 양계업체의 관심이 증가하고 있다. 발바닥 피부염은 깔짚 수분함량에 직접적인 영향을 받아 생기는 것으로 영양, 급수기 형태 및 관리, 환경 상태(온도, 상대습도, 암 모니아 수준, 환기량 등), 계군의 건강 등 다양한 요인들이 복합적으로 연관되어 있다. 따라서, 본 논문에서는 발바닥 피부염의 특징, 생성 원인, 발바닥 피부염 평가시스템, 최근 연구 등 발바닥 피부염에 대한 전반적인 사항을 다루고, 이를 통해 발바닥 피부염에 대한 이해와 향후 연구 수립에 도움을 주는 기초 자료로써 활용하고자 한다.

(색인어: 동물복지, 육계, 닭발, 발바닥 피부염)

사 사

본 연구는 농촌진흥청 고유연구사업(과제번호: PJ0148

31022020)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

ORCID

Jin Joo Jeon	https://orcid.org/0000-0001-7585-4746
Eui Chul Hong	https://orcid.org/0000-0003-1982-2023
Hwan Ku Kang	https://orcid.org/0000-0002-4286-3141
Hyun Soo Kim	https://orcid.org/0000-0001-8887-1318
Ji Seon Son	https://orcid.org/0000-0002-5285-8186
Are Sun You	https://orcid.org/0000-0001-7258-2626
Bo Seok Kang	https://orcid.org/0000-0002-3438-8379
Hee Jin Kim	https://orcid.org/0000-0002-6959-9790

REFERENCES

- Arantes UM, Stringhini JH, Oliveira MCD, Martins PC, Rezende PM, Andrade MA, Leandro NSM, Café MB 2013 Effect of different electrolyte balances in broiler diets. *Braz J Poult Sci* 15(3):233-237.
- Aviagen Brief 2008 Broiler Foot Health, Controlling Foot Pad Dermatitis.
- Banrie 2013 Managing litter moisture in broiler houses with huilt-up litter. The poultry site. <https://www.thepoultrysite.com/articles/managing-litter-moisture-in-broiler-houses-with-builtup-litter>. Accessed on September 21, 2020.
- Berg C 2004 Pododermatitis and Hock Burn in Broiler Chickens. *Measuring and Auditing Broiler Welfare*. CA Weeks and A. Page 37-49.
- Berg CC 1998 Foot-pad dermatitis in broilers and turkeys: prevalence, risk factors and prevention. Ph. D. Dissertation, Swedish Univ. Agric Sci, Uppsala, Sweden.
- Bilgili SF, Hess JB, Blake JP, Macklin KS, Saenmahayak B, Sibley JL 2009 Influence of bedding material on footpad dermatitis in broiler chickens. *J Appl Poult Res* 18(3): 583-589.
- Bray TS, Lynn NJ 1986 Effects of nutrition and drinker design on litter condition and broiler performance. *Br Poult Sci* 27:151-156.
- Brugaletta G, De Cesare A, Zampiga M, Laghi L, Oliveri C, Zhu C, Manfreda G, Syed B, Valenzuela L, Sirri F 2020 Effects of alternative administration programs of a

- symbiotic supplement on broiler performance, Foot pad dermatitis, caecal microbiota, and blood metabolites. *Anim.* 10(3):522.
- Cengiz Ö, Hess JB, Bilgili SF 2012 Feed enzyme supplementation does not ameliorate foot pad dermatitis in broiler chickens fed on a corn-soyabean diet. *Brit Poult Sci* 53(4):401-407.
- Cengiz Ö, Hess JB, Bilgili SF 2013 Effect of protein source on the development of footpad dermatitis in broiler chickens reared on different flooring types. *Arch Geflügelk* 77(3):166-170.
- Chen J, Tellez G, Escobar J, Vazquez-Anon M 2017 Impact of trace minerals on wound healing of footpad dermatitis in broilers. *Sci Rep* 7(1):1-9.
- Davies 2020 How to spot and treat infectious bronchitis in broilers. <https://www.fwi.co.uk/livestock/health-welfare/how-to-spot-and-treat-infectious-bronchitis-in-broilers>. Accessed on March. 29, 2020.
- de Gussem M, van Middelkoop K, van Mullem K, Luiten EV 2013 Broiler Signals: A Practical Guide to Broiler Focused Management. Pages 94 In: Feet and Hocks. Zutphen, The Netherlands.
- de Jong I, van Harn J. 2012 Management Tools to Reduce Footpad Dermatitis in Broilers. *Aviagen*.
- de Jong IC, Gunnink H, van Harn J 2014 Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *J Appl Poult Res* 23:51-58.
- de Jong IC, Lourens A, Van Harn J 2015 Effect of hatch location and diet density on footpad dermatitis and growth performance in broiler chickens. *J Appl Poult Res* 24(2): 105-114.
- DEFRA 1994 Poultry Litter Management. PB1739. Department of Environment, Food and Rural Affairs, London, UK.
- Delezie E, Bierman K, Nollet L, Maertens L 2015 Impacts of calcium and phosphorus concentration, their ratio, and phytase supplementation level on growth performance, foot pad lesions, and hock burn of broiler chickens. *J Appl Poult Res* 24(2):115-126.
- Donald J, Campbell J, Simpson G, Macklin K 2009 Ten steps to drier houses and good paw quality. National Poultry Technology Center Newsletter. Auburn Univ, Auburn. AL. No. 62.
- Dunlop MW, Moss AF, Groves PJ, Wilkinson SJ, Stuetz RM, Selle PH 2016 The multi dimensional causal factors of 'wet litter' in chicken-meat production. *Sci Total Environ* 562:766-776.
- Ekstrand C, Algers B, Svedberg J 1997 Rearing conditions and foot-pad dermatitis in Swedish broiler chickens. *Prev Vet Med* 31:167-174.
- Farm Health Online 2018 Poultry Diseases. <https://www.farmhealthonline.com/US/disease-management/poultry-diseases/footpad-dermatitis/>. Accessed on October 15, 2020.
- Feddes JJ, Emmanuel EJ, Zuidhof MJ 2002 Broiler performance, body weight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. *Poult Sci* 81:774-779.
- Fuhrmann R, Kamphues J 2016 Effects of fat content and source as well as of calcium and potassium content in the diet on fat excretion and saponification, litter quality and foot pad health in broilers. *Eur Poult Sci* 80:1-12.
- Grimes JL, Smith J, Williams CM 2002 Some alternative litter materials used for growing broilers and turkeys. *Worlds Poult Sci J* 58(4):515-526.
- Heidemann OR, Christensen H, Kabell S, Bisgaard M 2018 Characterization of prevalent bacterial pathogens associated with pododermatitis in table egg layers. *Avian Pathol* 47:281-285.
- Jason Lorjé 2017 Electrolyte balance: Choosing the right tool for the job. All about feed. Accessed Jan. 2017. <https://www.allaboutfeed.net/Feed-Additives/Articles/2017/1/Electrolyte-balance-choosing-the-right-tool-for-the-job-87978E/>. Accessed on January. 15, 2017.
- Jim 2020 Controlling footpad dermatitis in poultry. poultry producer. <https://www.poultryproducer.com/health/controlling-footpad-dermatitis-in-poultry/>. Accessed on March. 22, 2020.
- Lay DC, Fulton RM, Hester PY, Karcher DM, Kjaer JB, Mench JA, Mullens BA, Newberry RC, Nicol CJ, O'Sullivan NP, Porter RE 2011 Hen welfare in different housing systems. *Poult Sci* 90:278-294.
- Martins BB, Martins MRFB, Mendes AA, Fernandes BCS, Aguiar EF 2016 Footpad dermatitis in broilers: differences between strains and gender. *Braz J Poult Sci* 18(3): 461-466.

- Mathiyazhagan N, Suresh K, Deepa CA 2018 Case study on novel natural remedy (*Trichosanthes dioica* Roxb.) against bacillary white diarrhea in broiler chickens. *Int J Petrochem Sci Eng* 3(2):71-73.
- Matković K, Marušić D, Ostović M, Pavičić Ž, Matković S, Kabalin A E, Lucić H 2019 Effect of litter type and perches on footpad dermatitis and hock burn in broilers housed at different stocking densities. *S Afr J Anim Sci* 49(3):546-554.
- Mayne RK, Else RW, Hocking PM 2007 High litter moisture is sufficient to cause footpad dermatitis in growing turkeys. *Br Poult Sci* 48:538-545.
- Michel V, Prampart E, Mirabito L, Allain V, Arnould C, Huonnic D, Bouquin SL, Albaric O 2012 Histologically-validated footpad dermatitis scoring system for use in chicken processing plants. *Brit Poult Sci* 53(3):275-281.
- Mohamed MA 2020 Review: footpad dermatitis (FPD) in chickens. *Kor J Food & Health Convergence* 6(4):11-16.
- Oliveira MC, Arantes UM, Stringhini JH 2010 Efeito do balanço eletrolítico da ração sobre parâmetros ósseos e da cama de frango. *Biotemas* 23(1):203-209.
- Olsen RH, Christensen H, Kabell S, Bisgaard M 2018 Characterization of prevalent bacterial pathogens associated with pododermatitis in table egg layers. *Avian Pathol* 47(3):281-285.
- Pié Orpí J 2020 Footpad dermatitis in poultry. *Veterinaria digital*. https://www.veterinariadigital.com/en/post_blog/footpad-dermatitis-in-poultry/ Accessed on July 16, 2020.
- Ritz CW, Fairchild BD, Lacy MP 2009 Litter Quality and Broiler Performance.
- Royal Society for the Prevention of Cruelty to Animals (RSPCA) 2017 RSPCA Welfare Standards: RSPCA Welfare Standards for Meat Chickens. West Sussex, UK.
- Saif YM 2003 *Diseases of Poultry*. 11th. ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa USA.
- Shepherd EM, Fairchild BD 2010 Footpad dermatitis in poultry. *Poult Sci* 89(10):2043-2051.
- Shepherd EM, Fairchild BD, Ritz CW 2017 Alternative bedding materials and litter depth impact litter moisture and footpad dermatitis. *J Appl Poult Res* 26(4):518-528.
- Swiatkiewicz S, Arczewska WA, Jozefiak D 2017 The nutrition of poultry as a factor affecting litter quality and foot pad dermatitis - an updated review. *J Anim Physiol Anim Nutri* 101(5):14-20.
- Thøfner ICN, Poulsen LL, Bisgaard M, Christensen H, Saif RH, Christensen JP 2019 Correlation between footpad lesions and systemic bacterial infections in broiler breeders. *Vet Res* 50(1):38.
- van Harn J, Dijkslag MA, van Krimpen MM 2019 Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poult Sci* 98(10): 4868-4877.
- Wang G, Ekstrand C, Svedberg J 1998 Wet litter and perches as risk factors for the development of foot pad dermatitis in floor-housed hens. *Br Poult Sci* 39:191-197.
- Welfare Quality® 2009 Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands.
- Yamak US, Sarica M, Boz MA, Uçar A 2016 Effect of reusing litter on broiler performance, foot-pad dermatitis and litter quality in chickens with different growth rates. *J Fac Vet Med, Kafkas University* 22(1):85-91.
- Yang X 2013 An analysis of U.S. chicken feet exports to China. Ph. D. Dissertation, University of Georgia.
- Yuko S, Mohamed EG 2020 Staphylococcosis in Poultry. MSD veterinary manual. <https://www.msdevetmanual.com/poultry/staphylococcosis/staphylococcosis-in-poultry>. Accessed on August 22, 2020.

Received Nov. 4, 2020, Revised Nov. 26, 2020, Accepted Dec. 4, 2020