

산란계의 유도 환우가 주요 장기와 혈액 성상의 변화에 미치는 영향

홍의철^{1,a} · 박희두^{1,a} · 강근호¹ · 나재천¹ · 유동조¹ · 김학규¹ · 최양호² · 배해득³ · 황보 중^{1,†}

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²경상대학교 동물자원과학부, ³일본나고야대학 대학원 생명농학연구과 동물영양정보학연구

Effect of Induced Molting on Changes of Visceral Organs and Blood Stress Indicators in Laying Hens

E. C. Hong^{1,a}, H. D. Park^{1,a}, G. H. Kang¹, J. C. Na¹, D. C. You¹, H. K. Kim¹, Y. H. Choi², H. D. Bae³ and J. Hwangbo^{1,†}

¹National Institute of Animal Science

²Department of Animal Science and Institute of Agriculture & Life Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Laboratory of Animal Nutrition, Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University

ABSTRACT This work was conducted to evaluate the effects of induced-molting methods on visceral organs and blood stress indicators in laying hens. One hundred fifty of 63-wk-old White Leghorn hens, with over 85% of egg production and 1.7 ± 0.4 kg of average weight, were used in this study. Treatments were control (non-molt treatment), feeding molt treatment (FM), and starving molt treatment (SM). There were 5 replicates of 10 hens for each treatment. All treatment groups were fed basal diet (15% CP and 2,700 kcal/kg of ME) for two weeks as adaptation period. Heart weights were 8.2, 7.9 and 7.5 g in control, FM and SM, respectively. Liver and oviduct weights were decreased in both molting treatments compared with control ($P < 0.05$). Corticosterone (CS) concentrations were 4.48, 4.47 and 4.66 $\mu\text{g/mL}$ in control, FM and SM at 61 weeks, respectively, but increased to 7.32, 7.11 and 7.71 $\mu\text{g/mL}$ at 62 weeks, respectively ($P < 0.05$). Heterophil to lymphocyte ratios were 0.27~0.29 in all groups at 61 weeks, but increased to 0.97~1.03 in SM at 62 weeks. Both CS concentrations and H:L ratios in SM were greater compared with those for the other groups. These results suggest that hens in feeding molting program in hens are less stressed than those in starving molting one.

(Key words : molt, visceral organs, corticosterone, heterophil, lymphocyte)

서 론

채란업계에서는 생산성 향상을 위해 산란계를 단기간 혹은 장기간 절식시켜 강제적으로 환우를 유도하는 강제환우를 실시한다.

유도 환우는 육성 경비의 절감, 산란율, 하우 유니트, 난각 질 등의 개선 및 정상란 비율의 향상 등 여러 가지 이점이 기대될 수 있으나, 절식에 따른 과중한 스트레스에 의한 폐사의 증가, 환우 중 분변 성상의 악화에 따르는 작업성의 악화, 환우 후 난중의 과대화 등의 문제점도 가지고 있다(Baker et al., 1983).

환우 유도 of 가장 실용화된 방법은 10~14일 동안 절식시키는 것으로, 절식에 의한 유도 환우는 관리가 쉽고, 환우를 효율적으로 유도하며, 환우 후 산란계의 생산 수명을 연장시

키는 경제적 이점을 가지고 있다(Brake, 1993). 그러나 절식에 의한 유도 환우는 산란계에서 스트레스를 증가시키는 원인이 되며, 살모넬라 감염에 대한 감수성을 증가시키는 등 부정적 측면들도 보고되고 있다(Holt와 Porter, 1992; Holt, 1993; Holt et al., 1995).

스트레스는 가축이 신체적으로 변화된 환경에서 항상성을 유지하기 위해 발생한다(Mumma et al., 2006). 그러나 이러한 강제 절식에 의한 산란계의 스트레스 발생은 동물 복지 관점에서 문제가 되고 있으며(Appleby et al., 2004; Egg Industry, 2000), 특히, 식중독의 원인균인 살모넬라 감염에 따른 식품의 안전성에 대한 계란 소비자들의 신뢰가 채란계 산업에서 무엇보다 큰 관건이라 할 수 있다.

^a First two authors equally contributed to this work.

[†] To whom correspondence should be addressed : kohb@rda.go.kr

따라서 최근 연구에서 절식에 의한 환우를 대신할 수 있는 급이에 의한 환우법에 대한 연구가 다양하고, 지속적으로 수행되어지고 있다. 이러한 연구 결과들에 따르면, 급이에 의한 유도 환우법은 스트레스를 줄여 생존율 향상(Holt, 2003; Ricke, 2003), 환우 중의 계분 성상을 향상시켜 작업 환경 개선(Gast와 Ricke, 2003), 또한, 장내 세균총을 유지시키는 동시에 살모넬라의 정착 억제(McReynolds et al., 2006), 환우 중에 산란계의 정상적 골격 유지(Mazzuco et al., 2005), 환우 후의 생산성 개선(Biggs et al., 2003, 2004) 등과 같은 다양한 효과가 있다.

가금류에서, 부신피질호르몬의 일종인 혈중 코르티코스테론(corticosterone, CS)의 수준(Beuving과 Vonder, 1978; Davis와 Sipoes, 1985)과 heterophil(H): lymphocyte(L)의 비율 증가(Gross와 Siegal, 1983; Gross, 1989; Maxwell, 1993; Maxwell et al., 1992; Siegel, 1995)는 스트레스의 지표로서 이용될 수 있다(Davis et al., 2000).

절식에 따른 산란계는 스트레스로 인하여 CS 농도가 증가하며, 증가된 CS 농도는 H:L 비율을 증가시킨다(Davis et al., 2000). 따라서, 본 연구는 절식과 급이 방법으로 환우를 유도시킨 산란계의 주요 장기 및 혈액 성분을 조사하여 환우 중 스트레스에 대한 급이 환우의 효과를 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시동물 및 시험 설계

공시계는 산란율이 85% 이상인 61주령의 White Leghorn 종 산란계 150수(평균 체중 1.7 ± 0.4 kg)를 선별하였으며, 63주령부터 환우를 개시하여 4주 동안 시험에 공시하였다. 시험구는 환우 처리를 하지 않은 대조구(Control), 급이 환우법(FM, feeding molt) 및 절식 환우법(SM, starving molt)의 3처리구로 나누고, 처리구당 5반복, 반복당 10수씩 완전 임의 배치하였다. 한국사양표준(가금, 2007)에 따른 산란 말기 사료(ME: 2,700 kcal/kg, CP: 14.0%)를 환우 전후에 급여하였으며, 환우 후 1주간 산란 유도용 사료(ME: 2,800 kcal/kg, CP: 16.0%)를 급여하였다(Table 1). 환우용 사료(홍의철 등, 2008)는 저에너지-저단백질 사료(ME: 2,000 kcal/kg, CP: 13%)를 자체 제조하였다(Table 1).

2. 사양관리

1) 환우 전 준비

환우 개시 7일 전부터 점등시간을 1일 17시간에서 24시간

으로 늘리고, 2일 전에는 외부기생충 구제 및 음수 백신을 하였다. 환경 순치 기간으로서 환우 2주전 모든 공시계에 동일한 산란 말기 사료를 급여하였다.

2) 환우기간 중 유도 환우 방법

순치 기간 종료 후, SM은 14일 동안 절식, 15일째에 산란 유도용 사료를 자유급이하고, 산란이 재개되었을 때 산란용 사료를 급여하였다. FM은 환우용 사료를 28일째까지 자유급이하였으며, 29일째부터 1주간 산란 유도용 사료 급여 후 산란 말기 사료를 자유급이하였다. 전 처리구는 니플을 이용하여 자유음수를 하였다.

3) 환우 기간 중 점등 관리

환우 효과를 극대화하기 위하여 개시 7일 전부터 산란 축

Table 1. Formula and chemical composition of experimental diets

Ingredients	Basal diet	Molt diet	Postmolt diet*
Corn (8.3% CP)	55.10	27.50	59.35
Wheat bran	9.60	30.00	12.90
Soybean meal (48.5% CP)	18.00	-	17.40
Corn gluten meal	5.00	3.00	3.50
Corn gluten feed	-	26.00	-
Limestone	10.00	10.00	4.00
Dicalcium phosphate	1.00	1.35	1.50
Salt	0.25	0.25	0.25
L-Lysine	0.25	0.70	0.30
DL-Methionine	0.30	0.70	0.30
Vitamin-mineral premix ¹	0.50	0.50	0.50
Calculated analysis ²			
ME (kcal/kg)	2,715	2,028	2,828
Crude protein (%)	16.87	13.09	16.57
Crude fiber (%)	3.33	5.14	2.57
Ca (%)	4.09	4.12	2.03
P (%)	0.48	0.34	0.57

^{1,2}Hong et al. (2008).

*The diet to induce egg production after molting for 1 weeks.

진을 위해 24시간 점등을 실시하고, 첫날부터 10일까지 10시간, 그 후 일주일간 1시간을 늘려 11시간 점등을 실시한 후, 17시간까지 매일 30분씩 점등 시간을 늘렸다.

4) 혈액의 채취 및 분리

혈액은 환우 전 61, 62주령과 64, 66, 68, 70 및 72주령에 각 처리구에서 CS 농도와 H:L 비율을 측정하기 위하여 처리구당 12수씩 선별하고, 수당 5 mL씩 혈액 샘플을 채취하였다. 혈액 채취 과정 중에 생기는 스트레스를 최소화하기 위하여 숙련된 보정자 2명과 혈액 채취자 1명으로 구성하여, 40 초 이내에 익하정맥에서 혈액 샘플을 채취하도록 하였다. 채취된 혈액 샘플은 준비된 얼음상자에서 2시간 방치하고, 6개는 3,000 rpm에서 10분간 원심분리한 후 혈장을 분리하여 CS 농도를 측정하였으며, 6개는 전혈을 이용하여 heterophil과 lymphocyte를 분석한 후 H:L 비율을 측정하였다.

3. 조사 항목 및 조사 방법

1) 간, 심장 및 난포수란관

환우처리 개시 후 14일째 대조구, 급이 환우구(FM) 및 절식 환우구(SM)의 3처리구에서 5수씩을 선발 도체하여 간, 심장 및 난포수란관의 무게를 측정하였다.

2) 코르티코스테론 (Corticosterone, CS) 측정

CS 농도는 혈장에서 ELISA(enzyme-linked immunosorbent assay; Assay Designs Inc., Ann Arbor, Michigan, USA) kit을 이용하여 측정하였다. 혈장을 100 μ L씩 튜브에 옮겨 담고 항체 50 μ L를 넣어준 후 2시간 동안 반응시킨 다음, corticosterone conjugate 5 μ L와 p-nitrophenyl phosphate-substrate 200 μ L를 넣고 1시간 동안 반응시켰다. 마지막으로 stop solution 50 μ L를 넣고 405 nm에서 microplate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였다.

3) H:L 분석

자동 혈구분석기(HEMAVET[®] HV950FS, Drew Scientific, Inc., USA)를 이용하여 혈액 내 heterophil(H)과 lymphocyte(L)의 수치들을 조사하고, H:L 비율을 계산하였다.

4. 통계처리

본 시험에서 얻어진 자료는 SAS(2000)를 이용하여 분석하였으며, 각 처리구간의 평균값을 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 비교하여 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 환우 기간 중 시험축의 장기 변화

Table 2는 환우 개시 후 14일째 도체시킨 산란계의 간, 심장 및 난포수란관의 무게를 나타내었다. 심장의 무게는 대조구, FM구 및 SM구에서 각각 8.2, 7.9 및 7.5 g으로 유의적인 차이가 없었으며($P<0.05$), 간의 무게는 대조구, FM구 및 SM구에서 각각 44.9, 25.3 및 22.8 g, 난포수란관의 무게 역시 각각 69.1, 26.5 및 10.5 g으로 대조구에서 가장 높게 나타났다. 간과 난포수란관의 무게는 모든 환우 처리구(급이, 절식)에서 대조구에 비해 무게가 감소하였으며($P<0.05$), 난포수란관의 무게는 SM구가 FM구에 비해 낮게 나타났다($P<0.05$).

Park et al.(2004a,b)은 절식이나 아연으로 환우시킨 산란계의 심장 무게는 자유급이시킨 산란계와 비교하여 차이가 없었고, Donalson et al.(2005)과 Landers et al.(2007)도 절식이나 알팔파로 환우 유도시킨 산란계와 비교시 자유급이시킨 산란계의 심장 무게에서 변화를 볼 수 없었다. 그러나, 홍 등(2007)은 절식구와 고섬유소 사료 급이구에서 대조구에 비해 심장 무게의 변화를 관찰했고, 이후의 연구(Landers et al., 2008)에서 자유 급여한 산란계의 심장 무게가 환우를 유도한 산란계보다 높게 보고했다. 본 실험에서는 대조구의 심장 무게가 가장 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다. 환우처리에 따른 심장 무게의 변화에 대해서는 추후 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 시험에서 환우 유도시킨 산란계에서 간의 무게가 감소하였다. Brake와 Thaxton(1979) 및 Berry와 Brake(1985)는 환우시킨 산란계에서 번식 기관의 위축과 간의 무게가 감소되었으며, 체중 감소의 25% 정도였다. 간의 무게의 감소는 간에서 대사되는 에너지원인 글리코겐과 지질의 감소에 따른

Table 2. Effect of induced molting on weights of the heart, liver, and oviduct in laying hens

Organs	Control	FM ¹	SM ²	SEM ³
	----- (g) -----			
Heart	8.2	7.9	7.5	0.36
Liver	44.9 ^a	25.3 ^b	22.8 ^b	1.87
Oviduct	69.1 ^a	26.5 ^b	10.5 ^c	2.64

¹FM, feed induced molting; ²SM, non-feed induced molting.

³Pooled standard error of the mean for 5 laying hens per treatment.

^{a-c}Means with different superscripts in the same row differ significantly ($P<0.05$).

것이다(Berry와 Brake, 1985). 또한, 간의 무게 감소에 따라 estrogen과 관련된 계란 성분의 합성이 저해되며, 이것은 난소 steroid에 의한 자극과 연관되어 있다(Berry와 Brake, 1985). 따라서, 본 시험에 사용된 환우 방법(급이, 절식)은 간의 에너지원을 감소시켜 간의 무게가 감소하며, 간의 무게 감소는 난소 자극에 따른 산란 중지와의 관련이 있을 것으로 사료된다.

절식이나 급이를 통한 환우 유도는, 난포수란관의 수축과 무게가 감소한다는 것은 잘 알려져 있다(Moore et al., 2004; Park et al., 2004a,d). 본 시험에서도 난포수란관의 무게가 감소하여 다른 연구들과 유사한 결과를 나타내었다. 환우 기간 중의 난포관의 무게 감소는 난소의 무게 감소로부터 시작된다(Brake와 Thaxton, 1979). 부신피질호르몬은 환우 처리구에서 난소와 난관 수축에 관련하며, 가금류의 항상성을 유지하기 위해 부신피질자극호르몬(ACTH)에 의해 방출된다(Wolford와 Ringer, 1962). 따라서, 절식이나, 환우용 사료를 급여한 산란계는 산란을 중지하고, 환경 변화에 따른 최소한의 신체 유지를 위한 부신피질호르몬을 방출하게 되며, 그 결과로써 난포수란관의 수축이 발생하는 것이라 사료된다.

2. 혈중 코르티코스테론 (Corticosterone, CS)

CS의 증가는 가금류에서 스트레스의 지표의 하나로서 사용될 수 있다고 보고되어 왔다(Beuving과 Vonder, 1978; Gross와 Siegel, 1983; Craig와 Craig, 1985; Davis와 Siopes, 1985). 대조구와 환우처리구(절식, 급이)에 따른 산란계의 혈장 CS 농도를 Fig. 1에 나타내었다. 대조구, 절식 환우구 및 급이 환우구에서 환우 2주전 CS는 각각 4.48 ± 0.78 , 4.66 ± 0.81 및 4.47 ± 0.99 $\mu\text{g/mL}$ 이었으나, 1주전에는 각각 7.32 ± 0.83 , $7.11 \pm$

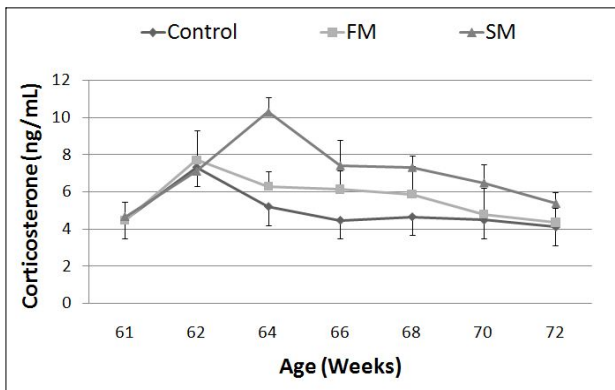


Fig. 1. Corticosterone concentrations by age and molting method. Means \pm SE with different letters are significantly different ($P < 0.05$) (FM, feeding molt; SM, starving molt).

0.76 및 7.71 ± 1.58 $\mu\text{g/mL}$ 로 증가하였으며, 환우 1주 후에는 절식구에서 10.3 ± 0.75 $\mu\text{g/mL}$ 로 가장 높았다($P < 0.05$). 환우 종료 후 절식 환우구에 산란사료를 급여하였을 때 CS가 감소하였으나, 환우 개시 후 6주째까지 7.32 ± 1.47 $\mu\text{g/mL}$ 로 높은 수치를 나타냈으며, 다른 처리구는 $4.11 \sim 6.3$ $\mu\text{g/mL}$ 로 절식 환우구에 비해 낮은 수치를 보였다.

가금류에서 다양한 스트레스로 인하여 CS의 농도가 변하기 때문에(Pesti와 Howarth, 1983; Mashaly et al., 1984; Mench et al., 1986; Davami et al., 1987; Koelkebeck et al., 1987), 절식 환우 동안에 발생한 높은 CS 농도는 산란계의 생리학적인 스트레스의 지표로 사용된다. 산란계의 체혈시 45초를 초과할 경우 혈청 CS 농도가 높아진다(Beuving et al., 1989). 따라서, 본 시험에서는 숙련된 3인 1조의 팀으로 구성하여 40초 이내에 체혈토록 하여, 체혈 시 생기는 스트레스를 최소화하도록 하였다. CS는 포도당 합성에도 관여하는 호르몬으로서, 절식기간 동안의 높은 CS 농도는 CS와 progesterone, 난포자극 호르몬, 황체형성 호르몬(LH), prolactin 및 갑상선 자극 호르몬과 같은 다양한 호르몬들 사이의 상호작용과 관련된다(Decuyper와 Kuhn, 1988). 산란계에서 LH를 자극하는 progesterone의 생산을 위해서는 칼슘이 필요하다(Johnson, 1990). 절식은 체내 칼슘의 양을 감소시켜 progesterone 감소를 유발하며, 결과적으로 CS 농도를 증가시킨다.

본 시험에서 유도 환우 개시 1주전 CS 농도가 증가하는 것은 유도 환우의 효과를 높이기 위하여, 환우 전 산란을 촉진 목적으로 점등을 24시간으로 증가시켰기 때문이라고 사료된다. Campo et al.(2007)은 광주기와 스트레스의 연관성 시험에서, 24시간 점등시킬 경우 스트레스가 증가하였다. 그러나, 환우개시 2주 후 절식구에서 혈청 CS 농도치가 증가하였다. 이것은 환우 중의 점등 시간의 조절과 관계없이 절식에 의한 혈청 CS 농도의 증가로서 스트레스와 깊은 관계를 가지는 것으로 사료된다. 절식 후의 산란 유도 사료 급여는 CS 농도의 지속적인 감소를 보이며, 시험기간 중 다른 처리구에 비해 지속적으로 높았다. 이런 지속적인 스트레스가 2차 산란주기에 있어서 산란 생리 및 생산성에 미치는 영향에 관한 연구가 기대된다.

3. Heterophil과 Lymphocyte의 비율

Heterophilia에 의한 Heterophil과 lymphocyte 비율의 증가는 최근 들어 스트레스의 지표로 보고되고 있다(Gross와 Siegel, 1983; Gross, 1989; Maxwell et al., 1992; Maxwell, 1993; Siegel, 1995). 절식과 사료 급여로 환우를 유도한 산란계의 H:L 비율 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 환우 2주 전에는 $0.27 \sim$

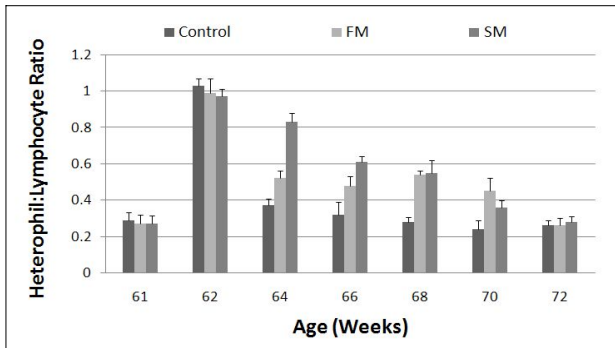


Fig. 2. Mean heterophil:lymphocyte ratio by age and molting method. Means \pm SE with different letters are significantly different ($P < 0.05$) (FM, feeding molt; SM, starving molt).

0.29로 스트레스를 거의 받지 않지만, 1주 전에는 0.97~1.03으로 증가하였다. 환우 1주 후에는 절식 환우구에서 0.83으로 가장 높게 나타났으나, 이후로 점차 감소되었으며, 굶이 환우구에서는 환우 기간 동안 0.45~0.54로 나타났다. Campo et al.(2007)은 24시간 점등 시 H:L 비율이 통상 점등 관리의 약 3배 정도가 증가한다고 하였다. 본 시험에서도 환우 1주 전 24시간 점등 시 H:L 비율이 높게 나타났으며, 이 기간 중의 환우를 유도하기 위한 산란 촉진을 위해 점등 시간의 증가가 산란 생리와 스트레스와의 관련 연구도 또한 요구된다.

절식을 통한 환우를 유도하기 위한 체중의 감소는 산란계에 있어서 H:L의 비율과 CS 농도를 증가시켜, 장기간에 걸친 산란계 스트레스의 지표로서 판단될 수 있다(Siegel, 1995). 환우기간 중에 lymphocyte 수가 감소한다(Brake et al., 1981, 1985). 따라서, H:L 비율의 증가는 산란계에 있어서 환우기간 중의 체중 감소의 생리학적 스트레스를 조절하는 하나의 메카니즘이라 할 수 있다. 절식으로 환우시킨 산란계의 혈중 heterophil의 수가 증가하고 lymphocyte의 수가 감소함에 따라 H:L의 비율이 높아지며, 스트레스가 크게 증가된 것이라고 판단된다.

적 요

본 시험은 유도 환우 방법이 산란계의 주요 장기와 혈액 성상에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행하였다. 공식계는 산란율 85% 이상, 평균체중 1.7 ± 0.4 kg인 61주령 White Leghorn 150수를 이용하였다. 시험구는 크게 환우 처리를 하지 않은 대조구(Control), 굶이 환우법(FM, feeding molt) 및 절식 환우법(SM, starving molt)의 3처리구로 나누고, 처리구

당 5반복, 반복당 10수씩 완전 임의배치하였다. 심장의 무게는 대조구, FM구 및 SM구에서 각각 8.2, 7.9 및 7.5 g으로 처리구간에 유의적인 차이가 없었다. 간과 난포수란관의 무게는 모든 환우 처리구(굶이, 절식)에서 대조구에 비해 무게가 감소하였으며($P < 0.05$), 난포수란관의 무게는 SM구가 FM구에 비해 낮게 나타났다($P < 0.05$). 대조구, 굶이 환우구 및 절식 환우구에서 환우 2주전 CS는 각각 4.48, 4.66 및 4.47 $\mu\text{g/mL}$ 이었으나, 1주 전에는 각각 7.32, 7.71 및 7.11 $\mu\text{g/mL}$ 로 증가하였으며, 환우 1주후에는 절식구에서 10.3 $\mu\text{g/mL}$ 로 가장 높았다. 절식과 굶이로 환우시킨 산란계의 H:L 비율 변화에서, 환우 2주 전에는 0.27~0.29이지만, 1주 전에는 0.97~1.03으로 증가하였다. 환우 1주 후에는 절식 환우구에서 0.83으로 가장 높게 나타났으나, 이후로 점차 감소되었으며, 굶이 환우구에서는 환우 기간 동안 0.45~0.54로 나타났다. 따라서, 본 연구는 굶이로 환우를 유도시킨 경우에는 절식 환우 시킨 산란계에 비해 스트레스가 적다는 것을 제시한다.

사 사

본 연구는 2007년 농촌진흥청 국립축산과학원의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

인용문헌

- Appleby MC, Mench JA, Hughes BO 2004 Poultry Behavior and Welfare. CABI Publishing Wallingford.
- Baker M, Brake J, McDaniel CR 1983 The relationship between body weight loss during and induced molt and postmolt egg production, egg weight, and shell quality in caged layers. *Poult Sci* 62:409-413.
- Berry WD, Brake J 1985 Comparison of parameters associated with molt induced by fasting, zinc, and low dietary sodium in caged layers. *Poult Sci* 64:2027-2036.
- Beuving G, Jones RB, Blokhuis HJ 1989 Adrenocortical and heterophil/lymphocyte responses to challenge in hens showing short or long tonic immobility reactions. *Br Poult Sci* 30: 175-184.
- Beuving G, Vonder GMA 1978 Effects of stressing factors on corticosterone levels in the plasma of laying hens. *Gen Comp Endocrinol* 35:153-159.

- Biggs PE, Douglas MW, Koelkebeck KW, Parsons CM 2003 Evaluation of nonfeed removal methods for molting programs. *Poult Sci* 82:749-753.
- Biggs PE, Persia ME, Koelkebeck KW, Parsons CM 2004 Further evaluation of nonfeed removal methods for molting programs. *Poult Sci* 83:745-752.
- Brake J 1993 Recent advances in induced molting. *Poult Sci* 72:929-931.
- Brake J, Berry WD, Thaxton P 1985 Cellular changes in the spleen during an induced molt. *Poult Sci* 64:1031-1034.
- Brake J, Morgan GW, Thaxton EH 1981 Recrudescence of the thymus and repopulation of lymphocytes during an artificially induced molt in the domestic chicken: Proposed model system. *Dev Comp Immunol* 5:105-112.
- Brake J, Thaxton P 1979 Physiological changes in caged layers during a forced molt. 2. Gross Changes in organs. *Poult Sci* 58:707-716.
- Campo JL, Gil MG, Davila SG, Munoz I 2007 Effect of lighting stress on fluctuating asymmetry, heterophil-to-lymphocyte ratio, and tonic immobility duration in eleven breeds of Chickens. *Poult Sci* 86:37-45.
- Craig JV, Craig JA 1985 Corticosterone levels in White Leghorn hens as affected by handling, laying-house environment, and genetic stock. *Poult Sci* 64:809-816.
- Davami A, Wineland MJ, Jones WT, Ilardi RL, Peterson RA 1987 Effects of populations size, floor space, and feeder space upon productive performance, external appearance, and plasma corticosterone concentration of laying hens. *Poult Sci* 66:251-257.
- Davis GS, Sipoes 1985 Adrenal cortical response of tom poults. *Poult Sci* 64:2189-2194.
- Decuyper E, Kuhn ER 1988 Thyroid hormone physiology in Galliformes: Age and strain related changes in physiological control. *Amer Zool* 28:401-415.
- Donalson LM, Kim WK, Woodward CL, Herrera P, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2005 Utilizing different ratios of alfalfa and layer ration for molt induction and performance in commercial laying hens. *Poult Sci* 84:362-369.
- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Egg Industry 2000 McDonald's target the egg industry. *Egg Ind* 105:10-13.
- Gast RK, Ricke SC 2003 Symposium: Current and future prospects for induced molting in laying hens. *Poult Sci* 82:964.
- Gross WB 1989 Factors affecting chicken thrombocyte morphology and the relationship with heterophil : lymphocyte ratios. *Br Poult Sci* 30:919-925.
- Gross WB, Siegel HS 1983 Evaluation of heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Dis* 27: 972-979.
- Holt PS 1993 Effect of induced molting on the susceptibility of White Leghorn hens to a *Salmonella enteritidis* infection. *Avian Dis* 37:412-417.
- Holt PS 2003 Molting and *Salmonella enterica* serovar *enteritidis* infection: The Problem and some solution. *Poult Sci* 82:1008-1010.
- Holt PS, Macri NP, Porter RE Jr 1995 Microbiological analysis of the early *Salmonella enteritidis* infection in molted and unmolted laying hens. *Avian Dis* 39:55-63.
- Holt PS, Porter RE Jr 1992 Microbiological and histopathological effects of an induced-molt fasting procedure on a *Salmonella enteritidis* infection in chickens. *Avian Dis* 36: 610-618.
- Johnson AL 1990 Steroidogenesis and actions of steroids in the hen ovary. *CRC Crit Rev Poult Sci* 2:319-346.
- Koelkebeck KW, Amoss Jr MS, Cain JR 1987 Production, physiological, and behavioral responses of laying hens in different management environments. *Poult Sci* 66:397-407.
- Landers KL, Moore RW, Dunkley CS, Herrera P, Kim WK, Landers DA, Howard ZR, McReynolds JL, Bryd JA, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2007 Immunological cell and serum metabolite response of 60-week-old commercial laying hens to an alfalfa meal molt diet. *Biol Tech* 99:604-608.
- Landers KL, Moore RW, Herrera P, Landers DA, Howard ZR, McReynolds JL, Bryd JA, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2008 Organ weight and serum triglyceride responses of older (80 week) commercial laying hens fed an alfalfa meal molt diet. *Biol Tech* 99:6692-6696.
- Mashaly MM, Webb ML, Youtz SL, Roush WB, Graves HB 1984 Changes in serum corticosterone concentration of laying hens as a response to increased population density. *Poult Sci* 63:2271-2274.
- Maxwell MH 1993 Avian leucocyte responses to stress. *World's*

- Poult Sci J 49:34-43.
- Maxwell MH, Hocking PM, Robertson GW 1992 Differential leucocyte responses to various degrees of food restriction in broilers, turkeys, and ducks. Br Poult Sci 33:177-187.
- Mazzuco H, McMurtry JP, Kuo AY, Hester PY 2005 The effect of pre- and postmolt diets high in n-3 fatty acids and molt programs on skeletal integrity and insulin-Like growth factor-I of white leghorns. Poult Sci 84: 1735- 1749.
- McReynolds JL, Moore RW, Kubena LF, Byrd JA, Woodward CL, Nisbet DJ, Ricke SC 2006 Effect of various combinations of alfalfa and standard layer diet on susceptibility of laying hens to *Salmonella enteritidis* during forced molt. Poult Sci 85: 1123-1128.
- Mench J, Van Tienhoven A, Marsh JA, McCormick CC, Cunningham DL, Baker RC 1986 Effects of cage and floor pen management on behavior production, and physiological stress responses of laying hens. Poult Sci 65:1058-1069.
- Moore RW, Park SY, Kubena LF, Byrd JA, McReynolds JL, Burnham MR, Hume ME, Birkhold SG, Nisbet DJ, Ricke SC 2004 Comparison of zinc acetate and propionate addition on gastrointestinal tract fermentation and susceptibility of laying hens to *Salmonella enteritidis* during forced molt. Poult Sci 83:1276-1286.
- Mumma JO, Thaxton JP, Vizzier-Thaxton Y, Dodson WL 2006 Physiological stress in laying hens. Poult Sci 85:761-769.
- Park SY, Birkhold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2004a Effects of high zinc diets using zinc propionate on molt induction, organs, and postmolt egg production and quality in laying hens. Poult Sci 83:24-33.
- Park SY, Birkhold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2004b Review on the role of dietary zinc in poultry manure, immunity, and reproduction. Biol Trac Elem Res 101:147-163.
- Park SY, Kim WK, Birkfold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2004d Using a feed - grade zinc propionate to achieve molt induction in laying hens and retain postmolt egg production and quality. Biol Trac Elem Res 101:165-179.
- Park SY, Kim WK, Birkhold SG, Kubena LF, Nisbet DJ, Ricke SC 2004c Induced molting issues and alternative dietary strategies for the egg industry in the United States. World's Polt Sci J 60:196-209.
- Pesti GM, Howarth B 1983 Effects of population density on the growth, organ weights, and plasma corticosterone of young broiler chicks. Poult Sci 62:1080-1083.
- Ricke SC 2003 The gastrointestinal tract ecology *Salmonella enteritidis* colonization in molting hens. Poult Sci 82:1003-1007.
- SAS Institute 2000 SAS/STAT User's Guide. SAS Institute INC Cary NC.
- Siegel HS 1995 Stress, strains and resistance. Br Poult Sci 36:3-22.
- Wolford JH, Ringer RK 1962 Adrenal weight, adrenal ascorbic acid, adrenal cholesterol and differential leucocyte counts as physiological indicators of "stressor" agents in laying hens. Poult Sci 41:1521-1529.
- 한국사양표준(가금) 2002 농림부 · 농촌진흥청 국립축산과학원.
- 홍의철 나재천 유동조 장병귀 김학규 최양호 박희두 황보종 2007 산란계에서 급이 환우가 산란계의 생산성과 계란의 품질 및 주요 장기에 미치는 영향. 한국가금학회지 34(3): 197-205.
- 홍의철 나재천 정일병 최양호 박희두 정완태 이현정 유동조 김학규 황보 중 2008 산란계의 유도 환우에 있어서 급이 환우 방법의 평가. 한국가금학회지 35(1):15-20.
- (접수: 2009. 3. 23, 수정: 2009. 6. 25, 채택: 2009. 6. 25)