

산란종계에 있어서 육성기사료와 산란케이지 사육밀도가 생산성에 미치는 영향

강 창 원

건국대학교 축산대학

1. 서 론

국내의 산란종계 사육수수는 종계병아리 입식기준으로 볼 때 지난 5년 동안 커다란 변화 없이 유지되고 있다(Table 1). 외국에서의 종계 사육은 주로 평사에서 이루어지고 있는데 비하여 국내 산란종계 사육은 케이지 계사에서 이루어지고 있다. 따라서 외국의 종계 회사와 연구소가 개발해서 국내 사육장에서 적용하고 있는 사료 및 사양프로그램을 따르면 성적이 미치지 못하거나 사료의 낭비를 초래하기 쉽다. 특히, 국내 산란종계의 육추·육성은 케이지 사육인고로 육추, 육성기의 실제 성장곡선이 표준 성장곡선에 미치지 못하는 경우가 많다. 그 중에서도 3주령에서 7주령까지의 시기가 특히 문제가 되고 있으며 이 시기의 골격 미발달은 산란기에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 뿐만 아니라 산란기의 케이지 내 사육밀도가 경제성에 미치는 영향이 큰 만큼 케이지형

사육이 위주가 되는 한국형 산란종계 사양기술에 대한 검토가 필요하다.

2. 국내 산란종계 생산성 조사

가. 산란종계 생산성 조사

국내 대규모 산란종계 사육농장 4곳(A, B, C, D로 표기)을 대상으로 선정하여 지난 3~7년간의 생산성 자료를 수집하여 분석함으로써 현재 국내 산란종계 생산성적 현황을 검토하여 보았다. 조사대상 농가의 사육케이지는 케이지 군사 사육으로 Hy-Line(Variety Brown)이 3농가 그리고 ISA Brown이 한 농가였다. 국내 산란종계 사육이 평사 형태로 이루어진 산란종계 농장은 일부 소규모 종계 농장이었고, 이러한 농장일수록 생산성 관련 기록이 미비하여 자료를 정확히 평가하기 어려운 관계로 조사대상에서 제외되었다. 우선 사

Table 1. 국내 산란종계 연도별 입식현황

연 도	'97	'98	'99	'00	'01	'02
천 수	587	555	635	487	599	493

Table 2-1. 조사 대상 농가의 최근 생산성 조사 평균치

농 장	수/cage	사육밀도 (cm ² / 수)	암수 비율	종료주령 (wk)	폐사율 누계(%)	HH 산란수	HH 종란수	종란율 평균 (%)	비고 (우 기준)
조사농장A	25.9	618.1	9.4	65.7	13.4	226.6	206.7	91.2	총 6년간 6계군 84,400수의 평균
조사농장B	25.4	631.9	8.8	66.0	14.5	221.5	191.3	86.4	총 7년간 14계군 220,600수의 평균
조사농장C	24.0	667.9	9.9	74.0	14.9	243.6	213.6	88.1	총 4년간 7계군 152,500수의 평균
조사농장D	24.3	656.8	8.4	68.8	10.3	258.2	207.3	89.2	총 3년간 12계군 224,600수의 평균

육밀도, 종료주령, 폐사율 누계자료와 생산성에 관련된 요인으로 HH산란수, HH종란수, 평균종란율 등은 Table 2-1과 같다.

조사대상 농장 계군의 최고, 최저 및 평균성과 각 육종 회사에서 제공하고 있는 표준성을 비교하여 본 결과는 Table 2-2, 3, 4와 같다.

Table 2-2. 계군 내 최고, 최저 산란율 및 산란율 평균치와 표준 성적과의 비교*

	20~35 wks (%)	36~50 wks (%)	51 wks (%)	Total (%)	비교
최고	86.5	85.5	69.3	80.4	99.0
최저	78.0	72.4	53.5	66.0	81.3
평균	82.2	80.9	60.6	73.2	90.1
표준성적	87.7	87.3	70.8	81.2	100

* B 농장.

Table 2-3. 계군 내 최고, 최저 산란율 및 산란율 평균치와 표준 성적과의 비교*

	20~35 wks (%)	36~50 wks (%)	51 wks (%)	Total (%)	비교
최고	87.3	91.8	84.7	88.2	94.9
최저	83.4	88.1	81.2	83.7	90.1
평균	85.2	88.9	83.0	85.2	91.7
표준성적	88.4	95.9	93.2	92.9	100

* B 농장.

Table 2-4. 계군 내 최고, 최저 배분율 및 배분율* 평균치와 표준 성적과의 비교**

	20~35 wks (%)	36~50 wks (%)	51 wks (%)	Total (%)	비교
최고	37.2	39.8	33.5	36.3	87.0
최저	32.6	33.9	27.9	31.5	75.3
평균	33.4	37.3	31.5	33.6	80.4
표준성적	43.9	43.9	39.5	41.8	100

* 배분율 = 부화율/2/1.03.

** B 농장.

나. 육추사료가 육성기 발육에 미치는 영향

동일 농장내에서 비슷한 시기에 각기 다른 회사의 어린

병아리 사료(Table 2-5)를 급여하고 체중장 발달을 조사하였을 때 뚜렷한 차이를 보여주었다(Fig. 1). 이들은 동일한 사육조건과 질병감염 등의 영향이 없었기 때문에 체중의 차이는 주로 사료에 의한 것으로 사료되었다. 뿐만 아니라 이후 산란 피크 이후에 산란율이 저하되었다가 회복후에도 목표 성적을 밑도는 전형적인 패턴이 관찰되었는데 이는 육성기의 체중미달(B사료 급여계군)이 주된 원인인 것으로 사료되었다. A사료 급여계군에서도 8주령에 표준 성장곡선을 상회하는 체중과다 현상이 나타났는데 이는 육성중 적절한 시기에 적정사료로의 교체 및 기별사양 프로그램의 필요성을 시사하고 있다.

Table 2-5. 어린 병아리용 사료의 영양소 함량 비교

	A 사료 (어린 병아리 용)	B 사료 (어린 병아리용)
열량 (kcal/kg)	2,996 (TME _n)	2,950 (ME)
조단백질 (%)	18.45	21.00
조지방 (%)	3.33	4.49
조섬유 (%)	3.42	3.67
회분 (%)	5.43	5.97
건물량 (%)	86.60	88.10
Ca (%)	0.75	1.00
Available P (%)	0.41	0.50
Linoleic acid (%)	-	2.03
Methionine (%)	0.37	0.42
Met.+Cys. (%)	0.71	0.79

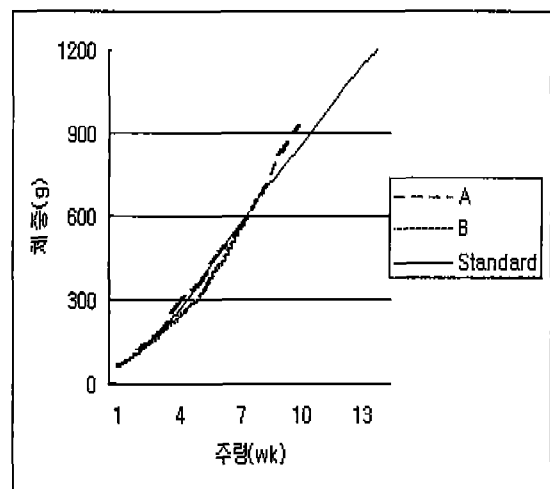


Fig. 1. 육성계 체중에 미치는 사료의 영향

3. 산란종계 육성기 사료 영양수준이 성장에 미치는 영향

가. 실험설계

Table 3-1. Metabolizable energy and protein levels of experimental diets

Treatments	2~6 wk		6~10 wk	
	ME, kcal/kg	CP,%	ME, kcal/kg	CP,%
Control	2800	17	2800	15
T1	2800	19	2800	16
T2	2950	17	2900	15
T3	2950	19	2900	16
T4	3050	20	3000	17

Table 3-2. Composition of experimental diets (Phase I)

Ingredients	Treatments				
	Control	T1	T2	T3	T4
Yellow corn	61.14	56.89	68.54	64.99	61.84
Soybean meal	22.85	24.85	23.65	25.70	28.80
Corn gluten meal	0.45	2.8	1	3.4	3.9
Wheat bran	10	10	1.7	0.8	
Rice bran	2	2	2	2	
Tallow					2.35
Dicalcium phosphate	1.4	1.35	1.5	1.5	1.5
Limestone	1.6	1.55	1.05	1.05	1.05
Salt	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Choline-chloride (25%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vitamin-E	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mineral mix ¹	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vitamin mix ²	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	100	100	100	100	100

Calculated Analysis

CP, %	17	19	17	19	20
TMEn, kcal/kg	2800	2800	2950	2950	3050
Ca, %	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Avail. P, %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Lysine, %	0.80	0.89	0.80	0.89	0.94
Met + Cys, %	0.59	0.66	0.59	0.66	0.69

¹ Mineral mixture provided following nutrients per kg of diet: Fe, 35mg; Zn, 60mg; Mn, 85mg; Cu, 70mg; I, 1.6mg; Se, 0.1mg.

² Vitamin mixture provided following nutrients per kg of diet: Vitamin A, 12,000IU; Vitamin D₃, 2,500IU; Vitamin E, 25mg; Vitamin K₃, 0.7mg; Vitamin B₁, 1mg; Vitamin B₂, 12mg; Vitamin B₆, 2mg; Vitamin B₁₂, 0.03mg; Niacin, 35mg; Pantothenic acid, 10mg; Biotin, 0.05mg; Folic acid, 0.5mg; Ethoxyquin, 1,700mg.

Table 3-3. Composition of experimental diets (Phase II)

Ingredients	Treatments				
	Control	T1	T2	T3	T4
Yellow corn	53.60	53.85	62.85	63.13	72.08
Soybean meal	14.33	17.45	16.36	19.55	23.89
Corn gluten meal	-	-	-	-	0.26
Wheat bran	28.61	25.23	17.23	13.79	-
Rice bran	-	-	-	-	-
DL-Methionine	-	0.03	-	-	0.14
Dicalcium phosphate	1.64	1.70	1.91	1.97	2.27
Limestone	1.34	1.28	1.17	1.10	0.88
Salt	0.34	0.34	0.35	0.35	0.35
Choline-chloride (25%)	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02
Vitamin-E	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mineral mix ¹	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Vitamin mix ²	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	100	100	100	100	100

Calculated Analysis

CP, %	15	16	15	16	17
TMEn, kcal/kg	2800	2800	2900	2900	3000
Ca, %	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Avail. P, %	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Lysine, %	0.56	0.59	0.56	0.59	0.79
Met + Cys, %	0.49	0.52	0.49	0.52	0.70

¹ Mineral mixture provided following nutrients per kg of diet: Fe, 35mg; Zn, 60mg; Mn, 85mg; Cu, 70mg; I, 1.6mg; Se, 0.1mg.

² Vitamin mixture provided following nutrients per kg of diet: Vitamin A, 12,000IU; Vitamin D₃, 2,500IU; Vitamin E, 25mg; Vitamin K₃, 0.7mg; Vitamin B₁, 1mg; Vitamin B₂, 12mg; Vitamin B₆, 2mg; Vitamin B₁₂, 0.03mg; Niacin, 35mg; Pantothenic acid, 10mg; Biotin, 0.05mg; Folic acid, 0.5mg; Ethoxyquin, 1700mg.

나. 결과 및 고찰

1) 증체량, 사료섭취량 및 정강이 길이에 미치는 영향
사료내 에너지와 단백질을 달리하여 급여했을 때 증체량, 사료섭취량 및 정강이 길이에 미치는 영향에 대한 결과를 Table 3-4에 나타내었다.

증체량은 Phase I 과 Phase II, 두 기간에서 사료내 에너지 및 단백질 수준이 증가함에 따라 유의하게 증가하거나 ($P<0.05$) 또는 증가하는 경향이 관찰되었다. 특히 에너지 수준보다는 단백질 수준을 높인 T1, T3 및 T4 처리구에서 대조구에 비해 유의하게 증체량이 높아졌다($P<0.05$). 그러나 에너지 수준만을 높인 T2 처리구는 대조구에 비해 증체량이 다소 증가하였지만, 유의적인 차이는 인정되지 않았다.

Table 3-4. Effects of dietary energy and protein levels on weight gain, feed intake and shank length of egg breeder pullets

	Control	T1	T2	T3	T4
Phase I					
BW gain, g/bird	338±6.77 ^b	378±7.54 ^a	352±13.49 ^b	381±4.73 ^a	382±1.93 ^a
Feed intake, g/bird	964±1.19 ^{ab}	999±0.84 ^a	920± 1.25 ^b	969±1.32 ^{ab}	937±1.14 ^{ab}
Shank length, cm	6.54±0.08 ^c	6.70±0.04 ^{ab}	6.64± 0.04 ^{bc}	6.79±0.03 ^a	6.75±0.03 ^{ab}
Phase II					
BW gain, g/bird	407±10.46 ^b	6424±9.71 ^a	408±20.24 ^b	420±7.40 ^a	442±6.34 ^a
Feed intake, g/bird	1467± 0.77	1488±0.54	1421± 1.08	1421±1.46	1388±0.36

^{a-c} Means±SE within a row with no common superscripts differ significantly(P<0.05).

사료섭취량은 Phase I에서는 에너지 수준이 상대적으로 낮았던 대조구와 T1 처리구에서 유의하게 증가하였다(P<0.05). Phase II에서는 처리구간에 사료섭취량의 차이는 나타나지 않았으나, 사료내 에너지 수준의 증가와 함께 섭취량은 다소 감소하는 결과가 관찰되었다.

사료내 에너지와 단백질 수준이 증가함에 따라 정강이 길이에서도 유의한 차이가 관찰되었다(P<0.05). 에너지와 단백질을 같이 높여 준 T3 및 T4 처리구에서는 대조구에 비해 정강이 길이가 유의하게 증가하였다(P<0.05). 정강이 길이의 경우 사료 내 에너지 수준에 따른 영향보다 단백질 수준의 증감에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

본 연구에서는 사료 내 에너지 및 단백질 수준이 증가함에 따라 증체량이 유의하게 증가하거나 또는 증가하는 경향을 나타내었다. Leeson 등(1993)은 산란계 초생추 병아리 사료의 에너지와 단백질을 2,500 kcal/kg와 18%에서 3,000 kcal/kg와 21.6%로 높인 처리구에서 40일령의 체중이 유의하게 높아졌다는 결과를 보고하였고, Newcombe와 Summers(1985)는 Leghorn을 공시한 연구에서 에너지 수준을 2,480 kcal/kg에서 3,100 kcal/kg으로 증가시켰을 때 병아리의 성장이 29% 개선되었다고 하였다. 대조적으로 Berg 등(1963)과 Keshavarz(1998)는 사료내 에너지의 증가에 대한 증체 반응이 없었다는 연구 결과를 보고하였다. 본 연구에서는 육성기 증체량의 변화에서 에너지 수준에 대한 반응보다는 단백질 수준의 증감에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

산란계 병아리에서 동일한 사료 내 에너지 수준(2,750 kcal/kg)에서 단백질을 각각 13.5%와 15.5% 수준의 사료를 급여한 연구에서 증체량의 차이는 나타나지 않았다(Lilburn과 Smith, 1987). 그러나 일반적으로 사료 내 단백질 수준과 성장이 정의 상관관계를 나타낸다는 연구 결과가 다수이다

(Leeson과 Summers, 1982; 1984b). Hussein과 Johnson(1996) 역시 단백질 수준이 높은 사료를 급여할 때 14주령의 체중이 유의하게 더 높았다고 하였는데, 이는 본 연구의 증체 성적과 잘 일치하는 결과이다.

본 연구에서 Phase I 기간 중에는 저 에너지 사료를 급여한 처리구에서 사료섭취량이 유의하게 증가하였고(P<0.05), Phase II에서는 처리구간에 큰 차이가 나타나지 않았다. Fuller와 Chaney(1974), Wolf 등(1969)은 육성 기간 중 에너지 수준이 낮은 사료를 급여했을 때 사료섭취량이 유의하게 증가한다는 결과를 보고하였다. 대조적으로 Berg 등(1963)은 사료내 에너지 수준이 증체 및 사료섭취량에 크게 영향을 미치지 않았다고 하였다.

Phase I에서는 사료 내 단백질 수준이 증가함에 따라 정강이 길이 역시 유의하게 증가하거나(P<0.05) 증가하는 경향이 관찰되었다. 이것은 Lesson과 Summers(1979; 1984a)가 고 단백질 사료를 급여했을 때 체중이 증가함에 따라 정강이 길이도 증가한다는 보고와 잘 일치하는 결과이다. 본 연구에서 조사한 공시계의 정강이 길이는 공시계의 체중 증가에 상응하는 결과가 시사되었다. 따라서 NRC 사양표준(1994)에서 Phase I 과 Phase II의 에너지 및 단백질 요구수준인 2,800 kcal/kg, 17%와 2,800 kcal/kg, 15%, 그리고 종계회사 권장수준(Hy-Line Variety Brown, 2000)인 3,050 kcal/kg, 20%와 3,000 kcal/kg, 17%를 본 연구의 결과와 비교할 때 Phase I에서는 에너지와 단백질 수준을 NRC(1994)요구량보다 높고 종계회사 권장치 수준보다 낮은 에너지 2,800~2,950 kcal/kg, 단백질 19% 정도인 T3구가 육성초기 가장 적합한 영양수준이고, Phase II에서도 T3, 즉 에너지 2,800~2,950 kcal/kg, 단백질 16% 수준이 가장 육성중기 병아리 발달에 가장 적합한 영양수준인 것으로 나타났다.

2) 경골의 길이, 중량, 파쇄 강도 및 경골 내 회분 함량에 미치는 영향

Table 3-5에는 사료 내 에너지 및 단백질 수준의 변화가 경골의 길이, 중량, 경골 내 회분 함량 및 경골 파쇄 강도에 미치는 영향에 대한 결과를 명시하였다.

경골의 길이는 대조구에 비해 사료 내 에너지 및 단백질 수준을 증가시킨 모든 처리구에서 유의하게 증가하거나 ($P<0.05$) 증가하는 경향을 나타내었다. 경골 중량에서도 유사한 결과가 관찰되었는데, 사료 내 에너지 수준보다는 단백질 수준의 증가에 따른 영향이 더 명확하게 나타났다. 에너지와 단백질 수준이 가장 높았던 T4 처리구에서는 대조구와 T2 처리구에 비해 경골 중량이 유의하게 증가하였다 ($P<0.05$). 특히 경골 중량은 전 실험기간 동안의 증체 수준과 매우 유사한 경향이 나타났다. 경골 내 회분 함량은 T4 처리구에서 가장 높았으며, T2 및 T3 처리구에서도 대조구에 비해 경골 내 회분 함량이 유의하게 증가하는 ($P<0.05$) 결과가 관찰되었다. 경골 파쇄 강도에서는 T4 처리구가 T2 처리구에 비해 유의하게 ($P<0.05$) 높았으며, 사료 내 단백질 수준이 상대적으로 높았던 T2, T3 및 T4 처리구에서 증가하는 경향을 보여주었다.

뼈의 파쇄 강도(Ruff와 Hughes, 1985)와 회분 함량(Garlich 등, 1982)은 다양한 사료적 처리에 있어서 골격의 상태를 예측하는 지표가 될 수 있다. 본 연구에서도 T2, T3 및 T4 처리구에서는 경골 내 회분 함량과 경골의 파쇄 강도에 상응해 증가하는 결과를 관찰할 수 있었다. 또한 경골의 중량과 경골 내 회분함량이 단백질 수준이 증가함에 따라 유의적으로 증가하는 것은 사료 내 단백질 수준이 높아질수록 골격 크기와 경골 내 회분함량이 증가한다는 Lesson과 Summers (1984a)의 보고와 잘 일치하는 결과였다. 대체적으로 경골에

관한 측정 항목들은 병아리의 성장 성적이 증가함에 따라 경골 측정항목들도 증가하는 경향이 나타났다. 본 실험 결과를 바탕으로 살펴볼 때 사료 내 에너지 및 단백질 수준이 경골에 미치는 영향은 NRC (1994)요구량과 국내 산란종계 육성사료의 평균 수준보다 높은 종계회사 수준의 영양수준이 경골의 발달에 적합한 것으로 생각된다. 골격 상태에 영향을 미치는 영양 성분과 경골 발달 및 강도에 미치는 영향에 대해서는 많은 결과보고가 있지만(Ruff와 Hughes, 1985; Watkins와 Southern, 1992), 육성기의 성장 및 경골의 강도와 의 관계에 대한 연구 결과는 그리 많지 않았다. 그리고 단백질 및 에너지 수준이 육성기 성장에 긍정적인 영향을 미친다고 할 때 경골 발달 및 강도의 상관관계에 대해서도 폭넓은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

3) 성장 균일도에 미치는 영향

사료내 에너지와 단백질을 달리하여 급여했을 때 주별 성장 균일도에 미치는 영향에 대한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

사료내 에너지 및 단백질 수준의 증가에 따라 성장 균일도가 Phase I 기간 중에는 대조구와 T1 처리구가 성장 균일도가 다소 높았지만, Phase II 기간인 실험 마지막 10주째 사료내 에너지 및 단백질 수준이 가장 높았던 T4 처리구가 다른 처리구에 비해 성장 균일도가 비교적 높은 것으로 나타났다. 하지만, 처리구간 유의한 큰 차이는 인정되지 않았다. 이 결과는 Anonymous (1998)는 육용종계에서 사료 내 단백질 수준을 증가시킬 때 계군의 균일도가 개선된다고 한 보고와 Petite 등(1981)이 보고한 내용과는 차이가 있지만, Keshavarz(1998)의 난용종 실용계 병아리에서 육성기 사료내 에너지 및 단백질 수준이 계군의 성장 균일도에 영향을 주지

Table 3-5. Effect of dietary energy and protein levels on tibia length, weight, ash content, and bone strength of tibia of egg breeder pullets

	Control	T1	T2	T3	T4
Tibia length, cm	9.14±0.09 ^d	9.48±0.09 ^{ab}	9.21±0.07 ^{cd}	9.41±0.10 ^{bc}	9.74±0.09 ^a
Tibia weight, g	5.32±0.07 ^c	6.01±0.18 ^{ab}	5.59±0.12 ^{bc}	5.96±0.19 ^{ab}	6.35±0.17 ^a
Tibia ash content, g	4.01±0.03 ^c	4.25±0.22 ^{bc}	4.68±0.12 ^{ab}	4.78±0.17 ^a	5.01±0.17 ^a
Bone strength, N	106.3±4.19 ^{ab}	101.2±1.07 ^b	112.0±5.64 ^{ab}	115.6±2.46 ^{ab}	118.3±8.38 ^a

^{a-d} Means±SE within a row with no common superscripts differ significantly ($P<0.05$).

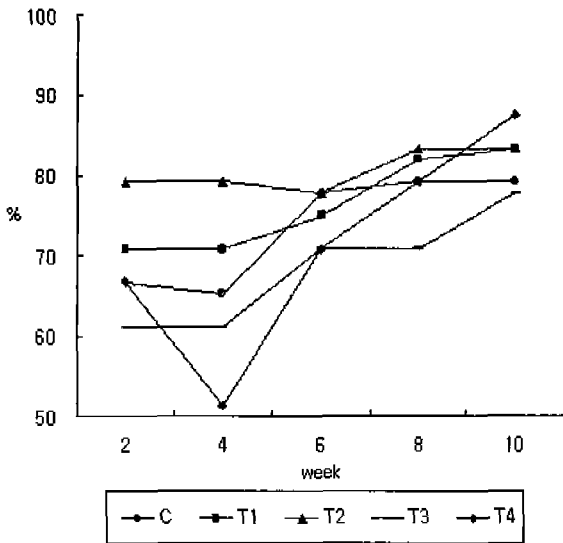


Fig. 2. Effect of dietary energy and protein levels on the flock uniformity of egg breeder pullets.

않는다고 보고한 결과와 유사하였다. 즉 본 연구에서는 사료 내 에너지 및 단백질 수준의 증가가 성장 균일도에는 큰 영향을 미치지 않았는데, 사료 내 에너지 및 단백질에 대한 반응의 차이가 육용종계와 산란종계의 유전적인 차이에서 기인하는지는 분명하지 않다.

일반적으로 성장 균일도는 계군의 평균체중 범위에서 10% 내에 포함되는 개체의 비율로서 나타내는데, 적어도 80% 이상일 때 균일 성장이 이루어진 것으로 판단한다(Hy-Line Variety Brown, 2000). 육성기간 중 계군의 균일도는 이후의 산란기간의 난 생산성적에 영향을 미치기 때문에 (Keshavarz, 1998), 육성기간 중의 균일도를 높게 유지하는 것이 중요하다. 그러나 육성기간 중의 성장이 매우 빠르다는 면에서 균일도를 유지하기가 어려우며, 현재까지는 사료 내 영양 수준과의 관계도 분명히 밝혀져 있지 않다. 따라서 육성기간 중의 성장 균일도를 높이기 위해서는 영양적인 연구, 특히 사료 내 에너지 및 단백질 수준에 대한 반응 등을 앞으로 더 많은 수의 공시계를 이용한 장기적인 사양실험을 통해 규명할 필요가 있을 것으로 생각된다.

4. 산란기의 케이지 내 사육밀도가 생산성에 미치는 영향

가. 실험설계

Table 4-1. The experimental design

Treatments	No. of bird per cage	Stock density, cm ² /bird	Cage size, cm	
			Width	Depth
T1	♂(2), ♀(20)	980	240	90
T2	♂(2), ♀(20)	735	180	90
T3	♂(2), ♀(20)	640	156	90
T4	♂(2), ♀(20)	560	137	90

Table 4-2. Formula and chemical composition of the experimental diet

Items	Content
Ingredients	
	%
Yellow corn	68.43
Soybean meal(44%)	5.00
Soybean meal(48%)	10.60
Corn gluten meal	4.00
Animal fat	1.50
Dicalcium phosphate	0.90
Limestone	8.80
Salt	0.23
Choline-chloride(25%)	0.20
Lysine HCl	0.05
DL-methionine(98%)	0.03
Vitamin mix ¹	0.10
Mineral mix ²	0.10
Antifungal agent	0.05
Total	100.00
Calculated Analysis	
Crude protein	15.00 %
Ether extract	4.50 %
Ca	3.50 %
Available P	0.25 %
Total Lysine	0.69 %
Met + Cys	0.60 %
TMEn	2,900 kcal/kg

¹ Mineral mixture provided following nutrients per kg of diet: Fe, 40mg; Zn, 65mg; Mn, 87mg; Cu, 66mg; I, 1.5mg; Se, 0.1mg.

² Vitamin mixture provided following nutrients per kg of diet: Vitamin A, 11,000IU; Vitamin D₃, 2,250IU; Vitamin E, 11mg; Vitamin K₃, 0.6mg; Vitamin B₁, 1mg; Vitamin B₂, 10mg; Vitamin B₆, 1mg; Vitamin B₁₂, 0.02mg; Niacin, 32.5mg; Pantothenic acid, 10mg; Biotin, 0.03mg; Folic acid, 0.5mg; Ethoxyquin, 1650mg.

나. 결과 및 고찰

1) 생산성

케이지 내 사육밀도가 산란종계의 사료섭취량, 산란율, 난중 및 일산란량에 미치는 영향에 대한 결과를 Table 4-3에 나타내었다. 전 기간에 걸쳐 사료섭취량은 처리간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

Davami 등(1987)은 사육밀도를 수당 420 cm², 300 cm² 수준으로 하였을 때 사료섭취량은 사육밀도가 낮은 420 cm²/bird 처리구에서 유의하게(P<0.05) 높은 결과를 나타내었다. 반면, Roush 등(1984)은 사육밀도를 수당 516 cm², 387 cm² 및 310 cm² 수준으로 하였을 때 펜당 사료섭취량은 사육밀도가 가장 높은 310 cm²/bird 처리구에서 유의하게(P<0.01) 높은 결과를 나타내었다. 한편, Okpokho 등(1987)은 사육밀도를 수당 580 cm², 464 cm² 및 348 cm² 수준으로 하였을 때 사료섭취량과 사료효율은 처리간의 차이를 나타내지 않았다고 하였다. 이렇게 사육밀도에 의한 사료섭취량에 미치는 영향에 대한 선행 연구자들의 실험결과가 상이한 이유는 케이지 폭과 넓이, 계군 크기 및 사육밀도 수준, 그리고 급이기 면적 등과 같은 사육 조건의 차이에 의한 것으로 생각된다. 본 실험에서 처리간 사료섭취량 차이가 나타나지 않은 것은 수당 사육면적이 채란용 케이지 내 사육면적에 비해 훨씬 크기 때문인 것으로 사료된다.

사육밀도의 증가에 의해 우모손실이 많이 발생하여 사료섭취량이 증가한다는 Hughes (1980)의 연구보고와는 달리 본 실험에서는 사육밀도의 증가에 의해 우모손실이 많이 발생하였음에도 불구하고 사료섭취량은 처리간의 차이를 나타내지 않는 결과가 관찰되었는데, 이러한 결과는 종계사육의 특성상 충분한 급이기 면적과 음수량이 제공되었고, 우모상태가 좋지 않은 개체와 좋은 개체간의 열생산량이 15~20℃에서는 45%, 10℃에서는 53%, 그리고 5℃에서는 67%의 차이가 발생하였다는 Richards (1976)의 연구보고에서와 같이 본 실험을 수행한 12주 동안은 Heat stress가 발생할 수 있는 여름철의 고온이어서 우모상태가 좋지 않은 개체와 좋은 개체간에 열생산량의 차이가 적게 발생하여 사료섭취량에 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

전기간에 걸쳐 산란율, 난중 그리고 일산란량은 모든 처리간의 차이가 없는 것으로 나타났다.

육용종계의 케이지 사육밀도를 수당 736 cm²와 900 cm² 수준으로 하였을 때, 산란율은 처리간의 차이를 나타내지 않았다는 Campos 등(1973)의 연구보고는 본 실험결과와 유사한 것이다. 더욱이 본 연구는 체구가 육용종계보다 훨씬 작은 산란종계를 대상으로 하였기에 수당 생활면적이 560 cm² 이상에서는 산란율에 차이를 나타내지 않았던 것으로 사료된다.

Table 4-3. Effects of stocking density on feed intake, egg production, egg weight and egg mass of egg-type breeder layers^{1, 2}

Items	T1	T2	T3	T4
Feed intake, g/d/bird				
1 to 6 wk	105.6±1.5	104.4±0.7	105.7±1.0	104.1±1.8
7 to 12 wk	98.1±2.5	96.1±2.1	97.4±2.9	97.9±4.2
1 to 12 wk	101.9±2.1	100.2±2.1	101.6±2.3	101.0±2.5
Egg production rate, %				
1 to 6 wk	85.2±0.8	83.7±0.8	85.0±1.5	86.8±0.9
7 to 12 wk	75.5±1.6	72.3±1.1	73.2±1.5	73.8±2.5
1 to 12 wk	80.3±1.7	78.0±1.8	79.1±2.0	80.3±2.3
Egg weight, g				
1 to 6 wk	58.7±0.2	58.7±0.1	58.9±0.3	59.1±0.1
7 to 12 wk	58.3±0.5	59.5±0.5	59.5±0.3	59.0±0.4
1 to 12 wk	58.5±0.3	59.1±0.3	59.2±0.2	59.0±0.2
Egg mass, g/d/bird				
1 to 6 wk	50.0±0.5	49.1±0.5	50.1±0.9	51.3±0.5
7 to 12 wk	44.0±0.8	43.3±0.9	43.8±0.8	43.6±1.9
1 to 12 wk	47.0±1.0	46.2±1.0	46.9±1.1	47.4±1.5

¹ Values are means±SE.

² T1=980cm²/bird; T2=735cm²/bird; T3=640cm²/bird; T4=560cm²/bird.

본 실험에서 난중과 일산란량에 있어서도 처리간 통계적 유의성이 없었다. 이는 사육밀도가 매우 높은 채란계 케이지 사육시 사육밀도가 난중에 미치는 영향이 선행 연구자에 따라 다르게 나타난 것으로 미뤄 보아 본 실험에서의 수당 생활면적에 다소 여유가 있었던 것으로 사료된다.

Davami 등(1987)은 사육밀도를 수당 420 cm², 300 cm² 수준으로 하였을 때 난중은 사육밀도가 더 높은 300 cm²/bird 처리구에서 유의하게(P<0.05) 증가하였다는 결과를 나타내었으며, Roush 등(1984)은 사육밀도를 수당 516 cm², 387 cm² 및 310 cm² 수준으로 하였을 때 난중은 모든 처리간에 유의한 차이가 없었다는 결과를 나타내었다. Okpokho 등(1987)은 사육밀도를 수당 580 cm², 464 cm² 및 348 cm² 수준으로 하였을 때 난중은 처리간에 차이가 없었고, 일산란량은 사육밀도가 가장 낮은 580 cm²/bird 처리구에서 유의하게(P<0.05) 낮은 결과를 나타내었다.

이러한 선행연구에서 사육밀도에 의한 난 생산성에 미치는 영향에 대한 결과가 다수 보고되었지만 산란계와 산란중계 서로간의 종 특성이 매우 다르고, 또한 사육밀도도 현저한 차이를 나타낼 수 있다. 그리고 산란중계를 공시계로 하여 난중 및 일산란량에 대해 평가한 선행 연구보고가 없는 실정이고, 급이기와 케이지 형태 이외의 다른 환경적인 인자들도 난 생산성에 영향을 미칠 수 있으므로 난 생산성에 대한 명확한 평가를 하기 위해서는 좀 더 반복적이고 장기적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2) 난질 및 난각질

케이지내 사육밀도가 산란중계의 난질 및 난각질에 미치는 영향에 대한 결과를 Table 4-4에 나타내었다. 난각질의 측정 항목인 난각강도와 난각두께에서 사육밀도 증가에 따른 난각강도에서 처리간의 유의차가 나타나지 않았다.

Meunier-salaun 등(1984)은 사육밀도를 10 birds/m², 5 birds/m², 3.3 birds/m² 수준으로 하였을 때 난각강도에서 처리간의 유의차가 나타나지 않았다고 하였다. 본 실험에서도 사육밀도 수준을 달리하였을 때 난각강도에서 처리간의 유의차를 나타내지 않았다는 점에서 연구결과가 유사하지만, 선행 연구와 본 실험에서 사용된 사육밀도 수준이 현저한 차이를 보이고, 난각강도를 평가한 연구가 부족하기 때문에 난각강도에 대한 정확한 평가를 하기가 어려울 것으로 사료된다.

난각두께는 실험 7~12 주에 있어서 640 cm²/bird구가 유의적으로(P<0.05) 낮은 수치를 나타내었지만, 전체적인 실험기간으로 볼 때 전 처리간의 차이를 나타내지 않았다.

Lee (1989)는 사육밀도를 0.40m²/bird과 0.29m²/bird 수준으로 하였을 때 난각두께는 0.40m²/bird 처리구에서 유의하게(P<0.05) 높았다고 하였지만, Hill 과 Hunt (1978)는 사육밀도를 310 cm²/bird, 387 cm²/bird, 464 cm²/bird 수준으로 하였을 때 건조된 난각두께는 사육밀도가 가장 높은 310 cm²/bird 처리구가 다른 처리구에 비해 유의하게(P<0.05) 높았다고 하였다. 한편, Davami 등(1987)은 사육밀도를 420 cm²/bird와

Table 4-4. Effects of stocking density on eggshell strength, eggshell thickness, Haugh unit of egg-type breeder layers¹

Items	T1	T2	T3	T4
Eggshell strength, kg/cm ²				
1 to 6 wk	3.5±0.2	3.4±0.2	3.1±0.3	3.3±0.3
7 to 12 wk	3.2±0.1	3.2±0.1	3.0±0.1	3.3±0.1
1 to 12 wk	3.4±0.1	3.3±0.1	3.0±0.2	3.3±0.1
Eggshell thickness, 0.01mm				
1 to 6 wk	34.8±0.8	34.3±0.8	33.2±1.1	34.1±1.3
7 to 12 wk	35.1±0.5 ^a	34.5±0.1 ^a	33.2±0.3 ^b	34.5±0.2 ^a
1 to 12 wk	35.0±0.4	34.4±0.3	33.2±0.5	34.3±0.6
Haugh unit				
1 to 6 wk	79.2±1.0	77.7±0.2	79.0±0.2	80.5±0.8
7 to 12 wk	82.5±1.1	79.1±1.2	82.0±1.3	82.9±1.3
1 to 12 wk	80.9±1.0	78.4±0.6	80.5±0.9	81.7±0.9

^{a,b} Mean±SE within a row with no common superscripts differ significantly (P<0.05).

¹ T1 = 980cm²/bird; T2 = 735cm²/bird; T3 = 640cm²/bird; T4 = 560cm²/bird.

300 cm²/bird 수준으로 하였을 때 난각두께는 처리간의 유의차가 나타나지 않았다고 보고하였다. 이러한 선행 연구에서 Lee (1989)의 보고는 52주령에 수집한 계란에 대한 한번의 난각질 평가로 나타난 결과이고, 사육밀도에 따른 난각두께에 미치는 영향에 대한 원인 규명이 이루어지지 않고 있어 본 실험에서 나타난 결과에 대해서 좀 더 반복적인 연구로 차후에 규명되어야 할 것으로 사료된다.

계란의 신선도를 측정하는 지수로서 이용되고 있는 Haugh unit에 있어서도 모든 처리간의 차이점을 발견할 수 없었다.

Lee (1989)는 사육밀도를 17 birds/0.40m², 17 birds/0.29m² 수준으로 하였을 때 난백고는 17 birds/0.29m² 처리구가 높은 수치를 나타내었으나 처리간의 유의차는 나타나지 않았다고 하였다. 또한 Davami 등(1987)도 사육밀도를 420 cm²/bird 와 300 cm²/bird 수준으로 하였을 때 사육밀도는 난질에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 이상의 선행 연구와 본 실험에서 사육밀도 수준이 현저한 차이를 보였지만 실험 결과는 유사하게 나타났다. 또한 선행 연구는 본 실험의 사육밀도 수준보다 더 밀사화 했음에도 불구하고 처리간의 차이를 나타내지 않았으므로 사육밀도에 따라 Haugh unit에 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

3) 수정율 및 부화율에 미치는 영향

Table 4-5에 케이지 내 사육밀도 수준에 의한 산란종계의 수정율 및 부화율에 미치는 영향에 대한 결과를 나타내었다. 수정율은 전 기간에 걸쳐 처리간의 차이가 나타나지 않았으며, 부화율은 전체적인 실험기간으로 볼 때 사육밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 관찰되었으나 처리간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

Campos 등(1973)은 수당 736 cm²(♂1:♀8)와 900 cm²(♂1:♀10)의 사육밀도가 육용종계의 수정율에 미치는 영향에 대해 조사하였는데, 수정율은 사육밀도에 의해 처리간의 차이를 나타내지 않았으며, 또한 Bhagwat와 Craig(1975)는 케이지 높이(40 vs 80 cm)와 사육밀도(560 vs 1130 cm²/bird)가 산란종계의 수정율에 미치는 영향을 조사하였는데, 케이지 높이와 사육밀도 조건 모두 수정율에 유의한 차이를 나타내지 않았다고 하였다. 이러한 선행 연구와 본 실험에서 사육밀도가 수정율에 영향을 미치지 않았다는 결과는 비슷하지만 처리간의 밀도 수준 및 선행 연구에서의 성비율(1♂:5♀, 1♂:8, 1♂:10)과 본 실험의 성비율(2♂:20♀) 간의 차이를 나타내었고, 사육 크기를 1♂:10♀과 2♂:20♀으로 하였을 때 수정율에 유의한(P<0.05) 차이를 보였다는 Adams 등(1978)의 결과로 미루어 볼 때 이러한 결과에 대해서 정확한 평가를

Table 4-5. Effects of stocking density on fertility and hatch- ability of egg-type breeder layers^{1, 2}

Items	T1	T2	T3	T4
Fertility, %				
1 to 6 wk	88.6±3.2	88.6±2.6	85.1±3.1	89.1±3.1
7 to 12 wk	86.3±0.9	86.8±1.2	85.1±1.7	90.8±0.9
1 to 12 wk	87.4±1.6	87.7±1.3	85.1±1.6	89.9±1.5
Hatchability, %				
1 to 6 wk	91.6±2.8	93.0±1.6	93.5±1.6	92.0±1.4
7 to 12 wk	86.6±2.5	83.9±2.9	82.1±0.9	79.4±3.4
1 to 12 wk	89.1±2.0	88.5±2.5	87.8±2.7	85.7±3.3

¹ Values are means±SE.

² T1 = 980cm²/bird; T2 = 735cm²/bird; T3 = 640cm²/bird; T4 = 560cm²/bird.

Table 4-6. Effects of stocking density on the scores of plumage condition of egg-type breeder layers¹

Item	T1	T2	T3	T4
Feather score	13.2±0.3 ^a	12.4±0.1 ^{ab}	11.8±0.3 ^b	10.8±0.4 ^c

^{a-c} Mean±SE within a row with no common superscripts differ significantly(P<0.01).

¹ T1 = 980cm²/bird; T2 = 735cm²/bird; T3 = 640cm²/bird; T4 = 560cm²/bird.

하기 어려울 것으로 사료된다.

케이지 내 사육밀도 수준을 달리하였을 때 부화율은 전체 실험기간 동안 사육밀도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 관찰되었지만 처리간의 차이는 없는 것으로 나타났다. 산란 종계를 공시하여 사육밀도가 부화율에 미치는 영향에 대한 선행 연구가 없는 실정이어서 본 실험에서 나타난 연구 결과에 대해서는 좀 더 반복적이고 장기적인 연구 수행으로 앞으로 더 검토되어야 할 것으로 사료된다.

4) 우모 상태에 미치는 영향

케이지내 사육밀도 수준을 달리하여 실험 종료 시 평가한 산란종계의 우모 상태에 대한 결과를 Table 4-6에 나타내었다. 우모 상태는 사육밀도가 증가함에 따라 유의적으로($P < 0.01$) 감소하는 결과가 관찰되었고, 사육밀도가 가장 낮은 980 cm²/bird 처리구가 다른 처리구에 비해 가장 좋은 우모 상태를 나타내었으며, 특히 사육밀도가 가장 높은 560 cm²/bird 처리구에서 유의하게($P < 0.01$) 낮은 수치를 나타내었다.

Quart와 Adams(1982)는 산란계에서 케이지 형태(shallow, deep), 굽이기 면적(30.5 cm, 50.8) 그리고 사육밀도(387 cm²/bird, 516 cm²/bird)를 통하여 우모 상태를 평가하였는데, 케이지 형태와 굽이기 면적은 우모 상태에 영향을 미치지 않았으나, 사육밀도에서 516 cm²/bird 처리구가 387 cm²/bird 구에 비해 유의하게($P < 0.05$) 높은 우모 상태를 나타내었다고 하였고, Davami 등(1987)도 산란계에서 사육밀도를 420 cm²/bird와 300 cm²/bird 수준으로 하였을 때, 420 cm²/bird 처리구에서 우모 상태가 유의하게($P < 0.05$) 향상되었다고 보고하였다.

이러한 선행 연구결과와 본 실험에 나타난 결과로 볼 때 사육밀도의 증가는 계군 내 같은 개체들에 의한 물리적 피해 및 케이지 내 찰과상(abrasion)과 같은 환경적인 인자들로부터 스트레스를 발생시키는 환경적인 조건을 조성하여 가금에게 있어 부정적인 영향을 미칠 수 있음이 시사되었다.

5) 혈액 내 ND 및 IB 항체역가에 미치는 영향

Table 4-7에는 케이지 내 사육밀도 수준을 달리하여 실험 종료 시 채취한 혈액 내 ND 및 IB 항체역가에 대한 결과를 명시하였다.

ND 항체역가는 사육밀도가 가장 높은 560 cm²/bird 처리구에서 낮은 결과가 관찰되었지만 처리간의 유의차는 나타나지 않았다. IB 항체역가는 사육밀도가 가장 낮은 980 cm²/bird 처리구에서 유의하게($P < 0.05$) 높은 수치를 나타내는 결과가 관찰되었다. 이러한 결과는 스트레스 수준이 높은 환경에서는 종양이나 바이러스에 대한 감수성이 증가한다는 Thompson 등(1980)의 보고와 유사한 것이다.

본 연구에 자료로 활용하진 않았지만, 전체 실험기간 동안 980 cm²/bird, 735 cm²/bird, 640 cm²/bird, 560 cm²/bird 각 처리구의 폐사율은 각각 9.1, 9.1, 13.6, 12.1%를 나타내었다. 사육밀도가 더 높은 640과 560 cm²/bird 처리구에서 폐사율과 우모 상태에 대한 부정적인 결과가 나타났으며, 계군 내 같은 개체들로부터 유발되는 식우증(feather pecking)에 의한 물리적 피해가 더 많이 발생하여 행동 변화 및 생리적 스트레스 수준이 증가되고, 바이러스와 같은 항원에 대한 항체 생성의 감소로 면역활성이 저하됨으로써 궁극적으로 질병에 대한 저항성이 저하되지 않을까 사료된다.

하지만, 본 실험에 이용된 ND 및 IB 항체역가만으로 스트레스 수준을 규명할 수 없으며, 아직까지도 사육밀도에 따른 스트레스를 평가할 때 다양한 연구결과가 시사되고 있다. 예를 들면, Cravener 등(1992)은 7주령 육계를 공시하여 실험한 연구에서 사육밀도가 증가함에 따라 H/L ratio가 증가하였다고 하였지만, Patterson과 Siegel(1998)은 산란계의 경우 사육밀도의 증가는 H/L ratio에 영향을 미치지 않았다고 시사하였다. 그러나, 최근에 발표된 연구에 의하면 육계에서 사육밀도에 의한 스트레스 지표로 F낭 무게를 평가하는 것이 가장 신뢰할 수 있다라고 보고하였다(Heckert 등, 2002). 본 실험에 공시한 산란종계에서 사육밀도에 의한 스트레스를 평가한 참고문헌이 없어 이 부분을 명확하게 규명하기

Table 4-7. Effects of stocking density on serum ND and IB antibody titers of egg-type breeder layers¹

Items	T1	T2	T3	T4
ND antibody titers, log ²	10.2±0.6	10.6±0.6	10.7±0.3	9.2±0.2
IB antibody titers, log ²	8.6±0.4 ^a	7.3±0.5 ^b	6.3±0.4 ^b	6.3±0.4 ^b

^{a,b} Mean±SE within a row with no common superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

¹ T1 = 980cm²/bird; T2 = 735cm²/bird;

T3 = 640cm²/bird; T4 = 560cm²/bird.

위해서는 혈 중 스트레스 호르몬 농도, H/L ratios 등 다양한 스트레스 지표 반응을 조사할 필요가 있겠다.

5. 결 론

이상의 결과를 종합해 볼 때 국내의 산란종계 병아리의 육성에 있어서 NRC(1994) 사양표준의 권장 수준보다 대사 에너지와 단백질 수준을 높인 육성 사료 또는 종계회사의 권장 수준에 가까운 에너지 및 단백질 수준의 육성 사료가 산란종계 병아리의 성장에 가장 적합한 영양 수준인 것으로 나타났다. 즉 Phase I 은 에너지 2800~2950 kcal/kg, 단백질 19%정도인 T3, 즉 에너지 2800~2950 kcal/kg, 단백질 16% 수준이 가장 육성중기 병아리 발달에 가장 적합한 영양수준인 것으로 사료된다. 또한 케이지 내 사육밀도의 적절한 증가는 산란종계의 생산성이 저하되는 결과를 나타내지 않았다. 하지만, 사육밀도의 증가는 물리적인 자극으로부터 개체들에게 더 많은 스트레스를 유발시켜 폐사율을 높일 수 있는 열악한 환경을 조성할 수 있음이 시사되었다.

인용문헌

- Anonymous 1998 The Cobb 500 Breeder Management Guide. Cobb-Vantress Inc., Siloam Springs, AR.
- Adams AW, JV Craig and AL Bhagwat 1978 Effects of flock size, age at housing and mating experience on two strains of egg-type chickens in colony cages. Poultry Sci 57:48-53.
- Berg LR, RS Hansen and GE Berse 1963 Effect of photoperiod on the response of developing pullets to different nutritional treatments. Poultry Sci 42:1346-1355.
- Bhagwat AL and JV Craig 1975 Fertility from natural matings influenced by social and physical environments in multiple-bird cages. Poultry Sci 54:222-227.
- Campos EJ, WF Krueger and JW Bradley 1973 Performance of commercial broiler breeders in cages. Poultry Sci 52:2007.
- Cravener TL, WB Roush and MM Mashaly 1992 Broiler production under varying population densities. Poultry Sci 71:427-433.
- Davami A, MJ Wineland, WT Jones and RA Peterson 1987 Effects of population size, floor space, and feeder space upon productive performance, external appearance, and plasma corticosterone concentration of laying hens. Poultry Sci 66:251-257.
- Fuller HL and LW Chaney 1974 Effect of delayed maturity of White Leghorn chickens and subsequent productivity. Poultry Sci 53:1348-1355.
- Garlich J, C Morris and J Brake 1982 External bone volume, ash-free dry weight and femur of laying hens fed diets deficient or adequate in phosphorus. Poultry Sci 61:1003-1006.
- Heckert RA, I Estevez, E Russek-Cohen and R Pettit-Riley 2002 Effects of density and perch availability on the immune status of broilers. Poultry Sci 81:451-457.
- Hill AT and JR Hunt 1978 Layer cage depth effects on nervousness, feathering, shell breakage, performance and net egg returns. Poultry Sci 57:1204-1216.
- Hughes BO 1980 Feather damage in hens caged individually. Br Poult Sci 21:149-154.
- Hussein AS and TJ Johnson 1996 Effect of dietary protein and energy levels on pullet development. Poultry Sci 75:973-978.
- Hy-Line VARIETY BROWN 2000 Parent Stock Management Guide.
- Keshavarz K, 1998 The effect of light regimen, floor space, and energy and protein levels during the growing period on body weight and early egg size. Poultry Sci 77:1266-1279.
- Lee K 1989 Laying performance and fear response of white Leghorn as influenced by floor space allowance and group size. Poultry Sci 68:1332-1336.
- Leeson S and JD Summers 1979 Step-up protein diets for growing pullets. Poultry Sci 58:681-686.
- Leeson S and JD Summers 1982 Use of single-stage low protein diets for growing Leghorn pullets. Poultry Sci 61:1684-1691.
- Leeson S and JD Summers 1984a Influence of nutritional modification on skeletal size of Leghorn and broiler breeder pullets. Poultry Sci 63:1222-1228.
- Leeson S and JD Summers 1984b Influence of nutrient density on growth and carcass composition of weight-segregated Leghorn pullets. Poultry Sci 63:1764-1772.
- Leeson S, JD Summers and LJ Caston 1993 Growth response of immature brown-egg strain pullets to varying nutrient density and lysine. Poultry Sci 72:1349-1358.
- Lilburn MS and JH Smith 1987 Relationships between dietary

- protein, dietary energy, rearing environment, and nutrient utilization by broiler breeder pullets. *Poultry Sci* 66:1111-1118.
- Meunier-Salaun MC, F Huon and JM Faure 1984 Lack of influence of pullet rearing conditions on the hen's performance. *Br Poult Sci* 25:541-546.
- Newcombe M and JD Summers 1985 Effect of increasing cellulose in diets fed as crumbles or mash on the food intake and weight gains of broiler and Leghorn chicks. *Br Poultry Sci* 26:35-42.
- Okpokho NA, JV Craig and GA Milliken 1987 Density and group size effects on caged hens of two genetic stocks differing in escape and avoidance behavior. *Poultry Sci* 66:1905-1910.
- Patterson PH and HS Siegel 1998 Impact of cage density on pullet performance and blood parameters of stress. *Poultry Sci* 77:127-140.
- Petitte JN, RD Hawes and RW Gerry 1981 Control of flock uniformity of broiler breeder pullets through segregation according to body weight. *Poultry Sci* 60:2395-2400.
- Quart MD and AW Adams 1982 Effects of cage-design and bird density on layers. 1. Productivity, feathering and nervousness. *Poultry Sci* 61:1606-1613.
- Roush WB, MM Mashaly and HB Graves 1984 Effects of increased bird population in a fixed cage area on production and economic responses of Single Comb White Leghorn Laying Hens. *Poultry Sci* 63:45-48.
- Ruff CR and BL Hughes 1985 Bone strength of height restricted broilers as affected by levels of calcium, phosphorus and manganese. *Poultry Sci* 64:1682-1636.
- Thompson DL, KD Elgert, WB Gross and PB Siegel 1980 Cell-mediated immunity in Marek's disease virus-infected chickens genetically selected for high and low concentrations of plasma corticosterone. *American Vet Res J* 41:91-96.
- Watkins KL and LL Southern 1992 Effect of dietary sodium zeolite A and graded levels of calcium and phosphorus on growth, plasma, and tibia characteristics of chicks. *Poultry Sci* 71:1048-1058.
- Wolf JD, EW Gleaves and RD Morrison 1969 Dietary protein, energy and volume in pullet grower diets as related to growing and laying performance. *Poultry Sci* 48: 559-574.