

사료 섬유질이 고온 스트레스를 받는 수탉 성계의 수분 출납, 혈액의 산-염기 평형, 체온 및 대사율에 미치는 영향

이지훈 · 이봉덕 · 이수기 · 유동조 · 현화진¹

충남대학교 축산학과

Effects of Dietary Fiber on Water Balance, Blood Acid-Base Balance, Body Temperature, and Metabolic Rate of Adult Roosters under Heat Stress

J.H. Lee, B.D. Lee, S.K. Lee, D.J. Yu and W.J. Hyun¹

Department of Animal Science, Chungnam National University

Daejeon, Korea 305-764

ABSTRACT

One metabolism trial(Experiment I) and another respiration trial(Experiment II) were conducted to investigate the effects of dietary fiber supplementation(20% wheat bran) on the water balance, blood acid-base balance, body temperature, and metabolic rate of heat-stressed adult roosters. In Experiment I, twenty 20-wk-old SCWL roosters(BW 1.6 kg) were randomly allotted to 4 treatments with 5 birds per treatment and one per replicate. The 4 treatments were consisted of two temperature(21~22℃ vs. 34~35℃) and two dietary fiber treatment(0% and 20% wheat bran), making Experiment I a 2×2 factorial. After 4 d of preliminary period, birds were subjected to 3-d collection period. Sixteen 20-wk-old SCWL roosters(BW 1.6 kg) were employed in Experiment II, with two temperature(21~22℃ vs. 34~35℃) and two wheat bran levels(0% and 20%). Birds were housed in individual metabolism cages under normal temperature(21~22℃), and fed one of the experimental diet. After 4 d of preliminary period, a respiration trial with an open-circuit gravimetric respiratory apparatus was carried out for each bird for 6 h, one by one, at normal(20~21℃) and hot(34~35℃) temperatures. The ANOVA test and comparisons among treatment means were done at 5% probability level for both experiments. Results obtained from Experiment I and II were summarized as follows:

1. The amounts of DM intake and excretion were significantly($P < .05$) decreased by heat stress. The DM intake was not affected by the addition of 20% wheat bran, however, the amount of DM excretion was significantly increased by the high fiber diet. Thus, the DM metabolizability decreased significantly by the addition of 20% wheat bran.
2. The heat-stressed roosters increased the water intake and excreta moisture content significantly. Although not significant, the water intake tended to increase in roosters fed the 20%

¹ 중부대학교 식품영양학과(Dept. of Food and Nutrition, Jungbu Univ.)

이 논문은 한국학술진흥재단 지방대학 육성과제 연구비(1994)로 수행되었음.

wheat bran diet.

3. The amounts of total water input and evaporative water loss were increased significantly by heat stress, and the addition of 20% wheat bran did not exert any influence on the total water input and evaporative water loss. However, roosters fed the 20% wheat bran diet increased the excreta water output significantly.
4. Neither the heat stress nor the dietary fiber did affect the blood pH, pCO_2 , and HCO_3^- significantly.
5. The body temperature increased significantly by the heat stress. However, the high fiber diet failed to decrease the body temperature.
6. The heat-stressed roosters decreased the O_2 consumption and CO_2 production, and increased the evaporative water loss significantly. However, the high fiber diet did not exert any influence in this regard.

It appears that the beneficial effect, if any, of high fibrous diet during heat stress episode may be due to the increased heat loss through the enhanced excreta water.

(Key words : heat stress, dietary fiber, water balance, acid-base balance, metabolic rates, adult roosters.)

서론

닭을 비롯한 모든 온혈동물은 외부 환경과의 부단한 열의 교류에 의하여 그 항상성이 유지된다. 그러나 외기의 온도와 습도가 적정수준 이상으로 높아질 때에 체내의 여러 가지 생리·화학적 반응에 이상을 초래하는 고온 스트레스를 경험하게 된다.

무더위가 계절적이건 지역적이건 간에 고온 스트레스를 받은 닭은 사료섭취량이 감소하고 성장률, 사료 효율, 난각질 그리고 생존률 등이 저하되어 양계산업의 수익성을 감소시킨다.

고온 스트레스로 인한 피해를 줄이기 위해서 이제까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 무더위 중에 사료의 제한급여와 절식을 통하여 체열 생산을 감소시킴으로써 폐사율을 감소시킬 수 있었다고 여러 학자들(McCormick 등, 1979; Teeter 등, 1987a; Wiernusz와 Teeter, 1993)이 보고한 바 있다. 닭이 고온 스트레스를 받으면 수분 증발을 통한 체열 손실을 증가시키기 위하여 고온성 과호흡을 하게 되는데, 이로 인한 산-염기 불균형을 시정해 보고자 사료와 음수에 여러가지 산-염기 조절제를 첨가하는 실험보고들(Bottje와

Harrison, 1985ab; Teeter 등, 1985; Teeter와 Smith, 1986)을 찾아볼 수 있다. 최근에 와서 연구자들의 주목을 받기 시작한 방법은 닭의 음수량을 증가시켜서 고온 스트레스를 완화시키고자 하는 방법이다. 즉 고온하에서 닭은 음수량을 증가시키게 된다(Yeates 등, 1941; Squibb 등, 1959; 이봉덕과 이수기, 1993). 이렇게 증가된 음수량의 일부는 호흡을 통한 증발열 손실을 많게 하는데 쓰이고(Van Kampen, 1981; Belay와 Teeter, 1993; 이봉덕, 1994), 일부는 닭 몸체의 열용량(heat content)을 증가시킴으로써 체온조절에 공헌한다는 것이다(Teeter 등, 1987). 더우기 고온 스트레스를 받은 닭은 대조구에 비해서 오줌의 배설량이 증가하는 현상도 여러 연구자들(Van Kampen, 1981; Belay 등, 1993; Belay와 Teeter, 1993)에 의해서 보고된 바 있다.

이제까지 시도된 닭의 음수량 증가방법으로는 사료와 물에 NaCl이나 KCl과 같은 염을 첨가하는 방법들이 주류를 이루어 왔으며, 많은 경우에 효과적으로 고온 스트레스를 완화시킬 수 있었다(Branton 등, 1986; Teeter 등, 1985; Britton, 1993). 또한 사료내의 섬유질 함량이 높은 경우에도 닭은 음수량을 증가시키며(이봉덕, 1985), 최근에는 사료내 밀기울 수

준을 증가시키기에 따라서 쥐의 음수량이 유의하게 증가하였다고 현화진(1993)은 보고한 바 있다. 또한 Brown 등(1993)은 고-섬유질 곡류인 귀리를 함유한 사료를 산란계에게 급여하였을 때, 고온 스트레스를 완화시킴을 관찰한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 사료 섬유질 급원으로 밀기울을 사용했을 때, 고온 스트레스를 받고 있는 닭의 수분 출납, 혈액의 산-염기 평형, 체온 및 대사율에 미치는 영향을 구명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 상온과 고온하의 수탉 성계에게 섬유질의 급여가 수분 출납, 혈액의 산-염기 평형 및 체온에 미치는 영향(실험 I)

1) 실험동물 및 사료

실험동물은 20주령된 SCWL 수탉(평균체중 1.60kg) 20수를 공시하였고, 실험사료의 배합비율과 화학적 성분은 Table 1과 같다.

2) 실험설계 및 방법

실험 1의 설계는 2수준의 온도(상온과 고온)과 2가지의 사료(사료 I, 사료 II)에 대하여 2×2 요인실험으로 하였으며, 처리당 5반복으로 반복당 1수의 수탉 성계를 사용하여 대사 케이지에 1마리씩 완전임의 배치하였다. 사료 I은 대조구로서 밀기울을 첨가하지 않았으며, 사료 II는 밀기울이 20% 혼합된 고-섬유질 구이다.

우선 상온에서 약 5일간의 실험사료를 급여한 후, 10수는 상온(20~21℃)사육실에 수용하고, 나머지 10수는 고온(33~34℃)사육실에 수용한 다음 4일간의 예비실험 기간을 가졌다. 그 후 각 사육실에서 3일간 본 실험을 실시하였다. 실험기간 동안 실내습도는 상온에서 50~55%, 고온에서 40~45%를 유지시켰으며, 사료와 물은 자유채식시켰다.

3) 조사내용 및 방법

사료 섭취량은 매일 오전 10시에 90 g의 사료를 급여하고 익일 같은 시간에 잔량을 칭량하여 1일 1수당

Table 1. Composition of experimental diets

Items	Diets	
	Control	High fiber
Ingredients;%.....	
Yellow corn	82	66
Soybean oil meal	15	11
Wheat bran	0	20
Salt	0.5	0.5
Limestone	1.2	1.2
Calcium phosphate	0.9	0.9
Premix ¹	0.4	0.4
	100.0	100.0
Calculated values ² ;		
ME, kcal /kg	3096	2920
Crude protein, %	13.9	13.9

¹ The premix contained followings per kg : vitamin A, 1,750,000 IU; vitamin D₃, 1,200 IU; vitamin E, 2,000 IU; vitamin K₃, 880 mg; vitamin B₂, 1,000 mg; vitamin B₁₂, 3 mg; Ca-pantothenate, 1.3 g; nicotin amide, 1.5 g; choline-Cl, 92.18 g; BHT, 0.2 g; ZnSO₄, 26.4 g; CuSO₄ · 5H₂O, 3.92 g; FeSO₄, 24.9 g; MnSO₄, 30 g; MgSO₄, 17.3 g; CaCl₂, 0.41 g; iodinated K, 0.105 g.

² Based on feed composition tables in National Research Council(1984).

섭취량을 조사하였다. 음수량은 니플을 장치한 1L 용량의 플라스틱병을 대사케이지에 부착하여 사용하였으며, 매일 같은 시간에 사료섭취량과 같은 방법으로 조사하였다. 배설물의 수분함량은 매일 8시간 동안(09:00~17:00) 매 30분마다 배설물을 플라스틱 기밀 용기에 채취하여 보관하다가 80℃에서 48시간 건조시킨 후 분의 건물량을 칭량하여 구하였다.

대사수 발생량은 사료섭취량과 건물대사율 및 사료의 탄수화물, 지방 및 단백질 함량으로부터 계산하였다(Newburgh 등, 1930).

증발에 의한 수분 손실량(evaporative water loss)은 음수량과 사료를 통한 수분 섭취량 및 대사수 발생량을 합한 수치로부터 배설물을 통한 수분 배설량을 감하여 구하였다.

4) 혈액의 채취 및 분석

상온과 고온실험 종료 후에 heparin으로 처리한 주사기를 사용하여 각 수탉의 익정맥으로 부터 약 0.7 mL의 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 5°C에서 보관하다가 1시간 이내에 blood gas analyzer(Corning CAT, 477638)로 pH, pCO₂, pO₂, HCO₃⁻ 및 base excess를 측정하였다.

5) 체온측정

체온은 수탉을 대사 케이지 내부 벽에 손으로 가만히 고정하여 안정시킨 후, 온도계를 직장내에 4~5 cm 삽입하여 2~3분 후에 꺼내서 측정하였다.

6) 통계처리

얻어진 모든 성적의 통계분석은 SPSS 통계 package(SPSS Inc.와 Norusis, 1988)를 사용하여 상온과 고온 및 섬유질 수준에 따른 2×2 요인 분산분석에 의하였다. 또한 4가지 처리(2×2)의 평균치에 대하여 one-way ANOVA 검정을 하였으며, 각 처리간의 유의성 검정은 Duncan(1955)의 신다중검정법으로 실시하였다. 본 실험에서 유의성 검정 수준은 5%로 하였으며, pH 값은 수소이온 농도(H⁺)로 바꾸어서 처리하였다.

2. 상온과 고온하의 수탉 성계에게 섬유질의 급여가 산소 소비량, CO₂ 배출량 및 증발을 통한 수분 배출에 미치는 영향(실험 II)

1) 실험동물 및 사료

실험동물은 20주령된 SCWL 수탉(평균체중 1.60kg) 20수를 공시하였고, 실험사료의 배합비율과 화학적 성분은 Table 1과 같다.

2) 실험설계 및 방법

본 실험은 2수준의 온도(상온과 고온)와 2가지의 사료(사료 I 과 사료 II)에 대하여 2×2 요인 실험으로 설계하였으며, 처리당 4반복을 두었고 반복당 1수의 수탉을 공시하였다.

본 실험은 Kurihara 등(1974)이 고안한 개방식 중

량측정형 호흡시험장치를 제작하여 실시하였다(Photo 1). 16수의 수탉성계를 개체 대사케이지에 1수씩 수용한 후, 4일 동안의 예비실험 기간 동안 8수에게는 대조구 사료를, 나머지 8수에게는 고-섬유질 사료를 급여하였다. 그 후 본 실험은 각 실험사료에 적용된 수탉을 1마리씩 호흡실내에 넣은 후, O₂ 소비량, CO₂ 배출량 및 증발에 의한 수분 손실량을 측정하였다.

수분과 CO₂ 배출량 측정시간은 매일 오전 9시 30분 부터 오후 3시 30분까지 6시간으로 하였고, 호흡실내의 바닥에는 liquid paraffin tray를 설치하여 수탉 배설물이 배설 즉시 잠기도록 하였다. 호흡실내 온도는 상온 처리시 20~21°C였고, 고온처리시에는 33~35°C로 하였다. 수탉에게 고온 처리를 할 때는 호흡실내 수탉을 넣기 전에 30°C에서 1일간 수탉을 적응시키면서 실험사료를 섭취시켰다. 호흡실 안에서 사료와 물은 자유급식시켰다.

3) 조사내용 및 방법

호흡을 통한 수분 배출량과 CO₂ 배출량은 개방식 중량측정형 호흡시험장치의 흡수 set(H₂SO₄ set)과 CO₂ 반응 set(KOH set 및 H₂SO₄ set)의 중량 증가를 측정하여 구하였으며, O₂의 소비량은 흡수 set 및 CO₂ 반응 set의 중량증가의 합에서 실험동물이 수용되어 있는 호흡시험 chamber의 중량감소를 제하여 산출하였다. 또 RQ는 호흡시 배출된 CO₂ 용량(L)을 소비된 O₂ 용량(L)으로 나누어 구하였다.



Photo 1. Adult roosters housed in an open-circuit gravimetric respiration apparatus.

4) 통계처리

실험 II의 통계처리는 실험 I에서와 동일한 방법으로 실시하였다.

결과 및 고찰

실험 I : 상온과 고온하의 수탉 성계에게 섬유질의 급여가 수분 출납, 혈액의 산-염기 평형 및 체온에 미치는 영향

1) 건물섭취량 및 음수량

고온 스트레스와 고-섬유질 사료의 급여가 수탉 성계의 건물 섭취량, 건물대사량, 음수량 및 배설물의 수분함량에 미치는 영향은 Table 2 및 3에 수록되어 있다.

건물 섭취량은 고온 스트레스에 의해 고-섬유질 사료의 급여에 관계없이 유의적으로 감소하였고($p < .05$), 유의한 결과는 아니지만 고-섬유질 사료 급여에 의해 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 건물 배설량은 고온에서 유의하게 감소하였고, 고-섬유질 사료의 급여로 증가하였다. 건물 대사율은 고온하에서 감소되는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 인정되지 않았

고, 고-섬유질 사료 급여에 의해 감소되었다.

고온 처리구에서 건물 섭취량이 감소한 것은 Tetter(1985), Bottje와 Harrison(1985ab) 등의 결과와 일치한다. Sykes 등(1977)은 고온에 노출된 닭은 사료섭취로 인한 열량 증가를 줄임으로서 체온조절을 용이하게 하기 위해서 사료섭취량을 감소시킨다고 하였다.

고온 처리구에서 분의 배설량이 감소한 것은 사료섭취량의 감소 때문이라고 하겠다. 고-섬유질 사료의 급여에 의해 건물 배설량이 증가한 것은 여러 연구들(Kalsay, 1978; Stephan과 Cummings, 1980)에서 보고된 바와 같이 밀기울이 닭에서 소화가 잘 안되는 효과적인 fecal bulking agent이기 때문인 것으로 사료된다. 현화진(1993)은 밀기울을 0~20%의 수준으로 쥐에게 급여하였을 때 건물배설량이 밀기울의 첨가수준에 따라 유의하게 증가하였다고 하였으며, 본 실험도 이와 같은 결과를 나타내었다. 또한 Harmuth-Hoene 등(1980)도 섬유소 급여수준이 높을 때 분의 건물량이 높았다고 보고하였으며, Kalsay 등(1978)도 밀기울이 장내 미생물에 의해 분해되지 않은 섬유소 부분으로 인하여 분의 중량을 증가시킬 수 있다고 하였다.

한편 밀기울 첨가에 의해서 건물 대사율이 감소한

Table 2. Effects of high fiber and ambient temperature on the intake, excretion and metabolizability of DM in adult roosters(mean \pm SE)

Items	Ambient temperature	Diets		\bar{X}
		Control	High fiber ¹	
DM intake, g/kg BW/d	Normal	46.6 ^a \pm 0.63	49.4 ^a \pm 0.92	48.0* \pm 1.37
	Hot	25.7 ^b \pm 4.04	30.2 ^b \pm 1.42	28.0 \pm 2.25
	\bar{X}	36.2 \pm 17.25	39.8 \pm 9.58	
DM excretion, g/kg BW/d	Normal	11.9 ^{ab} \pm 0.37	15.1 ^a \pm 0.85	13.5* \pm 1.62
	Hot	6.90 ^c \pm 0.88	9.28 ^{bc} \pm 0.22	8.09 \pm 1.19
	\bar{X}	9.39 \pm 2.49	12.2* \pm 2.92	
DM metabolizability, %	Normal	74.5 \pm 0.69	69.4 \pm 1.35	72.0 \pm 2.54
	Hot	72.6 \pm 1.78	69.1 \pm 0.93	70.9 \pm 1.75
	\bar{X}	73.6* \pm 0.95	69.3 \pm 0.16	

¹ Wheat bran was included at 20% level, replacing corn and soybean oil meal.

^{a,b} Means without a common superscript among 4 treatments(2 \times 2) differ significantly($P < 0.05$).

* Means with asterisks are significantly different from their counterpart($P < 0.05$).

Table 3. Effects of high fiber and ambient temperature on the water intake, water /feed ratio and excreta moisture content in adult roosters(mean±SE)

Items	Ambient temperature	Diets		\bar{X}
		Control	High fiber ¹	
Water intake, g/kg BW/d	Normal	62.7 ^b ± 2.53	70.5 ^b ± 2.49	66.6 ± 3.90
	Hot	111.0 ^a ± 9.63	130.7 ^b ± 11.79	120.8* ± 9.84
	\bar{X}	86.85 ± 24.15	100.6 ± 30.09	
Water /feed ratio	Normal	1.2 ^b ± 0.04	1.3 ^b ± 0.05	1.3 ± 0.04
	Hot	3.6 ^a ± 0.48	3.9 ^a ± 0.38	3.8* ± 2.60
	\bar{X}	2.4 ± 1.29	2.6 ± 1.30	
Excreta moisture, %	Normal	73.8 ± 1.27	72.9 ± 0.79	73.3 ± 0.44
	Hot	77.4 ± 1.14	79.0 ± 1.90	78.2* ± 0.80
	\bar{X}	75.6 ± 1.79	75.9 ± 3.05	

¹ Wheat bran was included at 20% level, replacing corn and soybean oil meal.

^{a,b} Means without a common superscript among 4 treatments(2×2) differ significantly(P<0.05).

* Means with asterisks are significantly different from their counterpart(P<0.05).

것은 닭에게 10% 수준으로 밀기울을 보충 급여시에 건물 대사율이 감소하였다는 이봉덕 등(1985)의 보고와 일치하였다. 이는 사료내 밀기울이 닭에 의해서 잘 이용되지 못함을 나타낸다고 할 수 있으며, Eastwood 등(1973)도 사료에 있어서 밀기울과 셀룰로스가 wet feces의 배설량을 유의하게 증가시킨다고 함으로써 이들 섬유질이 인체에 의해서도 소화가 잘 되지 않고 배설되는 섬유질임을 시사한 바 있다.

음수량은 고온 스트레스에 의해서 유의하게 증가하였고, 고-섬유질 사료의 급여로 상온과 고온에서 모두 증가하는 경향을 나타냈으나 유의적인 차이는 인정되지 않았다. 사료 g 섭취당 음수량과 배설물내 수분함량 역시 음수량에서의 결과와 같은 경향을 나타내었다 (Table 3).

섬유질의 높은 보수력(water holding capacity)으로 인해 음수량이 증가할 것이라는 예상과는 달리, 상온과 고온에서 고-섬유질의 급여가 음수량을 유의하게 증가시키지는 않았다. 이봉덕 등(1985)은 여러 가지 사료 섬유질들을 섭취하는 수탉들이 대조구에 비하여 음수량을 증가시켰다고 하였으며, 또한 현화진(1993)도 사료내 밀기울의 수준을 증가시킴에 따라서 쥐의 음수량이 이와 비례적으로 유의하게 증가하였음을 보고한 바 있다. 따라서 본 실험에서 밀기울의 보충(20%)이 수분 섭취량에 유의한 영향을 미치지 않은

것에 대해서는 사료섭취량과 음수량과의 관계가 동물의 종류에 따라서 달라질 수 있으며(Kutscher 등 1969), 밀기울의 첨가 수준에 따라서도 음수량이 달라질 수 있으므로, 이에 대해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

일반적으로 음수량이 증가하면 배설물의 수분함량이 증가된다고 알려져 있으며, 특히 여름철에 흔히 발생하는 연변은 고온으로 인한 음수량의 증가에 기인한다고 알려져 있다. Belay와 Teeter(1993)는 육계에 있어서 사료섭취량과 음수량을 갈게 해주더라도 상온에서 보다 고온에서 수분 배설량이 유의하게 증가한다고 하였다. 본 실험에서는 고온 스트레스에 의해 배설물의 수분함량이 유의하게 증가되었으며, 본 실험에서는 오줌 배설량이 배설물의 수분함량에 미친 영향은 알 수 없었으나, 배설물의 수분함량 증가는 고온 스트레스에 의한 음수량 증가와 관련이 있는 것으로 사료된다. 그러나 Van Kampen(1981)은 고온 스트레스를 받은 닭은 적어도 부분적으로는 음수량과는 별도로 오줌 배설량을 증가시킨다고 보고한 바 있다.

2) 수분 출납

고온 스트레스와 고-섬유질사료의 급여가 수탁 성계의 수분 출납에 미치는 영향은 Table 4와 같다.

Table 4에서 total water input은 음수량, 사료를

통한 수분 섭취량 및 체내 대사수 칼생량을 모두 합한 양이다. 물의 input은 고온 처리구에서 유의하게 증가하였으며, 고-섬유질 사료의 급여로 증가하는 경향을 나타내었으나 유의성이 인정되지는 않았다.

배설물을 통한 수분 손실은 고온하에서 감소하는 경향을 나타냈으나 유의한 차이는 인정되지 않았다. 고-섬유질 사료의 급여는 배설물을 통한 수분손실을 유의하게 증가시켰다. 배설물을 통한 수분손실이 고-섬유질 사료구에서 증가한 것은 Table 2에서 보는 바와 같이 고-섬유질 사료의 급여가 분 배설량을 증가시켰기 때문인 것으로 보인다. 또한 고온 스트레스는 증발에 의한 수분손실을 유의하게 증가시켰다. 그러나 고-섬유질 사료의 급여에 따른 증발에 의한 수분 손실량 증가효과는 유의하게 나타나지 않았다.

예상했던 바와 같이 고온 처리구에서는 증발에 의한 수분손실이 유의하게 증가하였다. Belay와 Teeter (1993)는 육계에 있어서 외부온도가 높아질수록 증발에 의한 수분손실이 유의하게 증가하였다고 하였으며, 이는 고온하에서 증가된 음수량과 높은 상관관계에 있다고 하였다. 또한 Van Kampen(1981)도 증발을 통한 수분손실이 20℃의 0.5 g/h에서 35℃에는 2.6 g/h로 증가됨을 관찰·보고한 바 있다.

이상의 실험결과로 보아 고온하에서 닭은 호흡을 통

한 증발열 손실을 많게 하고, 닭 몸체의 열용량을 증가시키기 위해 음수량을 증가시킨 것으로 사료된다. 고온하에서 고-섬유질 사료의 급여는 닭의 음수량을 유의하게 증가시키지 않았다. 그러나 total water input(총 수분 섭취량)이 고-섬유질 사료구에서 증가하는 경향을 보였고, 특히 배설물을 통한 수분손실이 유의하게 증가한 것은 고-섬유질 사료의 급여가 고온 스트레스 완화에 기여할 수 있는 기작을 제시하여 준다고 하겠다.

3) 혈액의 산-염기 변수

고온 스트레스와 고-섬유질 급여가 수닭 성계에 있어 혈액의 산-염기 균형에 미치는 영향은 Table 5와 같다.

pH는 고온 스트레스 및 고-섬유질 사료의 급여에 의해 유의한 차이를 나타내지 않았다. pCO₂는 고온하에서 다소 감소하였고, 고-섬유질 사료의 급여에 의해 다소 증가하였으나 유의적인 차이는 인정되지 않았다. HCO₃⁻와 base excess 역시 고온 스트레스와 고-섬유질 첨가에 의해 영향을 받지 않았다.

일반적으로 알려진 바로는 고온 스트레스에 의해서는 pCO₂가 감소하고 pH가 증가함으로써 호흡성 alkalosis가 일어난다고 알려져 왔으며, 대부분의 다른

Table 4. Effects of high fiber and ambient temperature on the water balance of adult roosters(mean± SE)

Items	Ambient temperature	Diets		\bar{X}
		Control	High fiber ¹	
Total water input, g/kg BW/d	Normal	88.5 ^b ± 2.71	96.4 ^b ± 2.60	92.4 ± 3.95
	Hot	124.8 ^{ab} ± 11.95	146.6 ^a ± 11.89	135.7* ± 10.89
	\bar{X}	106.7 ± 18.15	121.5 ± 25.10	
Excreta water outputs, g/kg BW/d	Normal	34.4 ^{ab} ± 3.32	42.2 ^a ± 0.88	38.3 ± 3.89
	Hot	24.2 ^b ± 2.23	38.5 ^{ab} ± 6.35	31.4 ± 7.15
	\bar{X}	29.3 ± 5.09	40.3* ± 1.85	
Evaporative water loss, g/kg BW/d	Normal	54.1 ^b ± 3.14	54.2 ^b ± 2.74	54.1 ± 0.04
	Hot	100.6 ^a ± 10.16	108.2 ^a ± 11.69	104.4* ± 3.80
	\bar{X}	77.3 ± 23.25	81.2 ± 27.00	

¹ Wheat bran was included at 20% level, replacing corn and soybean oil meal.

^{a,b} Means without a common superscript among 4 treatments(2×2) differ significantly(P<0.05).

* Means with asterisks are significantly different from their counterpart(P<0.05).

Table 5. Effects of high fiber and ambient temperature on the blood gas values of adult roosters (mean±SE)

Items	Ambient temperature	Diets		\bar{X}
		Control	High fiber ¹	
pH	Normal	7.39±0.02	7.34±0.03	7.36±0.02
	Hot	7.38±0.02	7.37±0.04	7.37±0.00
	\bar{X}	7.38±0.00	7.35±0.01	
pCO ₂ mmHg	Normal	40.1 ±1.44	46.4 ±3.79	43.2 ±3.14
	Hot	38.9 ±0.80	39.3 ±3.02	39.1 ±0.20
	\bar{X}	39.5 ±0.59	42.8 ±3.55	
HCO ₃ ⁻ mM /L	Normal	24.7 ±1.06	25.1 ±0.62	24.9 ±0.19
	Hot	24.4 ±0.95	22.8 ±1.25	23.6 ±0.80
	\bar{X}	24.5 ±0.15	23.9 ±1.14	

¹ Wheat bran was included at 20% level, replacing corn and soybean oil meal.

연구에서도 고온에서 pCO₂가 감소하면서 pH가 증가하였다고 보고한 바 있다(Richards, 1970; Teeter, 1985 및 Teeter와 Smith, 1986). 그러나 Siegal 등(1974) 및 Vo와 Boone(1975) 등은 육계에게 35℃의 고온 스트레스를 주어도 pH의 유의한 차이가 없었다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 보고한 바 있다.

고온 스트레스가 pCO₂를 유의하게 감소시킨다는 사실에 대해서 많은 학자들(Calder와 Schmidt-Nielsen, 1966; Bottje와 Harrison, 1985ab; Beers 등, 1989)이 고온성 과호흡에 기인한 것이라고 보고한 바 있다. 그러나 Kleiber(1961)는 그의 저서에서 항온동물의 경우 환경온도가 증가하는데 역비례하여 대사율이 감소한다고 하였다. Van Kampen(1981) 및 Beley와 Teeter(1993)도 상온에 비하여 고온하에서 육계의 체열 생산량이 유의하게 감소한다고 보고하였다. 이와 같은 대사율의 감소나 체열 생산량의 감소는 곧 체내에서 CO₂의 생산 감소를 의미한다. 즉 혈액 pCO₂ 감소가 고온성 과호흡에 기인한 것인지, 아니면 고온하에서 대사율 감소에 기인한 것인지를 밝혀내기 위하여는 실험 II에서 상온과 고온하에서 CO₂ 방출량의 비교를 통해서 확인해 봐야 할 것이다.

고온하에서 고-섬유질 사료의 급여가 혈액의 산염기 변수에 미치는 영향에 대해서는 이제까지 연구된 결과가 매우 희소하며, 또 어떠한 유의한 영향이 있을 것으로 보이지 않는다.

4) 체 온

고온 스트레스와 고-섬유질 사료의 급여가 수탉 성체의 체온(직장내 온도)에 미치는 영향은 Table 6에 보는 바와 같다.

체온은 고온 처리구에서 유의하게 증가하였다. 그러나 섬유질의 급여는 고온하에서 체온을 다소 감소시켰으나 유의한 차이는 인정되지 않았다.

Hutchinson 등(1953)은 닭의 체온은 환경온도의 상승에 따라 높아진다고 하였으며, 이러한 고온 스트레스에 의한 체온 증가 현상은 Farny(1965) 및 Beers 등(1988) 많은 학자들에 의해서도 보고된 바 있다.

이제까지 알려진 바로는 섬유질 사료의 급여는 장내 미생물의 발효작용으로 인하여 열량증가를 막게 하여 체온을 상승시키는 효과가 있다고 알려져 왔다. 그러나 닭과 같은 단위동물에서는 이와 같은 열량증가 효과는 미미하다고 하겠으며, 본 실험에서 고온하에서 고-섬유질 사료의 급여가 비록 유의하지는 않았으나 체온을 감소시킨 경향을 보인 것은 주목할만 하다고 할 수 있다. 즉 고-섬유질 사료의 급여가 배설물을 통한 수분 손실량을 증가시킨 결과 때문인 것으로 보인다.

Table 6. Effects of high fiber and ambient temperature on the rectal temperature of adult roosters (mean \pm SE)

Items	Ambient temperature	Diets		\bar{X}
		Control	High fiber ¹	
Rectal temperature, °C	Normal	41.5 ^b \pm 0.15	41.6 ^b \pm 0.12	41.6 \pm 0.04
	Hot	42.2 ^a \pm 0.11	42.0 ^{ab} \pm 0.05	42.1* \pm 0.11
	\bar{X}	41.9 \pm 0.35	41.8 \pm 0.19	

¹ Wheat bran was included at 20% level, replacing corn and soybean oil meal.

^{a,b} Means without a common superscript among 4 treatments (2 \times 2) differ significantly (P < 0.05).

* Means with asterisks are significantly different from their counterpart (P < 0.05).

실험 II. 상온과 고온하에서 수탉 성계에게 섬유질의 급여가 산소 소비량, CO₂ 배출량 및 증발을 통한 수분 배출에 미치는 영향

실험 II에서는 개방식 중량측정형 호흡실험 장치 (Photo 1)를 제작하여 수탉 성계로부터의 증발을 통한 수분손실 및 호흡을 통한 CO₂의 방출량을 6시간 동안 측정하였으며, 그 결과는 Table 7과 같다.

고온하에서 O₂ 소비량은 상온에서보다 유의하게 감소하였으며, CO₂ 배출량도 유의하게 감소하였다. 이는 수탉 성계가 고온하에서 사료 섭취량의 감소 등을 통하여 대사율을 감소시킨 결과로 보여진다. 이와 같은 대사율의 감소는 고온하에서 체온 상승을 억제하는

데 도움이 될 것이다. 그러나 호흡을 통한 수분 방출량은 고온하에서 유의하게 증가하였다.

실험 II에서 고온 스트레스에 의하여 호흡을 통한 수분 손실량이 증가하였음에도 불구하고 CO₂ 방출량은 감소하였다. 이는 CO₂의 체내 생성량이 감소되어서 혈액의 pCO₂가 상온에서 보다 낮은 수준으로 유지되었기 때문일 것이다. 고온하에서 O₂의 소비가 감소한 것은 Houston 등(1962)의 보고와 일치되며, Hoffman과 Shaffner(1950)도 고온하에서 닭을 적용시킬 경우 기초대사율이 감소하여 O₂ 소비량이 감소한다고 하였으며, 이는 체열 생산 감소를 의미한다고 하였다.

Kleiber(1961)는 그의 저서에서 항온 동물은 환경

Table 7. Effects of high fiber on the evaporative water loss and CO₂ production of adult roosters housed in a respiratory chamber (mean \pm SE)

Items	Ambient temperature	Diets		\bar{X}
		Control	High fiber ¹	
O ₂ consumption, L/kg BW/h	Normal	1.02 ^{ab} \pm 10.02	1.05 ^a \pm 0.05	1.03* \pm 0.01
	Hot	0.68 ^c \pm 0.08	0.72 ^{bc} \pm 0.09	0.70 \pm 0.02
	\bar{X}	0.85 \pm 0.17	0.88 \pm 0.16	
CO ₂ production, L/kg BW/h	Normal	1.09 ^a \pm 0.07	1.03 ^a \pm 0.03	1.06* \pm 0.02
	Hot	0.67 ^b \pm 0.06	0.66 ^b \pm 0.06	0.67 \pm 0.00
	\bar{X}	0.88 \pm 0.21	0.85 \pm 0.18	
Evaporative water loss g/kg BW/h	Normal	2.13 ^b \pm 0.10	2.34 ^b \pm 0.11	2.24 \pm 0.10
	Hot	3.46 ^a \pm 0.23	3.50 ^a \pm 0.15	3.48* \pm 0.02
	\bar{X}	2.80 \pm 0.67	2.92 \pm 0.58	

¹ Wheat bran was included at 20% level, replacing corn and soybean oil meal.

^{a,b} Means without a common superscript among 4 treatments (2 \times 2) differ significantly (P < 0.05).

* Means with asterisks are significantly different from their counterpart (P < 0.05).

온도가 상승하는데 역비례하여 대사율이 감소한다고 하였다. 이는 고온 스트레스에 대응하여 정상체온을 유지하기 위한 첫단계의 체내 생리반응일 것이다. 이와 같이 급격한 고온 스트레스하에서 닭은 사료 섭취량의 감소 등을 통한 대사율을 감소시키기 때문에 체내 CO₂ 생산량이 감소하여 혈액의 pCO₂가 상온에서 보 낮아졌기 때문으로 추론된다. 즉 고온 스트레스를 받고 있는 닭에 있어서 pCO₂의 감소 혹은 pH의 증가와 같은 alkalosis 증상은 고온성 과호흡에 기인한 호흡성 alkalosis가 아니고 대사율의 감소로 인한 체내 pCO₂의 감소에 기인한다고 하겠다.

고-섬유질 사료의 급여는 O₂ 소비량, CO₂ 방출량 및 호흡을 통한 수분 방출량에 아무런 영향을 끼치지 못하였다.

적 요

본 실험은 사료 섬유질 급원으로 밀기울을 20% 수준으로 사용하였을 때 고온 스트레스를 받고 있는 닭의 수분출납, 혈액의 산-염기 평형, 체온 및 대사율에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시하였다.

실험 I은 20주령된 단관백색 레그혼 20수에게 밀기울이 0% 및 20% 혼합된 사료를 급여하여 처리당 5반복, 반복당 1수씩 완전임의 배치하였다. 우선 상온에서 약 5일간의 실험사료를 급여한 후, 10수는 상온(20~21℃)사육실에 수용하고, 나머지 10수는 고온(33~34℃)사육실에 수용한 다음 4일간의 예비실험기간을 가졌다. 그 후 각 사육실에서 3일간 본 실험을 수행함으로써 2×2요인 실험이 되게 하였다.

실험 기간 동안의 실내온도는 상온 사육실은 20~21℃, 고온 사육실은 33~34℃였다. 사료와 물은 자유 채식시켰다.

실험 II는 2수준의 온도(상온, 20~21℃; 고온, 33~34℃)와 2가지의 사료(밀기울 0%와 20%)처리를 가지고 2×2 요인실험을 실시하였다. 사료처리당 8반복을 두었고 반복당 1수의 수탈을 공시하였다. 16수의 수탈성계를 개체 대사 케이지에 1수씩 수용한 후, 8수에게는 대조구 사료를 나머지 8수에게는 섬유질 사료를 4일 동안의 예비실험기간 동안 급여한 후, 개방식 중량 측정형 호흡실에 1수씩 수용하여 6시간 동안

O₂ 소비량, CO₂ 배출량 및 증발을 통한 H₂O 배출량을 측정하였다.

실험 I과 II에서의 ANOVA 검정은 5% 수준에서 실시하였으며, 처리평균간의 유의성 검정 역시 5% 수준에서 실시하였다. 본 실험에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 고온 스트레스에 의하여 건물 섭취량과 건물 배설량은 유의하게 감소하였다. 고-섬유질 사료의 급여는 건물 섭취량에는 유의한 영향을 주지 않았으나 건물 배설량을 유의하게 증가시켰으며, 건물 대사율을 유의하게 감소시켰다.
2. 고온 스트레스는 음수량과 배설물의 수분함량을 유의하게 증가시켰다. 고-섬유질 사료의 급여도 음수량을 증가시키는 경향이 있었으나, 유의성은 검출되지 않았다.
3. 총 수분 섭취량(total water input)과 증발에 의한 수분 손실량은 고온하에서 유의하게 증가되었으며, 고-섬유질 사료의 급여시에도 증가하는 경향을 보였으나, 유의성은 없었다. 배설물을 통한 수분배출량은 대조구에 비하여 고-섬유질 처리구에서 유의하게 많았다.
4. pH와 pCO₂, HCO₃⁻는 고온 처리나 고-섬유질 급여에 의하여 유의적인 차이를 나타내지 않았다.
5. 고온 스트레스는 체온을 유의하게 상승시켰으며, 고-섬유질 사료 급여에 의한 유의한 차이는 인정되지 않았다.
6. 고온 스트레스는 O₂ 소비량과 CO₂ 배출량을 유의하게 감소시키고, 호흡을 통한 H₂O 배출량을 유의하게 증가시켰으며, 고-섬유질 사료의 급여에 의해서 O₂ 소비량, CO₂ 배출량 그리고 RQ는 유의한 영향을 받지 않았다.

(색인 : 고온스트레스, 사료 섬유질, 수분 출납, 산-염기 평형, 대사율, 수탈)

인용문헌

- Beers KW, Raup TJ, Bottje WG 1989 Physiological responses of heat-stressed broilers fed nicarbazin. Poultry Sci 68:428-434.

- Belay T, Bartels KE, Wiernusz CJ, Teeter RG 1993 A detailed colostomy procedure and its application to quantify water and nitrogen balance and urine contribution to thermobalance in broilers exposed to thermoneutral and heat-distressed environments. *Poultry Sci* 72:106-115.
- Belay T, Teeter RG 1993 Broiler water balance and thermobalance during thermo-neutral and high ambient temperature exposure. *Poultry Sci* 72:116-125.
- Bottje WG, Harrison PC 1985a The effect of tap water, carbonated water sodium bicarbonate, and calcium chloride on blood acid-base balance in cookerels subjected to heat stress. *Poultry Sci* 64:107-113.
- Bottje WG, Harrison PC 1985b Effect of carbonated water on growth performance of cookerels subjected to constant and cyclic heat stress temperatures. *Poultry Sci* 64:1285-1292.
- Branton SL, Reece FN, Deaton JW 1986 Use of ammonium chloride and sodium bicarbonate in acute heat exposure of broilers. *Poultry Sci* 65:1659-1663.
- Britton WM 1993 Salt effect on water and feed consumption of chicks. *Poultry Sci* 72 (Suppl 1): 13(Abstr).
- Brown TM, Beck MM, Douglas JH, Scheldeler SE 1993 Dietary oats produces beneficial effect on egg production during heat stress. *Poultry Sci* 72(Suppl 1): 41(Abstr).
- Calder WA, Schmidt-Nielsen K 1966 Evaporative cooling and respiratory alkalosis in the pigeon. *Proc Natl Acad Sci* 55:750-755.
- Duncan DB 1955 Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1.
- Eastwood MA, Hamilton T, Kirkpatrick JR, Mitchell WD 1973 The effects of dietary supplements of wheat bran and cellulose on faeces. *Proc Nutr Soc* 32:22A.
- Farny D 1965 Heat stress studies in nicarbazin treated chickens. Ph. D. Dissertation, University of Delaware, Newark, DE. Page 1-57 In: Univ microfilm No. 66-5546.
- Harmuth-Hoene AE, Schelenz R 1980 Effect of dietary fiber on mineral absorption in growing rats. *J Nutr* 110:1774-1784.
- Hoffmann E, Shaffner CS 1950 Thyroid weight and function as influenced by environmental temperature. *Poultry Sci* 29:365-376.
- Huston TM, Carmon JL 1962 The influence of high environmental temperature on thyroid size of domestic fowl. *Poultry Sci* 41:157-179.
- Hutchinson JCD, Sykes AH 1953 Physiological acclimatization of fowls to a hot humid environment. *J Agr Sci* 43:294-321.
- Kalsay JL 1978 A review of research on effects of fiber intake on man. *Am J Clin Nutr* 31:142-159.
- Kleiber M 1961 *The Fire of Life: an introduction to animal energetics*. Page 159-162. John Wiley & Sons, Inc. NY.
- Kurihara Y, Noguchi Y, Ito S 1974 Studies on poultry energy metabolism. Part 1. Tentatively designed equipment for respiration research and their examination results. *J Agric Sci of Tokyo Univ of Agric* 19(1):45-52.
- Kutscher CL 1969 Species differences in the interaction of feeding and drinking. *Ann NY Acad Sci* 157:539-552.
- Newburgh LH, Johnston MW, Falcon-Lesses M 1930 Measurement of total water exchange. *J Clin Invest* 8:161-196.
- McCormick CC, Garlick JD, Edens FW 1979. Fasting and diet effect on the tolerance of young chickens exposed to acute heat stress. *J Nutr* 109:1797-1809.

- Siegel HS, Drury LN, Patterson WC 1974 Blood parameters of broilers grown in plastic coops and on litter at two temperature. Poultry Sci 53:1016-1024.
- SPSS Inc, Norusis MJ 1988. SPSS /PC V2.0 Base Manual for the IBM PC /XT /AT and PS /2, SPSS Inc, Chicago, IL.
- Squibb RL, Guzman MA, Scrimshaw NS 1959 Growth and blood constituents of immature New Hampshire fowl exposed to a constant temperature of 99°F for 7 days. Poultry Sci. 38:220-221.
- Stephan AM, Cummings JH 1980 Mechanism of action of dietary fiber in the human colon. Nature 284:283-284.
- Sykes AH 1977 Nutrition-environment interactions in Poultry. *in*: Nutrition and the climatic environment. Pages 17-29. Butterworths, London.
- Teeter RG, Smith MO, Owens FN, Arp SC, Sangiah S, Breazile IE 1985 Chronic heat stress and respiratory alkalosis : Occurance and treatment in broiler chicks. Poultry Sci 64:1060-1064.
- Teeter RG, Smith MO 1986 High chronic ambient temperature stress effects on broiler acid-base balance and their response to supplemental ammonium chloride, potassium chloride, and potassium carbonate. Poultry Sci 65:1777-1781.
- Teeter RG, Smith MO, Sangiah S, Mather FB 1987a Effects of feed intake and fasting duration upon body temperature and survival of thermo-stressed broilers. Nutr Rep Int 35:531-537.
- Teeter RG, Smith MO, Mittelstaedt CW 1987 Effects of drinking water temperature and salt addition on body temperature and growth rate of broilers exposed to cycling temperature stress. Poultry Sci 66(Suppl 1) :185(Abstr).
- Van Kampen M 1981 Water balance of colostomized and non-colostomized hens at different ambient temperatures. Brit Poult Sci 22:17-23.
- Vo KV, Boone MA 1975 The effect of high temperatures on broiler growth. Poultry Sci 54:1347-1348.
- Wierunz CJ, Teeter RG 1993. Feeding effects on broiler thermo balance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. Poultry Sci 72:1917-1924.
- Yeates NTM, Lee DHK, Hines HJG 1941 Reactions of domestic fowls to hot temperatures. Proc Royal Soc Queensland 53: 105-129.
- 이봉덕 이수기 정하연 임재삼 1985 여러 가지 종류의 사료 섬유질을 섭취하는 수탉의 수분 및 Na 대사에 관한 연구. 한국가금학회지 12:97-105.
- 이봉덕 이수기 1993 고온하에서 수탉 성계에게 Nicarbazine의 급여가 수분 출납, 혈액의 산-염기 평형 및 체온에 미치는 영향. 한국가금학회지 20: 151-159.
- 현화진 1993 밀기울의 급여수준이 쥐에 있어서 분의 건물량과 섬유질 함량 및 Ca과 Mg 균형에 미치는 영향. 한국영양사료학회지 17:216-223.
- 이봉덕 1994 수분섭취의 증가가 닭의 고온 스트레스 완화에 미치는 효과. 한국가금학회지 21:93-99.