

REQUIREMENT OF DIETARY SULFUR AMINO ACIDS FOR SLOW-GROWING BROILERS FROM 1 TO 21 DAYS OLD

Tran Hong Dinh^{1*}, Nguyen Van Vui²

¹Bac Lieu University, ²Tra Vinh University

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 05/3/2023	This study was conducted to estimate the sulfur amino acid requirement of slow-growing broilers from 1 to 21 d-old. The experiment was done from February 2019 to June 2019 at Suranaree University of Technology, Thailand. A total of 480 chicks were randomly arranged to five dietary treatments with 6 replicates (16 birds per unit) in a completely randomized design. Experimental birds were fed 5 levels of sulfur amino acids: 0.71, 0.81, 0.91, 1.01, and 1.11%. The results showed that the experimental chickens exhibited significant ($P < 0.05$) responses to dietary sulfur amino acid levels in body weight gain and feed conversion ratio, while the alteration of dietary sulfur amino acid content did not affect feed intake of experimental chickens. The estimates of sulfur amino acid requirements using the broken-line regression analysis for body weight gain and feed conversion ratio were 0.91 and 0.89%, respectively. In conclusion, the estimated sulfur amino acid requirements for slow-growing broilers chickens from 1 to 21 d-old were 0.90% based on the averages of measured criteria.
Revised: 27/4/2023	
Published: 28/4/2023	
KEYWORDS	
Sulfur amino acid	
Feed intake	
Body weight gain	
Feed conversion ratio	
Slow-growing broilers	

NHU CẦU ACID AMIN CÓ CHỨA LƯU HUỖNH CHO GÀ THỊT TĂNG TRƯỞNG CHẬM TỪ 1 ĐẾN 21 NGÀY TUỔI

Trần Hồng Định^{1*}, Nguyễn Văn Vui²

¹Trường Đại học Bạc Liêu, ²Trường Đại học Trà Vinh

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 05/3/2023	Nghiên cứu được thực hiện để xác định nhu cầu acid amin có chứa lưu huỳnh cho gà thịt tăng trưởng chậm từ 1 đến 21 ngày tuổi. Thí nghiệm được thực hiện từ tháng 02/2019 đến tháng 6/2019 tại Trường Đại học Công nghệ Suranaree, Thái Lan. Tổng số 480 con gà một ngày tuổi được bố trí ngẫu nhiên vào 5 nghiệm thức khẩu phần với 6 lần lặp lại (16 con/ đơn vị thí nghiệm) trong bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên. Gà thí nghiệm được cho ăn 5 mức độ acid amin có chứa lưu huỳnh tổng số là 0,71; 0,81; 0,91; 1,01 và 1,11%. Kết quả cho thấy, gà thí nghiệm có phản ứng đáng kể ($P < 0,05$) với các mức độ acid amin có chứa lưu huỳnh khác nhau trong các chỉ tiêu được đo lường như tăng khối lượng cơ thể và hệ số chuyển hóa thức ăn, trong khi sự thay đổi lượng acid amin có chứa lưu huỳnh khẩu phần không ảnh hưởng đến lượng thức ăn ăn vào của gà thí nghiệm. Nhu cầu acid amin có chứa lưu huỳnh được xác định bằng cách sử dụng phân tích hồi quy đường đứt đoạn cho tăng khối lượng cơ thể và hệ số chuyển hóa thức ăn lần lượt là 0,91 và 0,89%. Tóm lại, mức acid amin có chứa lưu huỳnh tối ưu trong khẩu phần được ước tính cho gà thịt tăng trưởng chậm từ 1 đến 21 ngày tuổi là 0,90% dựa trên trung bình các chỉ tiêu được đo lường.
Ngày hoàn thiện: 27/4/2023	
Ngày đăng: 28/4/2023	
TỪ KHÓA	
Acid amin có chứa lưu huỳnh	
Tiêu tốn thức ăn	
Tăng khối lượng cơ thể	
Hệ số chuyển hóa thức ăn	
Gà thịt tăng trưởng chậm	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7486>

*Corresponding author. Email: thdinh@blu.edu.vn

1. Giới thiệu

Gà thịt tăng trưởng chậm đã được chứng minh là có các tính năng độc đáo như ngon miệng hơn (lượng inosine 5'-monophosphate cao), lực cắt và hàm lượng collagen cao, tỷ lệ axit béo n-3 cao và n-6/n-3 thấp trong mỡ thịt, protein cao, ít chất béo và cholesterol so với kiểu gen gà thịt tăng trưởng nhanh [1]–[3]. Điều thú vị là hoạt động chống oxy hóa trong thịt gà tăng trưởng chậm cũng cao hơn so với gà thịt tăng trưởng nhanh [4].

Xây dựng chế độ ăn cho gà dựa trên acid amin không chỉ đạt năng suất sinh trưởng tối ưu mà còn thải nitơ tối thiểu ra môi trường. Methionine (Met) là một axit amin thiết yếu đóng một vai trò quan trọng trong sự tăng trưởng của gà và là acid amin giới hạn thứ nhất trong khẩu phần ăn của gia cầm. Việc bổ sung Met thích hợp vào chế độ ăn thiếu Met đã cải thiện năng suất sinh trưởng và chất lượng thân thịt của gà thịt sinh trưởng nhanh [5]. Met có thể được chuyển đổi không thể đảo ngược thành Cystine (Cys) thông qua quá trình truyền lưu huỳnh. Cys cần thiết cho quá trình tổng hợp glutathione và taurine, đây là những hợp chất cần thiết để bảo vệ vật chủ chống lại stress oxy hóa. Do đó, Cys có thể được coi là một acid amin không thiết yếu. Vì lý do đó, các yêu cầu của các acid amin này thường được coi là yêu cầu đối với Met+Cys [6].

Nhu cầu Met+Cys đã được xác định và cập nhật thường xuyên cho gà thịt công nghiệp. Tuy nhiên, các nghiên cứu xác định nhu cầu Met+Cys cho gà thịt tăng trưởng chậm rất hiếm. Vì những lý do trên, nghiên cứu này được thực hiện với mục đích xác định mức độ Met+Cys trong khẩu phần cho gà thịt tăng trưởng chậm giai đoạn 1-21 ngày tuổi.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Bố trí thí nghiệm

Tổng số 480 con gà Korat một ngày tuổi được nuôi trong chuồng hở, thông gió tự nhiên, với chu kỳ chiếu sáng 23 giờ. Gà được nuôi trên nền bê tông phủ trấu được khử trùng. Nhiệt được cung cấp trong tuần đầu tiên là 35°C và giảm 3°C mỗi tuần. Mỗi ô chuồng được trang bị một máng ăn và một bình uống trong 10 ngày tuổi đầu tiên. Từ ngày thứ 11 trở đi, vòi uống tự động và máng ăn treo được sử dụng để cung cấp thức ăn. Cả thức ăn và nước đều được cung cấp không giới hạn trong suốt quá trình thí nghiệm (TN). Thí nghiệm được bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên với 5 nghiệm thức (NT) khẩu phần và 6 lần lặp lại với 16 con/đơn vị TN.

Thành phần nguyên liệu và thành phần hóa học của khẩu phần TN được thể hiện trong Bảng 1. Có 5 mức độ Met+Cys trong khẩu phần, cụ thể 0,71; 0,81; 0,91; 1,01 và 1,11%. Khẩu phần TN được phối hợp từ bắp, bánh dầu đậu nành, bánh dầu gluten bắp, dầu cám, calcium carbonate, monocalcium phosphate, Sodium chloride, premix khoáng+vitamin, bột bắp, acid glutamic và các acid amin tổng hợp (DL-Met, L-Lys HCl, L-Thr, L-Arg) để đáp ứng nhu cầu năng lượng trao đổi (ME) là 2.980 kcal/kg và protein thô (CP) là 21,26% được đề nghị bởi Maliwan và cộng sự [7], [8]. Các thành phần dinh dưỡng khác trong khẩu phần được xây dựng đáp ứng hoặc vượt quá nhu cầu dinh dưỡng theo khuyến cáo bởi National Research Council [9], ngoại trừ Met+Cys. L- acid glutamic và bột bắp được sử dụng để thay thế các mức độ khác nhau của Met+Cys để duy trì ME và CP như nhau trong các khẩu phần TN. Các nguyên liệu thức ăn được phân tích CP và acid amin trước khi xây dựng khẩu phần.

Thức ăn được lấy mẫu ngay sau khi phối trộn các nguyên liệu thức ăn với nhau. Mẫu thức ăn được bảo quản ở -20°C trong khi chờ phân tích. Khối lượng (KL) cơ thể gà được ghi nhận ở đầu và cuối TN. Thức ăn thừa được thu thập vào cuối giai đoạn TN.

Vật chất khô (DM) và xơ thô (CF) của khẩu phần TN được xác định theo Association of Official Analytical Chemists (AOAC) [10]. Lượng CP và chiết xuất béo (EE) được phân tích theo AOAC [11]. Lượng Ash được xác định theo Thiex và cộng sự [12]. Acid amin trong bắp vàng, bánh dầu đậu nành và bánh dầu gluten bắp được phân tích theo AOAC [13].

2.2. Xử lý số liệu

Số liệu thu thập được phân tích phương sai theo mô hình tuyến tính tổng quát (GLM) trên phần mềm SPSS 18.0. Khi ảnh hưởng của các NT khẩu phần cho thấy có ý nghĩa thống kê, phương pháp Tukey được sử dụng để so sánh giá trị trung bình giữa các cặp NT. Ý nghĩa thống kê được đặt ở mức $P \leq 0,05$. Phân tích hồi quy đường đứt đoạn được sử dụng để ước tính mức Met+Cys tối ưu trong khẩu phần bằng quy trình NLIN của phần mềm SAS.

Bảng 1. Thành phần nguyên liệu (%) và thành phần hóa học của khẩu phần thí nghiệm

Thành phần	Mức độ acid amin có chứa lưu huỳnh(%)				
	0,71	0,81	0,91	1,01	1,11
Bắp	59,55	59,55	59,55	59,55	59,55
Bánh dầu đậu nành	29,85	29,85	29,85	29,85	29,85
Bánh dầu gluten bắp	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Dầu cá	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Calcium carbonate	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68
Monocalcium phosphate	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
Sodium chloride	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Acid Glutamic, tinh khiết 99%	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00
Bột bắp	2,15	2,15	2,15	2,14	2,14
DL-Met, tinh khiết 99%	0,00	0,10	0,20	0,31	0,41
L-Lys HCl, tinh khiết 78%	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
L-Thr, tinh khiết 98,5%	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
L-Arg, tinh khiết 99%	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Tổng	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Thành phần phân tích					
ME, kcal/kg	2.980	2.981	2.981	2.982	2.983
CP, %	21,26	21,26	21,26	21,26	21,26
Lys, %	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Met, %	0,34	0,44	0,54	0,64	0,74
Met + Cys, %	0,71	0,81	0,91	1,01	1,11
Ca, %	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
P hữu dụng, %	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Thành phần phân tích					
DM, %	89,64	89,54	89,59	90,08	89,47
CP, %	21,12	21,38	21,36	21,33	21,44
CF, %	2,39	2,37	2,34	2,46	2,41
EE, %	3,55	3,54	3,60	3,43	3,42
Ash, %	5,98	6,09	6,10	6,08	6,12

Ghi chú:¹Premix (0,5%) cung cấp (trong 1kg khẩu phần): vitamin A 15.000nIU; vitamin D3 3.000nIU; vitamin E 25IU; vitamin K3 5mg; vitamin B1 2mg; vitamin B2 7mg; vitamin B6 4mg; vitamin B12 25mg; axit pantothenic 11,04mg; axit nicotinic 35mg; axit folic 1mg; biotin 15µg; choline chloride 250mg; Cu 1,6mg; Mn 60mg; Zn 45mg; Fe 80mg; I 0,4 mg; Se 0,15mg.

3. Kết quả và bàn luận

Tỷ lệ sống của gà TN là 100%. Năng suất của gà thịt tăng trưởng chậm từ 1 đến 21 ngày tuổi được cho ăn các mức độ Met+Cys khẩu phần khác nhau được trình bày ở Bảng 2. Số liệu trong Bảng 2 cho thấy gà TN phản ứng đáng kể với tăng mức độ Met+Cys khẩu phần đối với KL cơ thể cuối TN ($P < 0,001$), cụ thể là KL gà 21 ngày tuổi dao động 249,4 – 266,7 g/con, cao nhất ở NT khẩu phần có 1,01% Met+Cys, tuy nhiên KL gà ở NT này khác biệt không có ý nghĩa thống kê so với các NT khẩu phần có 0,81, 0,91 và 1,11% Met+Cys. Tương tự KL cơ thể gà ở 21 ngày tuổi, tăng khối lượng tích lũy (TKL) khác biệt có ý nghĩa thống kê ($P < 0,001$), TKL cao nhất (224,9 g/con) ở NT khẩu phần 1,01% Met+Cys và khác biệt không có ý nghĩa thống kê so với các NT khẩu phần có 0,81, 0,91 và 1,11% Met+Cys. Lượng thức ăn ăn vào không có sự khác biệt

đáng kể ($P=0,124$) giữa các NT khẩu phần, lượng thức ăn ăn vào từ 1 đến 21 ngày tuổi dao động từ 338,8 – 360,9 g/con. Hệ số chuyển hóa thức ăn (HSCHTA) có sự khác biệt đáng kể ($P=0,031$) giữa các NT khẩu phần. HSCHTA của gà thí nghiệm giai đoạn từ 1 đến 21 ngày tuổi từ 1,54 đến 1,69, hiệu quả nhất ở NT khẩu phần có 0,91% Met+Cys. Tuy nhiên, HSCHTA ở NT khẩu phần có 0,91% Met+Cys khác biệt không có ý nghĩa thống kê so với các NT khẩu phần có 0,81, 1,01 và 1,11% Met+Cys.

Sự thay đổi mức độ Met+Cys khẩu phần không ảnh hưởng đến lượng thức ăn ăn vào của gà TN có thể là do tất cả NT khẩu phần được phối hợp có lượng ME tương tự nhau (từ 2.980 đến 2.983 kcal/kg). MacLeod [14] chứng minh rằng, mức ME trong khẩu phần là yếu tố quan trọng nhất trong việc điều chỉnh lượng ăn vào của gia cầm để đáp ứng nhu cầu ME của chúng. Tuyên bố này được chứng thực bởi Maliwan và cộng sự [7], họ đã chỉ ra rằng lượng ăn vào của gà Korat giảm đáng kể trong phạm vi 2.750-3.200kcal ME/kg để giữ cho năng lượng ăn vào của chúng không đổi.

Bảng 2. Năng suất của gà thịt tăng trưởng chậm từ 1 đến 21 ngày tuổi được cho ăn các mức độ Met+Cys khẩu phần khác nhau

Chỉ tiêu	Mức độ acid amin có chứa lưu huỳnh(%)					SEM	P
	0,71	0,81	0,91	1,01	1,11		
KL lúc 1 ngày tuổi, g	41,83	41,84	41,78	41,75	41,82	0,038	0,942
KL lúc 21 ngày tuổi, g	249,4 ^b	263,9 ^a	261,1 ^a	266,7 ^a	261,9 ^a	1,491	<0,001
TKL tích lũy, g	207,5 ^b	222,1 ^a	219,3 ^a	224,9 ^a	220,1 ^a	1,498	<0,001
Lượng thức ăn ăn vào, g	351,2	360,9	338,8	357,3	351,2	2,826	0,124
HSCHTA, g/g	1,69 ^a	1,63 ^{ab}	1,54 ^b	1,59 ^{ab}	1,60 ^{ab}	0,015	0,031

Ghi chú: Các giá trị trung bình mang các chữ số khác nhau trên cùng hàng là khác biệt có ý nghĩa ($P \leq 0,05$).

Có sự giảm đáng kể TKL của gà được cho ăn khẩu phần có chứa 0,71% Met+Cys so với 0,81, 0,91, 1,01 và 1,11%. Rõ ràng, khẩu phần có 0,71% Met+Cys chứa một lượng không đủ để đảm bảo sự tích lũy protein nhằm đạt được mức TKL tối ưu của gà. Sự giảm tăng trưởng của gà con liên quan đến khẩu phần ăn thiếu Met+Cys đã được chứng minh chủ yếu là do mức độ tổng hợp protein toàn cơ thể thấp hơn do hiệu suất dịch mã RNA giảm [15]. Thật vậy, bước đầu tiên của quá trình bắt đầu dịch mã mARN bao gồm gắn chất khởi đầu Met-tRNAi với tiểu đơn vị 40S của ribosom để tạo thành phức hợp tiền khởi đầu 43S. Bước khởi đầu này có thể bị ức chế do thiếu hụt Met [16]. Sự cải thiện đáng kể về HSCHTA liên quan đến tăng nồng độ Met+Cys trong khẩu phần là do sự gia tăng đáng kể về TKL nhưng lượng thức ăn ăn vào không đổi. Thiếu Met+Cys trong chế độ ăn làm giảm TKL và tác động tiêu cực đến HSCHTA phù hợp với các nghiên cứu trước đây [6], [17], [18].

Bảng 3. Mức Met+Cys khẩu phần tối ưu của gà thịt tăng trưởng chậm được ước tính bằng phân tích hồi quy đường đứt đoạn

Chỉ tiêu	Công thức ¹	Nhu cầu ước tính	R ²
TKL	$Y = 222,5 - 59,0 \times (0,91 - x)$	0,91	0,2394
HSCHTA	$Y = 1,577 - 0,650 \times (0,89 - x)$	0,89	0,1498

Ghi chú: ¹Sử dụng mô hình $Y=L+U \times (R-x)$, trong đó, Y: biến phụ thuộc; x: mức lysine khẩu phần như là biến độc lập; R: phản ứng tối ưu của lysine khẩu phần; L: phản ứng tại $x=r$; và U=độ dốc của đường cong. Trong mô hình này, $Y=L$ khi $x>R$.

Mức Met+Cys khẩu phần tối ưu của gà thịt tăng trưởng chậm được ước tính bằng phân tích hồi quy đường đứt đoạn được thể hiện trong Bảng 3. Sử dụng phân tích hồi quy đường đứt đoạn, nhu cầu Met+Cys của gà Korat được ước tính lần lượt là 0,91 và 0,89% đối với TKL và HSCHTA. Nhìn chung, nhu cầu Met+Cys của gà TN từ 1 đến 21 ngày tuổi trong nghiên cứu hiện tại rất gần với yêu cầu của gà trống Cobb 500 từ 1 đến 21 ngày tuổi [6] và nhu cầu Met+Cys của giống gà thịt cao sản (Cobb 500) theo khuyến cáo của hướng dẫn quản lý gà thịt Cobb [19]. Thú vị là, nhu cầu Met+Cys của gà TN tương tự như yêu cầu đối với gà thịt thương phẩm được đề

ngiht bởi National Research Council [9]. Tuy nhiên, mức Met+Cys tối ưu cho gà TN trong nghiên cứu hiện tại cao hơn đáng kể so với gà thịt sinh trưởng nhanh trong các báo cáo khác [17], [20]. Thật vậy, nhu cầu Met+Cys của gà TN tương đương hoặc cao hơn so với gà thịt thương phẩm được thể hiện rõ ràng khi nhu cầu Met+Cys của gà Korat được tính bằng lượng Met+Cys ăn vào (mg)/TKL (g). Rõ ràng, nhu cầu dinh dưỡng của gà thịt tăng trưởng chậm trong TN này cao do mức tiêu thụ thức ăn thấp. Do đó, phải tăng hàm lượng các chất dinh dưỡng trong khẩu phần để đáp ứng nhu cầu của chúng. Ngoài ra, dữ liệu hiện tại cho thấy, nhu cầu Met+Cys đối với gà thịt tăng trưởng chậm trong TN hiện tại tương tự hoặc cao hơn yêu cầu đối với gà thịt đang phát triển nhanh trong các báo cáo trước đây rất có thể là do sự khác biệt về tỷ lệ lông giữa gà Korat và gà thịt lớn nhanh. Sự giải thích này phù hợp với báo cáo của Kalinowski và cộng sự [21] cho thấy nhu cầu của Cys đối với gà lông mọc nhanh cao hơn 12,8% so với gà lông mọc chậm.

4. Kết luận

Nhu cầu Met+Cys cho gà thịt lai tăng trưởng chậm từ 1 đến 21 ngày tuổi nuôi trong điều kiện chuồng hở, thông thoáng tự nhiên được xác định bằng phân tích hồi quy đường đứt đoạn là 0,90% dựa trên các chỉ tiêu TKL và HSCHTA. Kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa khoa học trong việc bổ sung kiến thức mới về dinh dưỡng gia cầm. Các nhà sản xuất thức ăn và người chăn nuôi có thể sử dụng mức 0,90% Met+Cys khẩu phần để sản xuất thức ăn chăn nuôi cho gà thịt tăng trưởng chậm để đạt hiệu quả trong chăn nuôi và giảm thải N ra ngoài môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. Jaturasitha, T. Srikanthai, M. Kreuzer, and M. Wicke, "Differences in carcass and meat characteristics between chicken indigenous to Northern Thailand (Black-Boned and Thai native) and imported extensive breeds (Bresse and Rhode Island Red)," *Poultry Science*, vol. 87, no. 1, pp. 160-169, 2008.
- [2] K. Rikimaru and H. Takahashi, "Evaluation of the meat from Hinai-jidori chickens and broilers: analysis of general biochemical components, free amino acids, inosine 50-monophosphate, and fatty acids," *The Journal of Applied Poultry Research*, vol. 19, no. 4, pp. 327-333, 2010.
- [3] J. Yongsawatdigul, A. Molee, and C. Khongla, "Comparative study of meat qualities between Korat crossbred chicken and broiler during frozen storage," *62nd International Congress of Meat Science and Technology*, 14-19th August 2016, Bangkok, Thailand.
- [4] P. Sangsawad, R. Kiatsonchai, B. Chitsomboon, and J. Yongsawatdigul, "Chemical and cellular antioxidant activities of chicken breast muscle subjected to various thermal treatments followed by simulated gastrointestinal digestion," *Journal of Food Science*, vol. 81, no. 10, pp. 2431-2438, 2016.
- [5] J. A. Conde-Aguilera, C. Cobo-Ortega, S. Tesseraud, M. Lessire, Y. Mercier, and J. van Milgen, "Changes in body composition in broilers by a sulfur amino acid deficiency during growth," *Poultry Science*, vol. 92, no. 5, pp. 1266-1275, 2013.
- [6] A. Garcia and A. B. Batal, "Changes in the digestible lysine and sulfur amino acid needs of broiler chicks during the first three weeks posthatching," *Poultry Science*, vol. 84, no. 9, pp. 1350-1355, 2005.
- [7] P. Maliwan, S. Khempaka, W. Molee, and J. Th. Schonewille, "Effect of energy density of diet on growth performance of Thai indigenous (50% crossbred) Korat chickens from hatch to 42 days of age," *Tropical Animal. Health and Production*, vol. 50, no. 8, pp. 1835-1841, 2018.
- [8] P. Maliwan, W. Molee, and S. Khempaka, "Response of Thai indigenous crossbred chickens to various dietary protein levels at different ages," *Tropical Animal. Health and Production*, vol. 51, no. 6, pp. 1427-1439, 2019.
- [9] NRC, *Nutrient requirements of poultry*, 9th ed, Washington, DC., USA, National Academy Press, 1994.
- [10] AOAC, *Official Methods of Analysis*, 15th ed, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA, 1990.
- [11] AOAC, *Official Method of Analysis*, 18th ed, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA, 2006.
- [12] N. Thiex, L. Novotny, and A. Crawford, "Determination of ash in animal feed: AOAC Official Method 942.05 Revisited," *Journal of AOAC International*, vol. 95, no. 5, pp. 1392-1397, 2012.

-
- [13] AOAC, *Official Methods of Analysis*, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA, 2000.
- [14] M. G. MacLeod, "Effect of amino acid balance an energy: protein ratio on energy and nitrogen metabolism in male broiler chickens," *British Poultry Science*, vol. 38, no. 4, pp. 405-411, 1997.
- [15] D. M. Barnes, C. C. Calvert, and K. C. Klasing, "Methionine deficiency decreases protein accretion and synthesis but not tRNA acylation in muscles of chicks," *The Journal of Nutrition*, vol. 125, no. 10, pp. 2623-2630, 1995.
- [16] S. Métayer, I. Seiliez, A. Collin, S. Duchêne, Y. Mercier, P. Geraert, and S. Tesseraud, "Mechanisms through which sulfur amino acids control protein metabolism and oxidative status," *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 19, no. 4, pp. 207-215, 2008.
- [17] C. C. Goulart, F. G. P. Costa, J. H. V. Silva, J. G. Souza, V. P. Rodrigues, and C. F. S. Oliveira, "Requirements of digestible methionine+cystine for broiler chickens at 1 to 42 days of age," *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 40, no. 4, pp. 797-803, 2011.
- [18] W. A. Dozier III and Y. Mercier, "Ratio of digestible total sulfur amino acids to lysine of broiler chicks from 1 to 15 days of age," *Journal of Applied Poultry Research*, vol. 22, no. 4, pp. 862-871, 2013.
- [19] Cobb broiler management guide, "Cobb500 broiler performance & Nutrition Supplement", cobb-vantress.com, July, 2015. [Online], Available: <https://www.cobbafrica.com/wp-content/uploads/Cobb-500-Broiler-Management-Supplement.pdf>. 2015. [Accessed Jan. 9, 2017].
- [20] B. S. Lumpkins, A. B. Batal, and D. H. Baker, "Variations in the digestible sulfur amino acid requirement of broiler chickens due to sex, growth criteria, rearing environment, and processing yield characteristics," *Poultry Science*, vol. 86, no. 2, pp. 325-330, 2007.
- [21] A. Kalinowski, E. T. Jr. Moran, and C. Wyatt, "Methionine and cystine requirements of slow- and fast-feathering male broilers from zero to three weeks of age," *Poultry Science*, vol. 82, no. 9, pp. 1423-1427, 2003.