

MÔ TẢ TỈ LỆ ĐỂ TRỨNG CỦA GÀ D310 BẰNG MỘT SỐ HÀM HỒI QUY PHI TUYẾN TÍNH

Hà Xuân Bộ*, Lê Việt Phương, Đỗ Đức Lực

Khoa Chăn nuôi, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Tác giả liên hệ: hxbo@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 18.11.2021

Ngày chấp nhận đăng: 01.03.2022

TÓM TẮT

Khả năng sản xuất trứng là chỉ tiêu kinh tế quan trọng trong chăn nuôi gia cầm nói chung và chăn nuôi gà đẻ trứng nói riêng. Dự đoán được năng suất trứng góp phần lên kế hoạch sản xuất sớm và nâng cao hiệu quả chăn nuôi gà đẻ trứng. Nghiên cứu được tiến hành nhằm xác định hàm hồi quy phi tuyến tính phù hợp để ước tính tỉ lệ đẻ của gà D310 nuôi tại Trại Thực nghiệm Khoa Chăn nuôi, Học viện Nông nghiệp Việt Nam từ tháng 12 năm 2020 đến tháng 5 năm 2021. Năm hàm hồi quy phi tuyến tính (Logistic, Compartmental I, McNally, Compartmental II và Yang) được sử dụng để ước tính tỉ lệ đẻ của gà D310. Tỉ lệ đẻ được theo dõi trên 360 gà mái giai đoạn từ 19 tuần tuổi (tuần đẻ 1) đến 49 tuần tuổi (tuần đẻ 26). Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đẻ đỉnh cao (a) ước tính bằng hàm Logistic đạt 0,839. Sản lượng trứng trung bình theo tuần tại thời điểm đẻ đỉnh cao (d) được ước tính từ mô hình Logistic đạt 5,265 quả. Hàm Logistic được đánh giá phù hợp để mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310 với hệ số xác định cao nhất (99,58%) và giá trị AIC, BIC thấp nhất (-1.862,53 và -1.843,82).

Từ khóa: Hàm hồi quy phi tuyến tính, gà D310, đường cong tỉ lệ đẻ.

Application of Different Nonlinear Functions to Describe the Egg Production Rate of D310 Chicken

ABSTRACT

Egg production is an important economic trait in poultry production in general and egg-laying hens in particular. Prediction of eggs performance at early stage could improve livestock efficiency by setting up a early production plan. This study was conducted to describe the egg production rate and determine the best models to estimate egg production at the peak of egg-laying of D310 chickens raised at experimental farm, Faculty of Animal Science of Vietnam National University of Agriculture from December 2020 to May 2021. Five functional nonlinear models (Logistic, Compartmental I, McNally, Compartmental II and Yang) were used to estimate egg production rate at the peak of egg-laying from 19 to 49 weeks of age. Egg production rate was collected from 360 hens from 19 weeks of age (first egg-laying week) to 49 weeks of age (26 weeks of egg-laying period). The egg production rate at the peak of egg-laying (a) estimated by Logistic model was 0.839. The mean egg production week at egg production peak estimated by Logistic model was 5.265 eggs. The Logistic function appeared most appropriate to describe egg production rate of D310 chickens with the highest coefficient of determination (99.58 %) and the lowest values of AIC (-1862,53) and BIC (-1843,82).

Keywords: Nonlinear models, egg production curve, D310 chickens.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Quy luật đẻ trứng của gia cầm nói chung và của gà nói riêng được đặc trưng bởi giống, điều kiện chăm sóc, nuôi dưỡng. Tỉ lệ đẻ và năng suất trứng là những tính trạng kinh tế quan trọng trong chăn nuôi gia cầm công nghiệp đẻ trứng. Sự hiểu biết về quy luật đẻ trứng của gia cầm giúp cho người chăn nuôi dự

đoán được diễn biến quá trình đẻ trứng của đàn gà từ đó có cơ sở để lập kế hoạch sản xuất sớm, dự tính được lượng thức ăn và lượng sản phẩm cần tiêu thụ. Bên cạnh đó, sự hiểu biết về quy luật đẻ trứng cũng giúp cho người chăn nuôi có những cải tiến về các biện pháp kỹ thuật cần thiết trong quản lý, chăm sóc nuôi dưỡng nhằm đạt hiệu quả cao nhất trong chăn nuôi gia cầm đẻ trứng.

Mô hình toán học đã được sử dụng rất hiệu quả trong việc mô tả sinh trưởng, tỉ lệ đẻ của gia cầm. Trong các mô hình toán học, hàm hồi quy phi tuyến tính được ứng dụng nhiều nhất trong việc mô tả sinh trưởng cũng như tỉ lệ đẻ của gia cầm. Hàm hồi quy phi tuyến tính được sử dụng để khảo sát mối liên quan giữa tỉ lệ đẻ và thời gian đẻ của gà nhằm dự báo được tỉ lệ đẻ, năng suất trứng, lượng thức ăn, đồng thời chọn lọc được những cá thể có khả năng sinh sản vượt trội nhằm nâng cao năng suất chăn nuôi gà đẻ trứng. Đường cong về tỉ lệ đẻ của gia cầm được chia thành 3 pha, pha thứ nhất là giai đoạn tăng liên tục từ khi đẻ quả trứng đầu tiên đến khi đạt đỉnh cao, pha thứ hai là giai đoạn đẻ đạt đỉnh cao và pha thứ ba là giai đoạn giảm liên tục đến khi kết thúc đẻ trứng (Savegnago & cs., 2012). Các hàm hồi quy phi tuyến tính được sử dụng phổ biến trong việc mô tả tỉ lệ đẻ của gia cầm như hàm Logistic (Nelder, 1961), Compartmental I (Mcmillan & cs., 1970a; Mcmillan & cs., 1970b), Compartmental II (Mcmillan, 1981) và Yang (Yang & cs., 1989).

Sử dụng hàm hồi quy phi tuyến tính để mô tả tỉ lệ đẻ ở gà được đề cập trong các nghiên cứu của Savegnago & cs. (2011; 2012); Narinc & cs. (2014); Otwinowska-Mindur & cs. (2016); Abraham & Murthy (2017); Safari-Aliqiarloo & cs. (2017); Safari-Aliqiarloo & cs. (2018); Akilli & Gorgulu (2019); Darmani & France (2019); Akilli & Gorgulu (2020). Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu nào tại Việt Nam sử dụng hàm hồi quy phi tuyến tính để mô tả tỉ lệ đẻ của gà.

Nghiên cứu này nhằm xác định được hàm hồi quy phi tuyến tính phù hợp nhất để ước tính tỉ lệ đẻ trứng của gà D310 nhằm đề xuất các biện pháp chăm sóc và nuôi dưỡng phù hợp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Tổng số 360 gà D310 được mua từ Công ty TNHH gà giống Dabaco lúc 18 tuần tuổi. Gà D310 được nuôi tại Trại Thực nghiệm Khoa Chăn nuôi, Học viện Nông nghiệp Việt Nam từ tháng 12 năm 2020 đến tháng 5 năm 2021 và

theo dõi tỉ lệ đẻ từ tuần tuổi 19 (tuần đẻ 1) đến tuần tuổi 49 (tuần đẻ 26).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Gà được chia ngẫu nhiên về 12 lô (30 con/lô) theo phương thức nuôi nhốt trong chuồng bán kín, trên nền xi măng có độn lót và được cho ăn, uống nước tự do. Gà đẻ được nuôi với khẩu phần gồm protein 16,5% và năng lượng trao đổi 2.750 kcal/kg.

Số trứng đẻ ra và số mái có mặt được ghi chép hàng ngày trong tuần. Tỉ lệ đẻ của gà D310 được xác định theo phương pháp được mô tả của Bùi Hữu Đoàn & cs. (2011) với công thức sau:

$$\text{Tỉ lệ đẻ (\%)} = \frac{\text{Tổng số trứng đẻ ra trong tuần (quả)}}{\text{Tổng số mái có mặt trong tuần (con)}} \times 100$$

Số liệu về tỉ lệ đẻ và năng suất trứng của 360 gà mái D310 được sử dụng để khảo sát bằng 5 hàm mô tả tỉ lệ đẻ, gồm: Logistic (Nelder, 1961), Compartmental I (Mcmillan & cs., 1970a; Mcmillan & cs., 1970b), Compartmental II (Mcmillan, 1981), McNally (McNally, 1971) và Yang (Yang & cs., 1989). Hàm hồi quy mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310 được trình bày ở bảng 1.

Các tham số a, b, d, x được ước tính bằng hàm hồi quy phi tuyến tính với phần mềm R 4.0.5 (R Core Team, 2021). Các tham số a, b, d, x của năm hàm (Logistic, Compartmental I, McNally, Compartmental II, Yang) được ước tính bằng câu lệnh `nlsLM()` trong gói `minpack.lm` (Elzhov & cs., 2016) của phần mềm R. Bên cạnh đó, tham số AIC (Akaike's information criterion) và BIC (Bayesian information criterion) thường được sử dụng để so sánh giữa các mô hình và được xác định bằng câu lệnh `AIC()`, `BIC()` trong phần mềm R. Mô hình mô tả tỉ lệ đẻ được coi là tốt nhất khi có giá trị AIC và BIC nhỏ nhất. Dự báo tỉ lệ đẻ theo mô hình bằng câu lệnh `predict()` và vẽ đường cong tỉ lệ đẻ thực tế với tỉ lệ đẻ theo mô hình bằng gói `ggplot2` trong phần mềm R 4.0.5. Tính hệ số tương quan giữa tỉ lệ đẻ thực tế và tỉ lệ đẻ ước tính theo mô hình bằng câu lệnh `cor()` trong phần mềm R 4.0.5.

Mô tả tỉ lệ đẻ trứng của gà D310 bằng một số hàm hồi quy phi tuyến tính

Bảng 1. Mô hình tỉ lệ đẻ sử dụng trong nghiên cứu

Mô hình	Công thức	Ghi chú
Logistic	$y_t = a \times (1 + e^{-ct})^{-d} \times e^{-xt}$	y_t : Tỉ lệ đẻ ước tính của gà tại tuần tuổi t , a : Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đỉnh cao; c : hằng số; d : sản lượng trứng trung bình theo tuần tại thời điểm đẻ đỉnh cao; x : tỉ lệ đẻ giảm sau khi đạt đỉnh cao và e : số Euler (~ 2.718282) (Nelder, 1961)
Compartmental I	$y_t = a \times (1 + e^{-c(t-d)}) \times e^{-xt}$	y_t : Tỉ lệ đẻ ước tính của gà tại tuần tuổi t , a : Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đỉnh cao; c : tỉ lệ đẻ tăng hàng tuần; d : trung bình sản lượng trứng ở những tuần đẻ đầu; x : tỉ lệ đẻ giảm sau khi đạt đỉnh cao và e : số Euler (~ 2.718282) (McMillan & cs., 1970a; b)
McNally	$y_t = a \times t^b \times e^{(-ct+dt^{0.5})}$	y_t : Tỉ lệ đẻ ước tính của gà tại tuần tuổi t , a : Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đỉnh cao; b , c , d : hằng số và e : số Euler (~ 2.718282) (McNally, 1971)
Compartmental II	$y_t = a \times (e^{-xt} - e^{-bt})$	y_t : Tỉ lệ đẻ ước tính của gà tại tuần tuổi t , a : Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đỉnh cao; b : tỉ lệ đẻ tăng theo hàng tuần; x : tỉ lệ đẻ giảm sau khi đạt đỉnh cao và e : số Euler (~ 2.718282) (McMillan, 1981)
Yang	$y_t = \frac{a}{1 - e^{-c(t-d)}}$	y_t : Tỉ lệ đẻ ước tính của gà tại tuần tuổi t , a : Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đỉnh cao; c : chỉ số thể hiện sự thay đổi trong tuần đẻ quá trứng đầu tiên; d : trung bình sản lượng trứng theo tuần tại thời điểm đã thành thực về tính biệt và e : số Euler (~ 2.718282) (Yang & cs., 1989)

Ghi chú: Các giá trị “Starting value” của các tham số a , b , d và x sử dụng trong nghiên cứu này được ước tính dựa trên các nghiên cứu của Savegnago & cs. (2011) và Savegnago & cs. (2012).

Bảng 2. Tỉ lệ đẻ của gà D310 (n = 12) qua các tuần (%)

Tuần đẻ	Mean	SD	Tuần đẻ	Mean	SD
1	1,43	0,45	14	75,25	0,56
2	13,38	0,59	15	75,15	0,80
3	53,92	0,86	16	73,95	0,65
4	73,61	0,59	17	74,81	0,83
5	80,02	0,75	18	74,22	0,74
6	80,72	0,75	19	73,59	0,88
7	81,32	1,09	20	74,66	0,79
8	80,53	1,18	21	74,41	0,58
9	78,92	0,89	22	72,91	0,64
10	80,27	0,90	23	73,44	0,83
11	78,06	0,70	24	72,14	0,79
12	78,41	0,73	25	71,86	0,82
13	75,12	0,68	26	71,95	0,54

3. KẾT QUẢ

3.1. Tỉ lệ đẻ của gà D310 qua các tuần

Tỉ lệ đẻ của gà D310 qua các tuần đẻ được trình bày tại bảng 2. Tỉ lệ đẻ của gà D310 tăng liên tục từ tuần đẻ 1 đến tuần đẻ 4, đạt đỉnh cao từ tuần đẻ thứ 5 đến tuần đẻ thứ 12 với tỉ lệ đẻ đỉnh đạt cao trong khoảng từ 78,41% đến

81,32% và bắt đầu giảm từ tuần đẻ thứ 13 trở đi đến tuần đẻ thứ 26.

3.2. Mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310 bằng một số hàm hồi quy phi tuyến tính

Các tham số ước tính của các hàm mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310 được trình bày tại bảng 3. Tỉ lệ đẻ tiệm cận lúc đỉnh cao ước tính thấp nhất ở

hàm Yang (83,09%) và cao nhất ở hàm McNally (1760,9). Tỷ lệ đẻ tiệt cận lúc đỉnh cao ước tính của các hàm Logistics, Compartmental I và Yang đều phù hợp so với thực tế. Trong khi đó, hai hàm McNally và Compartmental II đều cho các tham số a (tỷ lệ đẻ tiệt cận lúc đỉnh cao) cao hơn nhiều so với tỷ lệ đẻ thực tế có thể đạt được ở gà D310. Vì vậy, hàm McNally và Compartmental II không phù hợp để mô tả đường cong tỷ lệ đẻ của gà D310. Sản lượng trứng trung bình theo tuần tại thời điểm đẻ đỉnh cao (d) đạt thấp nhất ở hàm McNally và cao nhất ở hàm Logistic. Sản lượng trứng trung bình theo tuần tại thời điểm đẻ đỉnh cao (d) được ước tính từ mô hình Logistic phù hợp so với thực tế. Tỷ lệ đẻ giảm sau khi đạt đỉnh cao (x) cao nhất ở hàm Compartmental II (0,015), thấp nhất ở hàm Logistic và Yang (0,006).

Các tham số đánh giá mức độ tin cậy, khả năng ước tính tỷ lệ đẻ của gà D310 được thể hiện qua bảng 4. Hàm Logistic, Compartmental I và Yang đều có thể sử dụng được để mô tả tỷ lệ đẻ của gà D310 vì mức độ biến thiên về tỷ lệ đẻ được giải thích thông qua các mô hình này ở mức cao ($R^2 > 93\%$). Trong đó, sử dụng hàm Logistic để mô tả tỷ lệ đẻ của gà D310 được đánh giá phù hợp nhất với hệ số xác định cao nhất ($R^2 = 99,59\%$) và giá trị AIC (1011,09), BIC (1029,81) thấp nhất. Bên cạnh đó, hệ số tương quan giữa tỷ lệ đẻ thực tế với tỷ lệ đẻ ước tính theo mô hình đều đạt mức cao ($r > 0,93$). Trong đó, hàm Logistic và Yang có hệ số tương quan giữa tỷ lệ đẻ thực tế với tỷ lệ đẻ ước tính theo mô hình đạt cao nhất ($r = 0,998$) và hàm Compartmental II có hệ số tương quan thấp nhất ($r = 0,931$).

Đường cong tỷ lệ đẻ dựa trên tỷ lệ đẻ thực tế và tỷ lệ đẻ ước tính theo các mô hình được minh họa ở hình 1.

4. THẢO LUẬN

4.1. Tỷ lệ đẻ của gà D310 qua các tuần

Tỷ lệ đẻ của gà D310 trong nghiên cứu này cao hơn so với tỷ lệ đẻ của gà lông cầm nuôi tại Lục Ngạn, Bắc Giang (Nguyễn Bá Mùi & cs., 2012), gà Đông Tảo (Nguyễn Thị Lan Anh & cs., 2020), gà Hon Chu nuôi tại Lào (Saykham & Đặng Vũ Bình, 2018), gà Ri (Nguyễn Bá Mùi & Phạm Kim Đăng, 2016). Tuy nhiên, tỷ lệ đẻ của gà D310 trong nghiên cứu này có xu hướng thấp hơn với kết quả công bố của Savegnago & cs. (2011), Savegnago & cs. (2012) khi nghiên cứu trên gà White Leghorn. Kết quả công bố của Nguyễn Thị Lan Anh & cs. (2020) khi nghiên cứu về khả năng sinh sản của gà Đông Tảo nuôi tại Gia Lai cho thấy, tỷ lệ đẻ ở pha thứ nhất tăng liên tục từ tuần đẻ 1 đến tuần đẻ 6, pha thứ hai đạt đỉnh cao từ tuần đẻ 7 đến tuần đẻ 9 và pha thứ ba giảm dần từ tuần đẻ 10 đến tuần đẻ 15 với tỷ lệ đẻ trung bình cả giai đoạn đạt mức thấp (30%). Kết quả công bố của Savegnago & cs. (2011) cho thấy, tỷ lệ đẻ ở pha thứ nhất tăng liên tục từ tuần đẻ 3 đến tuần đẻ 9, tỷ lệ đẻ ở pha thứ hai đạt đỉnh cao từ tuần đẻ 10 đến tuần đẻ 20 và pha thứ ba bắt đầu giảm từ tuần đẻ 21 đến tuần đẻ 54. Kết quả công bố của Savegnago & cs. (2012) cho thấy, gà White Leghorn có tỷ lệ đẻ đỉnh cao đạt từ 0,794 (79,4%) đến 0,860 (86,0%) tương ứng với tuần đẻ từ 22 đến 26. Như vậy, tỷ lệ đẻ của gà D310 trong nghiên cứu này có xu hướng cao hơn so với các giống gà nội của Việt Nam như gà Ri, gà Đông Tảo, gà lông cầm hay gà bản địa của Lào, nhưng thấp hơn so với các kết quả công bố của các tác giả nước ngoài.

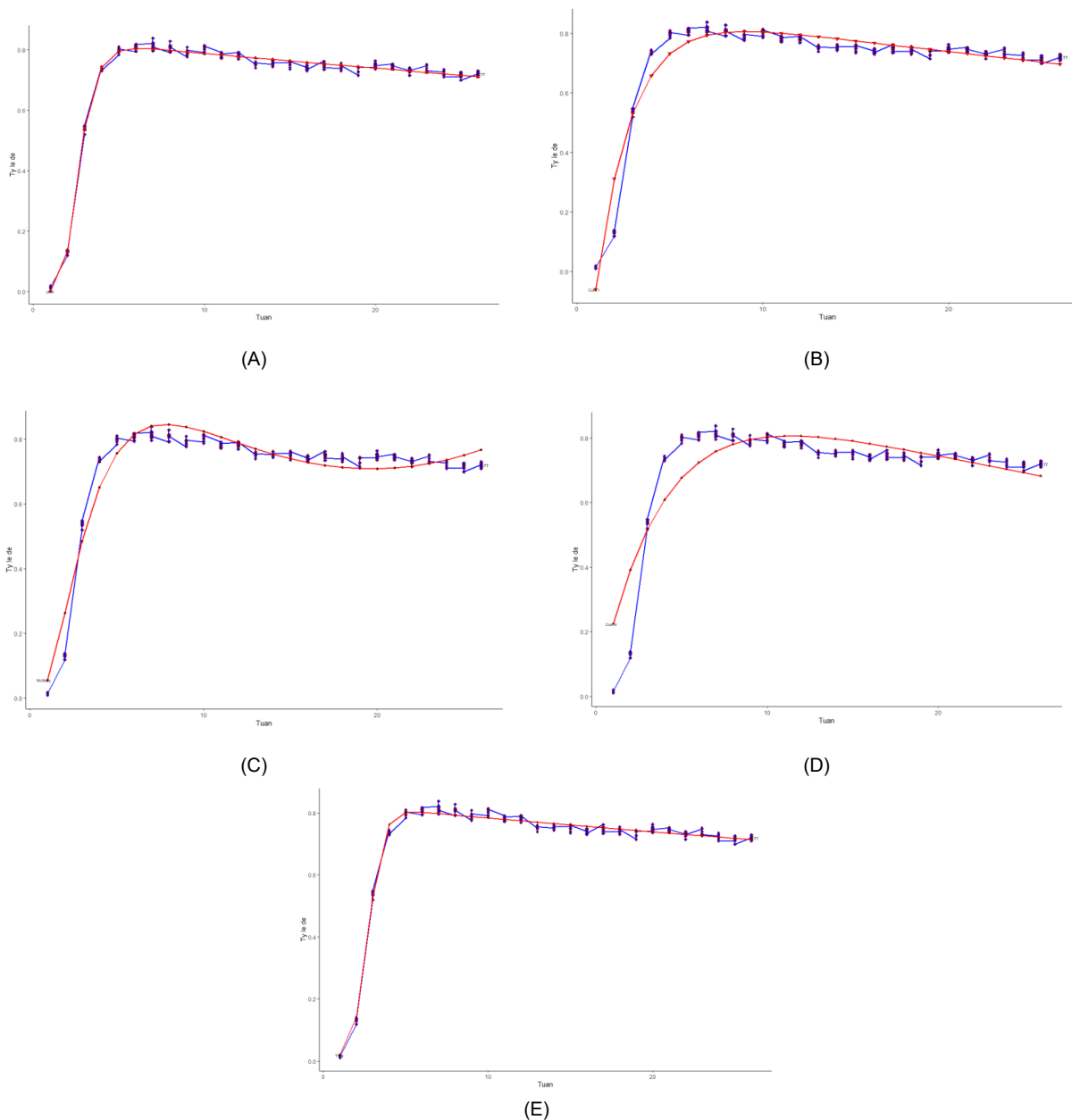
Bảng 3. Tham số ước tính của hàm tỷ lệ đẻ của gà D310

Hàm	a ± SE	b ± SE	c ± SE	d ± SE	x ± SE
Logistic	83,92 ± 0,22	-	1,470 ± 0,018	5,265 ± 1,603	0,006 ± 0,0002
Compartmental I	89,72 ± 1,29	-	0,501 ± 0,019	1,130 ± 0,025	0,010 ± 0,0008
McNally	1760,9 ± 253,4	5,288 ± 0,175	-0,426 ± 0,017	-6,167 ± 0,225	-
Compartmental II	101,7 ± 4,50	0,268 ± 0,018	-	-	0,015 ± 0,002
Yang	83,09 ± 0,23	-	2,158 ± 0,033	2,723 ± 0,008	0,006 ± 0,0002

Mô tả tỉ lệ đẻ trứng của gà D310 bằng một số hàm hồi quy phi tuyến tính

Bảng 4. Tham số thống kê đánh giá mức độ tin cậy của các hàm tỉ lệ đẻ trên gà D310

Mô hình	AIC	BIC	r	R ²
Logistic	1011,09	1029,81	0,998	99,59
Compartmental I	1857,82	1876,44	0,969	93,82
McNally	1799,83	1818,55	0,975	94,86
Compartmental II	2193,86	2208,83	0,931	81,73
Yang	1071,06	1089,77	0,998	99,50



Hình 1. Đường cong tỉ lệ đẻ dựa trên tỉ lệ đẻ thực tế (màu xanh) và tỉ lệ đẻ được ước tính (màu đỏ) bằng các hàm Logistic (A), Compartmental I (B), McNally (C), Compartmental II (D) và Yang (E) của gà D310

4.2. Mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310 bằng các hàm hồi quy phi tuyến tính

Nghiên cứu này đã xác định được hàm hồi quy phi tuyến tính Logistic là tốt nhất để mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310. Kết quả nghiên cứu này về mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310 bằng các hàm hồi quy phi tuyến tính phù hợp với các kết quả đã công bố, trong đó một số kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, hàm Logistic là phù hợp trong việc mô tả đường cong tỉ lệ đẻ của gà (Savegnago & cs., 2012; Otwinowska-Mindur & cs., 2016; Safari-Aliqiarloo & cs., 2017; Darmani & France, 2019).

Tỉ lệ đẻ tiệm cận khi đạt đỉnh cao (a) của gà D310 được ước tính bằng hàm Logistic trong nghiên cứu này có xu hướng thấp hơn các kết quả công bố khi nghiên cứu trên gà Hy-line Brown (Darmani & France, 2019), gà bố mẹ thương phẩm hướng thịt (Otwinowska-Mindur & cs., 2016; Safari-Aliqiarloo & cs., 2017) và gà White Leghorn (Savegnago & cs., 2012). Tuy nhiên, kết quả về tỉ lệ đẻ tiệm cận khi đạt đỉnh cao (a) của gà D310 được ước tính bằng hàm Logistic trong nghiên cứu này cao hơn so với kết quả công bố khi nghiên cứu trên gà bố mẹ Arbor Acres, Ros 308, Rowan 708 (Darmani & France, 2019). Sự khác biệt về tỉ lệ đẻ tiệm cận khi đạt đỉnh cao có thể do sự khác biệt về giống gà, quy trình chăm sóc nuôi dưỡng, quản lý và phương pháp ước tính.

Sản lượng trứng trung bình theo tuần tại thời điểm đẻ đỉnh cao (d) của gà D310 được ước tính bằng hàm Logistic trong nghiên cứu này thấp hơn kết quả công bố khi nghiên cứu trên gà White Leghorn (Savegnago & cs., 2012) với $d = 9,676$.

Các mô hình dự báo tỉ lệ đẻ trong nghiên cứu này đều có giá trị hệ số xác định (R^2) và hệ số tương quan (r) đạt mức cao ($R^2 > 81\%$, $r > 0,93$). Điều đó cho thấy rằng, các hàm hồi quy phi tuyến tính được sử dụng trong nghiên cứu này đều có thể dùng để ước tính tỉ lệ đẻ của gà D310. Trong đó, hàm Logistic có hệ số xác định và hệ số tương quan đạt mức cao nhất ($R^2 = 99,59\%$ và $r = 0,998$), cũng như có giá trị AIC và BIC đạt thấp nhất (bảng 4) nên hàm Logistic được coi là tốt nhất trong việc dự báo tỉ

lệ đẻ của gà D310. Hệ số xác định của hàm Logistic trong nghiên cứu này có xu hướng thấp hơn so với kết quả công bố của Safari-Aliqiarloo & cs. (2017); Darmani & France (2019), nhưng cao hơn so với kết quả công bố của (Savegnago & cs., 2012; Otwinowska-Mindur & cs., 2016).

5. KẾT LUẬN

Trong 5 hàm hồi quy phi tuyến tính, hàm Logistic là phù hợp nhất trong việc mô tả tỉ lệ đẻ của gà D310. Có thể áp dụng mô hình này để dự đoán tỉ lệ đẻ của gà D310 nhằm dự báo năng suất trứng và lập kế hoạch sản xuất trong chăn nuôi gà để đạt hiệu quả cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abraham B.L. & Murthy H. (2017). Egg production curves and their prediction through mathematical models in a random-bred broiler breeder control population. *Indian Journal of Poultry Science*. 52(1): 16-21.
- Akilli A. & Gorgulu O. (2019). Comparison of Different Back-Propagation Algorithms and Nonlinear Regression Models for Egg Production Curve Fitting. *Cappadocia, Turkey*. 178.
- Akilli A. & Gorgulu O. (2020). Comparative assessments of multivariate nonlinear fuzzy regression techniques for egg production curve. *Tropical Animal Health and Production*. 1-9.
- Bùi Hữu Đoàn, Nguyễn Thị Mai, Nguyễn Thanh Sơn & Nguyễn Huy Đạt (2011). Các chỉ tiêu dùng trong nghiên cứu chăn nuôi gia cầm. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.
- Darmani K.H. & France J. (2019). Modelling cumulative egg production in laying hens and parent stocks of broiler chickens using classical growth functions. *British Poultry Science*. 60(5): 564-569.
- Elzhov T.V., Mullen K.M., Spiess A., Bolker B., Mullen M.M. & Suggests M. (2016). R Interface to the Levenberg-Marquardt Nonlinear Least-Squares Algorithm Found in MINPACK, Plus Support for Bounds'. Package 'minpack.lm'.
- Mcmillan I. (1981). Compartmental model analysis of poultry egg production curves. *Poultry Science*. 60(7): 1549-1551.
- Mcmillan I., Fitz-Earle M., Butler L. & Robson D.S. (1970a). Quantitative genetics of fertility II. Lifetime egg production of *Drosophila melanogaster* Experimental. *Genetics*. 65(2): 355.

- McMillan I., Fitz-Earle M. & Robson D. S. (1970b). Quantitative genetics of fertility I. Lifetime egg production of *Drosophila melanogaster* theoretical. *Genetics*. 65(2): 349.
- McNally D. (1971). Mathematical model for poultry egg production. *Biometrics*. pp. 735-738.
- Narinc D., Üçkardeş F. & Aslan E. (2014). Egg production curve analyses in poultry science. *World's Poultry Science Journal*. 70(4): 817-828.
- Nelder J. (1961). The fitting of a generalization of the logistic curve. *Biometrics*. 17(1): 89-110.
- Nguyễn Bá Mùi, Nguyễn Chí Thành, Phan Xuân Hào & Lê Anh Đức (2012). Khả năng sinh sản của gà địa phương lông cảm nuôi tại Lục Ngạn, Bắc Giang. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Chăn nuôi*. 8(161): 2-7.
- Nguyễn Bá Mùi & Phạm Kim Đăng (2016). Khả năng sản xuất của gà Ri và con lai (Ri-Sasso-Lương Phượng) nuôi tại An Dương, Hải Phòng. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 14(3): 392-399.
- Nguyễn Thị Lan Anh, Dư Thanh Vũ & Nguyễn Thị Bích Liên (2020). Khả năng sinh trưởng và sinh sản của gà Đông Tảo tại tỉnh Gia Lai. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*. 13: 67-72.
- Otwinowska-Mindur A., Gumułka M. & Kania-Gierdziewicz J. (2016). Mathematical models for egg production in broiler breeder hens. *Annals of Animal Science*. 16(4): 1185-1198.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing Vienna, Austria.
- Safari-Aliqiarloo A., Faghih-Mohammadi F., Zare M., Seidavi A., Laudadio V., Selvaggi M. & Tufarelli V. (2017). Artificial neural network and non-linear logistic regression models to fit the egg production curve in commercial-type broiler breeders. *European Poultry Science*. 81.
- Safari-Aliqiarloo A., Zare M., Faghih-Mohammadi F., Seidavi A., Laudadio V., Selvaggi M. & Tufarelli V. (2018). Phenotypic study of egg production curve in commercial broiler breeders using Compartmental function. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 47.
- Savegnago R.P., Cruz V.A.R., Ramos S.B., Caetano S.L., Schmidt G.S., Ledur M.C., El Faro L. & Munari D.P. (2012). Egg production curve fitting using nonlinear models for selected and nonselected lines of White Leghorn hens. *Poultry Science*. 91(11): 2977-2987.
- Savegnago R.P., Nunes B.N., Caetano S.L., Ferraudo A.S., Schmidt G.S., Ledur M.C. & Munari D.P. (2011). Comparison of logistic and neural network models to fit to the egg production curve of White Leghorn hens. *Poultry Science*. 90(3): 705-711.
- Saykham S. & Đặng Vũ Bình (2018). Đặc điểm ngoại hình và khả năng sản xuất của gà Hon Chu. *Tạp chí Khoa Học Nông nghiệp Việt Nam*. 16(12): 1039-1048.
- Yang N., Wu C. & McMillan I. (1989). New mathematical model of poultry egg production. *Poultry Science*. 68(4): 476-481.