

Original Article

Optimum range of weight-age data for estimation of growth curve parameters in Korean native chicken

Dajeong Lim[†], Jong-Eun Park[†], Han-Ha Chai, Jun-Mo Kim, Kyung-Tai Lee, Yong-Min Cho^{*}

Animal Genomics & Bioinformatics Division, National Institute of Animal Science, RDA, Wanju, 55365, Korea

[†]These authors contributed equally to this work.

With emphasis on native genetic resource, Korean native chicken is one of the major native breeds in poultry in Korea. The weight-age data from 216 pullets of Korean native chicken were used to fit the growth curve using Gompertz model. Live weights have been recorded every three weeks for 36 weeks for 5 strains. All available weight data from birth to the 6 specific ages of week were used for the estimation of parameters. The variation in estimates of mature weight (A) decreased with the increase of age 21 through 36 weeks for all 5 strains studied. However, the variation of rate of maturing (k) showed a tendency increase with the increase of age. These results indicate that the fitting of growth curve is getting more stable for asymptotic value (A) and more flexible for curve shape (k) with the increase of weight-age data range. Correlations among estimates of A and among estimates of k at various ages showed the highest range of 0.93 ~ 0.99 between 30 and 36 weeks except for the maturing rate (k) of red brown strains. The correlations between A and k tended to fluctuate and were not significant statistically at various ages. Thus, the estimates of growth curve parameters, A and k suitable for genetic studies in Korean native chicken can be derived from accumulated weight-age data after 30 weeks of age.

Key words: Korean native chicken, age, body weight, Gompertz model, growth curve parameters

Introduction

농업에 있어 종자의 중요성이 강조되고, 자유무역협정(FTA)으로 국가 간 무역 장벽이 완화되고 있는 현실에서, 재래유전자원의 보존, 관리 및 유전적 특성 규명은 국가의 농업경쟁력을 갖추는데 필수적인 분야이다. 게다가, 생물다

양성협약(Convention Biological Diversity, CBD)에서 채택되어, 2014년 10월부터 발효 중인 나고야의정서(Nagoya protocol)는 유전자원을 보유국의 자산으로 인정하여, 외국 유전자원을 이용할 경우 자원보유국에 일정 비용을 지불하는 ‘유전자원의 접근 및 이익공유’(Access Benefit-Sharing, ABS)가 주요 내용이다. 이에 세계 각국은 유전자원의 확보 및 관리에 막대한 예산과 인력을 투입하고 있다[1]. 그런 측면에서, 우리나라의 재래닭의 활용도를 높이는 방안을 모색하는 것은 중요한 의미를 지닌다[2].

재래닭은 우리나라에서 오래 전부터 사육되어온 고유 품종으로, 사육기원을 살펴보면, 동남아 지역의 들닭이 가축화되어 약 2,000년전 중국의 남부와 북부지방을 거쳐 유입되었거나 동남아시아에서 직접 도입되었을 것으로 추정하고 있다[3]. 재래닭은 개량종에 비하여 질병저항성 및 강건성이 뛰어나다는 장점을 가지고 있어 재래닭의 효율적인 개량을 위한 연구는 계속되고 있다. 다른 가축들의 경우와 마찬가지로 재래닭에서도 성숙율, 증체율 및 성숙시 체중이 주요 경제형질로 여겨진다[4-8]. 이러한 주요 경제형질에 대한 정보를 제공하기 위해 연령과 체중의 관계에 대한 관심이 증가하고 있다[9-11]. 따라서 연령과 체중의 관계를 이상적으로 나타내는 성장곡선의 추정치는 재래닭 사육농가의 비용절감을 위한 성장단계별 사료급여량 및 영양소 요구량 산정과 적정출하시기 등의 사양관리 계획을 결정하기 위해 필수적이다.

그러나, 정해진 시점에 측정된, 일련의 체중-연령의 자료는 특정 시점에 개체의 성장정보를 제공하는데 한계가 있다. 따라서 측정하지 않은 시기의 개체 일령에 대한 내삽(interpolation)이 가능하도록 대수적 함수에 의한 측정 모형을 적용하는 것이 바람직하다[12, 13]. 일부의 생물학적 모수에 해당하는 정보를 고려하는 비선형 모형이 이를 해결하는 대표적인 해결방안이다[14]. 이러한 방법을 사용함으로써 측정되지 않은 시점의 추정치를 연속적인 값으로 추출할 수 있으며 성장률과 성장곡선의 변곡점(inflexion point)과 같은 성장곡선의 특징의 계산이 가능하다. 결국 성장곡선의 추정을 통해 구한 몇 가지의 모수를 이용하여 성장에 관한 정보를 축약시켜낼 수 있다[15].

따라서, 본 연구는 한국 재래닭의 체중에 대한 성장곡선 추

***Corresponding author:** Yong-Min Cho

National Institute of Animal Science, RDA, Wanju, 55365, Korea

Tel: +82-63-238-7301, Fax: +82-63-238-7347 E-mail: variance@korea.kr

정시 모수 추정치에 영향을 미치는 자료의 크기 즉, 최종 측정 일령 범위의 효과에 대한 분석을 통해 정확한 성장곡선 모수 추정을 위한 최적의 재래닭 체중 자료의 범위를 규명하고자 실시하였다.

Materials and Methods

분석자료

본 연구에 이용된 개체는 국립축산과학원의 가금연구소에서 사육된 재래닭 5계통 216마리(수)이다. 본 자료는 21 ~ 36 주령의 재래닭 5계통(흑색(BL), 50수; 회갈색(GB), 39수; 적갈색(RB), 34수; 백색(WH), 44수; 황갈색(YB), 49수)으로 구성되어 있다.

분석 모형 및 방법

분석에 이용된 재래닭 216수의 주령별 체중 자료는 개체별 성장곡선 모수로서 성숙체중(A)과 성숙률(k)을 추정하기 위하여, 비선형 회귀모형 가운데, Gompertz 모형을 이용하여 적합시켰다. 모형식은 다음과 같다[16, 17].

관측치는 생시부터 36주령까지 3주 간격으로 측정된 생체중이다.

$$W_t = Ae^{-be^{-kt}}$$

W_t : t 주령의 체중

A: 성장곡선의 점근상한계(upper asymptote), 성숙체중(mature weight)

b: 성장 비율 모수(생시체중에 대한 성숙체중의 비율)

k: 성숙률(rate of maturing)

t: 체중 측정 주령

e: 지수(exponential)

본 연구에서 성장곡선 추정을 위해 이용한 Gompertz 모형은 3개의 모수를 추정해야 하는 모형으로, A는 성장곡선의 점근 상한계(upper asymptote)로서 성숙체중(mature weight)이고, b는 성장 비율에 관한 모수이며, k는 성숙률(rate of maturing)에 관한 모수로서 k값이 클수록 성장 형태가 조속성임을 나타낸다.

개체별로 이와 같은 성장곡선 모수를 추정하기 위해 비선형 회귀 알고리즘인 DUD (Doesn't Use Derivative) 방법을 사용하였으며[18], SAS@6.12 패키지 프로그램의 PROC NLIN을 이용하였다[19]. 일령에 대한 체중의 비선형 회귀를 통해 추정된 성숙체중(A)과 성숙률(k)에 관한 모수 추정치들을 주령별 체중자료의 최종입력시기별로 나눈 6개의 자료들(21, 24, 27, 30, 33 및 36 주령)에 대해 변이 및 상관관계를 분석하였다.

Results

체중 자료의 최종 입력시기별로 구분한 6개의 자료들에 대해 Gompertz 모형으로 적합시킨 성장곡선의 성숙체중(A)과 성숙률(k)에 대한 평균과 변이계수를 추정하였다(Table 1). 표1의 자료 이름에서 A 및 k 다음의 숫자는 모수 추정에 이용한 체중자료가 입력된 최종 주령을 나타낸다.

성숙체중(A)의 추정치의 변이는 21주령에서 36주령까지 주령이 증가함에 따라, 적갈색 계통을 제외한 나머지 4개 계통에서 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, 적갈색 계통의 경우, 27주령까지 증가하다, 33주령까지 감소, 이후 36주령에서 증가하는 수치를 나타내었다. 성숙률(k)의 경우에는, 5계통 모두 증가하는 경향을 나타내었으나, 적갈색 및 백색계통의 경우, 36주령에 감소하는 경향을 보여주었다(Fig.

Table 1. Means, standard deviations, and coefficients of variation (CV, %) of mature weight (A) and maturing rate (k) using weight-age data up to specific ages (week)

Strain	A21 k21	A24 k24	A27 k27	A30 k30	A33 k33	A36 k36
BL	1,996.7 ± 348.9 (17.5)	2,012.6 ± 329.4 (16.4)	2,027.4 ± 377.4 (18.6)	1,997.4 ± 344.9 (17.3)	1,976.1 ± 311.0 (15.7)	1,965.7 ± 281.3 (15.7)
	3.632 ± 0.297 (8.2)	3.610 ± 0.294 (8.2)	3.618 ± 0.344 (9.5)	3.652 ± 0.363 (9.9)	3.672 ± 0.371 (10.1)	3.680 ± 0.386 (10.5)
GB	2,027.6 ± 417.7 (20.6)	1,884.4 ± 289.9 (15.4)	1,893.6 ± 301.2 (15.9)	1,850.7 ± 264.9 (14.3)	1,835.2 ± 262.1 (14.3)	1,842.6 ± 269.7 (14.6)
	3.560 ± 0.202 (5.7)	3.588 ± 0.238 (6.6)	3.599 ± 0.275 (7.7)	3.654 ± 0.305 (8.4)	3.694 ± 0.341 (9.2)	3.688 ± 0.357 (9.7)
RB	2,055.2 ± 454.3 (22.1)	2,108.5 ± 432.3 (20.5)	2,148.9 ± 434.1 (20.2)	2,109.9 ± 421.0 (20.0)	2,084.1 ± 410.9 (19.7)	2,127.1 ± 421.1 (19.7)
	3.633 ± 0.288 (7.9)	3.609 ± 0.333 (9.2)	3.636 ± 0.520 (14.3)	3.687 ± 0.548 (14.9)	3.718 ± 0.492 (13.2)	3.626 ± 0.442 (12.2)
WH	2,057.7 ± 449.2 (21.8)	1,993.6 ± 421.3 (21.1)	1,985.2 ± 430.8 (21.7)	1,933.1 ± 350.5 (18.1)	1,901.2 ± 311.8 (16.4)	1,905.4 ± 299.0 (15.7)
	3.689 ± 0.255 (6.9)	3.751 ± 0.333 (8.9)	3.803 ± 0.393 (10.3)	3.856 ± 0.413 (10.7)	3.915 ± 0.442 (11.3)	3.888 ± 0.465 (12.0)
YB	1,906.2 ± 335.0 (17.6)	1,819.0 ± 235.0 (12.9)	1,791.0 ± 259.8 (14.5)	1,726.2 ± 216.3 (12.5)	1,691.3 ± 205.5 (12.2)	1,686.4 ± 204.9 (12.2)
	3.466 ± 0.243 (7.0)	3.502 ± 0.265 (7.6)	3.539 ± 0.289 (8.2)	3.621 ± 0.323 (8.9)	3.699 ± 0.362 (9.8)	3.706 ± 0.372 (10.0)

1A). 이러한 결과로 볼 때, 체중-주령자료의 범위가 증가함에 따라, 적합된 성장곡선의 점근상한계인 성숙체중(A)은 비교적 안정적으로 추정할 수 있다. 반면, 성장곡선의 변곡점(inflection point)의 위치를 조정함으로써 개체별로 조숙성과 만숙성을 판단할 수 있는 성숙률(k) 추정치는 보다 유연한 특성을 가지게 됨을 알 수 있다. 30~36 주령에서의 성숙체중과 성숙률의 추정치에 대한 평균은 품종에 따른 차이는 보여주었으나, 주령에 따른 차이는 상대적으로 적게 나타났다. 그러나, 그 외 주령에서의 성숙체중과 성숙률의 추정치와는 차이를 보여주었다. 그리고 백색 계통의 경우, 다른 계통에 비하여 높은 성숙률을 나타내어 상대적으로 조숙계통임을 보여준다 (Fig. 1B).

Table 2는 체중기록의 최종 입력시기별로 구분한 자료들에서 개체별로 추정한 성숙체중 (A)의 추정치들 간의 상관

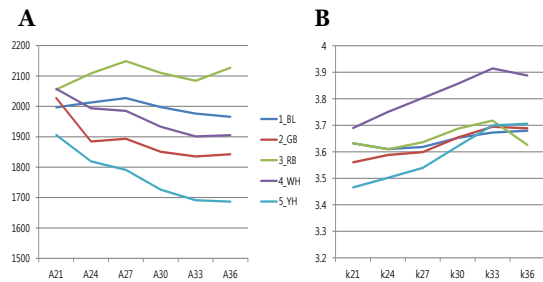


Fig. 1. Trends of weight (A, A) and maturing rate (k, B) using weight-age data up to specific ages (week) by 5 Korean Native Chicken breeds

계수와 성숙률(k)의 추정치들 간의 상관계수를 나타낸다. 성숙체중(A)의 상관계수의 최고치 범주는 30에서 36주령 사이에 0.96~0.99를 보였다. 그리고, 성숙률(k)의 상관계수의 최고치 범주는 적갈색 계통을 제외하고는, 30에서 36주령 사이에 0.89~0.99를 보였다. 적갈색(RB) 계통의 33주령과 36주령간의 성숙률(k)의 상관계수는 0.81, 30주령과 36주령간에는 0.77로 예외적으로 낮게 나타났지만 전체적으로 상관계수는 통계적으로 유의하게 나타났다($p < 0.05$). 그리고 인접한 주령간의 상관계수도 상대적으로 높게 나타났다(0.81~0.99).

자료에 제시하지는 않았으나, 성숙체중과 성숙률 간의 상관계수는 양의 값과 음의 값으로 변동을 거듭하며, 주령에 따라 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다($p > 0.05$). 실제로 Gompertz 모형의 A와 k간에는 수학적인 상관관계가 존재하며 음의 상관을 나타내는 것으로 알려져 있다[14]. 즉 성숙률 추정치가 높은 수치인 조숙성인 개체는 성숙체중이 가볍고, 반대로 성숙률 추정치가 낮은 수치인 만숙성인 개체는 성숙체중이 무거운 관계를 보인다고 한다. 그러나 실제 자료에서 추정되는 성장곡선 모수들 간의 상관은 이러한 수학적인 상관과 함께 성장특성의 상관관계가 혼합되어 나타나게 된다고 한다[20]. 본 연구에서 나타난 성숙체중과 성숙률간의 변동성은 개량으로 인한 개체선택이 진행되는 과도기적 양상에 의한 결과로 사료된다. 뿐만 아니라, 향후 보다 많은 개체를 통해 이러한 결과를 검증하는 실험이 필요하다.

자료에서 추정된 성숙률과 성숙체중간의 상관은 같은 월령의 자료에서 추정된 모수들 간에 높은 상관 관계를 가지는 것으로 나타났으며, 체중기록의 최종 입력시기가 늦어지고, 인

Table 2. Correlation coefficients¹⁾ among estimates of mature weight (A) and maturing rate (k) using weight-age data up to specific ages (week)

Strain		A24	A27	A30	A33	A36		k24	k27	k30	k33	k36
BL	A21	.82	.58	.54	.55	.57	k21	.91	.77	.69	.58	.50
	A24		.89	.86	.85	.84	k24		.91	.84	.74	.65
	A27			.99	.96	.92	k27			.98	.89	.82
	A30				.99	.96	k30				.96	.90
	A33					.98	k33					.97
GB	A21	.89	.81	.75	.71	.70	k21	.92	.80	.74	.69	.66
	A24		.91	.84	.79	.76	k24		.93	.86	.82	.78
	A27			.99	.97	.95	k27			.98	.95	.92
	A30				.99	.98	k30				.98	.96
	A33					.99	k33					.99
RB	A21	.80	.63	.60	.61	.64	k21	.59	.44	.44	.46	.45
	A24		.91	.87	.86	.83	k24		.92	.91	.88	.75
	A27			.99	.98	.91	k27			.99	.93	.74
	A30				.99	.92	k30				.96	.77
	A33					.92	k33					.81
WH	A21	.89	.74	.75	.74	.74	k21	.93	.85	.80	.76	.72
	A24		.88	.84	.81	.79	k24		.95	.89	.85	.79
	A27			.98	.94	.91	k27			.98	.92	.84
	A30				.99	.97	k30				.96	.89
	A33					.99	k33					.97
YB	A21	.82	.80	.75	.70	.68	k21	.92	.84	.79	.68	.66
	A24		.93	.88	.84	.81	k24		.96	.93	.84	.79
	A27			.97	.92	.89	k27			.98	.92	.85
	A30				.99	.97	k30				.97	.92
	A33					.99	k33					.97

1) Coefficients of correlations are all significant ($p < .05$)

접한 주령일수록 성숙률과 성숙체중 추정치간의 상관관이 낮아지는 것으로 나타났다.

본 연구는 국내 보유종인 재래닭 5계통의 체중에 대한 성장곡선 모수의 추정을 통하여, 신뢰할 수준의 적정 자료범위를 탐색하였다. 이를 통하여, 백색계통이 가장 조숙성이며, 성숙체중과 성숙률에 관한 성장곡선 모수가 서로 영향을 적게 받으면서 정확히 추정되기 위해서는 체중기록의 최종 입력시기 가 30주령 이상이 되어야 바람직한 것으로 사료된다.

이러한 연구의 결과는 재래닭 사육에 있어, 성장단계별 사양 조건과 적정 출하시기 등의 사양관리 계획을 결정하는 데에 활용될 수 있을 것이다.

Discussion

본 연구는 재래닭의 성장형태 분석을 위한 성장곡선 모수 추정시 이용하는 체중 측정자료의 최적 주령을 결정하기 위해 실시하였다. 분석에 이용한 자료는 국립축산과학원의 가금연구소에서 사육된 재래닭 5계통 216마리(수)의 주령별 체중자료를 이용하였으며, 비선형 회귀모형인 Gompertz 모형으로 성장곡선을 추정하였다. 36주령까지 측정한 자료에 대해 21주령부터 3주 단위로 최종 자료입력 시기를 분할한 6개의 측정종료 주령별 체중자료에 대해 추정한 성장곡선 모수 가운데, 성숙체중(A)의 추정치의 변이는 21주에서 36주로 주령이 증가함에 따라, 적갈색 계통을 제외한 나머지 4개 계통에서 감소하는 경향을 나타내었다. 성숙률(k)의 경우에는, 5계통 모두 증가하는 경향을 나타내었으나, 적갈색 및 백색계통의 경우, 36주령에 감소하는 경향을 보여주었으며, 그리고, 백색 계통의 경우, 다른 계통에 비하여 높은 성숙률을 나타내어 상대적으로 조숙계통으로 나타났다. 주령별 성숙체중(A) 추정치간의 상관 계수 및 성숙률(k)간의 상관계수 모두 양의 상관관계(0.44~0.99)를 나타냈으며, 성숙후기로 갈수록 높아지는 양상을 보여주었다($p < 0.05$). 그리고 인접한 주령간의 상관계수도 상대적으로 높게 나타났다(0.81~0.99). 그러나, 성숙체중과 성숙률 간의 상관관계는 변동이 거대하며, 주령에 따라 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다($p > 0.05$). 따라서, 재래닭의 체중 성장 형태를 분석하기 위한 성장곡선 추정을 위한 자료의 최종 입력시기의 최적 주령은 30주령 이상으로 사료된다.

Acknowledgements

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ010101) 및 2016년도 농촌진흥청 국립축산과학원 박사후연수과정 지원사업에 의해 이루어진 것임.

ORCID

Yong-Min Cho, <http://orcid.org/0000-0002-4181-4428>

References

- Choi JS, SW Kim, DB Shin, YG Ko, YJ Do, DH Kim, IK Kong, SB Park. Effects of N-Methylacetamide on the

- Viability, Fertility and Hatchability of Cryopreserved Ogye(Korean Native Black Fowl) Semen, K J Poul Sci 2012;39(4):291-295.
- Kim YS, JH Kim, SW Suh, H Kim, MJ Byun, MJ Kim, JS Kim, JW Lee, SB Choi. Comparison of Growth Performance between Korean Native Layer Chickens and Imported Layer Chickens at Early Rearing Stage, K J Poul Sci 2012;39(4):283-290.
- Ohh, H. G. Study on the establishing pure strain of Korean native chicken, National Institute of Animal Science 1998;5:22.
- L. Qu, X. Li, G. Xu, K. Chen, H. Yang, L. Zhang, G. Wu, Z. Hou, G. Xu and N. Yang. Evaluation of genetic diversity in Chinese indigenous chicken breeds using microsatellite markers, Science in China Series C: Life Sciences 2006;49:332-341.
- N. Bodzsar, H. Eding, T. Revay, A. Hidas and S. Weigend. Genetic diversity of Hungarian indigenous chicken breeds based on microsatellite markers, Animal genetics 2009;40:516-523.
- M. De Marchi, C. Dalvit, C. Targhetta and M. Cassandro. Assessing genetic diversity in indigenous Veneto chicken breeds using AFLP markers, Animal genetics 2006;37:101-105.
- J.A.N. Grobbelaar, B. Sutherland and N.M. Molalagotla. Egg production potentials of certain indigenous chicken breeds from South Africa, Animal Genetic Resources 2010;46:25-32.
- S. Wattanachant, S. Benjakul and D.A. Ledward. Composition, Color, and Texture of Thai Indigenous and Broiler Chicken Muscles, Poultry science 2004;83:123-128.
- S.A.A.U.G.D. Erguden. Age and growth of Capoeta erhani Turan, Kottelat and Ekmekçi, 2008 from the Seyhan River (Southeast of Turkey), IFRO. 2016;15:980-994.
- M. Goliomytis, S. Orfanos, E. Panopoulou and E. Rogdakis. Growth curves for body weight and carcass components, and carcass composition of the Karagouniko sheep, from birth to 720 d of age, Small Ruminant Research. 2006;66:222-229.
- H. Knížetová, J. Hyánek, H. Hájková, B. Kníže and R. Šiller. Growth curves of chickens with different type of performance, Journal of Animal Breeding and Genetics. 1985;102:256-270.
- M. Ricker, V.M. Peña Ramírez and D. von Rosen. A New Method to Compare Statistical Tree Growth Curves: The PL-GMANOVA Model and Its Application with Dendrochronological Data, PLOS ONE. 2014;9:e112396.
- C.G. Khatri. A note on a manova model applied to problems in growth curve, Annals of the Institute of Statistical Mathematics. 1966;18:75.
- Brown, J.E., C.J.Brown and W.T.Butts. A discussion of the genetic aspects of weight, mature weight and rate

- of maturing in Hereford and Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 1972;34:525.
15. Brown, J. E., Fitzhugh, Jr., H. A. and Cartwright, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationship in cattle. *J. Anim. Sci.* 1976;42:810.
16. Winsor, C. R. The Gompertz curve as a growth curve. *Proc. Natl. Acad. Sci* 1932;18:1.
17. Draper, N. R. and H. Smith. "Nonlinear growth models" In : *Applied regression analysis* (2nd Ed.). John Wiley & Sons, New York. p.505-513.
18. Ralston, M.L. and R.I. Jennrich, DUD, A Derivative-Free Algorithm for Nonlinear Least Squares. *Technometrics* 1978;20:7-14.
19. SAS. SAS/STAT User's guide. Vol. 2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA; 1990.
20. Morrow, R. E., J. B. McLaren and W. T. Butts. Effect of age on estimates of bovine growth-curve parameters. *J. Anim. Sci* 1978;47(2):352-357.