

藏羊及其杂交后代生长发育模型分析

莫负涛^{1,2}, 李发第³, 石红梅⁴, 张小雪¹, 李冲¹, 喇永富¹, 田慧彬³, 张永辉², 王维民^{1,3*}

(1. 甘肃农业大学动物科学技术学院, 甘肃兰州 7330070; 2. 甘肃省草原技术推广总站, 甘肃兰州 730010;
3. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃兰州 730020; 4. 甘南藏族自治州畜牧工作站, 甘肃合作 747000)

摘要: 为探讨藏羊及其杂交后代最佳生长曲线模型, 了解其生长发育规律, 本试验测定了放牧条件下 55 只藏羊以及 33 只湖藏 (湖羊♂×藏羊♀) 杂交羔羊 0~1 周岁的体重, 选用 Gompertz 和 Logistic 生长曲线拟合了上述 2 个种群羔羊 0~1 周岁的生长过程, 并分析比较了生长参数及模型估计值。结果显示, 2 种曲线均有较好的拟合效果, 拟合度 (R^2) > 0.97, 相比于 Logistic 曲线, Gompertz 曲线对 2 个种群的拟合效果更佳。藏羊公、母羔拐点月龄分别为 2.79、2.46 月龄, 拐点体重分别为 17.20、15.35 kg; 湖藏杂交羊公、母羔拐点月龄分别为 3.39、2.27 月龄, 拐点体重分别为 23.05、17.79 kg, 杂交效果显著, 开展其生长曲线模型分析, 可为藏羊品种改良提供数据支撑和理论依据。

关键词: 藏羊; 生长模型拟合; 参数估计

中图分类号: S826.2

文献标识码: A

DOI 编号: 10.19556/j.0258-7033.20250314-08

畜禽的生长发育过程可以通过生长曲线模型来反映^[1], 也能够根据生长曲线模型来了解各阶段生长期畜禽体重、生长率等随年龄增加而改变的过程, 具有非常实际的参考意义^[2]。生长曲线的影响因素有很多, 从内在的品种本身到外在的环境因素均可影响其估计变化。目前在鸡^[1,3-4]、鸭^[2,5]、猪^[6]及牛^[7-8]的生长发育研究中, 常采用 Logistic、Gompertz 和 Bertalanffy 生长曲线模型进行拟合, 以分析其生长动态与特征。在绵羊上, Jiménez-Severiano 等^[9]对 41 只 Blackbelly 公羊的睾丸周长和睾丸体积利用 Von Bertalanffy、Gompertz、Logistic 和 Richards 模型进行拟合, 发现 Logistic 和 Bertalanffy 模型分别对成年羊睾丸周长和体积预测效果最佳。Lupi 等^[10]分别利用 Verhulst、Logistic 和 Gompertz 模型拟合了 129 610 只 Segureña 绵羊出生到

成年的体重, 结果显示 Logistic 模型的拟合度最高。Gbangboche 等^[11]在比较 Brody、Gompertz、Logistic 和 Von Bertalanffy 4 种模型的拟合优度时拟合了 889 只西非矮羊的体重规律, 发现 Brody 模型拟合度最佳。Lambe 等^[12]利用 Logistic、Gompertz 和 Richards 3 种模型分别拟合 240 只特克赛尔羊和 231 只苏格兰黑面羊的生长规律, 结论为 Gompertz 和 Richards 模型在 2 个品种中都具有最佳拟合度。综上所述, Logistic 及 Gompertz 模型能够较好地拟合绵羊的生长过程。

藏羊 (Tibetan sheep) 即西藏羊, 又称藏系绵羊, 其中心产区位于我国青藏高原地区, 具有耐粗饲、适应性强、繁殖力低、性成熟晚、生长发育缓慢、生产周期长等特点, 已不能满足市场需求^[13-15]。湖羊作为太湖流域主要的本土品种, 具有多胎多羔、羔羊生长快、宜舍饲等特点, 其潜在经济价值相当可观。因此, 揭示藏羊及其与湖羊杂交后代的生长发育规律, 不仅对今后开展科学的选种选配与饲养管理具有重要指导价值, 而且能为藏羊杂交改良提供基础数据支撑, 对提高高寒牧区牧民收入、改善牧民生活水平, 乃至促进民族团结与社会稳定均具有重要意义。

本研究以藏羊及其湖藏杂交羊为对象, 测定其 0~1 周岁的体重数据, 选用适用于绵羊生长拟合的 Gompertz 和 Logistic 曲线模型, 对 2 种羊周岁前的生

收稿日期: 2025-03-14; 修回日期: 2025-07-16

资助项目: 国家重点研发计划 (2023YFF1001000); 甘肃省重点研发计划 (20YF3NA012); 甘肃省农业生物技术与应用开发项目 (GNSW-2016-10); 高寒草地资源利用方式优化配置技术示范推广项目 (kjcx2022010)

作者简介: 莫负涛 (1989-), 女, 甘肃定西人, 硕士, 高级畜牧师, 研究方向为动物营养与草原资源保护利用, E-mail: 392998237@qq.com

*通信作者: 王维民 (1984-), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事动物功能基因组与育种研究, E-mail: wangweimin@lzu.edu.cn

长发育规律进行拟合。通过对模型参数的分析,估算极值点对应的日龄与体重、最大日增重及相对生长率等关键生长指标,旨在系统揭示藏羊与湖藏杂交羊的生长特性。研究结果可为制定科学的饲养管理措施、提高养殖经济效益,以及开展藏羊杂交选育提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验动物 本研究选取甘肃省合作市的 88 只试验羊,其中包括藏羊 55 只(公羊 22 只、母羊 33 只)和湖藏杂交羊 33 只(公羊 16 只、母羊 17 只)。所有试验羊均采用全年放牧,自然断奶,并按规定程序进行疫苗接种和定期驱虫。

1.2 测定指标 测量试验羊只从初生到周岁各个月龄的体重、体尺数据。初生体重测定出生当天的羔羊,其他体重数据取自早上放牧前的体重数据。采用永久牌 C-100 电子天平(精度为 0.05 kg)进行称重。

1.3 生长模型和统计方法 本研究采用 SPSS 17.0 软件,通过 Marquardt 方法进行模型参数估计,并运用单因子方差分析(ANOVA)对绵羊增重数据进行统计比较,其中多重比较采用 LSD 法^[9]。采用 Gompertz 和 Logistic 2 种非线性生长模型对试验群体的生长曲线进行拟合,并基于 SPSS 17.0 软件估计模型参数,同时评估各模型的拟合度。Logistic 模型的计算公式为 $W_t=A/(1+B\times\text{EXP}(-K_t))$, Gompertz 模型的计算公式为 $W_t=A\times\text{EXP}(-B\times\text{EXP}(-K_t))$, 其中 W_t 为 t 月龄时的体重, A 为成熟体重, B 为最大生长率的时间系数, K 为生长速度参数。通过计算得到相应参数之后,将参数代入拟合曲线方程可获得试验群体的最佳拟合方程,之后将 0~12 月龄代入最佳拟合曲线方程可获得各月龄的拟合值。

2 结果与分析

2.1 藏羊和湖藏杂交羊 0~12 月龄实测体重比较 由表 1 可知,0~4 月龄藏羊和湖藏杂交羊公、母羊之间累积生长差异不显著,但是湖藏杂交羊体重大于藏羊。1 周岁时,湖藏杂交公羊累积生长高于藏羊($P<0.01$)。

2.2 藏羊和湖藏杂交羊生长曲线拟合 分别利用 Gompertz 和 Logistic 模型拟合藏羊、湖藏杂交羊的体重生长变化,理论预测值见表 2。2 种模型的拟合度(R^2)均在 0.97 以上。通过分别分析比较所选模型对本试验群体绵羊体重增长规律的拟合度及相关节点最大值与实测值之间的差异,发现 Gompertz 曲线的拟合效果较好,因此在计算本试验群体的体重增长参数时选用 Gompertz 模型(表 3)。

表 2 2 种拟合曲线模型参数估计值和拟合度						
品种	性别	模型	A	B	K	R^2
藏 羊	公	Gompertz	34.40	2.01	0.25	0.977
		Logistic	31.86	5.00	0.41	0.978
	母	Gompertz	30.69	1.85	0.25	0.978
		Logistic	28.90	4.18	0.39	0.974
湖 藏	公	Gompertz	46.09	2.04	0.21	0.980
		Logistic	41.69	4.94	0.35	0.973
	母	Gompertz	35.58	1.93	0.29	0.987
		Logistic	33.88	4.51	0.43	0.984

Gompertz 曲线拟合的藏羊公、母羔的体重增长达到极值点时,分别为 2.79 月和 2.46 月,从转折点开始羔羊体重增长速度逐渐下降。公、母羔极值点体重、瞬时生长率和相对生长率分别相差 1.86 kg、0.23% 和 0.12%。Gompertz 曲线拟合的湖藏杂交羊公、母羔极值点月龄分别为 3.39 月和 2.27 月,公、母羔极值点体重、瞬时生长率和相对生长率分别相差 5.26 kg、0.18% 和 0.37%。综合分析发现,湖藏杂交羊公羔拐点月龄大于

表 1 藏羊与湖藏杂交羊羔羊实测体重比较														kg
品种	性别	初生	1 月龄	2 月龄	3 月龄	4 月龄	5 月龄	6 月龄	7 月龄	8 月龄	9 月龄	10 月龄	11 月龄	12 月龄
藏羊	公	3.93±0.35 ^a (22)	8.14±1.00 ^a (22)	11.41±1.74 ^a (22)	12.96±1.63 ^a (22)	15.05±2.61 ^a (22)	17.26±3.06 ^{ab} (22)	25.55±3.13 ^{ab} (21)	24.95±3.46 ^{ab} (21)	26.31±3.26 ^{ab} (21)	28.15±3.28 ^{ab} (21)	28.32±3.30 ^{ab} (21)	30.36±4.16 ^{ab} (21)	31.50±3.82 ^{Bb} (21)
	母	2.94±0.61 ^a (33)	8.10±1.01 ^a (33)	11.64±1.35 ^a (33)	13.88±1.35 ^a (33)	14.99±1.59 ^a (33)	16.00±1.56 ^b (33)	21.29±1.81 ^b (30)	23.54±1.83 ^b (30)	24.06±1.95 ^b (30)	25.51±1.68 ^b (30)	25.25±3.65 ^b (30)	27.91±3.74 ^b (30)	28.58±2.91 ^{Bb} (30)
湖藏 杂交 羊	公	3.33±0.21 ^a (16)	9.45±0.36 ^a (16)	13.63±0.58 ^a (16)	16.71±0.84 ^a (16)	18.96±1.01 ^a (16)	21.95±0.98 ^a (16)	27.01±0.93 ^a (16)	30.04±1.01 ^a (16)	31.72±0.94 ^a (16)	33.17±0.92 ^a (16)	33.08±1.03 ^a (16)	37.49±1.30 ^a (16)	42.30±1.65 ^{Aa} (16)
	母	3.27±0.18 ^a (17)	9.46±0.38 ^a (17)	13.37±0.50 ^a (17)	16.19±0.66 ^a (17)	18.55±0.67 ^a (17)	20.41±0.79 ^{ab} (17)	25.65±0.82 ^{ab} (17)	27.32±1.63 ^{ab} (17)	29.56±1.10 ^{ab} (17)	32.06±1.16 ^{ab} (17)	31.72±1.24 ^{ab} ^{ab} (17)	31.79±1.16 ^{ab} (17)	33.60±1.67 ^{ABb} (17)

注: 同列大写字母不同表示差异极显著 ($P<0.01$), 小写字母不同则为差异显著 ($P<0.05$)。括号内数字为观测羊只数量。数据均为平均值±标准差。

藏羊，且湖藏杂交羊的拐点体重比藏羊大 5.85 kg。湖藏杂交羊的周岁重、最大月增重和瞬时生长率均大于藏羊，因此湖藏杂交羊早期生长优势明显。

2.3 藏羊和湖藏杂交羊体重实测值与估计值比较分析

图 1 为各群体体重实测值与生长曲线预测值比较结果。Gompertz 和 Logistic 曲线预测的藏羊和湖藏杂交羊的初生重均明显高于实测值，周岁体重小于实测值。其余各月龄体重实测值与预测值差别不大。对比 Gompertz 和 Logistic 曲线拟合度发现，Gompertz 曲线拟合各月龄体重更接近实测值。

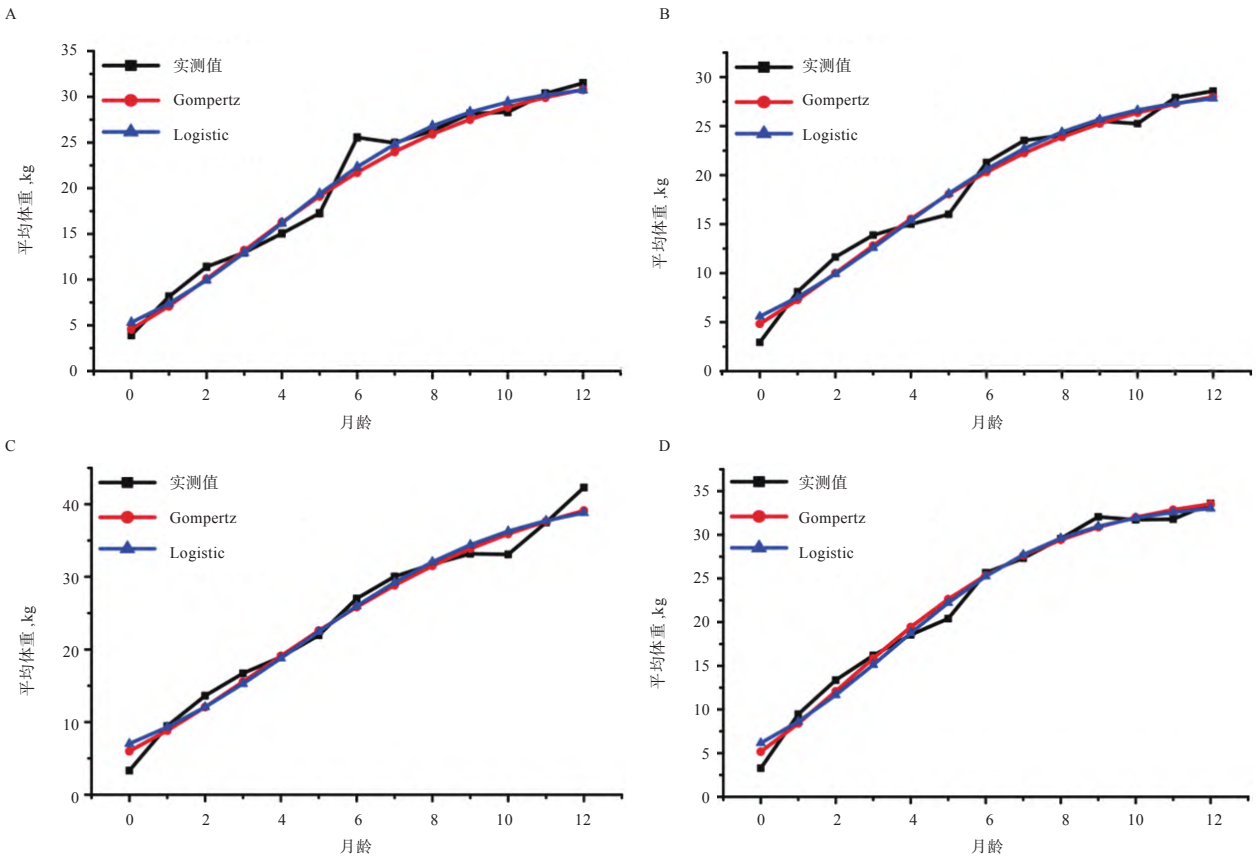
3 讨论

国内外学者对动物生长曲线的研究由来已久，并

已成功应用于畜禽的体重、体尺和胚胎重等增长过程的理论预测和原因分析^[16-18]。常用于拟合动物生长发育的有 Brody、Gompertz、Logistic 和 Von Bertalanffy 等模型^[18-20]，其中 Gompertz 和 Logistic 模型在预测绵羊体重等生长发育方面应用最多^[21]。本研究选用 Gompertz 和 Logistic 曲线拟合了藏羊和湖藏杂交羊的生长过程，结果显示，2 种曲线的拟合度 (R^2) 都在 0.97 以上，预测值与实测值差别不大，因此以上 2 种曲线均可较好地预测藏羊和湖藏杂交羊的早期生长规律。然而，对 2 种曲线的理论值与实测值进行比较发现，相比于 Logistic 曲线，Gompertz 曲线的拟合值与实际值无大的差距。Tariq 等^[22]利用 Monomolecular、Brody、Gompertz、Richards 和 Logistic 模型拟合 2 377 只 Mengali 羊从

表 3 各种群羔羊体重增长参数

品种	性别	模型	拐点体重,kg	拐点月龄,月	最大月增重,kg	瞬时生长率,%	相对生长率,%
藏羊	公	Gompertz	17.20	2.79	2.15	2.14	0.13
	母	Gompertz	15.35	2.46	1.92	1.91	0.13
湖藏杂交羊	公	Gompertz	23.05	3.39	2.42	2.42	0.12
	母	Gompertz	17.79	2.27	2.58	2.58	0.15



A: 藏羊公羊体重拟合生长曲线比较; B: 藏羊母羊体重拟合生长曲线比较; C: 湖藏杂交羊公羊体重拟合生长曲线比较; D: 湖藏杂交羊母羊体重拟合生长曲线比较。

图 1 绵羊体重拟合生长曲线比较

出生到周岁的体重, 研究发现 Gompertz 曲线更适合拟合 Mengali 羊的体重。曹忻等^[23]运用 Mistchetrlich、Gompertz 和 Logistic 曲线拟合无角陶赛特羊和波德代羊(70 公、60 母)的体重, 发现 Gompertz 曲线的拟合度高于 Logistic 曲线, Gompertz 曲线能更好地预测 2 种羊各月龄的体重。喇永富等^[24]利用 Gompertz 和 Logistic 曲线分别预测 215 只湖羊和 60 只杜湖杂交羊的体重, 并分析了上述曲线的生长参数以及曲线估计值与实际值的差异, 发现 Gompertz 模型的拟合效果更好。以上研究与本试验结果相符, 利用 Gompertz 模型拟合藏羊和湖藏杂交羊的体重增长规律效果最佳, 能更好的贴合放牧绵羊的生长发育规律。因此, 通过 Gompertz 模型预测藏羊和湖藏杂交羊的生长发育规律, 结合天然草原牧草“枯黄-返青-茂盛”的季节性变化, 能够更好地为藏羊的补饲和科学养殖提供参考。

绵羊的生长发育除了受遗传因素的影响外, 还受环境因素和饲养管理的影响^[25]。通过藏羊和湖藏杂交羊生长曲线的 Gompertz 和 Logistic 预测值和实测值的对比发现, 藏羊和湖藏杂交羊的生长表现出 0~3 月龄生长较快, 6~10 月龄生长开始呈递减趋势, 10 月龄之后趋于平稳。藏羊和湖藏杂交羊从初生到 3 月龄, 由于受到母乳的影响, 增重较快, 断奶之后受到断奶应激以及环境变化的影响, 羔羊的生长速度减慢。Gompertz 和 Logistic 模型预测的藏羊和湖藏杂交羊的初生重明显高于实测值, 因此在藏羊和湖藏杂交羊的饲养管理过程中, 应当重视妊娠母羊科学的饲养, 以增加羔羊的初生重。藏羊在 5~7 月龄体重有明显的波动, 主要是由于该时期正好为冬春交替时期, 当地牧草返青并且该季节气温变化较大, 致其营养水平降低, 从而使得藏羊的瞬时生长率降低。在 10~12 月龄期间, 湖藏杂交羊体重呈现显著上升趋势, 这主要与该阶段处于夏秋交替、牧草丰盛有关。充足的放牧条件充分满足了羔羊的营养需求, 从而使其瞬时生长率明显提高。王敏强等^[26]研究的青藏高原高寒牧区大通牦牛的生长发育过程显示, 牧区高海拔、严寒、牧草生长期短、季节性差异显著等特点严重影响牦牛的体重增长, 即温暖季节放牧家畜体重增长较快, 而寒冷季节体重逐渐降低, 掉膘损失严重。张发慧^[27]研究发现, 天然草原牧草“枯黄-返青-茂盛”的季节性变化, 直接影响着自然放牧条件下藏系绵羊羔羊成活率和增重。

包鹏甲等^[28]通过对 32 只藏羊生长发育与体重的动态监测, 发现藏系羊在冬春交替季节(即牧草枯黄期)生长发育缓慢甚至停滞, 体重有所下降; 而夏秋交替时节(牧草生长盛期)则是其生长速度最快的阶段。因此, 采用以自然放牧为基础、结合季节性气候变化规律与适宜生长曲线模型的科学饲养管理方式, 通过适时补饲与出栏, 不仅能有效提高养殖经济效益、促进牧区经济发展, 也有助于天然草场的植被恢复, 推动牧区生态畜牧业的可持续发展。

4 结 论

本研究表明, Gompertz 和 Logistic 2 种模型均能较好地拟合藏羊与湖藏杂交羔羊 0~12 月龄的生长发育过程, 其中 Gompertz 模型的拟合度更高。基于 Gompertz 模型参数, 进一步估算了 2 个种群公、母羊的拐点体重、拐点月龄等关键生长指标。通过对比成熟体重、最大月增重、瞬时生长率与相对生长率, 结果凸显了湖藏杂交羊的生长优势, 为藏羊的品种改良提供了可靠的数据支撑与理论依据。

参考文献:

- [1] Darmani Kuhi H, Shabanpour A, Mohit A, *et al.* A sinusoidal function and the Nelder-Mead simplex algorithm applied to growth data from broiler chickens[J]. *Poult Sci*, 2018, 97(1): 227-235.
- [2] Gille U, Salomon F V. Bone growth in ducks through mathematical models with special reference to the Janoschek growth curve[J]. *Growth Dev Aging*, 1995, 59(4):207-214.
- [3] Van der Klein S A S, Willems O W, Zuidhof M J. Multiphasic mixed growth models for turkeys[J]. *J Anim Sci*, 2023, 101: skad094.
- [4] Galarz L A, Fonseca G G, Prentice C. Predicting bacterial growth in raw, salted, and cooked chicken breast fillets during storage[J]. *Food Sci Technol Int*, 2016, 22(6): 461-474.
- [5] Vitezica Z G, Marie-Etancelin C, Bernadet M D, *et al.* Comparison of nonlinear and spline regression models for describing mule duck growth curves[J]. *Poult Sci*, 2010, 89(8): 1778-1784.
- [6] Sánchez-Esquiliche F, Ferreira C, Nieto R, *et al.* Deciphering seasonal patterns in animal feeding: a mechanistic approach to analyzing the restricted growth of Iberian pigs[J]. *Animals (Basel)*, 2024, 14(23): 3431.
- [7] Selvaggi M, Laudadio V, D'Alessandro AG, *et al.* Comparison on accuracy of different nonlinear models in predicting growth of Podolica bulls[J]. *Anim Sci J*, 2017, 88(8): 1128-1133.
- [8] Goldberg V, Ravagnolo O. Description of the growth curve for Angus pasture-fed cows under extensive systems[J]. *J Anim Sci*, 2015, 93(9): 4285-4290.

- [9] Jimenez-Severiano H, Reynoso M L, Roman-Ponce S I, *et al.* Evaluation of mathematical models to describe testicular growth in Blackbelly ram lambs[J]. Theriogenology, 2010, 74(7): 1107-1114.
- [10] Lupi T M, Nogales S, León J M, *et al.* Characterization of commercial and biological growth curves in the Segureña sheep breed[J]. Animal, 2015, 9(8): 1341-1348.
- [11] Gbangboche A B, Glele-Kakai R, Salifou S, *et al.* Comparison of non-linear growth models to describe the growth curve in West African Dwarf sheep[J]. Animal, 2008, 2(7): 1003-1012.
- [12] Lambe N R, Navajas E A, Simm G, *et al.* A genetic investigation of various growth models to describe growth of lambs of two contrasting breeds[J]. J Anim Sci, 2006, 84(10): 2642-2654.
- [13] Liang X L, Duan Q J, Li B W, *et al.* Genomic structural variation contributes to evolved changes in gene expression in high-altitude Tibetan sheep[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2024, 121(27): e2322291121.
- [14] Hu X J, Yang J, Xie X L, *et al.* The genome landscape of Tibetan sheep reveals adaptive introgression from argali and the history of early human settlements on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Mol Biol Evol, 2019, 36(2): 283-303.
- [15] Xiao H, Peng Z, Xu C L, *et al.* Yak and Tibetan sheep trampling inhibit reproductive and photosynthetic traits of *Medicago ruthenica* var[J]. Environ Monit Assess, 2018, 190(9): 507.
- [16] Ghiasi H, Lupi T M, Mokhtari M S. The estimation of genetic parameters for growth curve traits in Raeini Cashmere goat described by Gompertz model[J]. Small Ruminant Res, 2018, 165: 66-70.
- [17] Narinç D, Narinç NÖ, Aygün A. Growth curve analyses in poultry science[J]. World Poultry Sci J, 2017, 73(2): 395-408.
- [18] Sariyel V, Aygun A, Keskin I. Comparison of growth curve models in partridge[J]. Poult Sci, 2017, 96(6): 1635-1640.
- [19] Tran VH, Gilbert H, David I. How to improve breeding value prediction for feed conversion ratio in the case of incomplete longitudinal body weights[J]. J Anim Sci, 2017, 95(1): 39-48.
- [20] 周溪, 郭海民, 杨芳, 等. 宁乡猪生长发育规律及生长曲线拟合分析[J]. 中国畜牧杂志, 2024, 60(11): 254-261.
- [21] Kum D, Karakus K, Ozdemi R T. The best non-linear function for body weight at early phase of Norduz female lambs[J]. Tra J Sci, 2010, 8(2): 62-67.
- [22] Tariq M M, Bajwa M A, Waheed A, *et al.* Growth curve in Mengali sheep breed of Balochistan[J]. J Anim Plant Sci, 2011, 21(1): 5-7.
- [23] 曹忻, 赵有璋. 无角陶赛特羔羊和波德代羔羊的生长发育模型[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(2): 21-25.
- [24] 喇永富, 席锐, 李发弟, 等. 西北寒旱地区湖羊及其杂交后代生长发育模型分析[J]. 草业学报, 2016, 25(9): 182-188.
- [25] Mignon-Grasteau S, Beaumont C, Ricard F H. Genetic analysis of a selection experiment on the growth curve of chickens[J]. Poult Sci, 2001, 80(7): 849-854.
- [26] 王敏强, 渊锡藩, 邱怀. 第一部分大通牦牛生长发育规律及其增长模型[J]. 中国草食动物科学, 2005(s2): 113-117.
- [27] 张发慧. 藏系绵羊自然放牧条件下生长发育规律观察[J]. 畜牧兽医杂志, 2009, 39(4): 26-28.
- [28] 包鹏甲, 王宏博, 夏永祺, 等. 放牧藏系绵羊生长发育及体重变化规律研究[J]. 安徽农业科学, 2017(35): 85-87.

(责任编辑: 赵楠)

(上接第246页)

- thermogenesis[J]. Cell Metab, 2010, 12(1): 53-64.
- [25] Huh J Y, Reilly S M, Abu-Odeh M, *et al.* TANK-binding Kinase 1 regulates the localization of Acyl-CoA synthetase ACSL1 to control hepatic fatty acid oxidation[J]. Cell Metab, 2020, 32(6): 1012-1027.e1017.
- [26] Zabielski P, Imierska M, Roszczyc-Owsiejczuk K, *et al.* The role of Acyl-CoA synthetase 1 in bioactive lipid accumulation and the development of hepatic insulin resistance[J]. Nutrients 2024, 16(7): 1003.
- [27] Dong H, Zhong W, Zhang W, *et al.* Loss of long-chain acyl-CoA synthetase 1 promotes hepatocyte death in alcohol-induced steatohepatitis[J]. Metabolism, 2023, 138: 155334.
- [28] Luo Q, Das A, Oldoni F, *et al.* Role of ACSL5 in fatty acid metabolism[J]. Heliyon, 2023, 9(2): e13316.
- [29] Wu Y, Xiao P, Sha H, *et al.* Transcriptome analysis reveals the potential key genes in nutritional deposition in the Common Carp (*Cyprinus carpio*) [J]. Animals (Basel), 2024, 14(13): 1939.
- [30] Meller N, Morgan M E, Wong W P, *et al.* Targeting of Acyl-CoA synthetase 5 decreases jejunal fatty acid activation with no effect on dietary long-chain fatty acid absorption[J]. Lipids Health Dis, 2013, 12: 88.
- [31] Narita T, Naganuma T, Sase Y, *et al.* Long-chain bases of sphingolipids are transported into cells via the acyl-CoA synthetases[J]. Sci Rep, 2016, 6: 25469.
- [32] Zhang H, Sun Q, Dong H, *et al.* Long-chain acyl-CoA synthetase-4 regulates endometrial decidualization through a fatty acid β -oxidation pathway rather than lipid droplet accumulation[J]. Mol Metab, 2024, 84: 101953.
- [33] Jung Y H, Bu S Y. Suppression of long chain acyl-CoA synthetase blocks intracellular fatty acid flux and glucose uptake in skeletal myotubes[J]. Biochim Biophys Acta Mol Cell Biol Lipids, 2020, 1865(7): 158678.
- [34] Marszalek J R, Kitidis C, Dirusso C C, *et al.* Long-chain acyl-CoA synthetase 6 preferentially promotes DHA metabolism[J]. J Biol Chem, 2005, 280(11): 10817-10826.

(责任编辑: 赵楠)