

李岩, 詹凯, 李俊营, 等. 本交笼鸡舍种鸡产蛋曲线数学模型研究[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(6): 120-124.

本交笼鸡舍种鸡产蛋曲线数学模型研究

李 岩¹, 詹 凯¹, 李俊营¹, 刘 伟¹, 马瑞钰¹, 崔海军²,
张 新², 柳哲杰², 郑 钟²

(1 安徽省农业科学院 畜牧兽医研究所/畜禽产品安全工程安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2 江西华裕家禽育种有限公司, 江西 宜春 336299)

摘要:【目的】筛选适合四层层叠本交笼鸡舍种鸡的最佳产蛋曲线数学模型。【方法】所有试验鸡均饲喂于全封闭式鸡舍四层层叠式本交笼, 采集 19~61 周龄的海兰褐父母代种鸡的产蛋记录, 运用伍德模型、McMillan 模型和杨宁模型拟合种鸡产蛋率, 并比对分析 3 种模型的拟合效果。【结果】3 种模型均可用于产蛋率拟合, 杨宁模型、McMillan 模型和伍德模型 *R* 值分别为 0.997 87、0.964 63 和 0.764 57, 说明杨宁模型的拟合效果最好, McMillan 模型次之, 伍德模型最差。杨宁模型更适合实际观测数据, 适合程度约为 McMillan 模型的 1.160 37×10²⁶ 倍, 为伍德模型的 1.599 31×10⁴² 倍。不同生产阶段的产蛋率呈不同特征, 与海兰褐标准产蛋率相比, 种鸡在产蛋率上升阶段的实际观测值低于相同周龄的标准值。【结论】杨宁模型最适合四层层叠本交笼鸡舍种鸡产蛋率拟合, 生产过程中要根据模型和产蛋曲线特征科学合理地饲养管理, 以达到生产效益最优化。

关键词: 种鸡; 本交笼; 产蛋曲线; 数学模型; 拟合效果
中图分类号: S831.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)06-0120-05

Mathematical model analyses of laying curves for
layer breeders in natural mating cages

LI Yan¹, ZHAN Kai¹, LI Junying¹, LIU Wei¹, MA Ruiyu¹, CUI Haijun², ZHANG Xin², LIU Zhejie², ZHENG Zhong²
(1 Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Anhui Academy of Agricultural Sciences/Anhui Key Laboratory of Livestock and Poultry Product Safety Engineering, Hefei 230031, China; 2 Jiangxi Huayu Poultry Breeding Co., Ltd., Yichun 336299, China)

Abstract: 【Objective】To screen the best mathematical model of laying curves for layer breeders in layer breeder houses installed natural mating cages with four overlap tiers. 【Method】All the experimental Hy-Line Brown parent stock layers were fed in the closed layer breeder houses installed natural mating cages with four overlap tiers, and laying records from the 19th to 61th week were collected. The laying rates were fitted using Wood model, McMillan model and Yangning model respectively, and their fitting effects were compared. 【Result】All three mathematical models were available for laying rate fitting. The *R* values of Yangning model, McMillan model and Wood model were 0.997 87, 0.964 63 and 0.764 57 respectively, which showed that Yangning model was the best, followed by McMillan model and Wood model successively. Yangning model was more suitable for actually observed data, and the suitability degree was 1.160 37×10²⁶ times of

收稿日期: 2018-02-05 网络首发时间: 2018-10-19 11:34:29
网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20181016.1407.034.html>
作者简介: 李 岩 (1987—), 男, 博士, E-mail: liyan1314526@163.com; 通信作者: 詹 凯 (1968—), 男, 研究员, 博士, E-mail: zhankai633@126.com
基金项目: 国家蛋鸡产业技术体系专项基金 (CARS-40-K21); 国家自然科学基金 (31601932); 安徽省自然科学基金 (1508085SQC205); 安徽省公益性研究联动计划项目 (1604f0704049)

McMillan model, $1.599\ 31\times 10^{42}$ times of Wood model. The laying rate curves showed different characteristics in different periods. Compared with the standard laying rates of Hy-Line Brown stock layers in the same age, the experimental laying rates of layer breeders during early rising stage were lower. 【Conclusion】 Yangning model is most suitable for laying rate fitting of layer breeders in layer breeder houses installed natural mating cages with four overlap tiers. The feeding management should be carried out scientifically and reasonably according to fitting model and egg production curve to maximize the benefits in production process.

Key words: layer breeder; natural mating cage; laying curve; mathematical model; fitting effect

近年来受土地、劳动力和动物福利等因素的影响,我国父母代蛋种鸡养殖出现了本交笼养殖新模式,其具有提高土地使用效率,降低劳动力成本和提高动物福利等优点,因而得到快速推广。但目前该养殖模式还处在起步阶段,相关养殖工艺与配套技术有待开发,基础性生产数据有待整理、分析和挖掘,其中产蛋性能就是重要研究数据之一。

产蛋曲线数学模型表示产蛋率与时间的函数,可动态反映产蛋率随时间变化的规律。通过研究产蛋曲线数学模型,不但可以了解和掌握鸡群产蛋规律和鸡场饲养管理水平等,还可以根据模型预测鸡群的产蛋量,为准确评估产蛋量性状的育种值提供依据。因此,开展产蛋曲线数学模型研究具有重要意义。产蛋曲线数学模型一直备受国内外科研人员的关注,目前常用的数学模型主要有伍德模型(Wood model)^[1]、McMillan 模型^[2](又称分室模型 Compartmental model^[3])和杨宁模型(Yangning model)^[4]等。Wood^[1]于 1967 年提出伍德模型,用于研究泌乳曲线,McNally^[5]提出伍德模型可反映家禽产蛋率变化。McMillan^[2]于 1970 年提出 McMillan 模型,用于研究果蝇产卵过程,Gavora 等^[6]提出 McMillan 模型可衡量家禽产蛋率变化。杨宁等^[4]对前人研究方法进行改进,提出 1 种新的产蛋模型,即杨宁模型。上述模型均可用于产蛋率拟合,但各模型拟合效果存在一定差异,至今没有确定哪种模型更适合本交笼养种鸡。本试验以本交笼养海兰褐父母代种鸡为研究对象,运用伍德模型、McMillan 模型和杨宁模型对其产蛋率进行拟合,并运用模型比对功能对 3 种模型进行比对,筛选出适合本交笼养种鸡的最佳产蛋曲线数学模型,为优化种鸡养殖模式,提高种鸡生产性能和养殖场经济效益提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 动物

试验材料为江西华裕家禽育种有限公司游园种鸡场 2016 年饲养的 4 个批次的海兰褐父母代种鸡,所有试验鸡均饲喂于全封闭式鸡舍四层层叠式

<http://xuebao.scau.edu.cn>

本交笼[星海泰设备制造(天津)有限公司,中国]内。入产蛋舍试验鸡(13 周龄)共 120 000 只,分 4 栋,每栋 30 000 只(母鸡 27 000 只和公鸡 3 000 只)。鸡舍内布局为四列五走道,每列 20 个单体本交笼,每个单体本交笼规格为长 4.80 m、宽 1.20 m 和高 0.80 m,笼内饲养 90 只母鸡和 10 只公鸡。采用行车喂料系统喂料,乳头饮水器饮水,传送带清粪和自动集蛋系统等现代化生产工艺,整个生产过程的饲养管理均按照江西华裕家禽育种有限公司制定的饲养管理手册严格执行。

1.2 数据采集

第 19~61 周连续 43 周统计各栋产蛋舍周产蛋率,以周产蛋率进行产蛋曲线数学模型拟合。此外,根据海兰褐父母代种鸡标准产蛋率绘制其产蛋率标准曲线。

1.3 产蛋曲线数学模型

本研究分别采用伍德模型、McMillan 模型和杨宁模型对四层层叠本交笼鸡舍种鸡周产蛋率进行拟合,3 种拟合模型表达式如下。

伍德模型: $y_t=at^be^{-ct}$,
McMillan 模型: $y_t=a(1-e^{-c(t-d)})e^{-bt}$,
杨宁模型: $y_t=ae^{-bt}/(1+e^{-c(t-d)})$,

式中, t 为产蛋周龄, y_t 为第 t 周的产蛋率, a 、 b 、 c 和 d 为待定参数,其中 McMillan 模型和杨宁模型中, a 表示最大潜在产蛋率, b 表示产蛋率下降参数, c 表示产蛋率上升参数, d 表示开产周龄。

1.4 统计分析

数据采用 Excel 2007 初步整理,使用 Origin Pro 8.0 分析菜单下拟合子菜单的非线性曲线进行拟合,拟合效果用相关系数 R 进行评价。3 种模型拟合后用模型比对功能进行比对分析。

2 结果与分析

2.1 模型拟合效果分析和参数估计

由表 1 可知,3 种拟合模型的置信概率值 P 均为 0。伍德模型中 $R=0.764\ 57$,McMillan 模型中

表 1 3 种模型拟合效果分析和参数估计

Table 1 The fitting effect analyses and parameter estimations of three models

模型	拟合效果分析		参数估计值 ¹⁾			
	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
伍德模型	0	0.764 57	0.000 04	3.718 14	0.089 96	
McMillan模型	0	0.964 63	1.227 28	0.006 65	0.268 61	19.474 91
杨宁模型	0	0.997 87	1.063 45	0.003 83	1.210 20	22.339 65

1) *a*: 最大潜在产蛋率, *b*: 产蛋率下降参数, *c*: 产蛋率上升参数, *d*: 开产周龄

R=0.964 63, 杨宁模型中 *R*=0.997 87。3 种模型的参数估计值见表 1, McMillan 模型和杨宁模型的最大潜在产蛋率均超过 100%, 产蛋率下降参数均接近 0。杨宁模型的产蛋率上升参数大于 McMillan 模型, 开产周龄比 McMillan 模型约晚 3 周。

2.2 产蛋曲线数学模型比对分析

本研究对 3 种拟合模型进行比对分析以进一步量化 3 种模型的拟合效果。由表 2 可知, 模型比对 1 中 *F*=194.172 81, *P*=1.110 22×10⁻¹⁶, 接近 0,

McMillan 模型 AIC 值为-231.063 68, 赤池权重值为 1, 伍德模型 AIC 值为-156.739 29, 赤池权重值为 7.255 43×10⁻¹⁷; 模型比对 2 中 *F*=3 762.760 01, *P*=0, 杨宁模型 AIC 值为-351.095 58, 赤池权重值为 1, 伍德模型 AIC 值为-156.739 29, 赤池权重值为 6.252 69×10⁻⁴³; 模型比对 3 中 *F* 检验失效, 杨宁模型 AIC 值为-351.095 58, 赤池权重值为 1, McMillan 模型 AIC 值为-231.063 68, 赤池权重值为 8.617 95×10⁻²⁷。

表 2 3 种模型产蛋率拟合结果比对¹⁾

Table 2 Comparisons of laying rate fitting effects of three models

模型比对	模型	<i>F</i>	<i>P</i>	赤池信息量准则值(AIC值)	赤池权重值
比对1	伍德模型	194.172 81	1.110 22×10 ⁻¹⁶	-156.739 29	7.255 43×10 ⁻¹⁷
	McMillan模型			-231.063 68	1
比对2	伍德模型	3 762.760 01	0	-156.739 29	6.252 69×10 ⁻⁴³
	杨宁模型			-351.095 58	1
比对3	McMillan模型	—	—	-231.063 68	8.617 95×10 ⁻²⁷
	杨宁模型			-351.095 58	1

1) “—”表示*F*检验失效, 未得到确定值

2.3 产蛋曲线特征分析

图 1~3 显示种鸡产蛋率实际观测值、海兰褐产蛋率标准曲线和 3 种模型拟合曲线, 其特征为:

19~26 周龄, 产蛋率迅速上升; 26~40 周龄, 产蛋率均高于 90% 且较稳定; 40 周龄后, 产蛋率缓慢下降, 特别是 42~44 周龄, 产蛋率出现轻微波动。与海

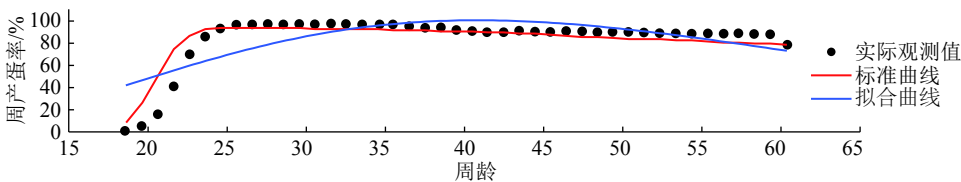


图 1 伍德模型的产蛋率拟合曲线和标准曲线比较

Fig. 1 Comparison of the laying rate fitting curve of Wood model with the standard curve

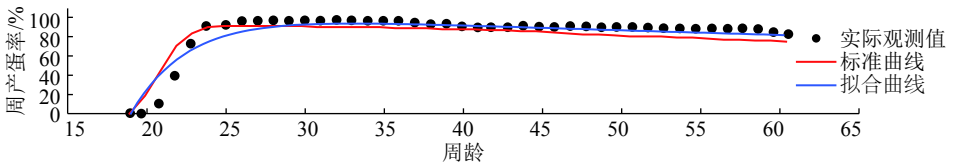


图 2 McMillan 模型的产蛋率拟合曲线和标准曲线比较

Fig. 2 Comparison of the laying rate fitting curve of McMillan model with the standard curve

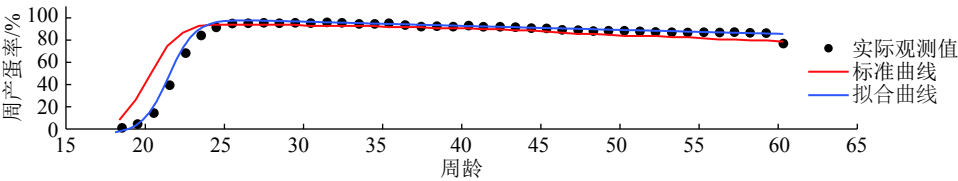


图 3 杨宁模型的产蛋率拟合曲线和标准曲线比较

Fig. 3 Comparison of the laying rate fitting curve of Yangning model with the standard curve

兰褐标准产蛋率相比, 种鸡在产蛋率上升阶段的实际观测值低于相同周龄的标准值。

3 讨论与结论

3.1 模型拟合效果分析和参数估计

置信概率值 P 是描述实际观测数据与拟合数据是否存在差异的统计量, P 越接近 0, 说明拟合效果越显著。相关系数 R 反映数据拟合的可靠程度, R 越接近 ± 1 , 说明拟合数据的相关度越高, 拟合效果越好, $R=1$ 表示完全正相关, $R=-1$ 表示完全负相关。本研究中 3 种拟合函数 P 均为 0, 表明 3 种拟合函数均适用于实际观测值拟合。进一步研究发现, 3 种模型 R 值大小依次为杨宁模型>McMillan 模型>伍德模型, 说明杨宁模型的拟合效果最好, McMillan 模型次之, 伍德模型最差, 该结果与李俊营等^[7]、蒋松等^[8]和田亚东等^[9]基本一致, 但与冯敏山等^[10]、刘天飞等^[11]和章元明等^[12]不一致, 可能与试验材料和方法差异有关。

从各模型参数的生物学意义可知, McMillan 模型和杨宁模型的最大潜在产蛋率均超过 100%, 该数值与生产实际不符, 但暗示可通过改善饲养管理措施等使当前产蛋率更高, 达到生产效益最大化的目的。杨宁模型的产蛋率上升参数高于 McMillan 模型, 与李俊营等^[7]、顾玉萍等^[13]和骆磊等^[14]结果一致, 建议应充分保证种鸡对饲料、营养和环境等的需要, 最大限度提高产蛋率上升参数。杨宁模型的开产周龄比 McMillan 模型约晚 3 周, 与李俊营等^[7]、田亚东等^[9]和吕敏芝等^[15]研究结果一致, 暗示该鸡群存在更早开产 (比 22 周龄更早) 的可能性。相反, 从产蛋率上升参数和开产周龄也可得到提示, 一旦饲养管理不当或养殖环境等因素受影响, 均可能导致产蛋率上升缓慢或开产推迟, 因此生产中应加强科学饲养管理。杨宁模型和 McMillan 模型产蛋率下降参数均接近 0, 相互佐证了 2 种模型拟合效果的准确性。本研究中伍德模型拟合效果最差, 对生产指导意义不强, 讨论意义不大。

3.2 产蛋曲线数学模型比对分析

本研究进一步对 3 种模型进行比对分析以验

<http://xuebao.scau.edu.cn>

证各模型的拟合效果。其中 F 检验可以判断 2 种拟合模型是否存在显著性差异, AIC 值可以判断哪种模型更优越, AIC 值越小的模型越适用于实际观测数据。模型比对 1 中 $F>0$, P 为 $1.110\,22\times 10^{-16}$, 极接近 0, 2 种模型在 0.05 水平差异显著。AIC 值比对结果显示, McMillan 模型更适合实际观测数据, McMillan 模型的赤池权重值为 1, 伍德模型为 $7.255\,43\times 10^{-17}$, 即 McMillan 模型的适合程度是伍德模型的 $1.378\,28\times 10^{16}$ 倍。同理, 模型比对 2 中 $F>0$, $P=0$, 2 种模型在 0.05 水平差异显著。杨宁模型 AIC 值更小, 表明该模型更适合实际观测数据, 其适合程度是伍德模型的 $1.599\,31\times 10^{42}$ 倍。模型比对 3 中 F 检验失效, 但杨宁模型 AIC 值更小, 表明杨宁模型更适合实际观测数据, 其适合程度约为 McMillan 模型 $1.160\,37\times 10^{26}$ 倍。以上分析表明 3 种模型中杨宁模型拟合效果最好。

3.3 产蛋曲线特征分析

产蛋曲线通常以种鸡周龄为横坐标, 周产蛋率为纵坐标, 将各周产蛋率连接成线。分析产蛋曲线特征有利于饲养人员根据其规律和特点制定相应措施开展科学的饲养管理。本研究中种鸡 19~26 周龄时产蛋率迅速上升, 此阶段需要确保种鸡的营养供给, 满足其基础代谢和产蛋需要, 避免因产蛋率迅速上升出现营养供应不足, 同时应控制种鸡体重, 避免影响种鸡之后的生产性能。种鸡 26~40 周龄产蛋率稳定, 维持在 90% 以上, 此阶段种鸡处于产蛋高峰期, 机体营养需求量大, 代谢旺盛, 应提供营养全价、适口高质饲料, 既满足机体旺盛的代谢需求, 又供给其生产消耗的营养需求, 以保证种蛋数量和质量。40 周龄后, 产蛋率缓慢下降, 特别是 42~44 周龄, 产蛋率出现轻微波动, 由于产蛋率受遗传、饲料营养、饲养管理和鸡舍环境等多种因素影响, 因此产蛋率下降或波动的原因有待进一步探讨。本结果提示种鸡 40 周龄后应加强科学饲养管理, 有针对性地解决引起产蛋率下降或波动的原因, 使产蛋率维持在较平稳的状态。此外, 本研究发现种鸡在产蛋率上升阶段的实际观测值低于相同周龄的标准值, 表明种鸡开产推迟, 建议加强饲料

营养管理,合理控制体重,改善光照管理等解决开产推迟的问题,确保种鸡产蛋率与标准值一致。

3.4 结论

本研究对四层层叠本交笼鸡舍种鸡产蛋率进行拟合,并比对了3种模型的拟合效果,结果显示杨宁模型拟合效果最好,精度最高。同时拟合结果提示可通过科学合理的饲养管理使产蛋性能更加接近理论值,达到生产效益最优化。本研究筛选出了适合四层层叠本交笼鸡舍种鸡的最佳产蛋曲线数学模型,可为改善养殖场饲养管理,提高本交笼养模式种鸡生产性能提供参考。

参考文献:

- [1] WOOD P D P. Algebraic model of the lactation curve in cattle[J]. Nature, 1967, 216(5111): 164-165.
- [2] McMILLAN I, FITZ-EARLE M, BUTLER L, et al. Quantitative genetics of fertility: II. Lifetime egg production of *Drosophila melanogaster*: Experimental[J]. Genetics, 1970, 65(2): 355-369.
- [3] McMILLAN I A N. Compartmental model analysis of poultry egg production curves[J]. Poult Sci, 1981, 60(7): 1549-1551.
- [4] YANG N, WU C, McMILLAN I A N. New mathematical model of poultry egg production[J]. Poult Sci, 1989, 68(4): 476-481.
- [5] McNALLY D H. Mathematical model for poultry egg production[J]. Biometrics, 1971, 27(3): 735-738.
- [6] GAVORA J S, PARKER R J, McMILLAN I. Mathematical model of egg production[J]. Poult Sci, 1971, 50(5): 1306-1315.
- [7] 李俊营,詹凯,刘伟,等.笼养淮南麻黄鸡产蛋曲线的数学模型研究[J].福建农业学报,2013,28(12): 1204-1207.
- [8] 蒋松,肖礼华,张龙,等.二郎山山地鸡SD02和SD03品系一代产蛋率曲线比较分析[J].黑龙江畜牧兽医(科技版),2012(7): 1-3.
- [9] 田亚东,商鹏飞,焦显芹,等.浙川乌骨鸡生长和产蛋曲线的数学模型分析[J].河南农业大学学报,2014,48(4): 440-444.
- [10] 冯敏山,高山林,杨增芳,等. AA 父母代肉鸡产蛋曲线的数学模型分析[J].中国家禽学报,2003,7(1): 20-21.
- [11] 刘天飞,瞿浩,马杰,等.商业化模式下的优质肉鸡产蛋曲线数学模型研究[J].四川农业大学学报,2012,30(1): 110-113.
- [12] 章元明,田有庆.四川白鹅产蛋数学模型的研究[J].西南农业大学学报,1995,17(6): 550-552.
- [13] 顾玉萍,侯启瑞,王金玉,等.京海黄鸡生长和产蛋率曲线的拟合[J].中国家禽,2010,32(20): 26-29.
- [14] 骆磊,张龙,黄钦柯,等.地方蛋鸡新品系(HS)基础群产蛋率与累计产蛋数曲线拟合[J].四川农业大学学报,2013,31(4): 438-443.
- [15] 吕敏芝,罗良豪,冯莹莹,等.仙湖鸭产蛋曲线数学模型研究[J].中国家禽,2014,36(10): 6-8.

【责任编辑 李庆玲】

欢迎订阅 2019 年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道农业各学科的科研学术论文、研究简报、综述等,涵盖动物科学与兽医学、农学、园艺学、土壤肥料、植物保护、生物学、林业科学、农业工程与食品科学等学科。本刊附英文目次和英文摘要。读者对象主要是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业干部。

本刊为《中文核心期刊要目总览》综合性农业科学核心期刊,《中国科学引文数据库(CSCD)》、《中国科技论文统计源(中国科技核心期刊)》及《中国学术期刊综合评价数据库》等来源期刊,并排列在中国科学引文数据库被引频次最高的中国科技期刊500名以内。为美国《化学文摘》、美国《剑桥科学文摘》、俄罗斯《文摘杂志》、英国《CABI》、英国《动物学记录》、英国《食品科技文摘》、《中国生物学文摘》、日本科学技术振兴机构数据库及国内农业类文摘期刊等多家国内外著名文摘固定刊源。

双月刊,逢单月上旬出版,A4幅面。定价15.00元/册,全年90.00元。自办发行,参加全国非邮发报刊联合征订发行,非邮发代号:6573。国内外公开发行,欢迎订阅!

订阅款邮汇至:300381 天津市卫津南路李七庄邮局9801信箱,全国非邮发报刊联合征订服务部。

《华南农业大学学报》编辑部

<http://xuebao.scau.edu.cn>