

藏鸡生产性能研究进展与展望

庞亚¹, 王洪壮²

(1. 曲水县达嘎镇农牧综合服务中心, 西藏 拉萨 850612; 2. 西藏自治区农牧科学院畜牧兽医研究所, 西藏 拉萨 850009)

摘要: 藏鸡作为青藏高原特有的地方禽类品种, 其生产性能受遗传背景、环境条件及饲养管理措施等多种因素的综合影响。通过对藏鸡生产性能及其相关影响因素的研究进展进行系统梳理, 发现部分关键基因(如 FOXL2、BMP7、calpain 等)及肠道微生物群落可能对藏鸡的生产性能起到重要的调控作用。同时, 饲养模式、饲料营养水平及地域环境差异也对其生产性能产生显著影响。未来的研究可利用多组学技术和精准养殖策略, 深入探究影响藏鸡生产性能的内在机制, 为藏鸡遗传资源的保护和产业化开发提供科学参考。

关键词: 藏鸡; 产蛋性能; 产肉性能; 研究进展; 展望

中图分类号: S831.8⁺9

文献标识码: C

Progress and Prospects of Xizang Chicken Production Performance Research

PANG Ya¹, WANG Hongzhuang²

(1. Daga Town Agriculture and Animal Husbandry Comprehensive Service Center, Chushur County, Lhasa Xizang 850612, China; 2. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Xizang Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa Xizang 850009, China)

Abstract: As a unique local poultry breed endemic to the Qinghai-Xizang Plateau, the production performance of Xizang chicken is influenced by a combination of factors including genetic background, environmental conditions, and husbandry management practices. This study systematically reviews the progress in research on the production performance of Xizang chicken and its associated influencing factors. Findings indicate that certain key genes (such as FOXL2, BMP7, calpain, etc.) and the gut microbiota may play significant regulatory roles in the production performance of Xizang chicken. Concurrently, rearing systems, nutritional levels of feed, and regional environmental variations also exert substantial effects on their production performance. Future research may leverage multi-omics technologies and precision farming strategies to delve deeper into the underlying mechanisms influencing Xizang chicken production performance, thereby providing scientific references for the conservation of Xizang chicken genetic resources and their industrial development.

Key words: Xizang Chicken; egg production; meat production; research progress; outlook

藏鸡作为青藏高原特有的地方禽类品种, 其生产性能受遗传背景、环境条件及饲养管理措施等多种因素的综合影响。

1 藏鸡产蛋性能

1.1 遗传特性与产蛋能力

藏鸡作为我国青藏高原地区特有的鸡种, 其遗传特性对产蛋能力有重要影响, 研究家禽产蛋

性能的遗传机制, 对于提高家禽养殖效益具有重要意义^[1]。

众多针对其他鸡种的研究为藏鸡产蛋性能研究提供了一定的参考。例如, 对泰和乌鸡的研究通过整合全基因组选择信号分析与转录组分析, 鉴定出 31 个与产蛋性状相关的候选基因, 且发现一些基因富集于卵巢发育相关通路, 如溶酶体途径、ECM-受体相互作用途径等^[1]。Qin

收稿日期: 2025-05-13

基金项目: 藏鸡日粮中添加高产纤维素酶枯草芽孢杆菌制剂的研究与利用项目(XZNKY-XMSTC-2025-06)。

作者简介: 庞亚(1995—), 女, 初级畜牧师, 主要从事高原动物营养研究, E-mail: 2541845158@qq.com。

通信作者: 王洪壮(1992—), 男, 助理研究员, 主要从事高原动物营养研究, E-mail: wanghongzhuang66@163.com。

等^[2]在对大骨鸡的研究中,发现 FOXL2 和生长分化因子-9 基因的多态性与母鸡体质量、入舍母鸡产蛋量和蛋质量相关,特定基因型与较高的产蛋量和蛋质量相关联。Dong 等^[3]对东乡绿壳蛋鸡不同冠色的品系选择中,发现 EDN3 和 BMP7 等基因对鸡冠色素沉着和产蛋量存在多效性影响。Miao 等^[4]对普安盘江乌鸡通过全基因组重测序和转录组分析,发现 TRIM7、CASR 等关键候选基因与产蛋性能相关。这些研究表明,不同鸡种产蛋性能的遗传机制存在一定共性,为探究藏鸡产蛋性能的遗传基础提供了思路,提示可从相关基因及通路入手,深入研究藏鸡的遗传特性与产蛋能力的关系。

1.2 产蛋特性

藏鸡的产蛋特性是其生产性能的重要体现。藏鸡长期适应高原环境,其产蛋特性具有独特之处,在高原低温、低氧等特殊环境下,藏鸡的产蛋周期、蛋的品质等与其他地区鸡种有所不同,产蛋周期相对延长,以适应高原环境对能量储备和生殖生理的影响;蛋的大小、蛋壳厚度等品质特征为保证胚胎在特殊环境下的正常发育而发生适应性改变^[5]。郭瑞萍等^[6]对日喀则市不同羽色藏鸡产蛋性能和蛋品质比较分析研究,发现不同羽色藏鸡的平均产蛋率、蛋质量、料蛋比、蛋壳强度、蛋形指数、哈夫单位等各方面均具有差异。因此,深入研究藏鸡的产蛋特性,对于了解其生殖生理规律、优化养殖管理及开发特色禽蛋产品具有重要意义。

家禽产蛋的生理机制是一个复杂的过程,涉及多个生理系统的协同作用。在鸡的生殖过程中,雌性生殖道微生物群对产蛋起着重要作用。研究发现,蛋鸡多个生殖和消化道部位的微生物群多样性、组成和预测功能存在显著差异,且生殖道微生物群与产蛋的相关性比消化道更强,如脆弱拟杆菌、盐生拟盐杆菌等 4 种生殖道微生物与免疫功能相关,可能有助于提高产蛋量^[7]。

卵巢发育和功能维持是产蛋的关键环节。通过对不同鸡种杂交后代产蛋性能和杂种优势的研究,发现细胞周期通路中的调控信号对鸡产蛋杂种优势的形成有重要贡献。例如,白来航鸡和北京油鸡杂交后代在产蛋数上表现出杂种优势,通过加权基因共表达网络分析确定了多个与产蛋数显著相关的基因共表达模块,其中细胞周期通路相关基因在杂交后代中表现出时间上互补的优势表达,维持了卵巢功能,从而有助于产

蛋杂种优势的持续存在^[8]。此外,营养物质的利用和代谢也与产蛋密切相关。在蛋鸡生产过程中,随着年龄增长,母鸡的热产生、氧气消耗和二氧化碳产生增加,体脂和瘦肉质量发生变化,这些变化影响营养物质的利用,进而影响产蛋性能^[9]。藏鸡在高原环境下,其产蛋的生理机制可能因环境适应性而具有独特的调控方式,深入研究有助于揭示其产蛋规律,为提高产蛋性能提供理论支持。

2 藏鸡产肉性能

2.1 遗传特性与产肉能力

藏鸡的遗传特性决定了其产肉能力的基础。对中国地方鸡种与商业鸡种的研究表明,地方鸡种具有丰富的遗传多样性,且在商业化过程中,一些基因发生了选择性变化,这些基因与繁殖、生长、肌肉骨骼发育、抗病性和环境适应性等相关^[10]。例如,对泰国 Betong 鸡(KU 系)的研究发现,calpain1 和 calpain3(CAPN3)基因的多态性与生长、屠宰和肉质性状相关,如 CAPN3 基因对增加体质量、活质量和胸肉品质等相关^[11]。这些研究提示藏鸡作为具有独特遗传背景的鸡种,其产肉能力可能受特定基因的调控,通过深入研究这些基因与产肉性能的关系,有望为藏鸡的遗传改良提供依据。

2.2 生长特性

藏鸡的生长特性和屠宰指标是衡量其产肉性能的重要方面。不同品种和不同日龄的鸡在生长性能、屠宰特性和肌肉代谢物方面存在差异。例如,对中国地方黄羽鸡与杂交肉鸡(麻黄鸡和土二鸡杂交)的比较研究中,发现杂交肉鸡具有更好的饲料效率、更高的胸肌和大腿肌肉产量及更低的腹脂率^[12]。运动对鸡的生长性能、屠宰产量、肉质和胫骨强度有显著影响,对皖南鸡的研究表明,增加运动量可提高公鸡的胫骨强度,降低体质量、烹饪损失、剪切力和滴水损失^[13]。对腾冲雪鸡和西畴黑骨鸡杂交后代的研究显示,杂交可改善生长性能和肉品质^[14]。对中国宁都黄鸡的研究通过 RNA 测序和关联分析,确定 PRKG2 基因是与生长和屠宰性状相关的重要候选基因,其单核苷酸多态性(SNP) rs16400745 与多个生长和屠宰性状显著相关^[15]。马雪英等^[16]对西藏各地藏鸡的生长发育及产肉性能进行研究,发现各地藏鸡体质量和体尺都具有差异,300 日龄左右体质量达到顶峰。

研究发现,藏鸡与新浦东鸡、艾维茵、罗斯 308 等肉鸡品种杂交,均表现出杂交优势,杂交后代具有较好的产肉性能和肉质及高原适应性特征^[17-19]。这些研究为了解藏鸡的生长特性和屠宰指标提供了参考,提示可通过优化养殖管理、合理利用杂交优势及挖掘关键基因等方式,提高藏鸡的产肉性能。

3 影响藏鸡产蛋及产肉性能的因素

3.1 藏鸡产蛋率与饲养环境、饲料等因素的关系

饲养环境和饲料是影响藏鸡产蛋率的重要因素。不同的饲养系统对蛋鸡的产蛋性能和福利有显著影响。薛蓓等^[5]对藏鸡不同饲养模式(笼养、网上平养、地面平养、圈养、散养)下产蛋性能的研究,发现圈养模式下产蛋率和蛋质量较高,破蛋率较低,而散养模式的蛋品质相对其他 4 种模式较高。

饲料的营养成分和投喂方式也会影响产蛋率。在蛋鸡养殖中,适宜的饲料营养水平可满足母鸡生殖生理需求,提高产蛋性能。例如,饲料中蛋白质、能量、矿物质和维生素等营养成分的合理配比,对维持母鸡的生殖功能、促进卵泡发育和排卵至关重要。此外,不同的投喂策略,如分段投喂,可增强蛋壳中钙的沉积,减少骨骼钙流失,提高钙的利用效率,从而改善蛋鸡的生产性能和蛋壳质量^[20]。研究表明,在日粮中添加甜菜碱、复合维生素制剂对藏鸡的蛋品质和产蛋率均有显著提升^[21-22]。藏鸡在高原特殊环境下,饲养环境和饲料的选择需充分考虑其适应性,通过优化饲养环境和饲料配方,有望提高藏鸡的产蛋率。

3.2 藏鸡产肉率与饲养条件等因素的影响

饲养条件对藏鸡产肉率有关键作用。以肉鸡饲养为例,颗粒饲料和不同的投喂程序对肉鸡的生长性能、屠宰产量和营养消化率有显著影响,当自由采食颗粒饲料时,肉鸡的采食量和增重最高,饲料转化率和腹脂量更好,但对营养消化率无影响;而限制颗粒饲料的投喂量会导致增重降低,不过在一定程度上可提高营养消化率,且过度限制投喂量会降低屠宰产量^[23]。郭瑞萍等^[17]对罗斯 308、艾维茵、科宝与藏鸡杂交 F1 代饲喂 16%粗蛋白的日粮,发现藏鸡与罗斯 308 的杂交组合在体质量、体尺性状、屠宰性能及肉的品质方面均优于艾维茵、科宝与藏鸡杂交后代和藏鸡纯繁后代。

饲养密度也是影响产肉率的重要因素。适宜的饲养密度可减少鸡之间的竞争和应激,有利于

鸡的生长发育和饲料利用,从而提高产肉率。若饲养密度过大,鸡只活动空间受限,容易引发疾病传播,影响生长性能和肉质。此外,养殖环境的温度、湿度、通风等条件也会影响藏鸡的生长和代谢,进而影响产肉率^[24]。在藏鸡养殖过程中,应根据其生长特性,合理控制饲养条件,以提高产肉率。

3.3 藏鸡生产性能的区域差异

不同区域的藏鸡生产性能可能存在差异^[16]。藏鸡生产性能的区域差异可能与多种因素有关,一方面,不同区域的气候条件差异较大,高原地区不同海拔高度的温度、氧气含量等环境因素对藏鸡的生长、繁殖和代谢产生影响,从而导致生产性能的差异。另一方面,区域间的饲养管理水平、饲料资源和养殖模式的不同,也会影响藏鸡的生产性能。例如,一些地区可能采用传统的粗放式养殖,而另一些地区可能采用现代化的集约养殖,这会导致藏鸡在生长速度、产蛋量和肉质等方面表现出差异。深入研究藏鸡生产性能的区域差异,有助于因地制宜地制定养殖策略,充分发挥不同区域的优势,提高藏鸡养殖的整体效益。

4 藏鸡产蛋及产肉性能的技术

4.1 藏鸡育种技术的最新进展

藏鸡育种技术的发展对于提高其产蛋及产肉性能至关重要。在现代育种中,多种先进技术不断涌现,例如,对地方鸡种不同育种目标(蛋肉兼用、蛋用、肉用)的选择策略评估发现,针对不同育种目标,仅针对生产性状的选择策略可获得较高的指数响应,但会对饲料效率和抗体反应产生不利的相关响应;而在目标中加入饲料效率或抗体反应,虽考虑了饲料供应和疾病挑战等因素,但会导致总指数响应和准确性下降,近交水平和选择代数增加^[25]。

精准畜牧养殖(PLF)系统在现代家禽养殖中得到应用,其整合了多种技术,如传感器用于监测农场环境、鸡运动或生理参数,成像技术如光学用于检测鸡步态和啄羽行为,红外技术评估鸡体温调节特征和代谢变化等有助于实时自动监测鸡福利和健康,优化鸡群管理,提高生产效率。此外,多组学(Multi-Omics)技术在鸡饲料效率研究中发挥重要作用,通过多组学联合分析,可深入了解饲料利用效率与鸡表型之间的生物学联系,为鸡的育种提供关键信息,有助于改善现有育种方法^[26]。这些技术的发展为藏鸡育种提供了新的思路和方法,可通过合理运用这些技

术提高藏鸡的生产性能。

4.2 藏鸡饲养管理技术的创新

藏鸡饲养管理技术的创新对于提升其生产性能具有重要意义。精准喂养技术是一种创新的管理方式,可根据个体母鸡的实时体质量精准喂养,实现按个体需求顺序喂养。例如,对罗斯708母鸡的研究中,发现精准喂养可使母鸡体质量变异系数在20周龄时降至2%以下,且不同的目标体质量增长模式(如连续或逐步增加目标体质量)会导致母鸡代谢率发生变化,在允许快速生长的周期内,代谢率可增加70%~100%^[27],这种技术有助于提高鸡群的均匀度,为藏鸡饲养管理提供借鉴。在藏鸡养殖中,可利用精准喂养技术,根据藏鸡个体的生长状况和营养需求,精确分配饲料,提高饲料利用率,减少浪费,同时维持藏鸡稳定的代谢率,促进其生长和繁殖,从而提高产蛋及产肉性能。此外,精准喂养技术还可结合其他饲养管理措施,如环境控制、疾病防控等,实现藏鸡养殖的精细化管理,提升养殖效益。

4.3 藏鸡生产性能的生物技术应用

生物技术在家禽生产性能提升方面具有广阔的应用前景,对藏鸡也不例外。例如,不同益生菌组合对蛋鸡生产性能、蛋品质和免疫反应有积极影响。研究发现,在蛋鸡日粮中添加热灭活的唾液乳杆菌(CB)和枯草芽孢杆菌的组合,可显著提高产蛋量、日蛋产量,降低破损蛋率和饲料转化率;添加灭活唾液乳杆菌和丁酸钠的组合,可显著提高日蛋产量、饲料转化率、哈夫单位等^[28]。

对肠道微生物多样性与蛋鸡产蛋性能关系的研究表明,高产蛋量的鸡群中厚壁菌门、变形菌门和乳杆菌属的丰度显著更高,而低产蛋量的鸡群肠道微生物 α -多样性更高,群落结构更复杂,这些差异通过影响营养吸收、激素调节等代谢途径,直接影响产蛋性能^[29]。此外,中药发酵产物也可应用于蛋鸡养殖,如双黄连发酵液在优化发酵条件后,添加到蛋鸡饮用水中,可提高蛋质量、产蛋率,降低料蛋比,增加哈夫单位^[30]。在藏鸡养殖中,可利用这些生物技术,通过调节肠道微生物群落、合理使用益生菌和中药发酵产物等方式,提高藏鸡的生产性能。

5 藏鸡产蛋及产肉性能研究展望

5.1 藏鸡生产性能研究的前沿方向

随着科技的不断发展,藏鸡生产性能研究将朝着更深入、更精准的方向发展。在遗传机制研

究方面,利用先进的基因编辑技术,如CRISPR-Cas9系统可对藏鸡与产蛋和产肉性能相关的关键基因进行精准编辑,深入探究基因功能及其调控网络,为遗传改良提供更精确的靶点。同时,结合多组学技术(基因组学、转录组学、蛋白质组学和代谢组学)全面解析藏鸡在不同生长阶段和不同环境条件下的分子调控机制,挖掘潜在的生物标志物,用于早期选种和精准育种。

在环境适应性研究方面,模拟不同的高原环境条件,研究藏鸡的生理、代谢和行为响应,揭示其适应高原环境的分子机制和生理调节途径,这有助于制定更科学的饲养管理策略,提高藏鸡在高原地区的养殖效率和生产性能。此外,研究藏鸡与高原生态系统的相互作用,探索可持续的养殖模式,可以实现藏鸡养殖与生态保护的协同发展。

5.2 藏鸡产业发展的政策与挑战

藏鸡产业的发展离不开政策的支持。政府可出台相关政策,加大对藏鸡养殖的资金投入,用于建设现代化的养殖设施、开展科研项目及培养专业人才。例如,设立专项基金,支持藏鸡遗传资源保护、新品种培育和养殖技术研发等工作。同时,制定优惠政策,如税收减免、补贴等,鼓励企业和养殖户扩大藏鸡养殖规模,提高养殖积极性。

然而,藏鸡产业发展也面临诸多挑战,疾病防控是一大难题,高原地区特殊的地理环境和气候条件,可能导致一些独特的疾病流行,且藏鸡养殖相对分散,防疫难度较大。此外,市场开发也面临挑战,藏鸡作为特色禽种,其产品的市场认知度相对较低,需要加强品牌建设和市场推广,提高消费者对藏鸡产品的认可度和接受度。同时,藏鸡养殖的标准化和规范化程度有待提高,以确保产品质量和安全性,满足市场需求,只有克服这些挑战,藏鸡产业才能实现可持续发展。

参考文献:

- [1] DENG C, LI M, WANG T, et al. Integrating genomics and transcriptomics to identify candidate genes for high-altitude adaptation and egg production in nixi chicken[J]. *British Poultry Science*, 2024, 65(6): 652-664.
- [2] QIN N, LIU Q, ZHANG Y Y, et al. Association of novel polymorphisms of forkhead box L2 and growth differentiation factor-9 genes with egg production traits in local chinese dagu hens[J]. *Poultry Science*, 2015, 94(1): 88-95.
- [3] DONG X G, LI J Y, ZHANG Y Y, et al. Genomic a-

- analysis reveals pleiotropic alleles at EDN3 and BMP7 involved in chicken comb color and egg production[J]. *Frontiers in Genetics*, 2019, 10: 612.
- [4] MIAO X M, HUANG Z Y, LIU J, et al. Genomically selected genes associated with a high rate of egg production in puan panjiang black-bone chickens[J]. *Animals*, 2025, 15(3): 363.
- [5] 薛蓓, 林哲旭, 贾福晨, 等. 不同饲养模式下藏鸡产蛋性能和蛋品质分析[J]. *黑龙江畜牧兽医(下半月)*, 2018(2): 80-82.
- [6] 郭瑞萍, 张兴娟, 德吉普赤, 等. 日喀则市不同羽色藏鸡产蛋性能和蛋品质比较分析[J]. *饲料工业*, 2024, 45(9): 31-36.
- [7] SU Y, TIAN S L, LI D Y, et al. Association of female reproductive tract microbiota with egg production in layer chickens[J]. *Giga Science*, 2021, 10(9): giab067.
- [8] YUAN J W, WANG Y M, SUN Y Y, et al. Regulatory signatures involved in the cell cycle pathway contribute to egg production heterosis in chicken[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2025, 16(1): 18.
- [9] CALDAS J V, HILTON K, BOONSINCHAI N, et al. Dynamics of nutrient utilization, heat production, and body composition in broiler breeder hens during egg production[J]. *Poultry Science*, 2018, 97(8): 2845-2853.
- [10] QI L, XIAO L C, FU R, et al. Genetic characteristics and selection signatures between southern chinese local and commercial chickens [J]. *Poultry Science*, 2024, 103(7): 103863.
- [11] BUNGRISAWAT P, TUMWASORN S, LOONGYAI W, et al. Genetic polymorphisms of calpain1 and calpain3 genes and their effects on growth, carcass, and meat quality traits in betong chicken (KU Line)[J]. *Animal Science Journal*, 2024, 95: e13986.
- [12] DENG S L, XING T, LI C B, et al. The effect of breed and age on the growth performance, carcass traits and metabolic profile in breast muscle of chinese indigenous chickens[J]. *Foods*, 2022, 11(3): 483.
- [13] WANG Z C, HE X X, ZHAO Y C, et al. Exercise profile and effect on growth traits, carcass yield, meat quality, and tibial strength in chinese wannan chickens [J]. *Poultry Science*, 2021, 100(2): 721-727.
- [14] LI Z J, MUSHTAQ M, KHAN M, et al. Evaluation of the growth performance and meat quality of different F1 crosses of tengchong snow and xichou black bone chicken breeds[J]. *Animals*, 2024, 14(21): 3099.
- [15] XIONG X W, ZHOU M, ZHU X N, et al. RNA sequencing of the pituitary gland and association analyses reveal PRKG2 as a candidate gene for growth and carcass traits in chinese ningdu yellow chickens[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2022, 9: 892024.
- [16] 马雪英, 陈裕祥, 参木有, 等. 藏鸡生长发育及产肉性能研究[J]. *西藏科技*, 2015, 37(2): 70-72.
- [17] 郭瑞萍, 张琦, 陈焱, 等. 日粮粗蛋白水平 16% 条件下藏肉鸡杂交品种肉用性能比较研究[J]. *饲料工业*, 2025, 46(10): 122-127.
- [18] 张菊, 田慧丽, 郭瑞萍, 等. 藏鸡与艾维茵杂交 F1 代肉用性能及肉品质的研究[J]. *饲料工业*, 2024, 45(13): 31-35.
- [19] 陈焱, 郭瑞萍, 罗桑曲珍, 等. 藏鸡与罗斯 308 杂交后代生长性能、体尺指标和屠宰性能的研究[J]. *饲料工业*, 2024, 45(19): 45-49.
- [20] HE X X, FU Z M, YANG Z, et al. Effects of different feeding strategies on egg production, eggshell quality, tibial mass and intestinal calcium transporter expression in laying hens[J]. *British Poultry Science*, 2025, 66(5): 686-694.
- [21] 陈宇星, 郑玉才, 徐亚欧, 等. 甜菜碱对藏鸡产蛋性能及蛋品质的影响[J]. *中国家禽*, 2018, 40(23): 23-26.
- [22] 杨小林, 苏元君, 李星亮, 等. 产蛋后期补充复合维生素制剂对阿坝藏鸡产蛋性能及蛋壳品质的影响[J]. *安徽农业科学*, 2021, 49(15): 88-90.
- [23] MASSUQUETTO A, PANISSON J C, MARX F O, et al. Effect of pelleting and different feeding programs on growth performance, carcass yield, and nutrient digestibility in broiler chickens [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 5497-5503.
- [24] 欧阳海滨, 郑秋燕, 何小莉, 等. 鸡舍环境控制对鸡生产性能的影响[J]. *中国畜牧业*, 2024(12): 72-73
- [25] MIYUMO S, WASIKE C B, ILATSIA E D, et al. Evaluation of selection strategies in dual-purpose and specialized breeding of indigenous chicken[J]. *Poultry Science*, 2024, 103(8): 103916.
- [26] URGESSA O E, WOLDESEMAYAT A A. Omics approaches and technologies for understanding low-high feed efficiency traits in chicken: implication to breeding [J]. *Animal Biotechnology*, 2023, 34(8): 4147-4166.
- [27] ZUIDHOF M J, FEDORAK M V, OUELLETTE C A, et al. Precision feeding: innovative management of broiler breeder feed intake and flock uniformity [J]. *Poultry Science*, 2017, 96(7): 2254-2263.
- [28] ZHANG J L, XIE Q M, JI J, et al. Different combinations of probiotics improve the production performance, egg quality, and immune response of layer hens [J]. *Poultry Science*, 2012, 91(11): 2755-2760.
- [29] WU L P, ZHANG T, LUO Z H, et al. Impact of gut microbial diversity on egg production performance in chickens [J]. *Microbiology Spectrum*, 2025, 13(2): e01927-e01924.
- [30] XU Y Q, YI S Y, XU X J, et al. Optimal fermentation of shuanghuanglian and its effects on production performance of laying hens [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, 11: 1415232.