



许静漪,任小丽,张震,温东旭,陈功,李斌,徐青,王雅春. 西藏地区奶牛泌乳性能及其影响因素分析[J]. 中国农业大学学报,2025,30(03):24-36.

XU Jingyi, REN Xiaoli, ZHANG Zhen, WEN Dongxu, CHEN Gong, LI Bin, XU Qing, WANG Yachun. Analysis of lactation performance characteristics and influencing factors of dairy cattle in Xizang[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025,30(03):24-36.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.03.03

西藏地区奶牛泌乳性能及其影响因素分析

许静漪¹ 任小丽² 张震² 温东旭³ 陈功⁴ 李斌³ 徐青^{4*} 王雅春^{1*}

(1. 中国农业大学 动物科技学院/农业农村部动物遗传育种与繁殖(家畜)重点实验室/畜禽育种国家工程实验室, 北京 100193;

2. 河南省奶牛生产性能测定中心, 郑州 450046;

3. 西藏自治区农牧科学院 畜牧兽医研究所, 拉萨 850000;

4. 北京交通大学 生命科学与生物工程研究院, 北京 100044)

摘要 为了解西藏地区奶牛泌乳性能特征,组织西藏地区3个牧场连续10个月送样至国家认证的奶牛生产性能测定中心,利用测定所得西藏高原奶牛的日产奶量、乳脂率、乳蛋白率、脂蛋比、乳糖率、乳尿素氮含量和体细胞评分等泌乳性能指标,进行描述性统计和影响因素分析,并利用Wood模型进行泌乳曲线拟合。结果表明:1)西藏地区奶牛平均日产奶量15.29 kg、平均乳脂率4.29%、平均乳蛋白率3.66%、平均乳糖率5.06%、平均乳尿素氮含量13.19 mg/dL。2)牧场和泌乳阶段对所有泌乳性能影响均显著($P<0.05$),日产奶量、乳脂率、乳蛋白率、脂蛋比和乳尿素氮含量对环境温度显著回归($P<0.05$),日产奶量、乳脂率、脂蛋比和乳尿素氮含量对环境温度的平方显著回归($P<0.05$);校正后的日产奶量、乳脂率和乳蛋白率对荷斯坦牛血统比例回归显著($P<0.05$)。3)西藏地区奶牛泌乳曲线呈现高峰日出现晚、高峰日产奶量低且持续力差的特点。综上,西藏地区奶牛泌乳性能整体较低,荷斯坦牛血统比例提升有助于改善奶牛生产性能。本研究为西藏奶业发展提供理论支撑。

关键词 荷斯坦牛; 生产性能; 泌乳性能; 乳品质; 高原奶业

中图分类号 S823.9+1

文章编号 1007-4333(2025)03-0024-13

文献标志码 A

Analysis of lactation performance characteristics and influencing factors of dairy cattle in Xizang

XU Jingyi¹, REN Xiaoli², ZHANG Zhen², WEN Dongxu³, CHEN Gong⁴, LI Bin³,
XU Qing^{4*}, WANG Yachun^{1*}

(1. College of Animal Science and Technology/Breeding and Reproduction of Ministry of Agriculture and Rural Affairs/
National Engineering Laboratory for Animal Breeding of Key Laboratory of Animal Genetics, China Agriculture University,
Beijing 100193, China;

2. Henan Dairy Herd Improvement Center, Zhengzhou 450046, China;

3. Institute of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Academy of Agriculture and Animal Husbandry of Xizang
Autonomous Region, Lhasa 850000, China;

4. Institute of Life Science and Bioengineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract In order to understand the characteristics of lactation performance of dairy cattle in Xizang, the

收稿日期: 2024-05-08

基金项目: 西藏自治区科技计划项目(XZ202201ZY0004N); 西藏自治区重点研发计划(CGZH2023000257); 国家现代农业产业技术体系(CARS-36); 长江学者和创新团队发展计划(IRT_15R62)

第一作者: 许静漪(ORCID: 0009-0003-6590-7180), 硕士研究生, E-mail: ed-adam@foxmail.com

通讯作者: 徐青(ORCID: 0000-002-9680-7356), 副教授, 主要从事分子遗传研究, E-mail: qingxu@bjtu.edu.cn

王雅春(ORCID: 0000-0003-3629-2802), 教授, 主要从事奶牛分子数量遗传专业研究, E-mail: wangyachun@cau.edu.cn

daily milk yield (dMY), fat percentage (FP), protein percentage (PP), fat-to-protein ratio (FPR), lactose percentage (LP), milk urea nitrogen content (MUN) and somatic cell score (SCS), derived from the dairy herd improvement records of three farms in Xizang for 10 consecutive months, were used in descriptive statistics and factors analysis, as well as lactation curve fitting using Wood's model. The results showed that: 1) The average dMY was 15.29 kg, FP was 4.29%, PP was 3.66%, LP was 5.06%, and MUN was 13.19 mg/dL in Xizang. 2) The influence of the farms and lactation stages on all lactation performance was significant ($P < 0.05$), and the regression of dMY, FP, PP, FPR, and MUN on environmental temperature was significant ($P < 0.05$). There was also a significant regression ($P < 0.05$) between dMY, FP, FPR, and MUN on square of environmental temperature. The regression of the adjusted daily milk production, milk fat percentage, and milk protein percentage on the proportion of Holstein bloodline were significant ($P < 0.05$). 3) The lactation curves of dairy cows in Xizang was characterized by late peak days, low peak day milk yield and poor sustainability. To sum up, the lactation performance of dairy cows in Xizang is generally low, and the increase in the proportion of Holstein's blood will improve the lactation performance of dairy cows. This study provides theoretical support for the development of Xizang's dairy husbandry.

Keywords Holstein cattle; dairy herd improvement; lactation performance; milk quality; plateau dairy industry

奶业是健康中国、强壮民族不可或缺的产业，是农业现代化的标志性产业，更是实施乡村振兴战略的重要突破口^[1]。西藏地处青藏高原西南部，平均海拔在4 000 m以上，基础物资匮乏，牛奶及奶制品当地是重要的优质蛋白来源。2020年西藏城镇居民家庭人均年奶类消费为19.4 kg，高于17.3 kg的国内平均水平（《2022中国奶业统计资料》）。据《2023中国奶业统计摘要》，西藏2021年存栏奶牛61.1万头，占全国的4.85%，但同年奶类产量53.7万t，仅占全国的1.33%。

西藏本地黄牛品种多样^[2]，但并非专业乳用品种。经过五十年的本地黄牛遗传改良工作，杂交奶牛的产奶量相比本地黄牛有明显提升，但仍无法满足本地人口的消费需求^[3]。在当地政府支持下，西藏自2014年开始大规模修建高标准奶牛养殖基地，引入了大量区外良种奶牛，以期助推当地奶业转型升级，总投资约40亿元^[3]。目前，当地产奶的牛群主要有纯种奶牛（荷斯坦牛和娟姗牛）、杂交奶牛（本地黄牛分别与荷斯坦牛、娟姗牛或西门塔尔牛杂交后代）以及本地牦牛和黄牛。但受高寒、缺氧等恶劣环境制约，良种奶牛在高原表现不理想，目前西藏地区荷斯坦牛（4.9 t/年）和娟姗牛（4.0 t/年）单产水平远低于国内平均水平（9.2 t/年）^[1]，严重阻碍了西藏奶业的发展。

奶牛生产性能测定（Dairy herd improvement, DHI）通过对牛奶中成分进行测定，反映奶牛泌乳性能，是奶牛群体遗传改良工作中非常重要的基础性

工作，直接影响群体遗传改良进展的总体水平^[4]。我国自2008年实施生产性能测定以来，已逐渐形成一套完整的生产性能记录和管理体系，是牧场提高生产水平、保障乳制品安全、监测奶牛健康的有效手段和实施育种规划工作的重要数据支撑^[5-7]。孔小艳等^[3]对2021年7月110头西藏高原荷斯坦牛与西藏黄牛的高代杂交后代的DHI数据进行分析，结果表明，不同胎次西藏黄牛和荷斯坦牛杂交群体平均日产奶量为14.96~17.99 kg，平均乳脂率为3.06%~4.17%，平均乳蛋白率为3.12%，日产奶量远低于平原奶牛的平均产量。此外，没有任何关于高原奶牛泌乳性能的研究报道。在本研究之前，西藏地区的现有牧场尚未进行长期的生产性能测定，泌乳牛缺乏详实准确的生产性能记录，这不仅影响牧场对泌乳牛的生产管理，还严重限制了西藏奶牛遗传改良工作的进一步发展。因此，迫切需要在高原奶牛群体开展大规模、规范化的生产性能测定，获悉其生产水平，探究高原奶牛群体性能表现不理想的潜在原因。本研究对西藏地区奶牛生产性能测定进行描述性统计，分析西藏地区奶牛生产概况及其影响因素，为西藏地区推进奶牛生产性能测定、提高牧场饲养管理水平、提升藏区奶牛生产性能和良种奶牛选育提供理论依据和科学指导。

1 材料与方法

1.1 数据来源

收集2023年4月—2024年1月，西藏自治区3

个规模化牧场连续10个月的奶样,送至河南省奶牛生产性能测定中心,使用乳成分检测仪器(CombiFoss 7,福斯中国,北京)检测乳成分及体细胞数,共获得1 279头牛,5 973条测定日DHI记录。牧场附近气象记录来自国家气象信息中心(中国气象局气象数据中心,北京),包括风速、气压、相对湿度、降雨记录和环境温度等,每3 h 1条,共2 745条。血统比例来自纽勤中国实验室(纽勤生物科技有限公司,上海)GGP-150K芯片测定的Igenity® Select报告,共获得542头牛的荷斯坦牛血统比例信息。

1.2 数据整理

选择指标包括日产奶量(Daily milk yield, dMY, kg)、乳脂率(Fat percentage, FP, %)、乳蛋白率(Protein percentage, PP, %)、乳糖率(Lactose percentage, LP, %)、体细胞数(Somatic cell counts, SCC, 千/mL)和乳尿素氮含量(Milk urea nitrogen content, MUN, mg/dL)。并经过以上指标计算脂蛋白比(Fat-to-protein ratio, FPR)和体细胞评分(Somatic cell score, SCC),转化公式如(1)所示:

$$\text{FPR} = \frac{\text{FP}}{\text{PP}}; \text{SCS} = \log_2 \frac{\text{SCC}}{100} + 3^{[8]} \quad (1)$$

式中:FPR为脂蛋白比;FP为乳脂率,%;PP为乳蛋白率,%;SCS为体细胞评分;SCC为体细胞数,千/mL。

对5 973条数据进行质控,要求如下:每头牛测定记录超过3个月,泌乳天数大于5 d,胎次与月龄符合。最终获得912头牛,共5 276条数据。

根据3 h气象记录计算2023年3月—2024年2月,牧场附近的日平均风速(m/s)、日平均气压(hPa)、日平均相对湿度(%)、日总降雨量(mm)和日平均环境温度(°C),并利用日平均环境温度和日平均相对湿度计算环境温湿度指数(Temperature-humidity index, THI),如图1所示,THI计算公式如(2)所示:

$$\text{THI} = 0.8T + (\text{RH}/100 \times (T - 14.4)) + 46.4^{[9]} \quad (2)$$

式中:THI为环境温湿度指数;T为环境温度,°C;RH为环境湿度,%。

另外,选择采样当日及前后1 d环境温度日均值和风速日均值,计算3 d环境温度均值和3 d风速均值。

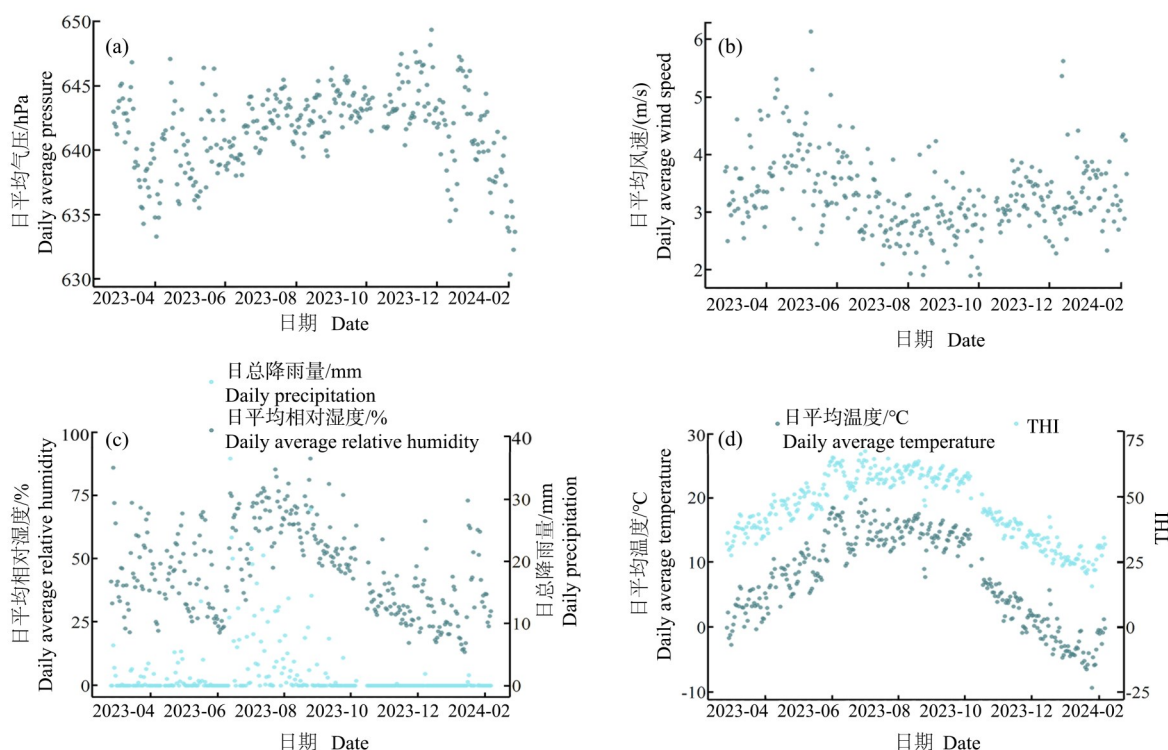


图1 试验期内牧场气象散点图

Fig. 1 Scatter plots of farms meteorology during the experimental period

1.3 影响因素划分

根据试验牛泌乳天数的分布,在尽可能保证数据均衡并反映奶牛不同泌乳阶段特征的基础上,将试验牛的泌乳期划分为5个泌乳阶段,分别为5~100 d、101~200 d、201~300 d、301~400 d 和 > 400 d;将试验牛胎次划分为3个水平,分别为1、2和3胎及以上;根据气象变化规律,将采样季节和产犊季节分为雨季(5—9月)和干季(1—4月,10—12月);选择3 d环境温度均值和3 d风速均值作为协变量。

1.4 统计分析

采用R 4.2.2软件的cor函数计算各泌乳性能表型之间的相关,并利用ggcorrplot函数绘制相关性热图, $P < 0.05$ 为相关显著。采用广义线性模型使用SAS 9.2软件的GLM过程,分析胎次、采样季节、产犊季节、牧场、泌乳阶段、环境温度和风速等因素对奶牛泌乳性能的影响,用Bonferroni t 检验进行多重比较,结果以最小二乘均值±标准差展示, $P < 0.05$ 为差异显著,采用模型如(3)所示:

$$y_{ijklmn} = \mu + \text{Parity}_i + \text{Cols}_j + \text{Cals}_k + \text{Mstage}_l + \text{Farm}_m + \beta_1 T + \beta_2 T^2 + \beta_3 W + e_{ijklmn} \quad (3)$$

式中: y_{ijklmn} 为奶牛泌乳性能,包括dMY、FP、PP、FPR、LP、MUN和SCS共7个指标。 μ 为群体均值; Parity_i 为胎次效应; Cols_j 为采样季节效应; Cals_k 为产犊季节效应; Mstage_l 为泌乳阶段效应; Farm_m 为牧场效应; T 为环境温度协变量; T^2 为环境温度的平方协变量; W 为风速协变量; β_1 、 β_2 和 β_3 分别为 T 、 T^2 和 W 的系数; e_{ijklmn} 为随机残差。

选择上述模型的残差作为各项指标的校正表型,使用SAS 9.2软件的REG过程,分析各泌乳性能校正表型对荷斯坦牛血统比例的回归。采用模型如(4)所示:

$$cp_i = \beta_4 + \beta_5 \text{Holstein}_i + \epsilon_i \quad (4)$$

式中: cp_i 为奶牛泌乳性能校正表型,包括dMY、FP、PP、FPR、LP、MUN和SCS共7个指标; β_4 为截距; Holstein_i 为荷斯坦牛血统比例; β_5 为Holstein的回归系数; ϵ_i 为随机残差。

使用R 4.2.2软件的ggplot2函数对显著回归的泌乳性能校正表型作散点图,并添加回归曲线。

1.5 泌乳曲线

选择泌乳天数在0~305 d,且单个胎次DHI记

录5条及以上的数据,共435头牛,2 624条数据,435个泌乳期用于泌乳曲线的拟合。采用R 4.2.2软件拟合每头牛每个胎次的泌乳曲线,本研究选择Wood模型^[10]进行拟合,其表达式如(5)所示:

$$y_t = a \times t^b \times e^{-ct} \quad (5)$$

式中, y_t 为日产奶量; t 为泌乳天数; a 、 b 和 c 为模型参数,参数 a 反映了奶牛的泌乳潜力, b 表示泌乳曲线下下降阶段的速率, c 表示曲线达到高峰的速率; e 为自然常数。

在泌乳曲线拟合后,以模型 $R^2 \geq 0.7$, $\text{RMSE} \leq 3$ ^[11], $b > 0$ 且 $c > 0$ 为标准进行质控,得到57条数据,利用模型参数 a 、 b 和 c 估计以下3个二级参数如公式(6)所示:

$$t_m = \frac{b}{c}; y_m = a \times \left(\frac{b}{c}\right)^b \times e^{-b}; per = -(b-1) \times \ln c \quad (6)$$

式中: t_m 为奶牛泌乳高峰日,d; y_m 为高峰日产奶量,kg; per 为泌乳持续力; e 为自然常数。

将57头牛分为头胎牛(1胎,20头)和经产牛(2胎及以上,37头),利用上述Wood模型拟合群体泌乳曲线,并计算二级参数;另外选择测定日记录为10次的个体(541LS1001335、541LS2021083,1胎;541LS2000099,6胎)为代表个体,以R的ggplot2包绘制日产奶量散点图并添加拟合曲线。

2 结果与分析

2.1 西藏地区荷斯坦牛泌乳性能的描述性统计

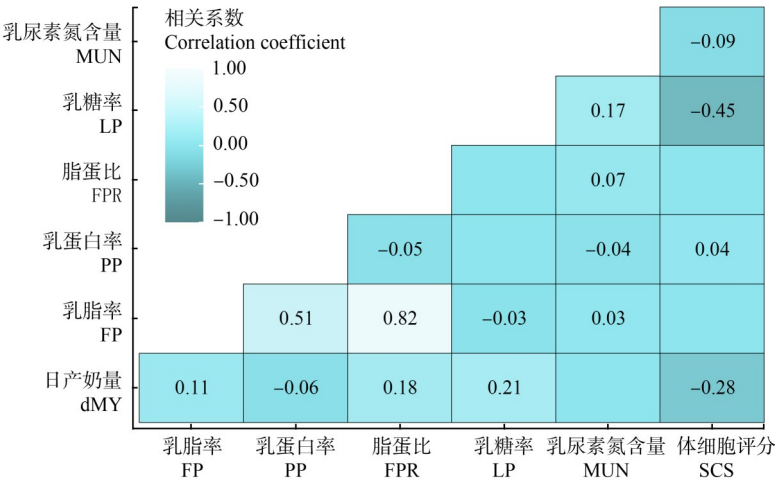
西藏地区荷斯坦牛泌乳性能描述性统计结果见表1。牛群dMY变异系数较大(61.94%),dMY最高个体可以达到77.13 kg,而最低个体仅0.01 kg;FP、PP、FPR、LP和MUN较稳定,变异系数较小(6.13%~27.82%);SCS和泌乳天数的个体差异较大,变异系数均较大(49.38%和61.67%)。

2.2 西藏地区荷斯坦牛泌乳性能的相关分析

西藏地区荷斯坦牛泌乳性能相关分析结果如图2所示,除dMY与MUN、FP与SCS、PP与LP、FPR与LP和FPR与SCS相关性不显著($P > 0.05$)外,其余各泌乳性能之间均存在显著的相关($P < 0.05$)。dMY与FP(0.11)、dMY与FPR(0.18)、dMY与LP(0.21)呈低正相关,FP与PP(0.51)和FP与FPR(0.82)呈中至高度正相关;SCS与dMY(-0.28)和SCS与LP(-0.45)呈低至中度负相关。

表1 荷斯坦牛泌乳性能的描述性统计
Table 1 Descriptive statistics of lactation performance in Holstein

指标 Index	日产奶量/kg Daily milk yield	乳脂率% Fat percentage	乳蛋白率% Protein percentage	脂蛋比 Fat-to-protein ratio	乳糖率% Lactose	乳尿素氮 含量/ (mg/dL) Milk urea nitrogen	体细胞评分 Somatic cell score	泌乳天数/d Days in milking
均值	15.29	4.29	3.66	1.17	5.06	13.19	3.22	240
标准差 SD	9.47	0.95	0.44	0.23	0.31	3.67	1.59	148
最大值 Max	77.13	10.27	6.73	3.33	5.76	32.70	11.00	1 062
最小值 Min	0.01	0.98	1.39	0.24	1.88	0.00	0.00	5
中位数 Median	13.40	4.25	3.66	0.15	5.12	13.20	3.00	220.50
变异 系数/% CV	61.94	22.14	12.02	19.66	6.13	27.82	49.38	61.67



图中无相关系数表示两泌乳性能相关不显著($P>0.05$)。
No correlation coefficient in the graph represents that the two lactation performances are not significantly correlated ($P>0.05$)

图2 西藏地区荷斯坦牛泌乳性能的相关分析热图

Fig.2 Heat plot of correlation analysis of lactation performances of Holstein cows in Xizang

2.3 各因素对泌乳性能的影响

各因素不同水平下的泌乳性能及多重比较结果见表2。由表2可知,牧场和泌乳阶段对各泌乳性能影响均显著($P<0.05$),胎次对dMY、PP、FPR、LP、MUN和SCS均存在显著影响($P<0.05$),采样季节对dMY、FP和FPR存在显著影响($P<0.05$),产犊季节仅对FP存在显著影响($P<0.05$)。dMY、FP、PP、FPR和MUN

对环境温度回归显著($P<0.05$),dMY、FP、FPR和MUN对环境湿度的平方回归显著($P<0.05$),除LP对风速回归不显著外($P>0.05$),dMY、FP、PP、FPR、MUN和SCS对风速回归均显著($P<0.05$)。

2胎牛的dMY(15.25 kg)显著高于其他胎次($P<0.05$),1胎与3胎牛的dMY之间差异不显著($P>0.05$)。1胎牛的PP(3.70%)、LP(5.12%)、MUN

(13.47 mg/dL)显著高于其他胎次($P<0.05$),而dMY(13.47 kg)和SCS(3.09)显著低与其他胎次($P<0.05$)。3胎及以上牛的LP(4.92%)显著低于其他胎次($P<0.05$),而SCS(3.79)显著高于其他胎次($P<0.05$)。干季采样牛的dMY(13.35 kg)、FP(4.07%)和FPR(1.12)显著低于雨季采样牛($P<0.05$);干季产犊牛的FP(4.27%)显著高于雨季产犊牛($P<0.05$)。牧场3的牛的dMY(21.73 kg)、FP(4.54%)、PP(3.74%)、FPR(1.22)和LP(5.07%)显著高于其他牧场($P<0.05$),而SCS(2.72)显著低于其他牧场($P<0.05$)。各泌乳性能随泌乳天数的增加呈现一定的趋势,泌乳阶段为5~100 d的泌乳牛的dMY(17.92 kg)、FPR(1.22)、LP(5.19%)和MUN(14.06 mg/dL)显著高于其他泌乳阶段($P<0.05$),而FP(4.09%)、PP(3.36%)和SCS(2.98)显著低于其他泌乳阶段($P<0.05$);泌乳阶段为大于400 d的泌乳牛的dMY(11.24 kg)和MUN(12.27 mg/dL)显著低于其他泌乳阶段($P<0.05$)。

表 2 不同影响因素下的泌乳性能
Table 2 lactation performance traits under different factors

影响因素 Factor	水平 Level	个体数 Number of cows	数据量 Datasize	日产奶量/kg Daily milk yield	乳脂率% Fat percentage	乳蛋白率% Protein percentage
胎次 Parity	1胎	506	2 640	13.47±0.17b	4.29±0.02	3.70±0.01a
	2胎	413	1 738	15.25±0.21a	4.24±0.02	3.63±0.01b
	3胎及以上	189	898	14.00±0.27b	4.20±0.03	3.63±0.01b
	<i>P</i>			<0.01	0.07	<0.01
采样季节 Collection season	干季	863	2 392	13.35±0.29b	4.07±0.03b	3.63±0.01
	雨季	886	2 884	15.12±0.24a	4.42±0.03a	3.67±0.01
	<i>P</i>			<0.01	<0.01	0.08
产犊季节 Calving season	干季	517	2 620	14.04±0.17	4.27±0.02a	3.66±0.01
	雨季	469	2 656	14.43±0.17	4.22±0.02b	3.65±0.01
	<i>P</i>			0.11	0.04	0.39
牧场 Farm	1	259	1 404	9.53±0.21c	4.22±0.02b	3.69±0.01b
	2	331	1 730	11.45±0.20b	3.98±0.02c	3.53±0.01c
	3	322	2 142	21.73±0.21a	4.54±0.02a	3.74±0.01a
	<i>P</i>			<0.01	<0.01	<0.01
泌乳阶段 Milking stage	5~100 d	548	1 036	17.92±0.25a	4.09±0.03c	3.36±0.01d
	101~200 d	640	1 346	15.02±0.22b	4.17±0.02bc	3.59±0.01c
	201~300 d	642	1 182	13.73±0.23c	4.27±0.03ab	3.73±0.01b
	301~400 d	449	914	13.26±0.29c	4.32±0.03a	3.76±0.01b
	>400 d	255	798	11.24±0.32d	4.37±0.04a	3.82±0.02a
	<i>P</i>			<0.01	<0.01	<0.01
环境温度 Ambient temperature		912	5 276	0.107±0.032*	-0.031±0.004*	-0.006 8± 0.001 6*
环境温度平方 Square of ambient temperature		912	5 276	-0.016±0.002*	0.002±0.000*	-0.000 2±0.000 1
风速 Wind speed		912	5 276	-3.785±0.267*	-0.181±0.030*	-0.092 1± 0.013 3*

影响因素 Factor	水平 Level	脂蛋比 Fat-to-protein ratio	乳糖率% Lactose percentage	乳尿素氮含量/(mg/dL) Milk urea nitrogen	体细胞评分 Somatic cell score
胎次 Parity	1胎	1.16±0.00	5.12±0.01a	13.47±0.07a	3.09±0.03c
	2胎	1.17±0.01	5.00±0.01b	12.95±0.09b	3.42±0.04b
	3胎及以上	1.16±0.01	4.92±0.01c	12.97±0.12b	3.79±0.05a
	<i>P</i>	0.47	<0.01	<0.01	<0.01
采样季节 Collection season	干季	1.12±0.01b	5.02±0.01	13.26±0.13	3.39±0.06
	雨季	1.21±0.01a	5.01±0.01	13.00±0.10	3.47±0.05
	<i>P</i>	<0.01	0.76	0.21	0.41
产犊季节 Calving season	干季	1.17±0.00	5.01±0.01	13.09±0.07	3.47±0.03
	雨季	1.16±0.01	5.02±0.01	13.18±0.07	3.39±0.03
	<i>P</i>	0.07	0.18	0.39	0.08
牧场 Farm	1	1.14±0.01b	5.00±0.01b	14.79±0.09a	3.77±0.04a
	2	1.12±0.01c	4.96±0.01c	11.25±0.09c	3.81±0.04a
	3	1.22±0.01a	5.07±0.01a	13.35±0.09b	2.72±0.04b
	<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
泌乳阶段 Milking stage	5~100 d	1.22±0.01a	5.19±0.01a	14.06±0.11a	2.98±0.05c
	101~200 d	1.16±0.01b	5.08±0.01b	13.64±0.09b	3.17±0.04b
	201~300 d	1.14±0.01b	4.95±0.01c	12.92±0.10c	3.63±0.04a
	301~400 d	1.15±0.01b	4.91±0.01c	12.76±0.12c	3.73±0.06a
	>400 d	1.14±0.01b	4.94±0.01c	12.27±0.14d	3.64±0.06a
	<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
环境温度 Ambient temperature		-0.006 1±0.000 9*	0.000 3±0.001 2	0.110 4±0.013 6*	-0.011 6±0.006 2
环境温度平方 Square of ambient temperature		-0.000 4±0.000 1*	0.000 0±0.0001	-0.012 7±0.000 9*	-0.000 2±0.000 4
风速 Wind speed		-0.020 0±0.007 8*	-0.003 6± 0.010 2	1.447 4±0.114 2*	-0.135 2±0.051 7*

注：同一效应，同列数据肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)，肩标相同字母或无字母标注表示差异不显著($P>0.05$)。*，回归显著($P<0.05$)。
Note: For the same factor in the same column, values with different letter superscripts mean significant different ($P<0.05$); While with the same or no letter superscripts means no significant differences ($P>0.05$). *, significant regression to lactation performance($P<0.05$).

2.4 荷斯坦牛血统比例对泌乳性能校正表型的影响

各泌乳性能校正表型对荷斯坦牛血统比例的回归结果见表3和图3。dMY、FP和PP对荷斯坦血统比例回归显著($P<0.05$)，LP、MUN和SCS对荷斯坦血统比例回归不显著($P>0.05$)。随着荷斯坦血统比例的提升，奶牛dMY升高，FP和PP降低。

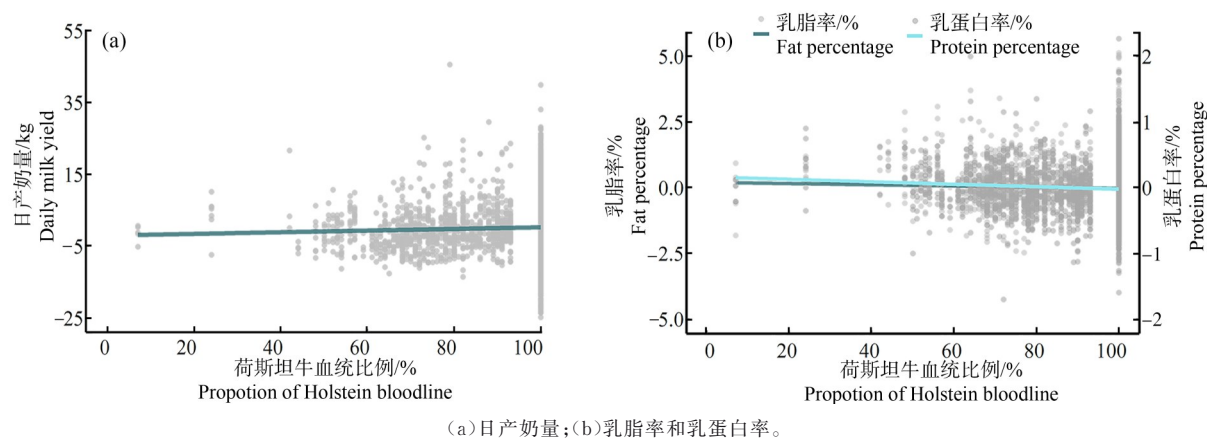
2.5 泌乳曲线拟合

西藏地区57头牛泌乳曲线拟合6个模型参数a、b、c、

高峰日、高峰日产奶量和持续力变异均较大，前3项变异系数甚至超过了100%。该群体平均泌乳高峰日在产犊后第(134.1±86.3)天，高峰日产奶量为(22.24±10.04) kg，305 d产奶量(4 091.31±2 484.11) kg，泌乳持续力19.00%±18.71%。头胎牛和经产牛测定日产奶量及拟合的泌乳曲线如图4所示。与头胎牛(高峰日:217.6 d,高峰日产奶量:11.27 kg)相比，经产牛日产奶量数据分布更集中，高峰日出现更早(103.6 d),高峰日产奶量更多(17.61 kg)。

表 3 各泌乳性能校正表型对荷斯坦牛血统比例的回归

指标 Indicator	截距 Intercept		荷斯坦血统比例 % Proportion of Holstein bloodline	
	Mean±SE	P	Mean±SE	P
日产奶量/kg Daily milk yield	−2.042 4±1.020 5	0.05	0.023 0±0.010 8	0.03
乳脂率 % Fat percentage	0.203 2±0.104 6	0.05	−0.002 2±0.001 1	0.04
乳蛋白率 % Protein percentage	0.023 0±0.046 6	< 0.01	−0.001 9±0.000 5	<0.01
乳糖率 % Lactose percentage	0.026 4±0.032 2	0.41	−0.000 3±0.000 3	0.36
乳尿素氮含量/(mg/dL) Milk urea nitrogen	−0.678 6±0.406 5	0.10	0.007 9±0.043 2	0.07
体细胞评分 Somatic cell score	−0.321 1±0.175 8	0.07	0.003 4±0.001 9	0.07



(a) 日产奶量; (b) 乳脂率和乳蛋白率。
(a) Daily milk yield; (b) Fat percentage and protein percentage.

图 3 校正表型对荷斯坦血统比例的回归

Fig. 3 Regression of individual correction phenotypes on proportion of Holstein bloodline corrected phenotype for daily milk yield, fat percentage and protein percentage

代表个体测定日产奶量散点图及对应泌乳曲线如图 5 所示。由图可知,除个体 541LS1001335 外,其余 2 个体拟合泌乳曲线并不符合标准泌乳曲线。3 个代表个体不同测定日之间日产奶量差异均较大。

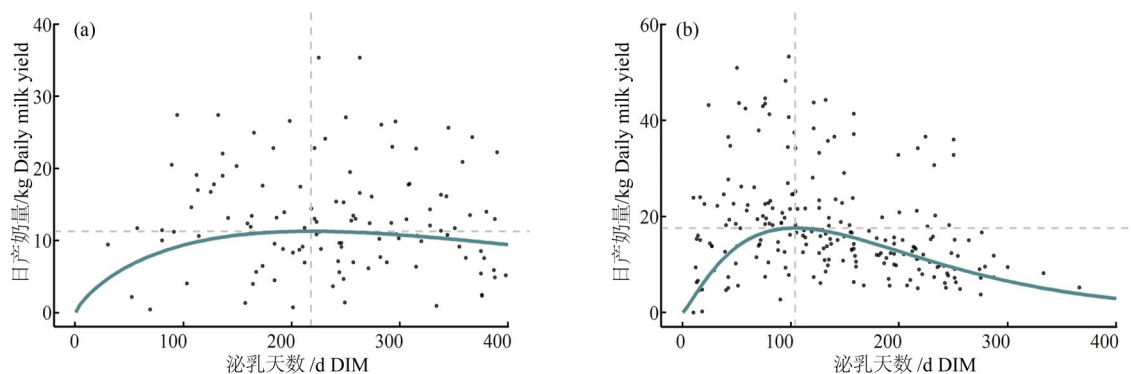
3 讨 论

3.1 西藏地区奶牛泌乳性能特征

本研究发现,西藏地区荷斯坦牛泌乳性能整体较

低,主要体现在日产奶量低(15.29 ± 9.47) kg 和高体细胞评分(3.22 ± 1.59),且日产奶量与体细胞评分显著负相关(-0.45),但乳脂率(4.29 ± 0.95)%、乳蛋白率(3.66 ± 0.44)%和乳糖率(5.06 ± 0.31)%相对较高。日产奶量最大值 77.13 kg,表明有些荷斯坦牛仍能表现出较好的泌乳性能,但是整体水平较低。

脂蛋白能够反映奶牛个体的能量利用水平,荷斯坦牛脂蛋白的正常范围为 1.12~1.50^[5],脂蛋白较小



(a) 20 头头胎牛日产奶量及泌乳曲线; (b) 37 头经产牛日产奶量及泌乳曲线。

(a) Daily milk production and lactation curves for 20 primiparous cows; (b) Daily milk production and lactation curves for 37 multiparous cows.

图4 头胎牛和经产牛群体测定日产奶量拟合的泌乳曲线

Fig. 4 Lactation curves fitted using test-day milk production from 3 representative cows

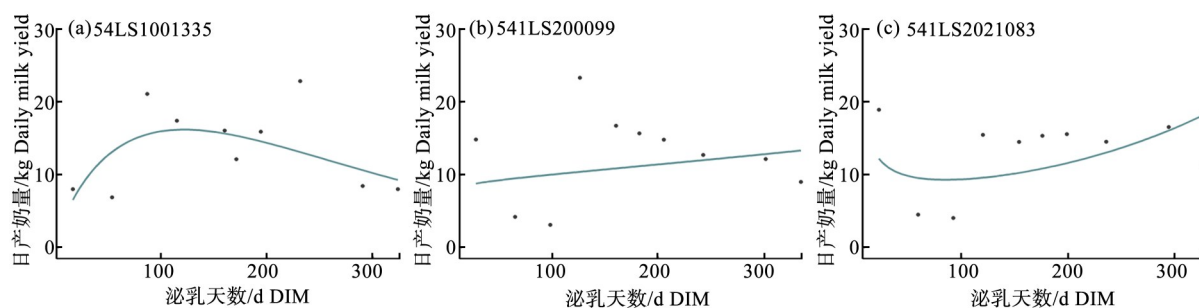


图5 3个代表个体测定日产奶量拟合的泌乳曲线

Fig. 5 Lactation curves fitted using test-day milk production from 3 representative cows

表明个体可能存在瘤胃酸中毒,而脂蛋白比大于1.5则说明个体可能存在酮病^[5,12-13]。本研究群体脂蛋白比范围为0.24~3.33,群体均值为 1.17 ± 0.23 。表明试验牛大多数牛脂蛋白比相对正常,少数牛存在过高或者过低的情况,需要进一步关注这些特殊个体。乳尿素氮是直接反应奶牛氮利用效率的指标^[14],其主要来源是瘤胃降解蛋白(RDP)经消化后中过量的氨,其次还会通过体内氨基酸分解代谢经血液循环到牛奶中^[5]。本研究中西藏地区奶牛乳尿素氮含量为 (13.19 ± 3.67) mg/dL,满足行业标准中的群体牛范围11~18 mg/dL^[5]。

本试验牛群日产奶量均值低于宁夏(35.03~37.96 kg)^[7]、陕西(高产:28.23 kg和中产:20.20 kg)^[15]和天津(26.99~34.77 kg)^[16]报道,略高于陕西低产群体(9.77 kg)^[15],与西藏黄牛和荷斯坦牛杂交群体(14.96~17.99 kg)^[3]相近。本试验群体的乳脂率、乳蛋白率高于宁夏(乳脂率:3.93%~4.14%,乳蛋白率:3.36%~3.54%)^[7]和天津(平均乳脂率:3.57%~4.28%,秋、冬季平均乳蛋白率:

3.31%~3.66%)^[16],低于陕西(乳脂率:4.29%~4.78%,中产和低产牛乳蛋白率:3.69%~3.80%)^[15]报道;乳蛋白率略高于陕西高产群体(3.50%)^[15],与天津春季(3.68%)和夏季(3.66%)1胎牛相近^[16],高于西藏黄牛和荷斯坦牛杂交群体(乳脂率:3.06%~4.17%,乳蛋白率:3.12%)^[3,17]。本试验群体日产奶量和乳糖率也明显低于澳大利亚荷斯坦奶牛群体(31.2~36.0 kg, 5.17%~5.29%)而乳脂率和乳蛋白率则高于澳大利亚(乳脂率:2.29%~3.76%,乳蛋白率:3.07%~3.16%)^[18]。西藏地区奶牛泌乳性能呈现如此的情形有多方原因。一方面,西藏地区长期有食用酥油的饮食习惯,西藏地区传统饮食“糌粑”也常佐以酥油茶或奶茶^[19]。因此,出于饮食习惯,当地倾向于选择乳中干物质高,尤其是乳脂高的奶牛。其次,由于西藏地区地处高原,试验群体来源牧场海拔3700 m,含氧量比海平面少35%~40%,奶牛进入高原低氧环境后机体代偿消耗增加,但干物质采食量有所降低^[20],导致奶牛以牺牲产奶为代价,适应

当地生存。有研究表明常见高产品种奶牛引入高原后,也表现出了一定程度的产量降低^[21]。

3.2 西藏地区奶牛泌乳性能影响因素

影响因素分析发现胎次对西藏地区奶牛大多数泌乳性能影响显著,2胎牛相对其他胎次泌乳性能表现较好。不同胎次牛泌乳性能差异与宁夏地区^[7]、英国^[22]奶牛群体报道一致,但也有研究报道奶牛日产奶量、乳脂率和乳蛋白率随胎次增加逐渐提高^[23]。泌乳阶段对西藏地区奶牛泌乳性能影响均显著,且随着泌乳天数的增加呈现一定的趋势。本研究中,随着泌乳天数增加,日产奶量、乳糖率和乳尿素氮含量逐渐降低,乳脂率、乳蛋白率和体细胞评分升高。泌乳天数是奶牛开始产奶的时间,随着泌乳天数的增加,奶牛日产奶量呈现先上升后下降的趋势,峰值出现在DIM为50~150 d内^[22,24],乳脂率、乳蛋白率等奶牛乳成分的变化与产奶量的变化呈现相反的趋势^[25]。乳糖作为牛奶中主要的碳水化合物,反映了奶牛的能量利用效率^[26]。乳糖来源于血糖,Lemosquet等^[27]认为奶牛的肝后血糖供应可能是间接调节产奶量的关键因素。因此,乳糖率与日产奶量随泌乳天数的变化具有一致性^[26]。此外,北京荷斯坦牛体细胞数和体细胞评分^[28]与乳尿素氮含量^[29]随泌乳天数的变化与本研究基本一致。牧场对日产奶量影响显著,牧场1和牧场2为西藏历史较为悠久的规模化牧场,牧场3建场时间相对较短,牧场硬件设施和管理水平差异是一部分因素。此外,从20世纪70年代后期开始,藏区开始使用荷斯坦牛冻精对当地黄牛进行杂交改革工作^[3]。牧场1、2中荷斯坦牛主要来自荷斯坦牛与本地黄牛的杂交个体,荷斯坦牛血统比例不等,低至7%,高至100%。而牧场3中荷斯坦牛全部为澳大利亚进口纯种荷斯坦牛,荷斯坦牛血统比例均为100%。且本研究发现,日产奶量、乳脂率和乳蛋白率对荷斯坦牛血统比例回归显著,因此荷斯坦牛血统比例是影响西藏地区泌乳牛的重要影响因素。根据本试验所得血统比例回归系数,荷斯坦血统比例每提升25%,可以提高牛群0.58 kg/头日产奶量,降低0.06%的乳脂率、0.05%的乳蛋白率。

此外,西藏地区气候类型复杂,气温低,积温少,昼夜温差大。试验期间最低温 -9.33°C ,最高 19.69°C ,风速最低1.9 m/s,最高6.14 m/s。气温和风速对西藏地区奶牛泌乳性能影响显著,除乳糖

率外,环境温度与各泌乳性能呈二次相关。根据回归系数,当环境温度为 3.47°C 时,日产奶量最高;温度低于 3.47°C 时,随着温度升高,产奶量升高;温度高于 3.47°C 时,随着温度升高,产奶量降低。在试验环境温度范围内,乳尿素氮随着温度升高而升高;除此之外,西藏地区奶牛其余各泌乳性能随着环境温度升高而降低。风速对各泌乳性能均为负相关,随着风速升高,各泌乳性能降低。尽管荷斯坦牛被认为是耐寒的奶牛品种,但是低温和大风环境会降低动物皮毛的御寒保温能力^[30]。此外,动物在低温下的生产表现还与饲料配方有关^[30-31]。本研究中3个牧场均为规模化牧场,采用自区外集中购买饲料原料制作TMR的经营策略,饲料基本满足牛群的营养需求,因此虽然温度和风速对奶牛影响显著,但即使在低温、大风环境下,牛群仍能够保持不错的泌乳表现。

THI是用于衡量奶牛热应激状态或热应激程度的重要环境指标^[32],广泛应用于奶牛热应激相关研究。本研究也尝试分析测定日THI对试验群体泌乳性能的影响,但并不显著。试验期内牧场日平均THI范围为24.38~64.44,日平均温度 $-9.33\sim 19.70^{\circ}\text{C}$,日平均湿度13.25%~89.33%。研究表明 $\text{THI}>68$ 时奶牛就会遭受一定程度的热应激^[33],而本试验期包括西藏最热的季节,但最高日均THI未达到68。因此,试验期内当地奶牛未遭受热应激,热应激不是影响西藏地区奶牛生存及泌乳性能的主要应激来源。但当地存在低温(-12.9°C)和大风(20.2 m/s)天气,冷应激可能是导致干季西藏奶牛泌乳性能的下降的原因之一。此外高原地区太阳辐射较大,可能会对奶牛泌乳性能产生一定影响,但本研究尚未收集到相关数据。

3.3 西藏地区奶牛泌乳曲线拟合

Wood模型是最广泛且具有代表性的泌乳曲线拟合模型^[11],但本研究中拟合效果并不理想。Wood模型强调了奶牛泌乳期内产奶量变化的基本特征,参数 a 反映了奶牛的泌乳潜力, b 表示泌乳曲线下下降阶段的速率, c 表示曲线达到高峰的速率^[34]。本群体 a 参数较小,而 b 参数较大,反映出试验群体泌乳潜力差、达到泌乳高峰后下降速率快的特点。但Wood模型中3个参数之间具有高度相关性($0.70\sim 0.90$)^[35],也不可避免地导致其对数据分布的高敏感性。此外,二级参数反映出西藏奶牛群体

泌乳高峰日出现晚、高峰日产奶量低,且持续力差,利用 Wood 模型估计的 305 d 产奶量也反映出高原奶牛的泌乳性能较低。

头胎牛和经产牛群体测定日产奶量拟合的泌乳曲线基本符合标准泌乳曲线,而且经产牛表现出了更稳定的泌乳曲线,高峰日表现也较好。奶牛的日产奶量受各种事件及环境因素的影响较大,图 4 中 3 个代表个体的测定日产奶量趋势并非完全不符合泌乳曲线,但由于西藏群体产奶量较低,且同一个体不同测定日记录之间产奶量差异过大,541LS2000099 个体第二次记录(3 kg)与第三次记录(23 kg)相差 20 kg,且西藏奶牛泌乳期长,大多数奶牛泌乳期远超过 305 d,导致模型拟合效果不佳。查阅牧场事件记录发现,个体 541LS1001335 在泌乳天数 200 d 前的 2 次日产奶量下降均对应到 2 次输精事件,推测可能是由于输精操作导致了产奶量的下降。而其余 2 个代表个体由于缺失事件记录,暂时无法确定产奶量大幅下降的原因。高原环境下,奶牛为了适应当地气候,不得不牺牲产奶量以维持生存^[21,36],平原地区常规的饲养管理操作,很有可能会造成高原奶牛应激,导致产奶量下降,造成巨大的奶损失。后续可以在增加数据量和减小测定间隔的基础上,利用更合适的模型对西藏地区奶牛拟合泌乳曲线,准确估计 305 d 产奶量,衡量奶损失。

4 结 论

本研究详细分析了西藏地区规模化饲养奶牛的生产性能,发现其日产奶量较低,但乳脂率、乳蛋白率和乳糖率相对较高。不同胎次、牧场和泌乳阶段奶牛的泌乳性能存在差异,环境温度、风速和荷斯坦牛血统比例对部分泌乳性能有显著影响。西藏地区奶牛泌乳曲线呈现高峰日出现晚、高峰日产奶量低且持续力差的特点。建议西藏规模化奶牛场坚持持续参测,并逐步扩大测定规模,以促进西藏自治区奶业经济的发展。

参考文献 References

- [1] 黄上真. 西藏地区奶牛血液指标规律分析及高原适应性基因挖掘[D]. 北京: 中国农业大学, 2023
Hang S Z. Analysis of blood indicators features of dairy cattle in Tibet and high-altitude adaptation genes mining [D]. Beijing: China

- Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [2] Lyu Y, Wang F W, Cheng H J, Han J, Dang R H, Xia X T, Wang H, Zhong J C, Lenstra J A., Zhang H C, Han J L, Machugh D E, Medugorac I, Upadhyay M, Leonard A S, Ding H, Yang X R, Wang M S, Suolangquji, Basangzhuzha, Pubuquzhen, Silangwangmu, Nimacangjue, Dawa, Ma W D, Liu J Y, Zhang J C, Huang B Z, Qi X S, Li F Q, Huang Y Z, Ma Y, Wang Y, Gao Y P, Lyu W F, Lei C Z, Chen N B. Recent selection and introgression facilitated high-altitude adaptation in cattle [J]. *Science Bulletin*, 2024, 69(21): 3415-3424
- [3] 孔小艳, 李昕鹏, 张晓燕, 唐琳, 旦增洛桑, 赵丽, 次仁罗布, 白玛坚才, 扎西罗布, 索朗曲吉. 荷斯坦牛冻精改良西藏黄牛的泌乳性能分析[J]. 中国牛业科学, 2022, 48(5): 26-29, 38
Kong X Y, Li X P, Zhang X Y, Tang L, Danzengluosang, Zhao L, Cirenluobu, Baimajiancai, Zhaxiluobu, Suolangquji. Analysis of lactation performance of Tibetan yellow cattle improved by Holstein frozen semen[J]. *China Cattle Science*, 2022, 48(5): 26-29, 38 (in Chinese)
- [4] 农业农村部种业管理司全国畜牧总站. 中国畜禽种业发展报告 2023[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2023
The Ministry of Agriculture and Rural Affairs Department of Seed Industry, National Animal Husbandry Services. *China Livestock and Poultry Breeding Industry Development Report 2023* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2023 (in Chinese)
- [5] 刘丑生. 奶牛生产性能测定及应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016
Liu C S. *Determination and Application of Dairy Herd Improvement* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016 (in Chinese)
- [6] 许华钊. 广东地区规模化奶牛场 DHI 报告分析[D]. 广州: 华南农业大学, 2023
Xu H Z. Analysis of DHI report on large dairy farm in Guangdong[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2023 (in Chinese)
- [7] 杨海峰, 刘永军, 王德志, 郑文凯. 不同泌乳季节、胎次和泌乳阶段对奶牛产奶性能的影响[J]. 中国奶牛, 2024, 2024(1): 19-25
Yang H F, Liu Y J, Wang D Z, Zheng W K. Effects of different lactation season, parity and lactation stage on milk performance of dairy cows[J]. *China Dairy Cattle*, 2024, 2024(1): 19-25 (in Chinese)
- [8] Shook G E, Schutz M M. Selection on somatic cell score to improve resistance to mastitis in the United States [J]. *Journal of Dairy Science*, 1994, 77(2): 648-658
- [9] Mader T L, Davis M S., Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle[J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(3): 712-719
- [10] Wood P D P. Algebraic model of the lactation curve in cattle[J]. *Nature*, 1967, 216: 164-165
- [11] 王澳, 竹磊, 张海亮, 师睿, 刘登科, 马亚宾, 倪俊卿, 郭刚, 蒋桂娥, 王雅春. 我国北方地区娟珊牛泌乳曲线分析及其与荷斯坦牛的比较[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(8): 149-161
Wang A, Zhu L, Zhang H L, Shi R, Liu D K, Ma Y B, Ni J Q, Guo G, Jiang G E, Wang Y C. Analysis of lactation curve in Jersey cattle in Northern China and its comparison with Holstein cattle[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(8): 149-161 (in Chinese)
- [12] Cabezas-Garcia E H, Gordon A W, Mulligan F J, Ferris C P. Revisiting the relationships between fat-to-protein ratio in milk and energy balance

- in dairy cows of different parities, and at different stages of lactation[J]. *Animals*, 2021, 11(11): 3256
- [13] Mäntysaari P, Mäntysaari E A, Kokkonen T, Mehtiö T, Kajava S, Grelet C, Lidauer P, Lidauer M H. Body and milk traits as indicators of dairy cow energy status in early lactation[J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(9): 7904-7916
- [14] Jahnel R E, Blunk I, Wittenburg D, Reinsch N. Relationship between milk urea content and important milk traits in Holstein cattle [J]. *Animal*, 2023, 17(5): 100767
- [15] 张帆, 张俊, 杨婷, 王弘浩, 姚军虎, 曹阳春. 陕西地区某奶牛场 TMR 诊断和日常管理分析[J]. 家畜生态学报, 2024, 45(2): 19-27
- Zhang F, Zhang J, Yang T, Wang H H, Yao J H, Cao Y C. TMR diagnosis and daily management analysis of a dairy farm in Shaanxi[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2024, 45(2): 19-27 (in Chinese)
- [16] 陈丽丽, 赵康, 夏敏, 芦娜, 马毅. 不同出生季节对天津地区荷斯坦牛泌乳性能的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2024, 55(5): 1970-1977
- Chen L L, Zhao K, Xia M, Lu N, Ma Y. Effect of birth season on Holstein lactation performance in Tianjin area [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2024, 55(5): 1970-1977 (in Chinese)
- [17] 巴桑珠扎, 旦增洛桑, 赵丽, 次仁罗布, 白玛坚才, 扎西罗布, 格桑卓嘎, 索朗曲吉. 荷斯坦牛冻精改良西藏黄牛的效果分析[J]. 中国畜牧杂志, 2023, 59(1): 149-153
- Basangzhuzha, Danzengluosang, Zhao L, Cirenluobu, Baimajiancai, Zhaxiluobu, Gesangzhuoga, Suolangquji. Effect of frozen semen of Holstein cattle on improving Tibetan yellow cattle[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2023, 59(1): 149-153 (in Chinese)
- [18] Moate P J, Jacobs J L, Hannah M C, Morris G L, Beauchemin K A, Alvarez Hess P S, Eckard R J, Liu Z, Rochfort S, Wales W J, Williams S R O. Adaptation responses in milk fat yield and methane emissions of dairy cows when wheat was included in their diet for 16 weeks [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(8): 7117-7132
- [19] 松芳. 青稞糌粑及其社会文化意义研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2020
- Song F. Research on highland barley-made Zanba and its cultural meanings[D]. Chengdu: Southwest Minzu University, 2020 (in Chinese)
- [20] 臧云成. 奶牛各阶段饲料配方及饲养管理规程[J]. 现代畜牧科技, 2005, 2005(4): 11
- Zang Y C. Feed formulation and feeding management protocols for dairy cows at various stages of life [J]. *Modern Animal Husbandry Science & Technology*, 2005, 2005(4): 11 (in Chinese)
- [21] 李斌. 利用遗传资源和先进的育种技术加快中国高原奶牛群体遗传改良[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2018, 34(2): 78
- Li B. Utilizing genetic resources and advanced breeding techniques to accelerate genetic improvement of highland dairy cattle populations in China[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Digest*, 2018, 34(2): 78 (in Chinese)
- [22] Marumo J L, Lusseau D, Speakman J R, Mackie M, Hambly C. Influence of environmental factors and parity on milk yield dynamics in barn-housed dairy cattle [J]. *Journal of Dairy Science*, 2022, 105(2): 1225-1241
- [23] Boujenane I. Non-genetic effects on daily milk yield and components of Holstein cows in Morocco [J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, 53(2): 224
- [24] Barua K, Akter N, Alam M, Bari M S, Sultan M N, Islam S, Hossain M E. Effects of genotype, parity, season and their interactions on milk yield in crossbred dairy cattle [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2022, 106(6): 1216-1227
- [25] Quist M A, LeBlanc S J, Hand K J, Lazenby D, Miglior F, Kelton D F. Milking-to-milking variability for milk yield, fat and protein percentage, and somatic cell count [J]. *Journal of Dairy Science*, 2008, 91(9): 3412-3423
- [26] Costa A, Lopez-Villalobos N, Sneddon N W, Shalloo L, Franzoi M, De Marchi M, Penasa M. Invited review: Milk lactose-Current status and future challenges in dairy cattle [J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(7): 5883-5898
- [27] Lemosquet S, Delamaire E, Lapierre H, Blum J W, Peyraud J L. Effects of glucose, propionic acid, and nonessential amino acids on glucose metabolism and milk yield in Holstein dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92(7): 3244-3257
- [28] 竹磊. 荷斯坦牛泌乳早期体细胞数遗传分析 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021
- Zhu L. Genetic analysis of somatic cell count in early lactation of Holstein cattle [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021 (in Chinese)
- [29] Ma L G, Luo H P, Brito L F, Chang Y, Chen Z W, Lou W Q, Zhang F, Wang L, Guo G, Wang Y C. Estimation of genetic parameters and single-step genome-wide association studies for milk urea nitrogen in Holstein cattle [J]. *Journal of Dairy Science*, 2023, 106(1): 352-363
- [30] O' Driscoll K, Boyle L, Hanlon A, Buckley F, French P. The effect of dry cow winter management system on feed intake, performance and estimated energy demand [J]. *Animal*, 2010, 4(2): 272-281
- [31] Ames D R, Insley L W. Wind-Chill effect for cattle and sheep [J]. *Journal of Animal Science*, 1975, 40(1): 161-165
- [32] Liu J J, Li L Q, Chen X L, Lu Y Q, Wang D Effects of heat stress on body temperature, milk production, and reproduction in dairy cows: A novel idea for monitoring and evaluation of heat stress-A review [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2019, 32(9): 1332-1339
- [33] Zimbelman, Rosemarie B and Robert J C. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity [C]. In: *Tri-State Dairy Nutrition Conference*. IN: TSDNC Press, 2011: 111-121
- [34] 毛永江, 张亚琴, 许兆君, 刘嫻, 张美荣, 常玲玲, 杨章平. 中国荷斯坦牛泌乳曲线拟合研究[J]. 畜牧兽医学报, 2011, 42(9): 1239-1248
- Mao Y J, Zhang Y Q, Xu Z J, Liu S, Zhang M R, Chang L L, Yang Z P. Fitting of lactation curves for Chinese Holstein [J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2011, 42(9): 1239-1248 (in Chinese)
- [35] Macciotta N P P, Vicario D, Cappio-Borlino A Detection of different shapes of lactation curve for milk yield in dairy cattle by empirical mathematical models [J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(3): 1178-1191
- [36] Chen N B, Zhang Z W, Hou J W, Chen J L, Gao X, Tang L, Wangdue S, Zhang X M, Sinding M H S, Liu X X, Han J L, Lü H L, Lei C Z, Marshall F, Liu X Y. Evidence for early domestic yak, taurine cattle, and their hybrids on the Tibetan Plateau [J]. *Science Advances*, 2023, 9(50): ead16857

责任编辑: 秦梅



第一作者简介: 许静漪, 硕士生, 2023年9月起就读于中国农业大学动物科学技术学院动物遗传育种专业。曾获2023年北京市优秀毕业生、优秀本科毕业论文、三好学生及国家奖学金等荣誉, 在《畜牧兽医学报》《中国畜牧兽医》等中文核心期刊发表杂志11篇。



通讯作者简介: 徐青, 北京交通大学生命科学与生物工程研究院副教授, 硕士生导师, 曾先后两次赴美国弗吉尼亚大学从事博士后和访问学者研究工作。长期致力于分子遗传学和生物信息学领域的工作, 在动物环境应激与适应, 多组学分析, 分子免疫等研究中获得了原创性重要研究成果。共发表88篇学术论文, 论文他引68次, SCI论文H因子为16; 主持和参加国家自然科学基金项目及国家重大专项和其他科研项目多项。



通讯作者简介: 王雅春, 中国农业大学教授, 博士生导师。专长于牛的育种规划及核心群建立、功能性状遗传基础解析及育种新性状的研发与应用。任国家奶牛产业技术体系遗传改良研究室主任、育种规划及核心群建立岗位的岗位科学家, 全国奶牛遗传改良计划专家委员会主任, 中国奶业协会育种专业委员会常务副主任, 国家畜禽遗传资源委员会牛专业委员会副组长。曾主持十一五科技支撑项目等多项国家级、省部级奶牛遗传资源创新及育种技术研发课题。以通讯作者发表期刊论文200篇左右; 参与制定育种技术相关的国家标准4项; 获得国家科技进步奖二等奖1项(中国西门塔尔牛新品种培育)、省部级科技进步奖4项。