

葛岩松, 王子尧, 沈宜钊, 等. 不同胎次、泌乳阶段及干物质采食量对山东地区荷斯坦奶牛泌乳性能的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2026, 58 (10): 25–35.

Ge Y S, Wang Z Y, Shen Y Z, et al. Effects of different parities, lactation stages and dry matter intake levels on lactation performance of Holstein dairy cows in Shandong [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2026, 58 (10): 25–35.

不同胎次、泌乳阶段及干物质采食量对山东地区荷斯坦奶牛泌乳性能的影响

葛岩松, 王子尧, 沈宜钊, 林雪彦*, 王中华*

(山东农业大学动物科技学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 旨在分析山东地区荷斯坦奶牛在不同胎次、泌乳阶段及干物质采食量条件下其泌乳性能的差异特征与变化规律, 为区域化饲养管理和生产调控提供参考。选取山东某规模牧场荷斯坦奶牛为研究对象, 收集生产性能测定数据共 53 910 条, 根据胎次 (头胎、2 胎)、泌乳阶段 (0~99、100~199、200~299、 ≥ 300 d) 和干物质采食量 (0~23.44、23.45~25.52、25.53~27.28、 ≥ 27.29 kg/d) 进行分组, 采用 Duncan's 多重比较和 Pearson 相关性分析等方法进行比较研究。结果: 荷斯坦奶牛泌乳性能在不同胎次、泌乳阶段和干物质采食量条件下均存在显著差异 ($P < 0.05$), 2 胎奶牛产奶量显著高于头胎奶牛 ($P < 0.01$), 且产奶量与乳脂率呈显著负相关 ($P < 0.05$); 产奶量随泌乳天数的增加呈现出先升高后降低的变化趋势, 乳脂率和乳蛋白率呈现出先降低后升高的变化趋势, 在泌乳阶段 0~99 d 时产奶量最高且体细胞数最低; 在合理范围内, 产奶量随干物质采食量的增加而升高, 且在不同干物质采食量下, 产奶量与乳脂率呈显著负相关 ($P < 0.01$), 在 25.52~27.28 kg/d 干物质采食量下, 泌乳天数与干物质采食量呈显著负相关 ($P < 0.01$), 与其余 3 个干物质采食量呈显著正相关 ($P < 0.01$)。综上, 山东地区荷斯坦奶牛泌乳性能受胎次、泌乳阶段及干物质采食量影响显著, 生产中应根据胎次、泌乳阶段及采食量实施精细化饲养管理, 以优化泌乳性能, 提高养殖效益。

关键词: 荷斯坦奶牛; 泌乳阶段; 胎次; 泌乳性能; 干物质采食量; 山东

中图分类号: S823.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2026)10-0025-11

Effects of different parities, lactation stages and dry matter intake levels on lactation performance of Holstein dairy cows in Shandong

GE Yansong, WANG Ziyao, SHEN Yizhao, LIN Xueyan*, WANG Zhonghua*

(College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract: This experiment was conducted to analyze the differential characteristics and variation patterns of lactation performance in Holstein cows across different parities, lactation stages, and dry matter intake levels in Shandong Province, in the hope of providing a reference for regional feeding management and production regulation. Holstein cows from a large-scale farm in Shandong Province were selected as the research subjects, and a total of 53 910 production performance records were collected. The cows were grouped based on parity (1st-Parity, 2nd-Parity), lactation stage (0–99, 100–199, 200–299, ≥ 300 d), and dry matter intake level (0–23.44, 23.45–25.52, 25.53–27.28, ≥ 27.29 kg/d). Comparative analyses were conducted using the Duncan's multiple range test and Pearson correlation analysis. The results showed as follows: Significant differences were observed in lactation performance of Holstein cows in Shandong Province across different parities, lactation stages, and dry matter intake levels ($P < 0.05$). The milk yield of the second-parity cows was significantly higher than that of the first-parity cows ($P < 0.01$). Milk yield was negatively correlated with milk fat percentage ($P < 0.05$). Milk yield followed a trend of initial increase followed by a decrease as lactation progressed. Milk fat and protein percentages showed an opposite pattern, decreasing first and then increasing. Among the lactation stages, the 0–99 d period was characterized by the highest milk yield and the lowest somatic cell count. Within a reasonable range, milk yield exhibited a trend of increasing with the rise in dry matter intake. At different dry matter intake levels, milk yield showed an extremely significant negative correlation with milk fat percentage ($P < 0.01$). At the dry matter intake level of

收稿日期: 2026-04-02; 修回日期: 2026-07-20

基金项目: 国家重点研发项目 (2024YFD1300201, 2024YFD1300203)

第一作者: 葛岩松, 男, 硕士研究生

* 通信作者: 林雪彦, 教授, 博士生导师, 主要从事牛生产与饲养管理、粗饲料加工利用以及反刍动物消化道微生物代谢机制与应用方面的研究, E-mail: xueyanlin2005@163.com; 王中华, 教授, 博士生导师, 主要从事奶畜营养生理方面的研究, E-mail: zhwang@sdau.edu.cn。

25.52–27.28 kg/d, lactation days were extremely significantly negatively correlated with dry matter intake ($P<0.01$), whereas an extremely significant positive correlation was observed between the two parameters at the other three dry matter intake levels ($P<0.01$). In summary, the lactation performance of Holstein cows in Shandong is significantly affected by parity, lactation stage and dry matter intake. The milk yield of second-parity cows is better than that of first-parity cows, with higher milk yield and lower somatic cell count in the early lactation stage. It is suggested that properly increasing dry matter intake would improve milk yield. In production, refined feeding management should be implemented accordingly to optimize lactation performance and to enhance breeding benefits.

Keywords: Holstein dairy cows; lactation stage; parity; lactation performance; dry matter intake level; Shandong Province

随着我国奶牛产业规模化与现代化水平的不断提高,提升奶牛泌乳性能已成为提高养殖效益的重要途径^[1]。在我国奶牛养殖产业中,荷斯坦奶牛是主要饲养品种之一,因此对其生产性能开展系统研究具有重要的应用价值^[2]。奶牛泌乳性能受胎次、泌乳阶段、干物质采食量及饲养管理与环境条件等多种因素综合影响^[3]。现有研究表明,荷斯坦奶牛的胎次与其泌乳性能具有显著的相关性^[4]。在不同泌乳阶段,奶牛的泌乳性能也会产生变化,这可能与采食量、能量利用效率、饲料消化率和机体代谢水平有关^[5]。干物质采食量(DMI)作为反映动物营养摄入水平的重要指标,在动物营养研究和生产实践中均具有重要意义,且与反刍动物泌乳性能密切相关^[6]。

奶牛生产性能测定(DHI)技术在近几年来已得到广泛应用,依托大数据支撑,可实现奶牛精细化管理,进而持续提升牧场生产效益。DHI中的各项核心指标的数据可综合反映奶牛的泌乳性能及健康状况^[7]。本研究基于山东某规模化牧场荷斯坦奶牛的生产性能测定数据和干物质采食量数据,对不同胎次、泌乳阶段及干物质采食量与泌乳性能进行相关性分析,探讨其变化特征,以期为山东地区不同胎次、泌乳阶段及干物质采食量的荷斯坦奶牛产奶量及乳品质的提升提供理论依据,为区域化饲养管理和生产调控提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

采用全混合饲料(TMR)饲喂,基础饲料组成及营养水平见表1。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 乳样采集与测定

选择山东某DHI参测奶牛场,品种为中国荷斯坦奶牛,采用舍饲集约化养殖模式,配套标准化机械化挤奶作业体系。每头牛每个泌乳月测定1次。采集乳样总量为50 mL,早、中、晚采样比例为4:3:3,将其混匀装入提前装有防腐剂的采样管中,并记录采样当天的日产奶量^[8]。

表1 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

项目		围产期	泌乳期	干奶期
原料/%	玉米青贮	20.55	28.15	22.41
	燕麦草	47.37	—	27.06
	羊草	—	—	23.04
	苜蓿	—	13.47	—
	玉米粉	5.85	11.47	—
	压片玉米	6.14	11.77	9.56
	麸皮	—	—	7.70
	豆粕	16.29	15.31	2.09
	玉米蛋白粉	—	1.68	—
	双低菜籽粕	—	2.88	2.81
	全棉籽	—	2.93	2.33
	酒糟	2.56	6.80	1.29
	过瘤胃蛋氨酸	0.13	—	—
	过瘤胃氯化胆碱	0.11	—	—
	棕榈油	—	1.21	—
	碳酸氢钠	—	1.35	0.11
	石粉	—	0.55	0.80
	磷酸氢钙	—	0.52	—
	氯化镁	—	0.39	—
	氯化钠	—	0.52	0.30
	预混料 ^①	1.00	1.00	0.50
营养水平 ^②	泌乳净能/(MJ·kg ⁻¹)	6.38	7.11	5.91
	粗蛋白/%	14.98	17.96	10.15
	粗脂肪/%	3.76	4.54	3.25
	中性洗涤纤维/%	46.00	35.88	57.48
	酸性洗涤纤维/%	27.54	21.90	30.92
	钙/%	0.59	1.03	0.52
	磷/%	0.40	0.42	0.44

注:①每千克预混料(干物质基础)提供以下营养成分:VA 620 000 IU,VD 240 000 IU,VE 3 350 IU,铁(以硫酸亚铁计)2 300 mg,铜(以硫酸铜计)650 mg,锌(以硫酸锌计)4 500 mg,锰(以硫酸锰计)1 600 mg,碘(以碘化钾计)150 mg,硒(以亚硒酸钠计)19 mg,钴(以硫酸钴计)30 mg;②泌乳净能根据NRC(2001)计算得出,其他营养水平为实测值(干物质基础)。

将奶样封装后,立即低温送往山东省奶牛生产性能测定中心进行检测。提取2024年1月至2025年1

月荷斯坦奶牛的 DHI 数据共 53 910 条，包括：胎次、泌乳天数、产奶量、乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和体细胞数共 7 项。

1.2.2 饲料样品采集与测定

正式试验期间，每周采集主要饲料原料的样品，待试验结束后将样品充分混合，65 ℃ 烘箱烘 48 h 后置于室温 24 h 充分回潮，制成风干样品后于-20 ℃ 冰箱保存待测。采集的饲料原料包括：玉米青贮、苜蓿、羊草、压片玉米、玉米粉和豆粕等。每周采集新鲜的 TMR 样品和剩料样品，制成风干样品放于-20 ℃ 冰箱保存，待试验结束后将所有 TMR 风干样品和剩料样品进行均匀混合，放于-20 ℃ 冰箱保存。每周记录 1 次群体平均采食量。记录采食量时，准确记录 TMR 的投料量和剩料量，结合新鲜 TMR 和剩料 TMR 的干物质含量计算日均干物质采食量^[9]。

1.2.3 常规营养成分测定

干物质含量测定参照 GB/T 6435—2014 《饲料中水分的测定》进行，粗蛋白质含量测定参照 GB/T 6432—2018 《饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法》进行，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的含量测定分别参照 GB/T 20806—2022 《饲料中中性洗涤纤维（NDF）的测定》和 NY/T 1459—2022 《饲料中酸性洗涤纤维的测定》进行，钙和磷的含量测定分别参照 GB/T 6436—2018 《饲料中钙的测定》和 GB/T 6437—2018 《饲料中总磷的测定 分光光度法》进行。

1.3 数据整理与质控

参考陈坤琳等^[10]的方法，在数据整理过程中剔除 DHI 记录中的缺失数据，并且各指标数据中“平均值±3 倍标准差”区间以外的异常数据也予以剔除。最终保留了该场成年荷斯坦奶牛共 47 449 条干物质采食量和 DHI 中 7 项指标的统计数据。

1.4 固定效应分组标准

参考余诗强等^[11]、张益宁等^[12]的方法，将胎次分为头胎和 2 胎奶牛，泌乳阶段分为 0~99、100~199、200~299 和 ≥300 d 共 4 个阶段，干物质采食量划分为 0~23.44、23.45~25.52、25.53~27.28 和 ≥27.29 kg/d 共 4 个水平。

1.5 数据统计和分析

使用 Excel 2019 和 SPSS 27.0 进行数据处理与分析。去除年份和季节等因素，进行单因素方差分析（One-way ANOVA）和方差齐性检验。利用 Pearson 双侧检验进行多个变量间的相关性分析；利用 LSD 和 Duncan’s 多重比较对组间差异进行分析。2 个变量之间的相关性使用 Pearson 相关系数法进行判断。数

据均以“平均数±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 数据整理与分组

47 449 条统计数据显示（表 2），该场奶牛的干物质采食量均处于正常范围内，主要产奶性能指标：平均产奶量、平均乳蛋白率、平均乳糖率、平均乳脂率和平均体细胞数也均处于 DHI 记录的正常范围内。具体胎次、泌乳阶段和干物质采食量分组情况见表 3。

表 2 全年奶牛生产性能测定和干物质采食量的描述性统计

生产性能	最小值	最大值	平均值	标准差
产奶量/(kg·d ⁻¹)	21.30	87.00	40.76	8.98
干物质采食量/(kg·d ⁻¹)	10.43	98.86	25.34	4.40
泌乳天数/d	11.00	428.00	149.24	97.93
乳脂率/%	3.27	4.61	3.77	0.40
乳蛋白率/%	2.73	3.83	3.28	0.32
乳糖率/%	4.44	5.49	5.00	0.26
体细胞数/(10 ⁴ ·mL ⁻¹)	13.10	31.70	21.16	1.85

表 3 荷斯坦奶牛胎次、泌乳阶段和干物质采食量分组情况

项目		样本数	占比/%
胎次	头胎	20 234	42.64
	2 胎	27 215	57.36
泌乳阶段/ d	0~99	17 281	36.42
	100~199	14 570	30.71
	200~299	12 399	26.13
	≥300	3 259	6.87
干物质采食量/ (kg·d ⁻¹)	0~23.44	11 893	25.06
	23.45~25.52	11 853	24.98
	25.53~27.28	11 846	24.97
	≥27.29	11 857	24.99

2.2 不同胎次荷斯坦奶牛泌乳性能和相关性分析

2.2.1 不同胎次荷斯坦奶牛泌乳性能比较分析

由表 4 可知，山东地区不同胎次荷斯坦奶牛产奶量和干物质采食量均存在极显著差异，2 胎奶牛产奶量和干物质采食量均极显著高于头胎奶牛（ $P<0.01$ ）。2 胎奶牛乳蛋白和乳糖率均极显著低于头胎奶牛（ $P<0.01$ ），乳脂率显著低于头胎奶牛（ $P<0.05$ ），体细胞数显著高于头胎奶牛（ $P<0.05$ ）。不同胎次间泌乳天数差异不显著（ $P>0.05$ ）。

表 4 胎次对荷斯坦奶牛泌乳性能、泌乳天数和干物质采食量的影响

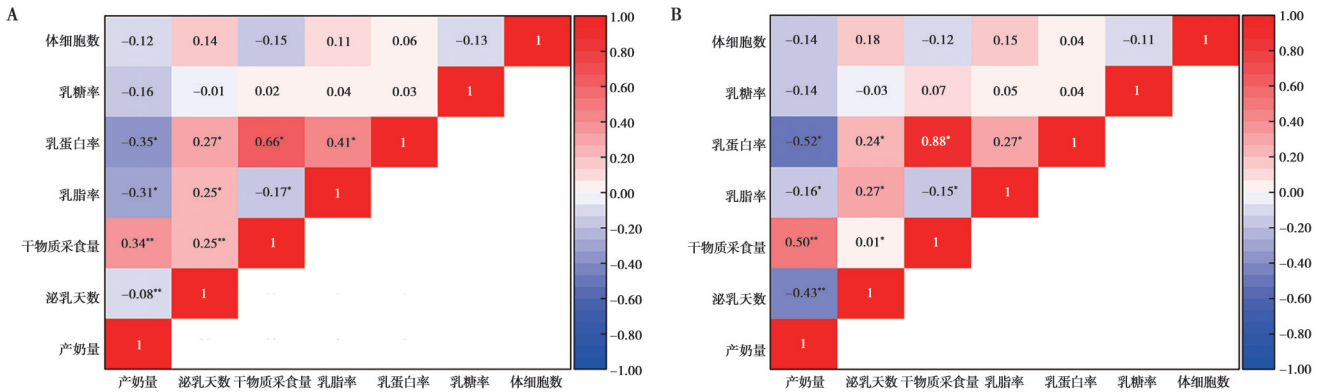
项目	头胎	2 胎	项目	头胎	2 胎
产奶量/ (kg · d ⁻¹)	38. 11±7. 42	42. 74±9. 51 * *	乳蛋白率/%	3. 34±0. 42	3. 32±0. 44 * *
泌乳天数/d	149. 73±98. 24	148. 88±97. 69	乳糖率/%	5. 01±0. 24	4. 89±0. 30 * *
干物质采食量/ (kg · d ⁻¹)	23. 89±4. 70	26. 42±3. 83 * *	体细胞数/ (10 ⁴ · mL ⁻¹)	14. 89±2. 98	27. 38±5. 48 *
乳脂率/%	3. 65±0. 01	3. 51±0. 02 *			

注：* 表示 $P<0.05$ ，* * 表示 $P<0.01$ 。

2. 2. 2 不同胎次荷斯坦奶牛泌乳性能相关性分析

由图 1 所知，不同胎次中，产奶量与泌乳天数呈极显著负相关 ($P<0.01$)，与干物质采食量呈极显著正相关 ($P<0.01$)，与乳脂率和乳蛋白率均呈显著负相关 ($P<0.05$)。泌乳天数与乳脂率和乳蛋白率，干

物质采食量与乳蛋白率，乳脂率与乳蛋白率均呈显著正相关 ($P<0.05$)。干物质采食量与乳脂率呈显著负相关 ($P<0.05$)。在头胎奶牛中，泌乳天数与干物质采食量呈极显著正相关 ($P<0.01$)，在 2 胎奶牛中，二者呈显著正相关 ($P<0.05$)。



注：* 表示相关性显著 ($P<0.05$)，* * 表示相关性极显著 ($P<0.01$)。下同。

图 1 头胎 (A) 和 2 胎 (B) 荷斯坦奶牛泌乳性能、泌乳天数和干物质采食量的相关性分析

2. 3 不同泌乳阶段荷斯坦奶牛泌乳性能和相关性分析

2. 3. 1 泌乳性能比较分析

由表 5 可知，不同泌乳阶段奶牛的产奶量、干物质采食量和泌乳天数均存在极显著差异 ($P<0.01$)，乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和体细胞数均存在显著差异 ($P<0.05$)。在不同泌乳阶段下，产奶量和乳糖率从高到低依次为 0 ~ 99、100 ~ 199、200 ~ 299 和

≥300 d；干物质采食量从高到低依次为 100 ~ 199、200 ~ 299、≥300 和 0 ~ 99 d；乳脂率从高到低依次为 ≥300、200 ~ 299、0 ~ 99 和 100 ~ 199 d，其中 0 ~ 99 d 与 100 ~ 199 d 间差异不显著 ($P>0.05$)；乳蛋白率和体细胞数从高到低依次为 ≥300、200 ~ 299、100 ~ 199 和 0 ~ 99 d，其中 0 ~ 99 d 与 100 ~ 199 d 间的体细胞数差异不显著 ($P>0.05$)。

表 5 泌乳阶段对荷斯坦奶牛泌乳性能和干物质采食量的影响

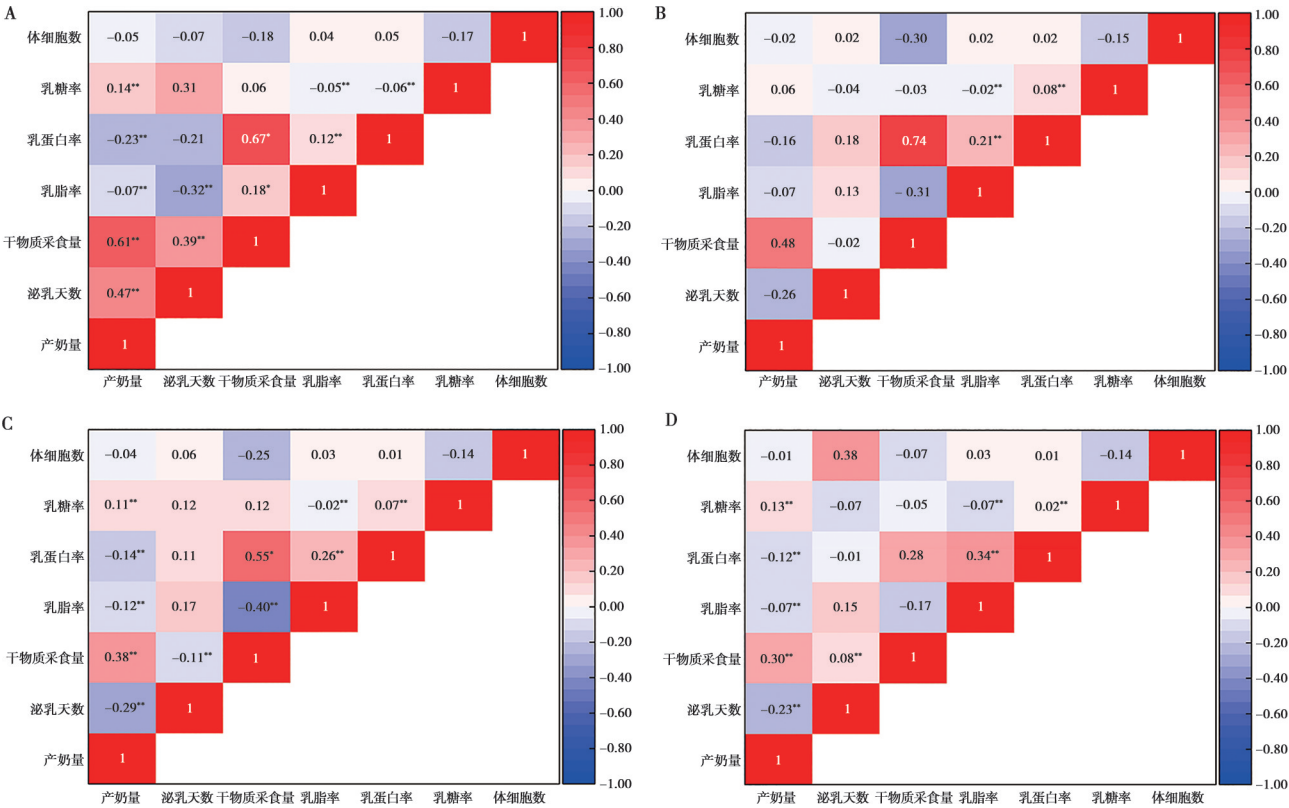
项目	泌乳阶段			
	0~99 d	100~199 d	200~299 d	≥300 d
产奶量/ (kg · d ⁻¹)	43. 20±11. 14 ^A	42. 61±6. 80 ^B	37. 29±5. 52 ^C	32. 78±6. 18 ^D
干物质采食量/ (kg · d ⁻¹)	24. 40±4. 75 ^D	26. 39±4. 20 ^A	25. 57±3. 31 ^B	24. 75±5. 68 ^C
泌乳天数/d	45. 22±29. 85 ^D	147. 46±28. 36 ^C	249. 57±27. 33 ^B	328. 96±25. 93 ^A
乳脂率/%	3. 87±0. 60 ^c	3. 77±0. 52 ^c	3. 96±0. 55 ^b	4. 00±0. 61 ^a
乳蛋白率/%	3. 14±0. 41 ^d	3. 23±0. 32 ^c	3. 35±0. 30 ^b	3. 47±0. 36 ^a
乳糖率/%	5. 19±0. 30 ^a	5. 16±0. 28 ^b	5. 11±0. 31 ^c	4. 81±0. 37 ^d
体细胞数/ (10 ⁴ · mL ⁻¹)	14. 85±1. 58 ^c	14. 99±1. 24 ^c	27. 89±1. 36 ^b	28. 45±1. 77 ^a

注：同行数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。下同。

2.3.2 泌乳性能相关性分析

由图 2 可知，不同泌乳阶段下，产奶量与干物质采食量和乳糖率均呈极显著正相关 ($P<0.01$)，与乳脂率和乳蛋白率均呈极显著负相关 ($P<0.01$)。乳脂率与乳蛋白率呈极显著正相关 ($P<0.01$)，与乳糖率呈极显著负相关 ($P<0.01$)。0~99 d 泌乳阶段下，乳脂率与泌乳天数呈极显著负相关 ($P<0.01$)，与干物质采食量呈显著正相关 ($P<0.05$)；乳蛋白率与乳糖率呈极显著负相关 ($P<0.01$)，其余 3 个泌乳阶段

均呈极显著正相关 ($P<0.01$)；产奶量与泌乳天数呈极显著正相关 ($P<0.01$)，其余 3 个泌乳阶段均呈极显著负相关 ($P<0.01$)。除 ≥ 300 d 泌乳阶段外，其余 3 个泌乳阶段下干物质采食量与乳蛋白率呈显著正相关 ($P<0.05$)。100~199 d 和 200~299 d 泌乳阶段下，干物质采食量与乳脂率呈显著负相关 ($P<0.05$)；泌乳天数与干物质采食量均呈极显著负相关 ($P<0.01$)，其余 2 个泌乳阶段均呈极显著正相关 ($P<0.01$)。



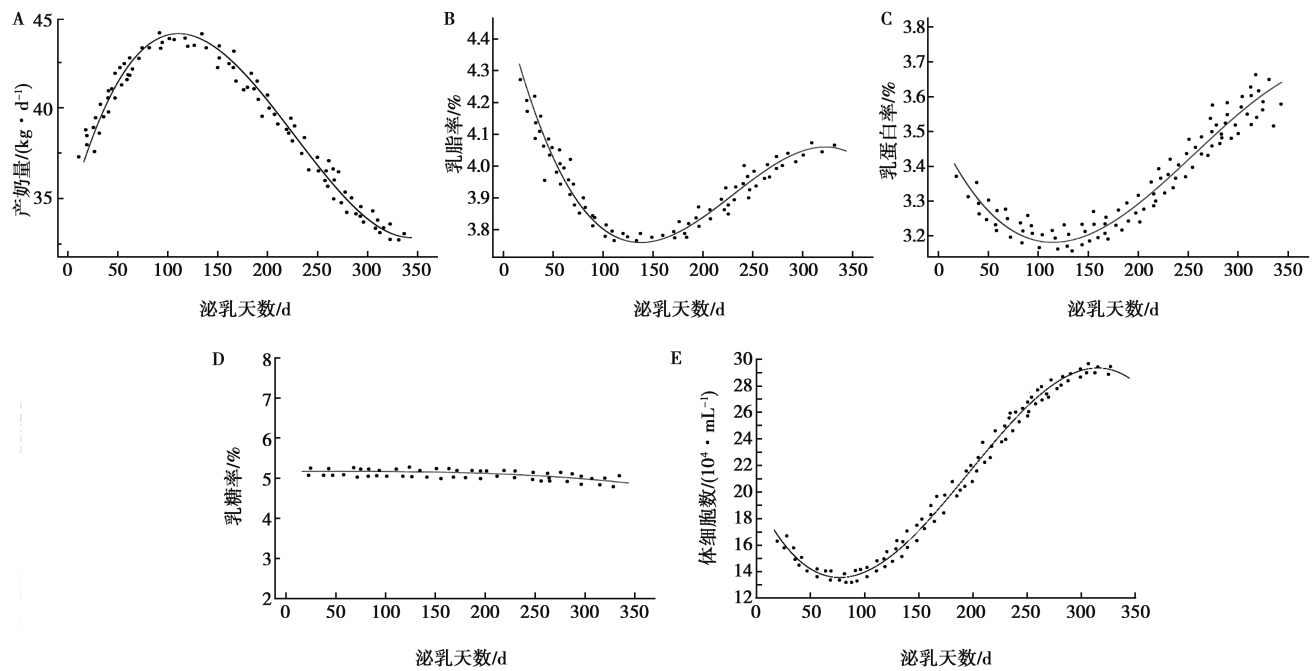
A~D. 泌乳阶段分别为 0~99、100~199、200~299 和 ≥ 300 d。

图 2 不同泌乳阶段荷斯坦奶牛泌乳性能、泌乳天数和干物质采食量的相关性分析

2.3.3 泌乳性能随泌乳天数的变化规律

由图 3 可知，采用多项式对荷斯坦奶牛产奶量、乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和体细胞数随泌乳天数变化规律进行拟合得到相应的变化曲线，产奶量在泌乳天数为 0~99 d 时呈增加趋势，100 d 左右时达到最高，然后逐渐降低；乳脂率和乳蛋白率在 0~99 d 时逐渐降低，125 d 左右时达到最低，然后逐渐平稳升高；乳糖率随泌乳天数的增加变化不明显；体细胞数随着泌乳天数的增加呈先下降后上升的变化规律。通过多项式，对奶牛的产奶量和乳品质指标随泌乳天数的变化趋势进行了曲线拟合，得出产奶量为： $y = -3 \times 10^{-9} x^4 + 3 \times 10^{-6} x^3 - 1.5 \times 10^{-3} x^2 + 2.037 \times 10^{-1} x + 36.438$ ，

其中 x 为泌乳天数， y 为产奶量， $R^2 = 0.939\ 67$ 。乳脂率为： $y = -6 \times 10^{-13} x^5 + 9 \times 10^{-10} x^4 - 6 \times 10^{-7} x^3 + 2 \times 10^{-4} x^2 - 1.93 \times 10^{-2} x + 3.777\ 2$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为乳脂率， $R^2 = 0.831\ 10$ 。乳蛋白率为： $y = 4 \times 10^{-15} x^6 - 7 \times 10^{-12} x^5 + 5 \times 10^{-9} x^4 - 2 \times 10^{-6} x^3 + 3 \times 10^{-4} x^2 - 1.94 \times 10^{-2} x + 3.156$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为乳蛋白率， $R^2 = 0.768\ 34$ 。乳糖率为： $y = -14 \times 10^{-5} x^6 - 11 \times 10^5 x^5 - 0.8 \times 10^{-2} x^4 - 0.6 \times 10^3 x^3 - 0.000\ 2 x^2 + 0.007\ 1 x + 4.885\ 5$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为乳糖率， $R^2 = 0.788\ 46$ 。体细胞数为： $y = -4 \times 10^{-12} x^5 + 6 \times 10^{-9} x^4 - 3 \times 10^{-6} x^3 + 8 \times 10^{-4} x^2 - 8.89 \times 10^{-2} x + 12.862$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为体细胞数， $R^2 = 0.976\ 46$ 。



A~E. 分别为产奶量、乳脂率、乳蛋白率、乳糖率、体细胞数与泌乳天数的拟合曲线。

图3 荷斯坦奶牛泌乳性能随泌乳天数的变化规律

2.4 不同干物质采食量对荷斯坦奶牛泌乳性能的影响

2.4.1 泌乳性能比较分析

由表6可知，不同干物质采食量下奶牛的产奶量、干物质采食量和泌乳天数均存在极显著差异 ($P<0.01$)，乳脂率和乳蛋白率均存在显著差异 ($P<0.05$)。在不同干物质采食量下，产奶量从高到低依次为 ≥ 27.29 、25.53~27.28、23.45~25.52和0~23.44 kg/d。乳脂率从高到低依次为0~23.44、23.45~25.52、25.53~27.28和 ≥ 27.29 kg/d，其中

0~23.44 kg/d干物质采食量组的乳脂率显著高于25.53~27.28和 ≥ 27.29 kg/d组 ($P<0.05$)。泌乳天数从高到低依次为23.45~25.52、25.53~27.28、 ≥ 27.29 和0~23.44 kg/d，其中23.45~25.52 kg/d干物质采食量组与25.53~27.28 kg/d组间差异不显著 ($P>0.05$)。乳蛋白率从高到低依次为25.53~27.28、 ≥ 27.29 、23.45~25.52和0~23.44 kg/d，其中25.53~27.28 kg/d干物质采食量组显著高于0~23.44 kg/d组 ($P<0.05$)。

表6 干物质采食量对荷斯坦奶牛泌乳性能和泌乳天数的影响

项目	干物质采食量/ (kg · d ⁻¹)			
	0~23.44	23.45~25.52	25.53~27.28	≥ 27.29
产奶量/ (kg · d ⁻¹)	33.90±8.01 ^D	39.80±6.77 ^C	42.66±7.55 ^B	46.73±8.25 ^A
泌乳天数/d	117.58±110.50 ^{cC}	171.12±98.50 ^{aA}	170.63±93.32 ^{aA}	137.77±75.24 ^{bB}
干物质采食量/ (kg · d ⁻¹)	20.27±3.02 ^D	24.54±0.59 ^C	26.62±0.66 ^B	29.93±4.31 ^A
乳脂率/%	3.85±0.45 ^a	3.78±0.38 ^{ab}	3.70±0.42 ^b	3.65±0.40 ^b
乳蛋白率/%	3.15±0.25 ^b	3.22±0.22 ^{ab}	3.28±0.24 ^a	3.25±0.26 ^{ab}
乳糖率/%	4.80±0.20	5.02±0.18	5.03±0.19	5.01±0.21
体细胞数/ (10 ⁴ · mL ⁻¹)	28.50±3.20	24.20±2.50	15.80±1.80	14.60±1.50

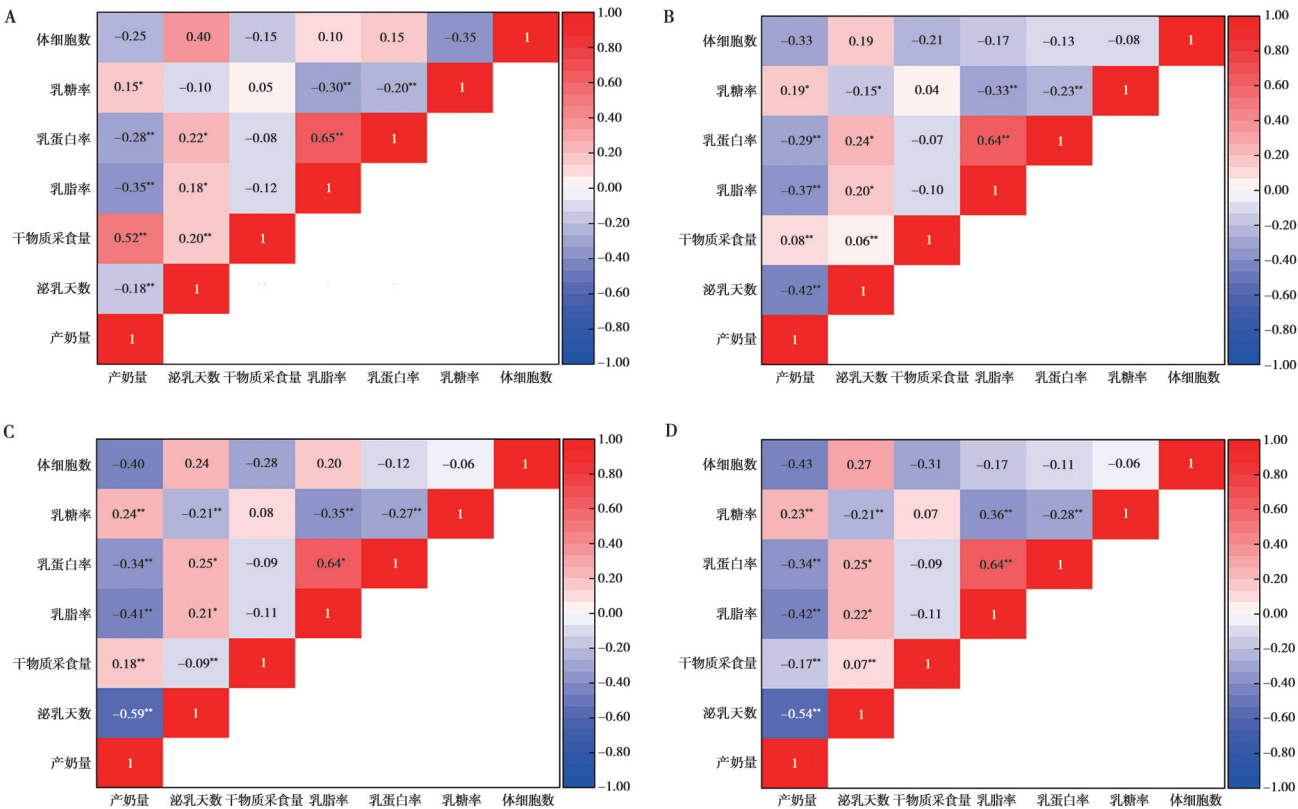
2.4.2 泌乳性能相关性分析

由图4可知，不同干物质采食量下，产奶量与泌乳天数、乳脂率和乳蛋白率，乳糖率与乳脂率和乳蛋

白率均呈极显著负相关 ($P<0.01$)。泌乳天数与乳脂率和乳蛋白率均呈显著正相关 ($P<0.05$)。乳脂率与乳蛋白率呈极显著正相关 ($P<0.01$)。 ≥ 27.29 kg/d

干物质采食量组的产奶量与干物质采食量呈极显著负相关 ($P<0.01$)，其余 3 个干物质采食量组呈极显著正相关 ($P<0.01$)。25.53~27.28 kg/d 和 ≥ 27.29 kg/d 组的产奶量与乳糖率呈极显著正相关 ($P<0.01$)，其余 2 个干物质采食量组呈显著正相关 ($P<0.05$)；泌乳天数与乳糖率呈极显著负相关 ($P<$

0.01)。25.53~27.28 kg/d 干物质采食量组的泌乳天数与干物质采食量呈极显著负相关 ($P<0.01$)，其余 3 个干物质采食量组呈极显著正相关 ($P<0.01$)。23.45~25.52 kg/d 干物质采食量组泌乳天数与乳糖率呈显著负相关 ($P<0.05$)。



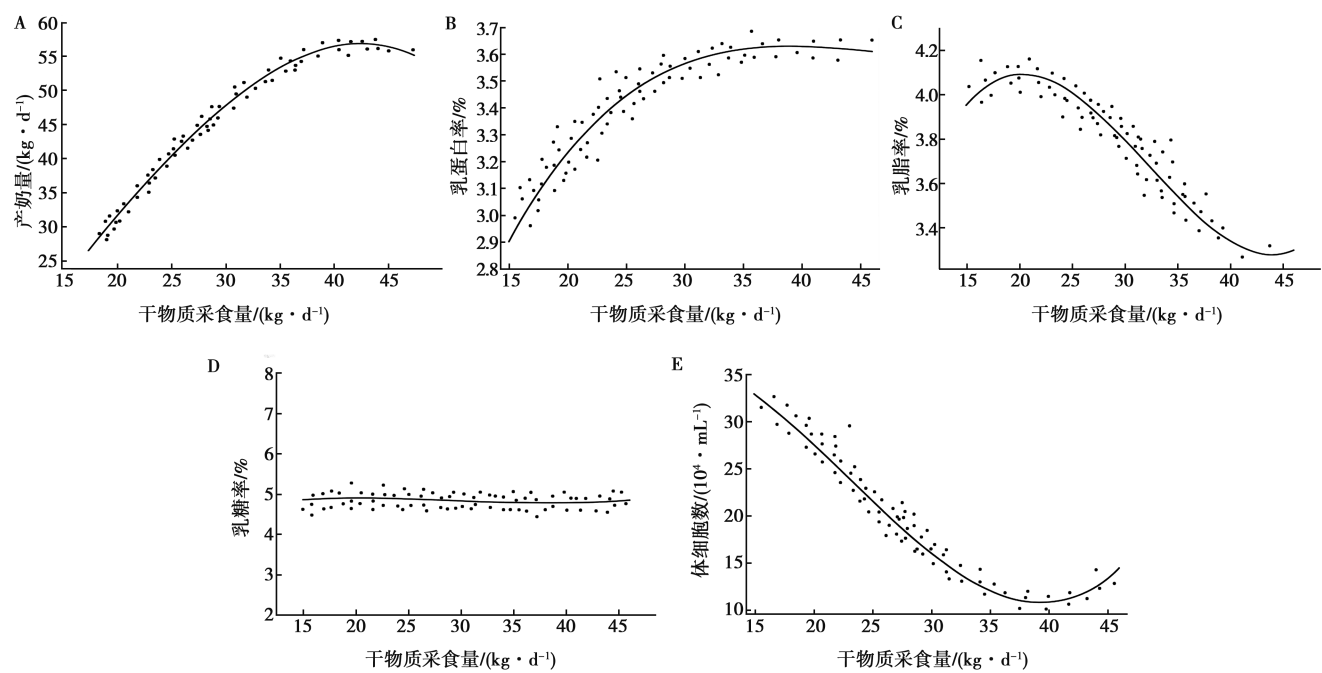
A~D. 干物质采食量分别为 0~23.44、23.45~25.52、25.53~27.28 和 ≥ 27.29 kg/d。

图 4 不同干物质采食量荷斯坦奶牛泌乳性能、泌乳天数和干物质采食量的相关性分析

2.4.3 泌乳性能随干物质采食量的变化规律

由图 5 可知，采用多项式对荷斯坦奶牛产奶量、乳蛋白率、乳脂率、乳糖率和体细胞数随干物质采食量变化规律进行拟合得到相应的变化曲线，在合理范围内，产奶量呈现出随干物质采食量的增加而升高的变化规律，若干物质采食量过大则依然会导致产奶量的下降；乳蛋白率随干物质采食量的增加逐步上升至峰值并保持基本稳定，随后出现轻微下降；乳脂率在干物质采食量为 0~23.44 kg/d 时呈增加趋势，18.00 kg/d 左右时达到最高，然后逐渐降低；乳糖率随干物质采食量的增加变化不明显；体细胞数随着干物质采食量的增加而下降，当干物质采食量过高时会出现轻微的上升。通过多项式，对奶牛的产奶量和乳品质指标随干物质采食量的变化趋势进行了曲线拟合，得

出产奶量为： $y = 7 \times 10^{-6} x^3 - 6.3 \times 10^{-2} x^2 + 3.725x - 17.324$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为产奶量， $R^2=0.98764$ 。乳蛋白率为： $y = -2 \times 10^{-9} x^4 + 2 \times 10^{-6} x^3 - 1.2 \times 10^{-2} x^2 + 3.142 \times 10^{-1} x + 2.878$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为乳蛋白率， $R^2=0.99795$ 。乳脂率为： $y = -3 \times 10^{-9} x^4 + 4 \times 10^{-6} x^3 - 2.3 \times 10^{-3} x^2 + 2.044 \times 10^{-1} x + 3.812$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为乳脂率， $R^2=0.89818$ 。乳糖率为： $y = -13 \times 10^{-5} x^6 - 12 \times 10^5 x^5 - 0.9 \times 10^{-2} x^4 - 0.7 \times 10^3 x^3 - 0.0003x^2 + 20.0072x + 4.858$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为乳糖率， $R^2=0.95173$ 。体细胞数为： $y = -7 \times 10^{-13} x^5 + 8 \times 10^{-10} x^4 - 4 \times 10^{-7} x^3 + 2.3 \times 10^{-4} x^2 - 2.044 \times 10^{-2} x + 10.812$ ，其中 x 为泌乳天数， y 为体细胞数， $R^2=0.89349$ 。



A~E. 分别为产奶量、乳蛋白率、乳脂率、乳糖率、体细胞数与干物质采食量的拟合曲线。

图 5 荷斯坦奶牛泌乳性能随干物质采食量的变化规律

3 讨论

3.1 不同胎次对山东地区荷斯坦奶牛泌乳性能的影响

本研究结果显示，山东地区荷斯坦奶牛的泌乳性能受胎次影响显著，产奶量受胎次影响极显著，这与郭梦玲等研究结论相一致^[13]；第 2 胎次荷斯坦奶牛产奶量显著高于头胎奶牛，这与王璐菊等^[14]在甘肃会宁地区报道的第 2 胎产奶量较高结果相一致，但与郑雅祺等^[15]在西安地区报道的第 3 胎产奶量较高，以及孔令旋等^[16]在广州地区报道的第 4 胎产奶量较高结果存在差异，上述研究结果进一步证实了奶牛产奶量存在地域性差异^[17]。造成不同研究结果差异的原因较为复杂：首先，不同研究纳入的胎次范围、样本结构、泌乳阶段分布及统计校正因素并不完全一致，本研究仅纳入头胎和第 2 胎奶牛，因此只能说明在本研究数据范围内第 2 胎奶牛产奶量高于头胎奶牛，尚不能据此判断山东地区荷斯坦奶牛产奶量达到峰值的具体胎次；其次，山东地区不同的饲粮组成、营养水平和饲喂管理模式差异也可能影响奶牛产奶性能，本研究牧场采用 TMR 饲喂，泌乳期饲粮中包括玉米青贮、苜蓿、玉米粉、压片玉米、豆粕、双低菜籽粕、全棉籽和酒糟等原料，日粮能量、粗蛋白和粗纤维水平会影响奶牛采食量、瘤胃发酵及营养物质利用效率，进而影响产奶量和乳成分^[18]；第三，环境

条件也是影响不同地区研究结果的重要因素，山东地区季节温湿度变化较明显，夏季热应激可能降低采食量和产奶性能，冬季低温条件下维持需要增加，也可能影响不同胎次奶牛的生产表现^[19]。本研究未进一步纳入温湿度指数、季节效应、体况评分及疾病状态等因素进行多因素校正，因此上述解释仍属于基于已有文献和生产条件的推测，后续仍需结合多牧场、多胎次和环境监测数据进一步验证。

已有研究表明，不同地区奶牛产奶量随胎次变化均呈现出先升高后降低的总体趋势^[20]。随着奶牛机体逐渐发育成熟且乳腺功能不断完善，其产奶量随胎次增加而提高，这是头胎奶牛产奶量较低的主要原因之一^[21]；随着胎次和年龄的进一步增加，机体器官功能逐渐老化、食欲下降及营养代谢紊乱等因素共同作用，乳腺负担加重，进而导致产奶量下降，这一变化规律符合奶牛生理发育特征^[22]。

从乳成分的变化来看，本研究表明第 2 胎奶牛的乳蛋白率、乳糖率和乳脂率均显著低于头胎奶牛，而体细胞数显著高于头胎奶牛。随着胎次增加，奶牛经历多个连续泌乳周期后机体功能逐渐老化，在热应激、细菌感染及机械性损伤等因素的共同作用下，免疫防御能力下降，乳房炎发生风险增加，从而导致乳汁中体细胞数升高^[23]。

有研究表明，头胎奶牛的高峰奶在所有胎次中产量最低，但其高峰期持续时间相对较长^[24]。在实际

养殖中,针对头胎奶牛泌乳阶段和营养需求的特点,对其实施分群饲喂管理,有助于提高饲粮营养供给与其生产需求的匹配程度^[25]。当牛群处于第 2~5 胎次时,其产奶量和乳成分通常处于相对较高水平,因此依据胎次对奶牛进行科学分群并采取差异化管理措施,可有效提升泌乳性能并提高养殖经济效益^[26]。

3.2 不同泌乳阶段对山东地区荷斯坦奶牛泌乳性能的影响

不同泌乳阶段,奶牛的生理过程不断改变,采食量、能量利用效率、饲料消化率和机体代谢水平发生变化,因此奶牛泌乳性能存在显著差异,这也与奶牛产奶量和乳成分的变化特征密切相关^[27]。此外,不同泌乳阶段体内激素分泌水平及其调控作用存在差异,相关激素在乳汁合成与分泌过程中共同参与调节,进而影响产奶量和乳成分的形成,如生长激素、雌激素和催乳素等在泌乳调控中发挥协同作用^[28]。

如果划分各个泌乳时期,前 300 d 可分为泌乳早期、泌乳中期和泌乳后期 3 个阶段。本研究表明,泌乳高峰期处于泌乳早期,其产奶量极显著高于中期与后期,这可能是以下原因:处于泌乳早期的奶牛机体生理状态和代谢活动水平相对较高^[29];奶牛在经历产犊之后,食欲和采食量均呈现增加趋势^[30];此时期奶牛体内激素相比中期和晚期发挥作用更加显著^[31]。在常规生产管理中,奶牛泌乳周期约 305 d,之后进入干奶期,其产奶量较泌乳高峰期显著降低。这可能是过度频繁挤奶、喂食饲粮中不同营养成分的改变和催乳素在奶牛体内的变化等造成的。上述过程均与奶牛乳腺细胞的更新与凋亡密切相关,同时乳腺组织状态也受泌乳持续力的影响。因此,为使奶牛充分休整并为下一泌乳周期做好准备,实施干奶十分必要。在现实条件下,受生殖、疾病和气候等多种因素影响,部分奶牛妊娠未能成功,所以出现了泌乳周期过长和产奶量过低的情况^[32]。本文结果显示,山东地区荷斯坦奶牛在泌乳早期的产奶量呈上升趋势,在 100 d 左右达泌乳高峰,之后降低,随后奶牛进入干奶期。奶牛的产奶量在整个泌乳阶段呈现出先增加后减少的变化规律,这与杨海峰等^[33]的研究结果相一致。

乳成分与产奶量的变化趋势相反,乳脂率和乳蛋白率呈现出先降低后升高的变化规律,这与王芳等^[34]研究结果相一致。为保障下一泌乳周期的顺利开展,生产中通常通过合理设置干奶期并在产前阶段加强营养供给,以促进乳腺组织恢复。已有研究表明,在新一轮泌乳开始后,奶牛在泌乳早期的乳脂率和乳蛋白率往往处于较高水平^[35]。乳脂率和乳蛋白率的变化规律一方面可能与稀释效应有关,即随着产

奶量的增加,乳脂和乳蛋白的绝对产量虽然提高,但其在乳汁中的浓度下降幅度更大,从而表现为乳脂率和乳蛋白率降低^[36];另一方面也可能与泌乳中期能量负平衡及后期体脂动员增加有关^[37]。本试验结果表明,随着泌乳天数的增加,奶牛乳汁中体细胞数呈逐渐升高趋势。奶牛度过泌乳高峰期后,其机体免疫功能相对减弱,淋巴免疫细胞数量下降,难以有效抵御病原微生物侵入,从而增加了隐性乳房炎的发生风险。当乳腺组织受到细菌侵袭时,体细胞中占主要比例的白细胞迅速参与免疫应答,其中乳汁中的巨噬细胞通过吞噬作用清除病原菌,并诱发机体炎症反应,导致局部毛细血管扩张和血流量增加。在此过程中,大量中性粒细胞迁移至乳汁中,对入侵细菌发挥杀灭作用,进而引起体细胞数升高^[38]。之后,乳腺上皮细胞受到一定程度的损伤,大量上皮细胞脱落并进入乳汁中,从而促进体细胞数的升高^[39]。

因此,在不同泌乳阶段实施相匹配的饲养管理模式和饲粮营养水平调控,并有效控制体细胞数,是提高奶牛日产奶量和乳成分含量,进而提升养殖经济效益的重要途径。

3.3 不同干物质采食量对山东地区荷斯坦奶牛泌乳性能的影响

在规模化牧场生产条件下,奶牛通常采用群体饲喂方式,个体 DMI 的精确测定需要依赖自动采食系统等专用设备,实施成本较高,难以在常规生产中大规模开展。本试验采取群体饲喂,收集牧场平均 DMI,为进一步研究提供数据与参考。本研究结果表明,不同干物质采食量下的产奶量具有显著差异,这与 Omar 等^[40]研究一致。在干物质采食量处于合理范围内时,产奶量呈上升趋势,即当干物质摄入量达到高峰时,泌乳量也达到高峰^[41]。拟合结果提示,当 DMI 进一步升高至较高水平后,产奶量增长趋势可能趋缓甚至下降,但该结果可能受群体平均 DMI、极端值及拟合方式影响,仍需基于个体采食数据进一步验证。在不同干物质采食量下,产奶量与乳成分之间也表现出相关性特征。

鉴于规模化牧场常规生产条件下,受设备条件所限,难以实现个体奶牛 DMI 的精确测定,本研究采用群体平均 DMI 作为采食量指标,以分析不同采食量水平下荷斯坦奶牛泌乳性能的变化特征。结果显示,在本试验条件下,群体 DMI 水平与产奶量、乳脂率、乳蛋白率等泌乳性能指标之间存在一定的相关性,表明采食量仍是影响奶牛泌乳性能的重要营养因素。然而,需要明确指出,本研究所用 DMI 系群体平均值,并非基于自动采食监测系统获得的个体实测值,因此难以准确反映单头奶牛的实际采食量、采食

行为及日内动态变化。将群体平均 DMI 与个体 DHI 记录进行关联分析时,可能引入暴露测量误差,进而削弱 DMI 与泌乳性能之间真实关系的统计效能,并限制研究结果在个体精准饲养管理中的直接应用价值。

此外,本研究主要依据胎次、泌乳阶段和 DMI 水平进行分组比较、相关性分析及变化趋势拟合,尚未进一步构建纳入牛只个体随机效应、重复测定结构及多种环境和健康因素的多因素统计模型。奶牛泌乳性能除受 DMI 影响外,尚与遗传背景、体况评分、亚临床乳房炎、代谢健康状况、季节及温湿度变化、日粮批次更替和舍内环境等因素密切相关。此外,本研究数据来源于山东地区单一规模化牧场,其饲养模式、日粮结构及管理条件相对一致,虽然有助于降低部分管理异质性所带来的干扰,但也一定程度上限制了研究结果在不同地区、不同牧场类型及不同日粮体系中的推广。

因此,本研究结果可为山东地区规模化牧场依据胎次、泌乳阶段及采食量水平开展分群管理、优化 TMR 供给策略及提升泌乳性能提供参考依据,但仍不宜直接用于个体 DMI 精准预测或因果关系推断。后续研究应在多牧场、多区域及不同日粮结构条件下扩大样本来源,并结合自动采食监测系统获取个体水平 DMI 数据;同时纳入体况评分、体细胞数、疾病记录、环境温湿度及营养代谢指标,采用多因素线性模型或混合效应模型进一步控制复杂因素。在此基础上,整合血液代谢、内分泌调控及乳腺功能相关指标,可更系统地阐释 DMI 影响奶牛泌乳性能的生理机制,并为区域化精准饲养模型的构建提供更为坚实的数据基础。

从生产应用角度而言,本研究结果提示,山东地区规模化牧场在开展奶牛精细化管理时,宜将胎次、泌乳阶段及采食量水平作为重要的分群管理依据。对于头胎牛,应结合其产奶潜力和机体发育特点,加强营养供给及泌乳适应期管理;对于第 2 胎次奶牛,可重点保障高产阶段能量与蛋白供给,以充分发挥其泌乳性能。不同泌乳阶段奶牛的产奶量、乳脂率、乳蛋白率及体细胞数呈现各异的变化规律,生产中应根据泌乳前期、中期及后期的生理特征,动态调整 TMR 营养浓度与饲喂管理措施,避免单一日粮模式难以满足不同阶段奶牛生产需求的困境。与此同时,采食量与产奶量及乳成分之间具有一定相关性,提示牧场应加强投料量、剩料量和 TMR 干物质含量的日常监测,并结合 DHI 测定数据对产奶量、乳成分及体细胞数进行连续性评估,从而为优化饲粮供给、提升泌乳性能及降低健康风险提供数据支撑。

4 结论

在不同胎次、泌乳阶段和干物质采食量条件下,荷斯坦奶牛产奶量存在显著差异。其中第 2 胎次、泌乳早期及干物质采食量较高水平时产奶量相对较高,且随着泌乳天数增加呈现先升高后降低的变化规律。不同泌乳阶段奶牛的乳脂率和乳蛋白率存在显著差异,并随泌乳天数的增加呈现先降低后升高的变化趋势,而乳糖率变化相对平缓。基于本研究结果,山东地区规模化牧场荷斯坦奶牛的精细化管理可重点围绕胎次分群、泌乳阶段营养动态调控、采食量监测与 TMR 供给优化,以及乳成分和体细胞数协同监测等方面开展,以提高饲粮供给与不同生理阶段生产需求的匹配程度,为区域化饲养管理和生产调控提供参考。

参考文献:

[1] 杨阳,王煜舒,叶翠芳,等. 出生体质量、妊娠日龄和世代间隔对奶牛泌乳性能的影响 [J]. 养殖与饲料, 2025, 24 (1): 1-4.

[2] 付瑶,王俊,李胜利,等. 饲喂模式对蒙贝利亚×荷斯坦杂交犍牛生长性能、体尺指标及血清学指标的影响 [J]. 动物营养学报, 2021, 33 (8): 4467-4477.

[3] 王自然. 影响奶牛泌乳性能的因素及预防措施 [J]. 中国畜牧兽医, 2005, 32 (4): 56-57.

[4] 旭升,贺永强,焦蓓蕾,等. 增加奶牛使用胎次的重要性及其改善措施分析 [J]. 中国奶牛, 2021 (4): 24-27.

[5] Walter L L, Gärtner T, Gernand E, et al. Effects of parity and stage of lactation on trend and variability of metabolic markers in dairy cows [J]. Animals, 2022, 12 (8): 1008.

[6] Jezequel A, Delaby L, McKay Z C, et al. Dry matter intake and production efficiencies of dairy cows rotationally grazing a perennial ryegrass monoculture, a perennial ryegrass-white clover sward, or a multispecies sward [J]. J Dairy Sci, 2025, 108 (5): 5027-5038.

[7] 冯霄,赵丝艺,唐永杰,等. 奶牛高、低体细胞数乳区间微生物组和代谢组整合分析 [J]. 中国畜牧杂志, 2025, 61 (1): 130-138.

[8] 韩晓晖,周震,吴泽标,等. 胎次、泌乳阶段和季节对华南地区荷斯坦奶牛产奶量和乳成分的影响 [J]. 家畜生态学报, 2021, 42 (4): 52-56.

[9] 李平,孙玉龙,廖吉林. 日粮添加干玉米酒糟对泌乳奶牛干物质采食量、泌乳性能和瘤胃发酵的影响 [J]. 中国饲料, 2019 (14): 93-98.

[10] 陈坤琳,夏淑雯,沈阳阳,等. 不同胎次、泌乳阶段及体细胞水平的蒙荷杂交牛泌乳性能变化规律研究 [J]. 南京农业大学学报, 2025, 48 (1): 197-205.

[11] 余诗强,李留学,赵小博,等. 不同泌乳阶段和体细胞水平的中国荷斯坦奶牛泌乳性能差异和相关性研究 [J]. 畜牧兽医学报, 2023, 54 (3): 1003-1014.

- [12] 张益宁, 金硕, 李志君, 等. 2013—2019 年陕西省某奶牛场奶牛不同季节和不同泌乳时期日产奶量及乳成分分析 [J]. 中国兽医学报, 2022, 42 (5): 1047–1052.
- [13] 郭梦玲, 王海洋, 梁艳, 等. 荷斯坦牛日产奶量和体细胞评分变化原因分析 [J]. 家畜生态学报, 2020, 41 (11): 42–47.
- [14] 王璐菊, 郭全奎, 张勇. 产犊季节及胎次对甘肃会宁地区荷斯坦牛产奶量的影响 [J]. 中国牛业科学, 2015, 41 (3): 42–46.
- [15] 郑雅祺, 吴通, 严彦平. 西安地区胎次和季节对奶牛泌乳性能的影响 [J]. 中国畜禽种业, 2023, 19 (6): 137–140.
- [16] 孔令旋, 雷放, 邓铭, 等. 胎次和热应激程度对广州地区奶牛产奶量和乳成分的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2019, 51 (1): 1–4.
- [17] 张丽, 尤吉喆, 谢家怡, 等. 胎次对中国荷斯坦牛 305d 产奶量及乳成分的影响 [J]. 中国草食动物科学, 2026, 46 (2): 121–126.
- [18] 孙远舰. 日粮可消化 NDF 对泌乳奶牛 DMI 与生产性能影响的荟萃分析研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [19] 冯蕾. 热应激对不同阶段荷斯坦奶牛瘤胃微生物区系和血液生理指标的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2022.
- [20] 张慧林, 刘小林, 朱建华, 等. 产犊月份对荷斯坦牛产奶量的影响 [J]. 西北农业学报, 2012, 21 (3): 17–21.
- [21] 孔娜, 胥磊, 蒋国鹏, 等. 荷斯坦牛各胎次产奶量规律研究及相关性分析 [J]. 中国奶牛, 2019 (12): 34–37.
- [22] 赵鹏, 甄新燕. 基于 DHI 测定数据的府谷县奶牛泌乳性能与相关因素分析 [J]. 中国乳业, 2025 (4): 59–65.
- [23] Schwarz D, Kleinhans S, Reimann G, et al. Investigation of dairy cow performance in different udder health groups defined based on a combination of somatic cell count and differential somatic cell count [J]. Prev Vet Med, 2020, 183: 105123.
- [24] 李红瞻, 段家昕, 李生杰, 等. 应用 DHI 对某奶牛群生产性能的综合分析 [J]. 家畜生态学报, 2026, 36 (6): 30–34.
- [25] 张靖, 郭怡莹, 李雅婷, 等. 基于 DHI 数据分析不同因素对规模化牧场奶牛泌乳性能的影响 [J]. 动物医学进展, 2024, 45 (6): 64–71.
- [26] 刘姗, 刘念锐, 陈佩琪, 等. 产犊季节和胎次对测定奶牛日泌乳性能的影响 [J]. 中国牛业科学, 2013, 39 (2): 27–30.
- [27] 魏鹏飞, 张淑君, 滑国华. 不同养殖模式下产犊季节、泌乳季节及胎次对荷斯坦牛产奶量及乳品质的影响 [J]. 中国奶牛, 2017 (1): 21–25.
- [28] Piccioli-Cappelli F, Seal C J, Parker D S, et al. Effect of stage of lactation and dietary starch content on endocrine–metabolic status, blood amino acid concentrations, milk yield, and composition in Holstein dairy cows [J]. J Dairy Sci, 2022, 105 (2): 1131–1149.
- [29] Van Eetvelde M, de Jong G, Verdru K, et al. A large-scale study on the effect of age at first calving, dam parity, and birth and calving month on first-lactation milk yield in Holstein Friesian dairy cattle [J]. J Dairy Sci, 2020, 103 (12): 11515–11523.
- [30] 李红梅, 梁立. 干奶期不同能量摄入水平对产后奶牛干物质摄入量与健康状况的影响 [J]. 黑龙江科技职业学院学报, 2011 (1): 216–218.
- [31] 付斌龙, 余焯, 白玉杰, 等. 泌乳相关激素对主要乳成分合成影响的研究进展 [J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58 (5): 96–100.
- [32] 张会会, 李孟伟, 唐振华, 等. 夏季补饲半胱胺和烟酸铬对水牛泌乳性能、抗氧化性能、瘤胃发酵参数和微生物多样性的影响 [J]. 动物营养学报, 2020, 32 (2): 5760–5777.
- [33] 杨海峰, 刘永军, 王德志, 等. 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 (1): 19–25.
- [34] 王芳, 胡松华. 体细胞含量与牛奶质量的关系 [J]. 中国奶牛, 2005 (4): 51–52.
- [35] 雷芷琳, 余远航, 郭建超, 等. 不同泌乳阶段和胎次对广东地区奶牛泌乳性能的影响及变化规律研究 [J]. 中国奶牛, 2024 (4): 10–16.
- [36] 李胜利. 黄梅县中国荷斯坦奶牛产奶量和乳成分的相关性及其影响因素研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [37] 赵艳丽, 闫晶, 薛炳楠, 等. 不同生理阶段奶牛血液生化、免疫和抗氧化指标的变化规律 [J]. 动物营养学报, 2024, 36 (12): 7788–7798.
- [38] Rhee S G. Overview on peroxiredoxin [J]. Mol Cells, 2016, 39 (1): 1–5.
- [39] 白瑞景, 孙少华, 马亚宾. 乳中体细胞数或体细胞评分变化规律及其与乳成分的关系研究 [J]. 畜牧与兽医, 2010, 42 (12): 79–81.
- [40] Al-Marashdeh O, Maxwell T M R, Wheadon N M, et al. How does stage of lactation and breeding worth affect milk solids production and production efficiency of grazing dairy cows? [J]. Anim Biotechnol, 2020, 31 (3): 217–222.
- [41] 初汉平, 王中华, 李福昌. 年龄及泌乳阶段对荷斯坦奶牛日粮钙、磷表观消化率的影响 [J]. 中国奶牛, 2010 (11): 16–19.