

母童, 虎红红, 冯小芳, 等. 宁夏地区荷斯坦牛乳成分及相关指标的非遗传因素、体细胞评分变化规律 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(2): 34-43.
MU Tong, HU Honghong, FENG Xiaofang, et al. Variation characteristics of non-genetic factors and somatic cell score for raw milk composition and related traits of Holstein in Ningxia region[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(2): 34-43.

宁夏地区荷斯坦牛乳成分及相关指标的非遗传因素、体细胞评分变化规律

母童¹, 虎红红¹, 冯小芳¹, 顾亚玲¹, 田佳², 温万², 张娟¹, 王影¹
(1 宁夏大学农学院, 宁夏银川, 750021; 2 宁夏回族自治区畜牧工作站, 宁夏银川, 750001)

摘要:【目的】阐明非遗传因素对宁夏地区荷斯坦牛乳成分及相关指标的影响。【方法】基于宁夏地区荷斯坦奶牛DHI测定数据, 利用 SAS 9.2 软件 GLM 过程分析胎次、泌乳时期和产犊季节对 9 项泌乳性状的影响, 并探究泌乳性状在不同体细胞评分中的变化规律。【结果】胎次、泌乳时期、产犊季节、泌乳时期×产犊季节对 9 项泌乳性状的影响均达到显著水平 ($P<0.05$)。对不同胎次进行比较, 乳脂率和乳固形物含量在第 2 胎后显著下降 ($P<0.05$), 乳蛋白率和高峰奶量在第 3 胎后显著下降 ($P<0.05$); 日产奶量第 4 胎后稍有降低; 乳糖率则呈现先下降后上升的趋势, 在第 3 胎达到最低 ($P<0.05$), 为 4.84%。体细胞评分随着胎次的增加逐渐上升, 泌乳高峰日在第 1 胎次最晚出现 (94.07 d), 第 4 胎次最早 (67.33 d)。对不同泌乳时期进行比较, 日产奶量和乳糖率在第 2、3 胎随着泌乳时期的延长逐步下降 ($P<0.05$), 而乳蛋白率、乳固形物含量、体细胞评分和乳脂率呈上升趋势 ($P<0.05$)。对不同产犊季节进行比较, 1~3 胎乳脂率和第 1 胎乳固形物含量春季至冬季均逐步下降; 第 1 胎日产奶量和乳糖率呈上升趋势, 到第 2、3 胎时在夏季分别处于最低水平; 1~3 胎乳蛋白率、体细胞评分、泌乳高峰日和高峰奶量春季至冬季均呈先升高后降低的趋势, 且各性状不同胎次均在夏季达到最高水平。随着体细胞评分增高, 乳糖率、日产奶量及高峰奶量整体上逐渐下降, 乳脂率和乳蛋白率呈缓慢上升趋势, 乳固形物含量和泌乳高峰日在体细胞评分分别为 4 和 5 时达到最高水平。【结论】本研究结果为提高宁夏地区荷斯坦奶牛泌乳性能及生鲜乳质量提供了理论依据。

关键词: 荷斯坦牛; 泌乳性状; 产犊季节; 泌乳时期; 胎次
中图分类号: S823 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2021)02-0034-10

Variation characteristics of non-genetic factors and somatic cell score for raw milk composition and related traits of Holstein in Ningxia region

MU Tong¹, HU Honghong¹, FENG Xiaofang¹, GU Yaling¹, TIAN Jia², WEN Wan², ZHANG Juan¹, WANG Ying¹
(1 Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 Animal Husbandry Extension Station of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China)

Abstract: 【Objective】To clarify the effects of non-genetic factors on the raw milk composition and related traits of Holstein in Ningxia region. 【Method】Based on the DHI data of Holstein in Ningxia region, the effects

of parity, lactation stage and calving season on nine lactation traits were analyzed by GLM process of SAS 9.2 software, and the variation characteristics of lactation traits in different somatic cell scores were explored. 【Result】 Parity, lactation stage, calving season, lactation stage $\times$ calving season had significant effects ($P<0.05$) on nine lactation traits. Comparison of different parities showed that milk fat percentage and milk solid content decreased significantly after the second parity ($P<0.05$), milk protein percentage and peak milk yield decreased significantly after the third parity ($P<0.05$), daily milk yield decreased slightly after the fourth parity, milk lactose percentage decreased first and then increased, reaching the lowest level of 4.84% in the third parity ($P<0.05$), somatic cell score increased gradually with the increase of parity, and the day of peak milk yield was the latest in the first parity(94.07 d) and the earliest in the fourth parity (67.33 d). Comparison of different lactation stages showed that daily milk yield and milk lactose percentage gradually decreased with the prolongation of lactation in the second and third parities ($P<0.05$), while milk protein percentage, milk solid content, somatic cell score and milk fat percentage showed an increasing trend ($P<0.05$). Comparison of different calving seasons showed that from spring to winter, milk fat percentage of the first parity to third parity and milk solid content of the first parity gradually decreased, while daily milk yield and milk lactose percentage showed an increasing trend for the first parity and were at the lowest level in summer for the second parity and third parity. Milk protein percentage, somatic cell score, the day of peak milk yield and peak milk yield showed a trend of increasing first and then decreasing from the first parity to third parity, and the highest levels of all these traits for different parities were found in summer. With the increase of somatic cell score, milk lactose percentage, daily milk yield and peak milk yield decreased gradually, while milk fat percentage and milk protein percentage increased slowly. Milk solid content and the day of peak milk yield reached the highest level when somatic cell score was 4 and 5, respectively. 【Conclusion】 The results of this study provide a theoretical basis for improving the lactation performance and fresh milk quality of Holstein in Ningxia.

Key words: Holstein; lactation trait; calving season; lactation stage; parity

宁夏回族自治区位于中国西北内陆地区, 界于北纬 35°14′~39°14′, 东经 104°17′~109°39′之间; 由于其独特的地理环境及适宜的气候, 长期以来是我国奶牛养殖大省, 亦是奶牛生产性能测定最早的省区之一^[1]。泌乳性状是评定奶牛生产性能最重要的经济指标, 主要包括乳脂率、乳蛋白率、脂蛋比、乳糖率、日产奶量、305 d 产奶量、体细胞评分、乳固形物含量、高峰奶量和泌乳高峰日等, 主要受群体遗传结构 (如: 品种组成)、生理、营养、生产环境 (如: 季节、牧场等)、繁殖性能、饲养管理水平等诸多因素的影响^[2-3], 这些指标直接决定了牧场的收益及未来发展趋势。因此在实际生产实践中必须从奶牛饲养技术本身出发, 通过精细化管理及精准饲喂来提高原料乳品的产量和质量, 保证奶业及养殖企业的自身利益和消费者的身体健康, 进一步推动下游加工企业的利益最大化, 维护奶业生产链的良性循环发展。为此, 众多学者及企业界对我国奶牛养殖业现状进行深入调查研究, 基于奶牛群改良计划 (Dairy herd improvement, DHI) 获得重要的反映奶牛群配种、繁殖、饲养、疾病、生产性能等方面的基础信息

数据^[4], 统计分析产奶量及乳成分等性状在非遗传因素影响下的特征及变化规律, 可为实施畜群饲养管理和营养调控提供理论依据。

在国际上, Adediran 等^[5]研究表明品种、牧场规模、胎次、产犊季节等因素对奶牛产奶量、乳脂量和乳蛋白量均有极显著影响; Bonfoh 等^[6]以 Malian zebu 母牛为研究对象, 发现在瑞士炎热季节 (5—6 月份)30% 的牛乳样本每毫升含有大于 350 000 个体细胞, 提示该地区牛群中亚临床乳腺炎的患病率较高。Koc^[7]以不同环境因素及延长产犊间隔对红荷斯坦奶牛产奶量的影响研究发现, 与 12 个月相比, 产犊间隔为 15 个月和 18 个月的泌乳量分别增加了 18.9% 和 30.9%, 305 d 产奶量分别增加了 8.8% 和 8.1%。然而, 日产奶量在 15 个月中的数值下降了 2.4%, 在 18 个月中下降了 15.9%。Guinn 等^[8]研究表明夏季高温胁迫对美国不同气候区域奶牛生产性能均有负面影响, 且有些地区影响较大, 证明了监测热应力程度指标的重要性。Franzoi 等^[9]研究发现极低的体细胞评分 (<-1.00) 对产奶量和乳品质性状具有与高体细胞评分 (>4.00) 相似甚至

更强的不利影响;随着体细胞评分的增加,荷斯坦牛的粗脂肪和粗蛋白总产量以及几种矿物质的损失均出现降低。在国内,童雄等^[10]对华南地区荷斯坦牛泌乳性能在季节、胎次、泌乳时期影响下的变化规律进行研究发现,夏季产奶量极显著低于其他季节;在乳成分上,夏季的各项指标均为最低值,且极显著低于春冬季节。熊本海等^[11]研究表明天津地区荷斯坦牛自然月份及胎次分别极显著或显著影响乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和体细胞数等 9 项观察指标。竹磊等^[12]对北京地区荷斯坦牛泌乳早期体细胞数的群体特征及影响因素分析表明,泌乳早期体细胞数高于产后 8~133 d 的体细胞数;胎次、泌乳天数、环境温湿度均对泌乳早期体细胞评分有显著的影响。

宁夏地区荷斯坦牛泌乳性状的影响因素也已有报道,刘丽元等^[1]研究发现胎次、初产月龄、产犊季节和产犊间隔是影响荷斯坦奶牛 305 d 产奶量的重要因素,胎次、产犊季节和产奶量是影响奶牛产犊间隔的重要因素。李欣等^[13]对产奶量及乳成分随泌乳周数变化的模型进行了构建与分析。张海平等^[14]探究了体细胞数、产奶量、乳脂率、乳蛋白率、乳糖率和乳固形物含量在非遗传因素下的变化规

律,但没有对每个性状与不同影响因素的显著性关系进行深入研究。因此,本研究对宁夏地区 20 个牧场 2010—2015 年出生的荷斯坦奶牛 DHI 测定数据进行分析,较全面地分析胎次、泌乳时期和产犊季节对 9 项泌乳性状的影响,并探讨泌乳性状在不同体细胞评分中的变化规律,以期为提高宁夏地区荷斯坦奶牛泌乳性能及生鲜乳质量提供理论依据,为科学合理的饲养管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本试验 20 个牧场 2010—2015 年出生的荷斯坦奶牛在 2017 年 4 月份的 DHI 测定数据均来自宁夏畜牧工作站。

1.2 数据处理与水平划分

运用 Microsoft Excel 2016 对源数据进行筛选,剔除空值、错误值和极端值后,得到有准确记录的乳脂率、乳蛋白率、脂蛋比、乳糖率、乳固形物含量、日产奶量及体细胞评分的数据各 17 796 条,高峰奶量和泌乳高峰日数据各 17 388 条。泌乳性状表型参数描述性统计结果见表 1。

表 1 宁夏地区荷斯坦牛泌乳性状表型参数描述性统计
Table 1 Descriptive statistics of phenotypic parameters of Holstein cow's lactation in Ningxia region

性状 Trait	数据量 Data amount	平均值 $\bar{x}$	标准误 σ	最大值 Max.	最小值 Min.
日产奶量/kg Daily milk yield	17 796	32.18	0.082	70.60	5.00
乳脂率/% Milk fat percentage	17 796	3.73	0.007	7.94	1.02
乳蛋白率/% Milk protein percentage	17 796	3.32	0.003	4.69	2.03
脂蛋比 Fat to protein ratio	17 796	1.12	0.002	3.09	0.28
体细胞评分 Somatic cell score	17 796	2.71	0.013	9.00	0.00
乳糖率/% Milk lactose percentage	17 796	4.89	0.002	5.46	2.44
乳固形物含量/% Milk solid content	17 796	12.42	0.009	18.76	8.74
高峰奶量/kg Peak milk yield	17 388	42.97	0.082	80.00	18.60
泌乳高峰日/d The day of peak milk yield	17 388	80.84	0.446	305.00	1.00

本研究分析的非遗传影响因素包括胎次、泌乳时期及产犊季节。胎次分为 1、2、3、4、5 胎;泌乳时期分为早期(0~100 d)、中期(101~200 d)、晚期(≥ 201 d);产犊季节按照当地气候划分为春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—2 月)。

体细胞评分= $\text{Log}_2(\text{体细胞数}/100\ 000)+3$,并划分为 10 个水平,分别为 $0(2\times 10^3\sim 17\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $1(18\times 10^3\sim 35\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $2(36\times 10^3\sim 70\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、

$3(71\times 10^3\sim 141\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $4(142\times 10^3\sim 282\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $5(283\times 10^3\sim 565\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $6(566\times 10^3\sim 1\ 130\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $7(1\ 134\times 10^3\sim 2\ 262\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $8(2\ 270\times 10^3\sim 4\ 513\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 、 $9(4\ 572\times 10^3\sim 7\ 696\times 10^3\ \text{mL}^{-1})$ 。

1.3 影响因素的显著性检验

影响因素显著性检验使用 SAS 9.2(SAS Institute, Cary, NC, USA) 的线性混合模型 (Linear mixed model),以 GLM 过程分析胎次、泌乳时期及产犊季节对泌乳性状的影响,用 Duncan's 法进行多重比

较, 结果以平均值±标准误表示。非遗传因素分析模型如下:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{Parity}(\alpha)_i + \text{Season}(\beta)_j + \text{Lactation}(\gamma)_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\gamma)_{ik} + a_{ijkl} + e_{ijklm},$$

式中: Y_{ijklm} 为奶牛乳脂率、乳蛋白率、脂蛋比、乳糖率、乳固形物含量、日产奶量、高峰奶量、泌乳高峰日和体细胞评分这些性状各自的观测值; μ 为总平均数; Parity_i 为胎次固定效应; Season_j 为产犊季节固定效应; Lactation_k 为泌乳时期固定效应; $(\alpha\beta)_{ij}$ 、 $(\beta\gamma)_{jk}$ 和 $(\alpha\gamma)_{ik}$ 为胎次、泌乳时期和产犊季节两两之间的互作效应; a_{ijkl} 为个体的随机遗传效应; e_{ijklm} 为随机残差效应。

乳成分及相关指标之间的相关性用 Pearson 系数 (r) 衡量, 采用 SAS 9.2(SAS Institute, Cary, NC, USA) 软件的 corr 过程进行相关性分析及显著性

检验。

2 结果与分析

2.1 胎次、泌乳时期和产犊季节对 9 项性状的影响

9 项性状指标与胎次、泌乳时期及产犊季节的方差分析结果 (表 2) 显示, 胎次、泌乳时期、产犊季节及泌乳时期和产犊季节的交互作用对 9 项泌乳性状的影响均达到显著水平 ($P<0.05$)。胎次和泌乳时期互作对日产奶量、脂蛋比、体细胞评分、乳糖率、乳固形物含量、高峰奶量及泌乳高峰日的影响显著, 而对乳脂率和乳蛋白率无显著影响 ($P>0.05$)。胎次和产犊季节互作除对日产奶量、乳脂率、乳固形物含量和泌乳高峰日的影响达到显著水平外, 对其他泌乳性状均无显著影响。

表 2 胎次、泌乳时期和产犊季节与观察的 9 项性状之间的方差分析 (P 值)
Table 2 The variance analysis between parity, lactation stage, calving season and observed nine traits (P value)

性状 Trait	胎次 Parity	泌乳时期 Lactation stage	产犊季节 Calving season	胎次×泌乳时期 Parity× Lactation stage	胎次×产犊季节 Parity× Calving season	泌乳时期×产犊季节 Lactation stage × Calving season
日产奶量 Daily milk yield	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.010 1	<0.000 1
乳脂率 Milk fat percentage	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.176 0	0.042 5	<0.000 1
乳蛋白率 Milk protein percentage	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.066 7	0.104 4	<0.000 1
脂蛋比 Fat to protein ratio	<0.000 1	<0.000 1	0.009 9	0.044 6	0.282 1	<0.000 1
体细胞评分 Somatic cell score	<0.000 1	<0.000 1	0.041 6	<0.000 1	0.186 1	<0.000 1
乳糖率 Milk lactose percentage	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.266 4	<0.000 1
乳固形物含量 Milk solidcontent	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.008 1	0.001 9	<0.000 1
高峰奶量 Peak milk yield	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	0.117 7	<0.000 1
泌乳高峰日 The day of peak milk yield	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1

2.2 胎次对 9 项泌乳性状的影响

胎次对不同泌乳性状的影响均达到显著水平 (表 3)。随着胎次的增加, 乳脂率、乳蛋白率、乳固形物含量、日产奶量、高峰奶量和脂蛋比均呈现先增高后下降的趋势。其中乳脂率在第 2 胎次最高, 为 3.79%, 显著高于第 1、4、5 胎次; 乳蛋白率在第 3 胎次最高, 为 3.35%, 显著高于第 1、4、5 胎次; 乳固形物含量在第 2 胎次达到最高, 为 12.51%, 且显著高于其他胎次; 日产奶量第 4 胎次 (35.06 kg) 显著高于前 3 个胎次, 到第 5 胎次稍有下降, 但差异不显著; 高峰奶量在第 3 胎次达到最高水平 (47.20 kg), 显著高于第 1、2、5 胎次; 脂蛋比第 2 胎次 (1.13) 显著高于第 1 胎次, 其他胎次均差异不显著。

乳糖率则呈现先下降后上升的趋势, 第 3 胎次 (4.84%) 显著低于第 1、2、4 胎次。泌乳高峰日在第

1 胎次最晚出现, 为 94.07 d, 显著高于其他胎次, 第 4 胎次泌乳高峰日出现最早 (67.33 d), 显著低于第 1、2、3 胎次。体细胞评分随着胎次的增加呈上升趋势, 第 5 胎次 (3.26) 显著高于前 4 个胎次。

2.3 1~3 胎次泌乳时期对 7 项泌乳性状的影响

由于第 4 和 5 胎次的数据量较少, 因此在“2.3”和“2.4”的分析中不作考虑。由表 4 可知, 1~3 胎次泌乳时期对泌乳性状均影响显著。其中日产奶量和乳糖率在第 1 胎次泌乳前期和中期差异不显著, 泌乳后期迅速下降, 而在 2、3 胎次随着泌乳时期的延长均逐步下降。乳蛋白率和乳固形物含量 3 个胎次均随着泌乳时期的延长呈现上升趋势。体细胞评分和乳脂率在第 1 胎次呈现先下降再上升的趋势, 第 2、3 胎次体细胞评分和乳脂率随泌乳时期延长均逐渐增高, 且体细胞评分和乳脂率 (第

表 3 不同胎次泌乳性状的最小二乘均值¹⁾

Table 3 Least square means of lactation traits in different parities

性状 Trait	1胎次 1st parity		2胎次 2nd parity		3胎次 3rd parity		4胎次 4th parity		5胎次 5th parity	
	数据量		数据量		数据量		数据量		数据量	
	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount
日产奶量/kg Daily milk yield	30.37±0.129a	7061	33.83±0.140b	5610	32.00±0.181c	3585	35.06±0.301d	1292	34.54±0.688bd	3585
乳脂率/% Milk fat percentage	3.67±0.011a	7061	3.79±0.012b	5610	3.77±0.016bc	3585	3.72±0.026ac	1292	3.62±0.059a	248
乳蛋白率/% Milk protein percentage	3.30±0.005a	7061	3.35±0.005b	5610	3.35±0.006b	3585	3.30±0.011a	1292	3.25±0.025c	248
脂蛋比 Fat to protein ratio	1.12±0.003a	7061	1.13±0.004b	5610	1.13±0.005ab	3585	1.13±0.008ab	1292	1.12±0.017ab	248
体细胞评分 Somatic cell score	2.57±0.021a	7061	2.70±0.023b	5610	2.92±0.029c	3585	2.83±0.048c	1292	3.26±0.110d	248
乳糖率/% Milk lactose percentage	4.96±0.003a	7061	4.86±0.003b	5610	4.84±0.004c	3585	4.86±0.007b	1292	4.86±0.016bc	248
乳固形物含量/% Milk solid content	12.39±0.014a	7061	12.51±0.016b	5610	12.43±0.020a	3585	12.37±0.033a	1292	12.13±0.075c	248
高峰奶量/kg Peak milk yield	37.03±0.111a	6842	46.66±0.124b	5497	47.20±0.154c	3533	46.96±0.257bc	1274	44.39±0.589d	242
泌乳高峰日/d The day of peak milk yield	94.07±0.699a	6842	72.87±0.780b	5497	73.32±0.973b	3533	67.33±1.620c	1274	68.55±3.716bc	242

1) 同行数据后的不同小写字母表示不同胎次间差异显著($P<0.05$, Duncan's法)

1) Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among different parities ($P<0.05$, Duncan's method)

表 4 泌乳性状在不同泌乳时期的最小二乘均值¹⁾

Table 4 Least square means of lactation traits in different lactation stages

性状 Trait	胎次 Parity	泌乳前期 Early lactation		泌乳中期 Mid lactation		泌乳后期 Late lactation	
		数据量		数据量		数据量	
		$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount
日产奶量/kg Daily milk yield	1	31.73±0.179a	3585	31.67±0.202a	3585	28.27±0.167b	3585
	2	41.54±0.248a	1662	35.81±0.239b	1791	26.24±0.218c	2157
	3	39.50±0.362a	854	33.87±0.298b	1257	26.07±0.275c	1474
乳脂率/% Milk fat percentage	1	3.59±0.018a	2407	3.53±0.021b	1888	3.85±0.017c	2766
	2	3.64±0.023a	1662	3.73±0.022b	1791	3.94±0.020c	2157
	3	3.64±0.033a	854	3.70±0.027a	1257	3.91±0.025b	1474
乳蛋白率/% Milk protein percentage	1	3.11±0.007a	2407	3.30±0.008b	1888	3.46±0.007c	2766
	2	3.11±0.008a	1662	3.34±0.008b	1791	3.54±0.007c	2157
	3	3.09±0.012a	854	3.34±0.010b	1257	3.52±0.009c	1474
脂蛋比 Fat to protein ratio	1	1.16±0.005a	2407	1.07±0.006b	1888	1.11±0.005c	2766
	2	1.18±0.007a	1662	1.12±0.006b	1791	1.11±0.006b	2157
	3	1.19±0.009a	854	1.11±0.008b	1257	1.11±0.007b	1474
体细胞评分 Somatic cell score	1	2.49±0.034a	2407	2.35±0.038b	1888	2.80±0.032c	2766
	2	2.11±0.041a	1662	2.52±0.039b	1791	3.30±0.036c	2157
	3	2.37±0.059a	854	2.85±0.048b	1257	3.30±0.045c	1474
乳糖率/% Milk lactose percentage	1	4.98±0.005a	2407	4.99±0.005a	1888	4.91±0.004b	2766
	2	4.94±0.006a	1662	4.88±0.006b	1791	4.79±0.005c	2157
	3	4.93±0.009a	854	4.87±0.007b	1257	4.76±0.007c	1474
乳固形物含量/% Milk solid content	1	12.15±0.023a	2407	12.25±0.026b	1888	12.69±0.021c	2766
	2	12.22±0.029a	1662	12.48±0.028b	1791	12.75±0.025c	2157
	3	12.06±0.041a	854	12.37±0.034b	1257	12.70±0.032c	1474

1) 同行数据后的不同小写字母表示不同泌乳时期间差异显著($P<0.05$, Duncan's法)

1) Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among different lactation stages ($P<0.05$, Duncan's method)

3 胎次泌乳前期和中期除外) 在不同泌乳时期差异显著。脂蛋比在第 1 胎次泌乳前期至泌乳后期表现出先下降后上升的趋势, 到第 2、3 胎次时呈现下降趋势, 仅泌乳前期和中后期均差异显著。

2.4 1~3 胎次产犊季节对 9 项泌乳性状的影响

由表 5 可知, 1~3 胎次春季至冬季乳脂率均逐步下降, 3 个胎次(第 2、3 胎次春季和夏季除外) 乳脂率在 4 个产犊季节间差异显著。乳固形物含量第 1、2 胎次在春季至冬季逐渐下降; 第 3 胎次时夏季产犊个体乳固形物含量达到最高值, 为 12.69%, 与秋季和冬季差异显著。相反, 日产奶量和乳糖率在第 1 胎次春季至冬季逐步增高, 且日产奶量在不

同产犊季节间差异显著; 但第 2、3 胎次日产奶量和乳糖率在夏季最低, 冬季最高, 且日产奶量不同产犊季节间差异显著。

乳蛋白率和体细胞评分 3 个胎次春季至冬季整体上呈现先升高后降低的态势, 且在夏季达到最高, 冬季最低; 其中第 1 胎次乳蛋白率不同产犊季节间差异显著, 体细胞评分第 1 胎次春季和夏季显著高于秋季和冬季; 第 2、3 胎次乳蛋白率和体细胞评分除春季和秋季外其他产犊季节间均差异显著。高峰奶量整体上同样呈现先升高后降低的趋势, 但在春季最低; 第 1 胎次夏季产犊的个体高峰奶量显著高于其他季节, 到第 2、3 胎次时秋季产犊个体高

表 5 泌乳性状在不同产犊季节的最小二乘均值¹⁾

Table 5 Least square means of lactation traits in different calving seasons

性状 Trait	胎次 Parity	春季 Spring		夏季 Summer		秋季 Autumnn		冬季 Winter	
		数据量		数据量		数据量		数据量	
		$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount	$\bar{x}\pm\sigma$	Data amount
日产奶量/kg	1	28.12±0.217a	1633	29.23±0.259b	1155	30.77±0.214c	1691	32.03±0.173d	2582
Daily milk	2	31.46±0.349a	1022	27.13±0.361b	959	32.79±0.278c	1612	39.04±0.249d	2017
yield	3	30.93±0.460a	585	26.19±0.377b	871	32.21±0.323c	1186	37.79±0.362d	943
乳脂率/%	1	3.92±0.022a	1633	3.74±0.026b	1155	3.65±0.022c	1691	3.50±0.018d	2582
Milk fat	2	3.95±0.029a	1022	3.89±0.030a	959	3.81±0.023b	1612	3.63±0.021c	2017
percentage	3	3.97±0.040a	585	3.91±0.033a	871	3.76±0.028b	1186	3.54±0.031c	943
乳蛋白率/%	1	3.30±0.009a	1633	3.42±0.011b	1155	3.36±0.009c	1691	3.20±0.007d	2582
Milk protein	2	3.38±0.011a	1022	3.53±0.012b	959	3.40±0.009a	1612	3.21±0.008c	2017
percentage	3	3.36±0.015a	585	3.51±0.013b	871	3.39±0.011a	1186	3.16±0.012c	943
脂蛋比	1	1.20±0.007a	1633	1.09±0.008b	1155	1.09±0.006b	1691	1.10±0.005b	2582
Fat to	2	1.18±0.008a	1022	1.10±0.009b	959	1.12±0.007bc	1612	1.13±0.006cd	2017
protein ratio	3	1.19±0.011a	585	1.11±0.009b	871	1.11±0.008b	1186	1.12±0.009b	943
体细胞评分	1	2.78±0.041a	1633	2.80±0.049a	1155	2.44±0.041b	1691	2.43±0.033b	2582
Somatic	2	2.84±0.054a	1022	3.21±0.056b	959	2.74±0.043a	1612	2.36±0.038c	2017
cell score	3	2.85±0.072a	585	3.29±0.059b	871	2.97±0.050a	1186	2.56±0.056c	943
乳糖率/%	1	4.91±0.006a	1633	4.95±0.007b	1155	4.97±0.006b	1691	4.98±0.005c	2582
Milk lactose	2	4.83±0.008a	1022	4.81±0.008b	959	4.85±0.006a	1612	4.91±0.006c	2017
percentage	3	4.80±0.011a	585	4.77±0.009a	871	4.84±0.008b	1186	4.93±0.009c	943
乳固形物含量/%	1	12.64±0.028a	1633	12.51±0.033b	1155	12.44±0.028b	1691	12.13±0.022c	2582
Milk solid	2	12.69±0.037a	1022	12.69±0.038a	959	12.61±0.029a	1612	12.25±0.026b	2017
content	3	12.62±0.050a	585	12.69±0.041a	871	12.49±0.035b	1186	11.99±0.039c	943
高峰奶量/kg	1	35.12±0.201a	1528	38.63±0.232b	1143	37.88±0.193c	1646	36.90±0.156d	2525
Peak milk	2	44.55±0.306a	975	46.06±0.311b	945	48.09±0.239c	1600	46.83±0.215d	1977
yield	3	44.88±0.426a	556	47.93±0.342b	861	48.85±0.292c	1182	45.82±0.329a	934
泌乳高峰日/d	1	68.78±1.515a	1528	146.45±1.752b	1143	112.54±1.460c	1646	73.62±1.179d	2525
The day of peak	2	62.56±1.656a	975	104.79±1.682b	945	75.99±1.293c	1600	60.18±1.163a	1977
milk yield	3	57.19±2.039a	556	96.99±1.638b	861	75.00±1.398c	1182	58.96±1.573a	934

1) 同行数据后的不同小写字母表示不同季节间差异显著($P<0.05$, Duncan's法)
1) Different lowercase letters in the same row indicate significant differences among different seasons ($P<0.05$, Duncan's method)

峰奶量显著高于其他季节。泌乳高峰日和高峰奶量变化趋势相同,1~3 胎次在夏季产犊的个体达到高峰奶量的时间最晚,且与其他产犊季间差异显著。春季产犊的个体脂蛋白比 1~3 胎次均显著高于其他产犊季节。

2.5 泌乳性状在不同体细胞评分中的变化规律

不同体细胞评分泌乳性状的变化规律见图 1~图 3。随着体细胞评分增高,乳糖率、日产奶量及高峰奶量整体上呈下降趋势;其中高峰奶量在评分 0~2 和 5~8 时下降速度较快,评分 3~5 基本保持平稳,评分 8~9 时有增高趋势;日产奶量在评分 0~4 时下降速度较快,4 分以后基本保持平稳。乳脂率和乳蛋白率随着体细胞评分增加呈平滑的缓慢上升趋势;泌乳高峰日在评分 0~5 时上升速度较快,评分 5~9 时则缓慢下降;乳固形物含量在体细胞评分为 4 时达到最佳,评分靠前或靠后均逐渐降低。脂蛋白比随体细胞评分增加整体处于平稳趋势。

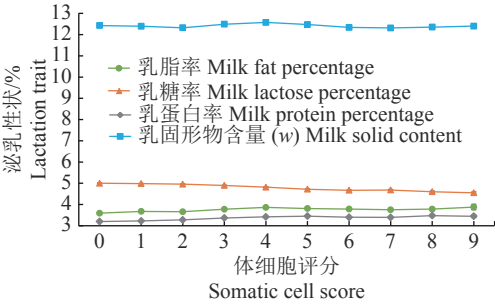


图 1 乳脂率、乳蛋白率、乳糖率及乳固形物含量在不同体细胞评分中的变化规律

Fig. 1 Changes of milk fat percentage, milk protein percentage, milk lactose percentage and milk solid content along with the variation of somatic cell score

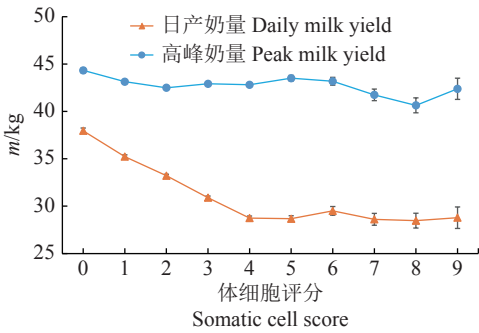


图 2 日产奶量和高峰奶量在不同体细胞评分中的变化规律

Fig. 2 Changes of daily milk yield and peak milk yield along with the variation of somatic cell score

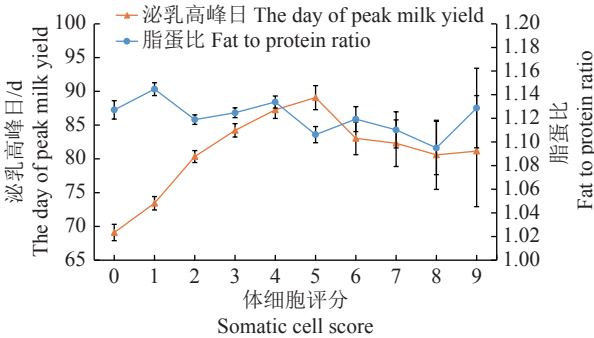


图 3 泌乳高峰日和脂蛋白比在不同体细胞评分中的变化规律

Fig. 3 Changes of the day of peak milk yield and fat to protein ratio along with the variation of somatic cell score

2.6 9 项泌乳性状相关性分析

由表 6 可知,乳蛋白率和乳固形物含量,脂蛋白比和乳固形物含量,乳脂率和脂蛋白比、乳固形物含量呈强相关;日产奶量和高峰奶量,乳脂率和乳蛋白率呈中等程度相关;日产奶量和乳糖率呈弱相

表 6 泌乳性状之间的 Pearson 相关系数¹⁾
Table 6 Pearson correlation coefficient between lactation traits

性状 Trait	DMY	MFP	MPP	FPR	SCS	MLP	MSC	PMY	DPMY
日产奶量 Daily milk yield (DMY)	1.000								
乳脂率 Milk fat percentage (MFP)	-0.158*	1.000							
乳蛋白率 Milk protein percentage (MPP)	-0.362*	0.423*	1.000						
脂蛋白比 Fat to protein ratio (FPR)	0.012*	0.881*	-0.042*	1.000					
体细胞评分 Somatic cell score (SCS)	-0.240*	0.076*	0.183*	-0.006	1.000				
乳糖率 Milk lactose percentage (MLP)	0.261*	-0.125*	-0.176*	-0.050*	-0.394*	1.000			
乳固形物含量 Milk solid content (MSC)	-0.198*	0.896*	0.625*	0.663*	0.020*	-0.029*	1.000		
高峰奶量 Peak milk yield (PMY)	0.404*	0.069*	-0.050*	0.099*	-0.006	-0.138*	0.060*	1.000	
泌乳高峰日 The day of peak milk yield (DPMY)	-0.045*	0.007	0.059*	-0.022*	0.055*	0.029*	0.004	-0.204*	1.000

1) “*” 表示显著相关(P<0.05)
1) “*” indicates significant correlation (P<0.05)

关; 体细胞评分和乳糖率, 乳糖率和高峰奶量, 高峰奶量和泌乳高峰日, 日产奶量和乳脂率、乳蛋白率、体细胞评分呈弱负相关, 其他性状之间均为极弱相关或无相关性。

3 讨论

3.1 胎次对 9 项泌乳性状的影响

本研究胎次、泌乳时期、产犊季节及泌乳时期和产犊季节的交互作用分别对乳成分及其相关指标具有显著影响; 胎次和泌乳时期互作对日产奶量、体细胞评分、乳糖率、乳固形物含量、高峰奶量、脂蛋比及泌乳高峰日的影响达到显著水平; 胎次和产犊季节互作对日产奶量、乳脂率、乳固形物含量和泌乳高峰日的影响达到显著水平, 这与熊本海等^[11], 常玲玲等^[4]报道的总体趋势结果一致。就具体的胎次而言, 在奶产量方面, 宁夏地区荷斯坦奶牛日产奶量和高峰奶量随胎次增加呈先增高后下降的趋势, 与已有研究结果相一致^[15-16]。其中日产奶量在第 4 胎次达到最佳 (35.06 kg), 显著高于前 3 个胎次, 较熊本海等^[11]第 4 胎次研究结果 (29.05 kg) 偏高, 体现出宁夏地区荷斯坦牛近些年日产奶量整体水平的提高及饲养管理水平的提高。高峰奶量第 3 胎次 (47.20 kg) 显著高于第 1、2、5 胎次, 虽然日产奶量在第 4 胎次达到最佳水平, 但也并不能代表高峰奶量随之增高, 它们可能不是完全的线性关系。在乳成分方面, 乳脂率、乳蛋白率、乳固形物含量、脂蛋比和日产奶量一样, 均呈现先增高后下降的态势; 乳脂率在第 2 胎次最高 (3.78%), 乳蛋白率在第 3 胎次最高 (3.77%), 与 Sevi 等^[17]和熊本海等^[11]研究结果基本相一致, 因此, 即使宁夏地区荷斯坦牛奶产量在第 4 胎次表现最佳, 但是乳脂率和乳蛋白率还有待提升。由于乳脂率和乳蛋白率在第 2、3 胎次较高, 相应的乳固形物含量也表现出第 2 胎次显著高于其他胎次。乳糖率随胎次的变化规律与乳脂率、乳蛋白率相反, 呈先下降后上升的趋势, 相关性分析结果也进一步印证了该趋势, 且第 3 胎次乳糖率 (4.84%) 显著低于其他胎次。体细胞评分在奶牛饲养中是判定牛奶质量和乳房炎感染的重要指标, 评分越高表明奶牛患有乳房炎的概率越大^[18], 本研究体细胞评分随着胎次的增加呈上升趋势, 第 5 胎次 (3.26) 显著高于前 4 个胎次, 原因是泌乳母牛的乳房长期被挤奶器挤压, 乳头括约肌机能衰退、松弛、闭合不严, 导致病原体侵入并感染乳区或二次感染, 最终引起生鲜乳品质在胎次增加过程中逐渐下降, 牧场损失加重, 更进一步解释了我国大

多数奶牛在第 3 胎后被逐步淘汰的原因, 因此宁夏地区荷斯坦奶牛在今后的发展中不仅要降低整体的乳体细胞数, 更应该将重点放在提高胎次牛奶的品质上, 从而发挥出奶牛的最大生产潜力, 提高其生产寿命。

3.2 不同胎次泌乳时期对 7 项泌乳性状的影响

宁夏地区荷斯坦牛日产奶量和乳糖率随泌乳时期的延长整体上呈下降趋势, 第 1 胎次泌乳前期和中期差异不显著, 泌乳后期显著下降, 可能是因为头胎次泌乳牛处于生长发育阶段, 泌乳性能还不够稳定; 到第 2、3 胎次时日产奶量和乳糖率均显著下降, 这与童雄等^[10]和魏琳琳等^[19]研究结果一致。乳蛋白率和乳固形物含量 3 个胎次、乳脂率第 2、3 胎次均随着泌乳时期的延长呈现上升趋势, 与陈艳珍^[20]报道相一致; 本研究发现乳脂率在第 1 胎次时呈现先下降再上升的趋势, 且不同泌乳时期差异显著, 这可能和日产奶量在第 1 胎次泌乳前期和中期相近有关, 因为随着泌乳高峰的到来, 产奶量迅速上升, 而乳脂率会明显降低^[21], 本研究相关性分析结果显示日产奶量和乳脂率呈弱负相关, 也进一步印证了上述观点。相关性分析表明乳脂率和脂蛋比呈显著强正相关, 因此第 1 胎次脂蛋比随泌乳时期的变化趋势和乳脂率相同, 但是到第 2、3 胎次脂蛋比却显著下降了, 可能是乳蛋白率在第 2、3 胎次增高的速率较乳脂率快所致。孙宇等^[22]研究发现体细胞数在泌乳早期和晚期最高, 泌乳中期稳定且较低, 与本研究在第 1 胎次结果相同, 因为奶牛初次泌乳时, 身体各方面机能还在逐步发育中, 体细胞评分受泌乳时期影响较小; 然而到第 2、3 胎次时体细胞评分随泌乳时期延长显著增高, 原因是经产奶牛在经历过 1 个或多个泌乳期之后, 乳房会产生轻微的机械损伤, 导致感染乳房炎的几率增大, 使得乳中体细胞评分随泌乳周期的增加而增多^[23]。

3.3 不同胎次产犊季节对 9 项泌乳性状的影响

马燕芬^[24]研究表明, 我国大部分地区奶牛在 12、1 月产犊比 7、8 月产犊的产奶量高出 20%~30%, 本研究日产奶量 3 个胎次同样均为冬季最高, 且达到显著水平; 但刘燕飞^[25]研究指出武威市荷斯坦牛产犊季节对产奶量的影响差异不显著, 产奶量呈现秋季较高、冬季次之、夏季和春季最低, 这可能与武威地区的气候特点有关。乳糖率与日产奶量呈显著弱相关, 因此本研究乳糖率不同胎次随产犊季节的变化规律与日产奶量相同。张美荣等^[26]研究表明, 春季和冬季产犊的牛只乳脂率和乳蛋白率显著高于夏季, 魏鹏飞等^[27]同样指出春季产犊的乳蛋

白率、乳脂率为全年最高水平,本研究乳脂率结果与上述报道一致,但乳蛋白率不同胎次春季至冬季整体上呈现先升高后降低的态势,且在夏季达到最高,冬季最低,可能由于本研究 DHI 测定的奶牛个体多数处于泌乳后期(7 个月),而乳蛋白率随泌乳时期的延长显著增高,夏季产犊的奶牛等到 7 个月正好是下一年的春季,因此夏季产犊的个体乳蛋白率会显著高于其他季节。体细胞评分不同胎次春季至冬季整体上呈现先升高后降低的态势,且在夏季达到最高,冬季处于最低水平,主要由于宁夏地区夏季气温普遍较高,微生物大量滋生,奶牛乳腺炎发病率增加,而冬季温湿度适宜,对体细胞数的影响较少。脂蛋比不同胎次春季产犊个体显著高于其他产犊季节的奶牛个体,是因为春季产犊个体的乳脂率最高,乳蛋白率相对较低所致。由于乳蛋白率和乳脂率整体随产犊季节延后呈下降趋势,且二者与乳固形物含量均呈显著强相关,因此乳固形物含量在 3 个胎次春季至冬季均逐渐下降。高峰奶量和泌乳高峰日 1~3 胎次均处于先升高后降低趋势,在第 1 胎次夏季产犊的个体高峰奶量最高,为 38.63 kg,且达到高峰奶量的时间也最晚(146 d),首先是因为夏季气温较高,奶牛的采食量也相应减少,但随着时间延长,到秋季时气候适宜,蚊虫相对较少,奶牛的采食量逐渐增加,产奶量会逐渐上升;其次李欣等^[13]研究也表示宁夏地区荷斯坦牛产奶量随着泌乳周表现出先增高后降低的趋势,且在 20 周左右产奶量达到最高值,本研究达到泌乳高峰日的时间正好也在 20 周左右,也就很好地阐释了宁夏地区荷斯坦牛夏季产犊高峰奶量最高的原因。

3.4 泌乳性状在不同体细胞评分中的变化规律分析

本研究结果表明随着体细胞评分升高,乳糖率、日产奶量及高峰奶量整体呈下降趋势,而乳脂率和乳蛋白率逐渐上升,与张海平等^[14]和马裴裴等^[28]的研究结果相一致,主要原因可能是随着体细胞数增加,病原菌以及细胞因子分泌的毒素更多,进而侵入并损伤了乳腺上皮细胞,因此为了提高产奶量,必须改善并保持牛舍环境,提高奶牛福利,高度重视奶牛乳房感染的前期预防工作。有报道^[29]发现乳蛋白率随体细胞数的上升略有下降,可能是本研究中感染乳房炎的荷斯坦牛产奶量下降的幅度较大,以及日产奶量和乳蛋白率的负相关关系,导致乳蛋白率上升。由于乳固形物包括乳脂肪、蛋白质、乳糖及无机盐等,乳糖率又和乳蛋白率、乳脂率呈负相关,因此乳固形物含量随体细胞评分的变

化趋势和乳蛋白率、乳糖率不同,它是先升高后降低,且在评分为 4 时达到最佳,表明体细胞数与乳固形物含量并不呈线性关系,达到适宜的体细胞数才会使得乳固形物含量达到最高。泌乳高峰日随体细胞评分增加先上升后缓慢下降,在评分为 5 时达到最高,提示奶牛乳汁中体细胞数偏低或偏高都会导致高峰奶量提前。

4 结论

本研究发现胎次、泌乳时期和产犊季节分别显著影响宁夏地区荷斯坦牛乳产量、乳成分及其他相关指标,但影响的显著程度各异。

1) 日产奶量在第 4 胎次达到最高值,表明宁夏地区荷斯坦牛有效泌乳期逐渐延长,高胎次奶牛的身体健康程度也在不断提高,然而到第 5 胎次时日产奶量趋于下降,因此在今后的养殖过程中奶牛自身健康应是重点关注的方面。即使日产奶量在第 4 胎次表现最佳,但是乳脂率和乳蛋白率还有待共同提升。

2) 本研究体细胞评分随着胎次的增加呈上升趋势,第 5 胎次的体细胞评分(3.26)显著高于前 4 个胎次,提示牧场在今后的发展中不仅要降低整体的乳体细胞数,更应该将重点放到提高胎次牛奶的品质上,从而发挥出奶牛的最大生产潜力。

3) 第 2、3 胎次时由于挤奶时的机械损伤,奶牛感染乳房炎的几率增大,使得乳中体细胞评分随泌乳时期延长显著增高,因此在日常挤奶过程中应高度重视操作的规范性。

4) 高峰奶量和泌乳高峰日 1~3 胎次随产犊季节变化均处于先升高后降低趋势,相对于其他胎次,第 1 胎次时夏季产犊的个体高峰奶量最高,且达到高峰奶量的时间也最晚(146 d)。

5) 体细胞数与乳固形物含量并不呈线性关系,达到适宜的体细胞数才会使得乳固形物含量达到最高;奶牛乳汁中体细胞数偏低或偏高都会导致高峰奶量提前。

参考文献:

[1] 刘丽元,田佳,温万,等.宁夏地区荷斯坦牛产奶量和产犊间隔影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(9): 68-74.

[2] HOPKINS D, STEER C D, NORTHSTONE K, et al. Effects on childhood body habitus of feeding large volumes of cow or formula milk compared with breastfeeding in the latter part of infancy[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2015, 102(5): 1096-1103.

[3] VUJANAC I, KIROVSKI D, SAMANC H, et al. Milk

production in high-yielding dairy cows under different environment temperatures[J]. *Large Animal Review*, 2012, 18(1): 31-36.

[4] 常玲玲,杨章平,陈仁金,等.南方集约化饲养条件下荷斯坦奶牛乳脂率和乳蛋白率变化规律的初步研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2010(1): 50-54.

[5] ADEDIRAN S A, NISH P, DONAGHY D J, et al. Genetic and environmental factors influencing milk, protein and fat yields of pasture-based dairy cows in Tasmania[J]. *Animal Production Science*, 2010, 50(4): 265-275.

[6] BONFOH B, ZINSSTAG J, FARAH Z, et al. Raw milk composition of Malian Zebu cows (*Bos indicus*) raised under traditional system[J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2005, 18(1): 29-38.

[7] KOC A. Short communication: Effects of some environmental factors and extended calving interval on milk yield of Red Holstein cows[J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2012, 10(3): 717-721.

[8] GUINN J M, NOLAN D T, KRAWCZEL P D, et al. Comparing dairy farm milk yield and components, somatic cell score, and reproductive performance among United States regions using summer to winter ratios[J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(12): 11777-11785.

[9] FRANZOI M, MANUELIAN C L, PENASA M, et al. Effects of somatic cell score on milk yield and mid-infrared predicted composition and technological traits of Brown Swiss, Holstein Friesian, and Simmental cattle breeds[J]. *Journal of Dairy Science*, 2020, 103(1): 791-804.

[10] 童雄,王秀娟,李大刚,等.华南地区荷斯坦牛泌乳性能在季节、胎次、泌乳时期影响下的变化规律[J]. *华南农业大学学报*, 2018, 39(2): 16-22.

[11] 熊本海,易渺,杨琴,等.中国北方荷斯坦奶牛乳成分及相关指标的季节性与胎次变化规律研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2013, 44(1): 31-37.

[12] 竹磊,张海亮,陈少侃,等.荷斯坦牛泌乳早期体细胞数的群体特征及影响因素分析[J]. *畜牧兽医学报*, 2019, 50(11): 2226-2234.

[13] 李欣,温万,脱征军,等.宁夏地区荷斯坦奶牛产奶量以及乳成分变化模型的构建与分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(11): 35-41.

[14] 张海平,王海燕,高鹏,等.宁夏产区荷斯坦牛乳体细胞数及乳成分影响因素[J]. *乳业科学与技术*, 2019, 42(2): 7-12.

[15] 田月珍,冯文,王雅春,等.新疆褐牛乳中体细胞数与产奶性状的影响因素分析[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(12): 2437-2448.

[16] 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.

[17] SEVI A, TAIBI L, ALBENZIO M, et al. Effect of parity on milk yield, composition, somatic cell count, renneting parameters and bacteria counts of Comisana ewes[J]. *Small Ruminant Research*, 2000, 37(1/2): 99-107.

[18] 沈维军,杨永新,王加启,等.高体细胞数低乳糖含量时牛乳清蛋白组分变化的研究[J]. *畜牧兽医学报*, 2012(5): 755-760.

[19] 魏琳琳,杨继业,秦雪,等.季节、胎次、泌乳时期与奶牛产奶量及乳成分的相关分析[J]. *中国奶牛*, 2015(19/20): 40-44.

[20] 陈艳珍.影响牛乳成分含量变化的因素[J]. *乳业科学与技术*, 2005(4): 45-47.

[21] PULINA G, NUDDA A, BATTACONE G, et al. Effects of nutrition on the contents of fat, protein, somatic cells, aromatic compounds, and undesirable substances in sheep milk[J]. *Animal Feed Science & Technology*, 2006, 131(3/4): 255-291.

[22] 孙宇,牛连信,张彦林,等.奶牛乳体细胞数的变化规律及其与乳成分的关系[J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(6): 133-134.

[23] 杨春合,顾宪红,刘云祥,等.泌乳阶段与产奶季节对初产奶牛牛乳体细胞数的影响[J]. *家畜生态学报*, 2014, 35(1): 39-43.

[24] 马燕芬.影响奶牛产奶量的因素[J]. *中国奶牛*, 2007(11): 20-22.

[25] 刘燕飞.产犊季节和胎次对奶牛产奶量的影响[J]. *甘肃畜牧兽医*, 2013, 43(10): 39-40.

[26] 张美荣,廖想想,陈丹,等.产犊季节、胎次及牛场对荷斯坦牛泌乳性能的影响[J]. *中国奶牛*, 2012(21): 32-35.

[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] 马裴裴,俞英,张沅,等.中国荷斯坦牛 SCC 变化规律及其与产奶性状之间的关系[J]. *畜牧兽医学报*, 2010, 41(12): 1529-1535.

[29] 郝建国.日本学者对体细胞数与乳房炎关系的论述[J]. *中国奶牛*, 2002(1): 52-54.

【责任编辑 庄 延】