

玉米粉碎粒度对泌乳期奶牛生产性能的影响

罗 东，谭 凯，王亭帅，龚飞飞*

(新疆天康饲料有限公司，新疆五家渠 831300)

摘 要: [目的] 本试验旨在研究在日粮中使用天康682AT-3 (1.0 φ 筛片粉碎玉米) 试验料替代天康7818 (2.0 φ 筛片粉碎玉米) 试验料，对泌乳奶牛产奶量、干物质采食量和饲料转化率的影响。[方法] 试验选用270 头健康、胎次相近且平均产奶量为35 kg 的荷斯坦牛，采用自身对照试验设计，试验前饲喂2.0 φ 筛片粉碎玉米的基础日粮，试验周期21 d，其中包含7 d 预饲期和14 d 正饲期，试验全程记录产奶量及干物质采食量并计算饲料转化率。[结果] 与对照组相比，泌乳牛饲喂682AT-3 试验料后日均产奶量显著提升0.99 kg ($P<0.05$)，干物质采食量小幅下降0.24 kg (-0.89%)，饲料转化率从1.306 提升至1.355 (+3.75%)；当精补料中玉米粉碎粒度从2.0 φ 降至1.0 φ 时，公斤奶成本降低0.07 元/kg。[结论] 将奶牛日粮中玉米粉碎粒度从2.0 φ 降至1.0 φ 可显著提升产奶量、提高饲料转化率并降低养殖成本，但会造成乳品质小幅下降，牧场可结合乳价体系 (如乳成分计价方式) 综合评估经济效益后合理选择玉米粉碎粒度。本研究为奶牛日粮玉米适宜粉碎粒度的选择提供了理论依据与数据支撑。

关键词: 泌乳期奶牛；生产性能；产奶量；玉米粉碎粒度；乳指标

文章编号: 1671-4393 (2026) 03-0040-07

DOI:10.12377/1671-4393.26.03.06

The Impact of Different Corn Particle Sizes on Lactating Dairy Cow Performance

LUO Dong, TAN Kai, WANG Tingshuai, GONG Feifei*

(Xinjiang Tiankang Feed Co., Ltd., Wujiaqu Xinjiang 831300)

Abstract: [Objective] This experiment aimed to investigate the effects of replacing Tiankang 7818 (corn crushed with a 2.0 φ screen) with Tiankang 682AT-3 (corn crushed with a 1.0 φ screen) in the diet on milk yield, dry matter intake, and feed conversion efficiency of lactating dairy cows.[Method] A total of 270 healthy Holstein cows with similar parity and an average milk yield of 35 kg were selected for a self-control experiment. The cows were fed

基金项目: “天山英才”培养计划青年科技创业人才-成母牛年单产提升至13吨路径探索项目 (2023TSYCCY0010)

作者简介: 罗 东 (1993-)，男，新疆乌鲁木齐人，硕士，研究方向为草食动物营养；

谭 凯 (1999-)，男，新疆阿勒泰人，硕士，研究方向为草食动物营养；

王亭帅 (1999-)，男，安徽合肥人，硕士，研究方向为草食动物营养。

***通信作者:** 龚飞飞 (1985-)，男，新疆乌鲁木齐人，博士，研究方向为草食动物营养。

with the diet containing corn crushed by 2.0 ϕ screen before the experiment. The experimental period was 21 days, including a 7-day pre-feeding period and a 14-day formal feeding period. Milk yield and dry matter intake were recorded throughout the experiment, and feed conversion efficiency was calculated. [Result] The results showed that compared with the control group, the average daily milk yield of lactating cows fed with Tiankang 682AT-3 increased significantly by 0.99 kg ($P < 0.05$), the dry matter intake decreased slightly by 0.24 kg (-0.89%), and the feed conversion efficiency increased from 1.306 to 1.355 (+3.75%). Moreover, when the corn particle size in the concentrate feed decreased from 2.0 ϕ to 1.0 ϕ , the cost per kilogram of milk was reduced by 0.07 yuan/kg. [Conclusion] Reducing the corn particle size in dairy cow diet from 2.0 ϕ to 1.0 ϕ could significantly increase milk yield, improve feed conversion efficiency and reduce breeding costs, but it would cause a slight decrease in milk quality. Ranches could comprehensively evaluate the economic benefits combined with the milk price system (such as milk component pricing method) to select the appropriate corn particle size rationally. This study provided theoretical basis and data support for the selection of suitable corn particle size in dairy cow diet.

Keywords: lactating dairy cow; production performance; milk yield; corn particle size; milk indicator

玉米营养价值丰富^[1~3], 由其加工制成的玉米粉 (Corn Meal) 是重要的能量饲料原料, 在反刍动物尤其是奶牛日粮配制中应用广泛^[4]。玉米粉的主要成分为淀粉 (含量为60%~70%), 是奶牛关键的葡萄糖来源, 可提供快速发酵的碳水化合物, 为瘤胃微生物及奶牛机体供应能量^[5]。玉米粉碎粒度不仅在饲料加工设备结构设计与参数优化中具有重要意义, 同时也直接影响畜禽生产性能^[6, 7]。

研究表明, 玉米粉碎粒度可显著改变反刍动物对淀粉的利用效率与瘤胃发酵特性, 进而影响奶牛生产性能与瘤胃健康。粉碎或破碎程度不同, 会导致玉米中非结构性碳水化合物的可利用性存在差异, 这在淀粉消化过程中发挥重要作用^[8, 9]。此外, 玉米粉碎粒度还会影响其在瘤胃内的发酵模式及小肠消化率。Correa等^[10]研究发现, 高玻璃质玉米淀粉的瘤胃降解率相对较低。

在奶牛精准营养调控中, 玉米粉碎粒度作为关键的物理加工参数, 通过改变淀粉瘤胃降解特性与小肠消化率, 显著影响能量利用效率、乳成分合成及瘤胃健康状况^[11, 12]。Moe等^[13]研究表明, 在精料水平为54.5%的奶牛日粮中, 细粉碎玉米 (全肠道消

化率68.3%) 较整粒玉米 (消化率59.1%) 可显著提高全肠道消化率, 但过度细粉碎易造成淀粉在瘤胃内快速发酵, 增加亚急性瘤胃酸中毒 (SARA) 发生风险^[14]。

因此, 本研究旨在探讨不同玉米粉碎粒度对奶牛生产性能、瘤胃发酵及营养物质消化利用的影响, 为奶牛日粮中玉米适宜粉碎粒度的选择提供理论依据与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验动物及试验设计

本研究采用自身对照试验设计, 参考朱河水等^[15]的试验方法, 选取270头健康荷斯坦泌乳牛, 要求平均泌乳天数 (180 $\pm$ 25) d、平均日产奶量35 kg。试验周期为2025年3月28日至2025年4月17日, 饲养场地为昌吉市佃坝镇天缘朗润奶牛场生产基地, 试验所用玉米粉购自新疆天康饲料科技有限公司。

试验分为7 d预饲期和14 d正饲期: 预饲期所有奶牛饲喂基础日粮 (2.0 ϕ 筛片粉碎玉米); 正饲期饲喂1.0 ϕ 筛片粉碎玉米的等配方试验日粮。试验全程禁止奶牛转群, 减少应激反应, 并定期对饲养器

具和环境进行消毒处理。

1.2 饲养管理

试验基础全混合日粮（TMR）参照《NY/T34—2004 中国奶牛饲养标准》配制，采用TMR饲喂方式，每日于4:30、13:30、22:30分3次投料，奶牛自由采食、自由饮水；每日于5:00、14:00、21:00共挤奶3次，采用2×16位阿菲金挤奶系统。试验期间每日及时清除剩料，将剩料量严格控制在3%以内。试验基础日粮组成、原料干物质占比及营养成分见表1。

表 1 奶牛基础日粮原料组成、干物质占比及营养成分（干物质基础）				
Table 1 Composition, Dry Matter Proportion and Nutrient Content of the Basal Diet for Dairy Cows (Dry Matter Basis)				
原料	含量 (%)	原料干物质占比 (%)	日粮营养水平 (干物质基础)	含量 (%)
豆粕	5.36	87	粗蛋白 (CP)	16.20
棉粕	3.69	88	钙 (Ca)	0.59
双低籽粕	5.54	90	磷 (P)	0.50
全棉籽	1.76	92	中性洗涤纤维 (NDF)	34.00
压片玉米	5.04	88	淀粉	25.50
玉米粉	12.38	90	产奶净能 (MJ/kg)	1.70
甜菜颗粒	5.84	90	-	-
苜蓿	3.43	90	-	-
玉米青贮	33.78	30	-	-
啤酒糟	5.72	25	-	-
小苏打	0.54	95	-	-
玉米皮	2.59	90	-	-
麦麸	5.54	88	-	-
麦草	4.47	90	-	-
糖蜜	2.48	65	-	-
预混料	1.85	99	-	-
合计	100.00		-	-

注：预混料每公斤提供：维生素A 170 000 IU，维生素D 50 000 IU，维生素E 840 mg，铁3 000 mg，铜592 mg，锌1 550 mg，锰530 mg，碘30 mg，硒20 mg

1.3 泌乳牛产奶量测定

试验期间，通过阿菲金挤奶设备后台自动记录每头奶牛每日产奶量，同时同步记录乳指标相关数据，每日对数据进行整理、核对，确保数据准确性。

1.4 泌乳牛干物质采食量测定

试验采用一牧云系统测定每头奶牛每日干物质

采食量，该系统可精准记录奶牛每次采食量和采食时间，最小量程0.1 kg，奶牛耳标识别特异性与采食量称量准确性均达100%。根据每日产奶量和干物质采食量，计算饲料转化率和公斤奶饲料成本，计算公式如下：饲料转化率（FE）=产奶量（kg）/干物质采食量（kg）；公斤奶饲料成本（元/kg）=日总饲料成本（元）/总产奶量（kg）

1.5 数据分析

本研究采用SPSS 27.0软件进行配对样本t检验，比较奶牛饲喂不同粉碎粒度玉米试验料前后的产奶量、干物质采食量、乳指标等差异；采用Excel软件进行数据整理、统计；采用GraphPad Prism软件绘制柱状图、折线图等可视化图表；同时计算各组公斤奶成本和饲料转化率的平均值， $P<0.05$ 表示差异显著， $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果

2.1 乳指标采样基本信息

试验全程开展21 d 乳指标采样，其中前7 d为预饲期，奶牛饲喂7818 试验料（2.0 φ 玉米）；后14 d为正饲期，饲喂682AT-3试验料（1.0 φ 玉米）。试验全程保持牛头数270 头，环境温度控制在0~28 ℃，饲养密度稳定在92.45%，奶牛健康状况良好，无应激及疾病发生，试验数据完整有效。

2.2 泌乳牛产奶量

试验前后奶牛产奶量的差异性分析见表2，产奶量变化趋势见图1。由表2和图1可知，试验前（7 d）奶牛平均日产奶量为（34.98±0.14）kg，试验后（14 d）为（35.97±0.57）kg， $t=-4.954$ ， $P=0.003$

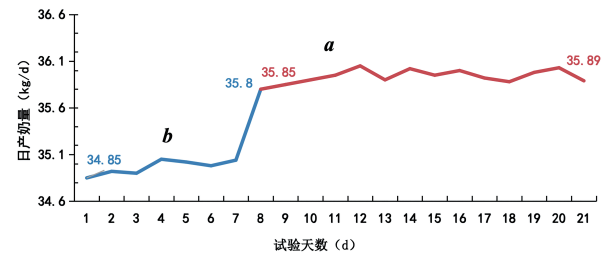


图 1 泌乳牛日产奶量变化趋势
Figure 1 Trends in Daily Milk Yield of Lactating Cows

<0.05，表明饲喂1.0 φ 筛片粉碎玉米后，奶牛日产奶量较2.0 φ 组显著提升。玉米粉碎粒度的优化，通过改善饲料物理结构提高了淀粉瘤胃降解率和肠道消化率，进而提升奶牛能量利用效率，最终实现产奶量的显著增加。

表 2 泌乳牛产奶量差异性分析

Table 2 Difference Analysis of Milk Yield of Lactating Cows

项目	试验天数 (d)	奶产量 (kg)	t	P
预饲期 (2.0 φ 玉米)	7	34.98±0.14	-4.954	0.003
正饲期 (1.0 φ 玉米)	14	35.97±0.57		

2.3 泌乳牛干物质采食量及饲料转化率

奶牛干物质采食量的差异性分析见表3，干物质采食量及饲料转化率变化趋势见图2。由图2可知，预饲期奶牛平均日干物质采食量为（26.92±0.81） kg，正饲期为（26.69±1.08） kg，t=0.560，P=0.596>0.05，表明整个试验阶段奶牛干物质采食量无显著差异。

表 3 泌乳牛干物质采食量差异性分析

Table 3 Differences Analysis of Dry Matter Intake of Lactating Cows

项目	试验天数(d)	干物质采食量 (kg)	t	P
预饲期 (2.0 φ 玉米)	7	26.92±0.81	0.560	0.596
正饲期 (1.0 φ 玉米)	14	26.69±1.08		

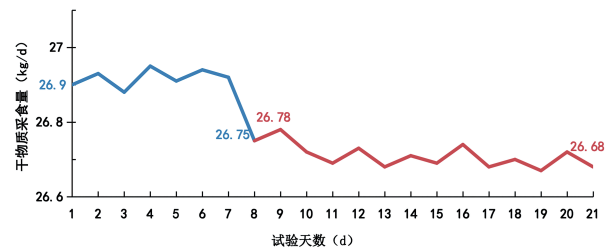


图 2 不同玉米粉碎粒径对奶牛干物质采食量的影响
Figure 2 Effects of Different Corn Grinding Particle Sizes on Dry Matter Intake of Dairy Cows

图3展示了饲料转化率方面的变化，预饲期（2.0 φ 玉米）饲料转化率为1.306，正饲期（1.0 φ 玉

米）提升至1.355，较预饲期提高3.75%，表明在干物质采食量无显著变化的情况下，1.0 φ 筛片粉碎玉米可显著提升奶牛对饲料的利用效率。

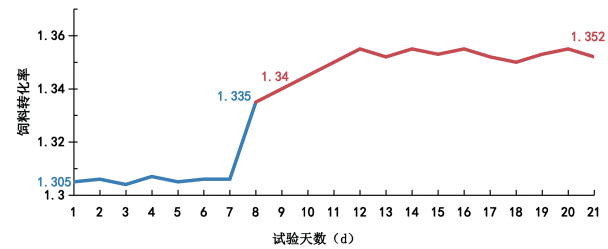


图 3 不同玉米粉碎粒径对奶牛饲料转化率的影响
Figure 3 Effects of Different Corn Grinding Particle Sizes on Feed Conversion Efficiency of Dairy Cows

2.4 泌乳牛乳指标

试验阶段奶牛乳脂肪、乳蛋白含量的差异性分析见表4，乳指标变化趋势见图4。由表4可知，预饲期奶牛乳脂肪含量为（3.88±0.04）%、乳蛋白含量为（3.26±0.02）%，正饲期乳脂肪含量降至（3.81±0.02）%、乳蛋白含量降至（3.17±0.03）%，乳脂肪、乳蛋白含量试验前后均呈极显著差异（P<0.01），其中乳脂肪最大降幅0.14%，乳蛋白最大降幅0.13%。

表 4 泌乳牛乳指标差异性分析

Table 4 Differences Analysis of Milk Indicators of Lactating Cows

项目	试验天数 (d)	乳脂率 (%)	乳蛋白率 (%)	P
预饲期 (2.0 φ 玉米)	7	3.88±0.04	3.26±0.02	< 0.01
正饲期 (1.0 φ 玉米)	14	3.81±0.02	3.17±0.03	< 0.01

2.5 泌乳牛公斤奶饲料成本

奶牛常规产奶及4%乳脂矫正奶的公斤奶饲料成本分别见表5、表6。由表5可知，试验阶段日粮配方成本单价（61.60 元）和配方干物质成本（2.63 元）均未发生变化；预饲期日干物质采食量26.92 kg，实际饲料成本70.83 元，日产奶量34.98 kg，公斤奶饲料成本2.02 元；正饲期日干物质采食量26.68 kg，实际饲料成本70.20 元，日产奶量35.97 kg，公斤奶饲料

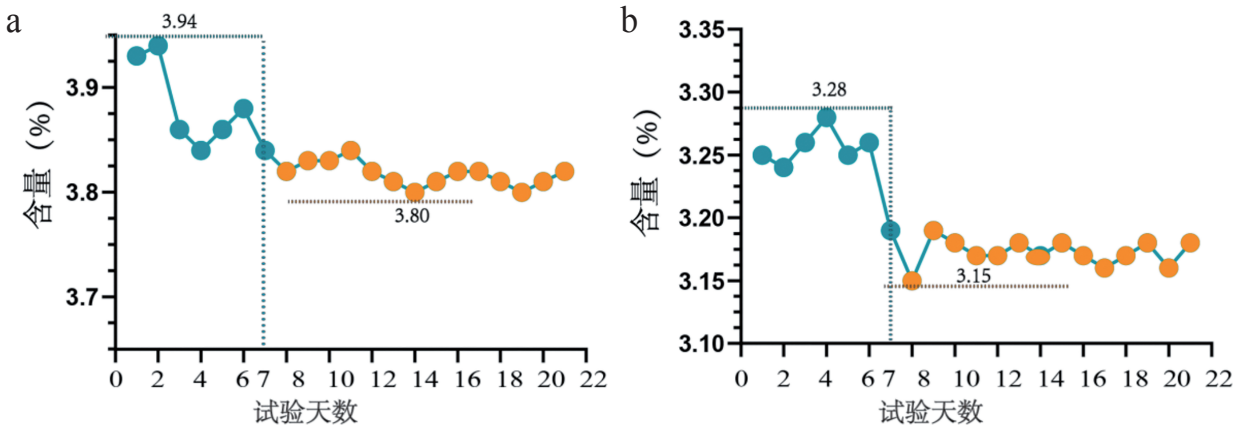


图 4 不同玉米粉碎粒径对泌乳牛乳脂肪（a）、乳蛋白（b）含量的影响
Figure 4. Effects of different corn particle sizes on milk fat (a) and milk protein (b) content in lactating cows

成本1.95 元，较预饲期降低0.07 元/kg。

表 5 泌乳牛常规产奶公斤奶饲料成本		
Table 5 Feed Cost per Kilogram of Regular Milk for Lactating Cows		
项目	预饲期 (2.0 φ 玉米)	正饲期 (1.0 φ 玉米)
配方成本单价 (元)	61.60	61.60
配方干物质成本 (元)	2.63	2.63
日干物质质量 (kg)	26.92	26.68
日实际饲料成本 (元)	70.83	70.20
日产奶量 (kg)	34.98	35.97
每公斤奶饲料成本 (元 /kg)	2.02	1.95

表 6 泌乳牛 4% 乳脂矫正奶公斤奶饲料成本		
Table 6 Feed Cost per Kilogram of 4% Fat-corrected Milk for Lactating Cows		
项目	预饲期 (2.0 φ 玉米)	正饲期 (1.0 φ 玉米)
配方成本单价 (元)	61.60	61.60
配方干物质成本 (元)	2.63	2.63
日干物质质量 (kg)	26.92	26.68
日实际饲料成本 (元)	70.83	70.20
4% 乳脂矫正奶日产 奶量 (kg)	34.50	35.09
公斤奶饲料成本 (元 /kg)	2.05	2.00

由表6可知，4%乳脂矫正奶情况下，预饲期矫正奶产量34.50 kg，公斤奶饲料成本2.05元；正饲期矫正奶产量35.09 kg，公斤奶饲料成本2.00元，较预饲期降低0.05元/kg。

3 讨论

3.1 玉米粉碎粒度对泌乳牛产奶量的影响

反刍动物的瘤胃是消化吸收的核心场所，瘤胃内大量微生物可分解利用饲料中的淀粉等营养物质^[16]。玉米的粉碎粒度不同，其在瘤胃内的淀粉降解速度和程度存在显著差异：粒径越小的玉米粉表面积越大，更易与瘤胃微生物和消化酶接触，淀粉降解速度显著加快^[17]。Aldrich等^[18]研究发现，玉米粉粒径从1.2 mm降至0.5~0.8 mm时，奶牛产奶量在短期内显著提升，原因是淀粉瘤胃降解率大幅提高，瘤胃内丙酸含量增加，进而促进乳腺泌乳，这与本研究结果一致。本研究中1.0 φ 筛片粉碎玉米较2.0 φ 组奶牛日均产奶量提升0.99 kg。

3.2 玉米粉碎粒度对泌乳牛干物质采食量的影响

干物质采食量（DMI）是衡量奶牛营养摄入的关键指标，直接关系到奶牛能量与养分供给，对保障产奶性能、繁殖状态和机体健康具有重要意义^[19]。有研究表明，玉米粉碎粒度从1.8 mm细化至0.5 mm时，泌乳牛DMI显著下降5.2%（24.8 kg/d降至23.5 kg/d），其机制为过细粉碎饲料易导致瘤胃pH持续低于5.8，诱发亚急性瘤胃酸中毒（SARA），进而抑制奶牛食欲^[20]。本研究中1.0 φ 玉米组DMI较2.0 φ 组小幅下降0.24 kg（-0.89%）且无显著差异，未出现显著采

食量下降，原因可能是本研究中玉米粉碎粒度仅从2.0 ϕ 降至1.0 ϕ ，未达到过度细化的程度，未引发瘤胃内环境的显著失衡。

3.3 玉米粉碎粒度对泌乳牛饲料转化率的影响

饲料转化率是反映奶牛对日粮能量和营养物质利用效率的核心指标，直接关联养殖经济效益。本研究中饲料转化率从1.306提升至1.355，间接反映了玉米粉碎粒度优化对奶牛能量利用效率的提升作用。Fredin等^[14]研究发现，细磨玉米（552 μm ）较粗磨玉米（1 270 μm ）虽会降低瘤胃pH值，但在DMI无显著变化的情况下，总肠道淀粉表观消化率显著提高（细磨98.0%vs粗磨93.5%），表明细粒度玉米可通过提高淀粉利用率而非增加采食量，提升奶牛饲料转化率，这与本研究结论相互印证。

3.4 玉米粉碎粒度对泌乳牛乳成分的影响

乳成分的变化与瘤胃发酵模式密切相关，反刍动物通过调节瘤胃内环境，影响瘤胃微生物的代谢进程，进而改变对粗蛋白、粗脂肪、能量等物质的利用效率^[20]。Aldrich等^[19]研究表明，玉米粉碎粒径细化至0.5 mm时，泌乳牛乳脂率显著降低0.4个百分点（3.5%降至3.1%），核心原因是瘤胃内乙酸/丙酸比例从2.96降至2.23，而乙酸是乳腺脂肪合成的主要前体物质，该比例失衡会直接抑制乳腺脂肪合成，导致乳脂率下降。Khan等^[21]也发现，持续饲喂0.8 mm细玉米粉21 d后，泌乳牛乳蛋白率显著下降0.15个百分点（3.05%降至2.90%）。

本研究中1.0 ϕ 玉米组乳脂肪、乳蛋白含量均极显著下降（ $P<0.01$ ），与上述研究结论一致；而Krause等^[22]研究发现，奶牛日粮中添加玉米淀粉会使乳脂、乳蛋白含量呈线性下降趋势，表明玉米淀粉的快速发酵会改变瘤胃发酵模式，进而影响乳成分合成^[23]。本研究中细粉碎玉米加快了淀粉瘤胃发酵，导致瘤胃内丙酸比例上升、乙酸比例下降，同时淀粉快速降解也会在一定程度上影响瘤胃微生物对蛋白质的降解与合成，最终造成乳脂肪和乳蛋白含量的下降。

4 结论

本试验以270头荷斯坦泌乳牛为对象，研究1.0 ϕ 与2.0 ϕ 筛片粉碎玉米对其生产性能的影响，得出以下结论：一是在本试验条件下，将奶牛日粮中玉米粉碎粒度从2.0 ϕ 降至1.0 ϕ ，可显著提升中产泌乳奶牛日均产奶量0.99 kg（ $P<0.05$ ），干物质采食量小幅下降0.24 kg（-0.89%）且无显著差异（ $P>0.05$ ），饲料转化率从1.306提升至1.355，提高3.75%。二是玉米粉碎粒度优化后，公斤奶饲料成本降低0.07元/kg，4%乳脂矫正奶公斤奶饲料成本降低0.05元/kg，显著提升奶牛养殖的经济效益。三是饲喂1.0 ϕ 筛片粉碎玉米会导致奶牛乳脂肪、乳蛋白含量极显著下降（ $P<0.01$ ），存在乳品质降低的潜在风险。

综上，奶牛日粮中玉米粉碎粒度从2.0 ϕ 调整为1.0 ϕ 可显著提升产奶量、降低养殖成本，但会造成乳品质小幅下降，建议牧场结合自身乳价体系（如乳成分计价方式）综合评估经济效益，合理选择玉米粉碎粒度。

参考文献

- [1] 李春平, 朱新培, 孙开兰, 等. 奶牛养殖产业发展现状及对策研究[J]. 中国乳业, 2022 (2): 22-25.
- [2] 侯景瑶, 邢佳悦, 尹绂聿, 等. 挤压处理对玉米粉微观结构及理化特性的影响[J]. 食品科学, 2024, 45 (10): 217-223.
- [3] 刘小琴, 曾德玉, 杨振刚, 等. 不同处理方式对膨化玉米粉结构特性及风味的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44 (16): 59-69.
- [4] 郭成, 吉武龙, 李娜, 等. 日粮添加玉米粉与油脂对奶牛乳品质及瘤胃细菌菌群变化的影响[J]. 福建农业学报, 2019, 34 (08): 939-946.
- [5] Huntington G B. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk[J]. Journal of Animal Science, 1997, 75 (3): 852-867.
- [6] 程秀花, 陈赛杰, 李秀刚, 等. 粉碎粒度对玉米粉流变学特性及料仓结构设计的影响[J]. 饲料工业, 2014, 35 (11): 10-12.
- [7] 林柏羽, 吕柯, 张文辉, 等. 粉碎对饲料及其饲喂效果影响的研究进展[J]. 动物营养学报, 2024, 36 (6): 3534-3542.

- [8] 邹杨, 杨占山, 李胜利, 等.玉米不同处理方式对泌乳奶牛瘤胃降解规律的影响[J].中国奶牛, 2013 (19): 24-27.
- [9] 邹杨, 杨占山, 李胜利, 等.不同粒度玉米在泌乳奶牛瘤胃中降解规律的预测[J].动物营养学报, 2014, 26 (12): 3643-3650.
- [10] Correa C E, Shaver R D, Pereira M N, et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability[J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85 (11): 3008-3012.
- [11] Kmicikewycz A D, Heinrichs A J, Ying Y. Optimizing corn particle size for high-producing Holstein cows: Impacts on rumen health and milk yield[J]. Journal of Dairy Science, 2023, 106 (5): 3210-3222.
- [12] 张力莉, 崔巧荣, 杨靖, 等.玉米粉碎粒度对产后奶牛瘤胃发酵及生产性能的影响[J].中国乳品工业, 2018, 46 (10): 11-14.
- [13] Moe P W, Tyell H F, Hooven Jr N W. Physical form and energy value of corn grain[J]. Journal of Dairy Science, 1973, 56 (10): 1298-1304.
- [14] Fredin S M, Ferraretto L F, Akins M S, et al. Effects of corn-based diet starch content and corn particle size on lactation performance, digestibility, and bacterial protein flow in dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98 (1): 541-553.
- [15] 朱河水, 王艳玲, 杨国宇, 等.大豆黄酮对奶牛相关产奶性能的影响[J].华北农学报, 2006 (06): 127-129.
- [16] 陈文玥.反刍动物常用粗饲料营养价值评定及瘤胃降解率预测[D].泰安: 山东农业大学, 2024.
- [17] 孙丽娟, 胡学旭, 张妍, 等.不同粒径分布对全籽粒玉米粉糊化特性的影响[J].中国粮油学报, 2022, 37 (5): 32-38.
- [18] Aldrich J M, Muller L D, Varga G A, et al. Nonstructural carbohydrate and protein effects on rumen fermentation, nutrient flow, and performance of dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 1993, 76 (4): 1091-1105.
- [19] Krause K M, Oetzel G R. Inducing subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows[J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88 (10): 3633-3639.
- [20] 杨露.益生菌对奶牛产奶量、乳成分及瘤胃微生物区系的影响[J].中国乳业, 2022 (8): 15-18.
- [21] Khan N A, Yu P, Ali M, et al. Nutrient digestion, ruminal fermentation and performance of dairy cows fed maize grain subjected to different processing methods[J]. Animal Feed Science and Technology, 2015, 202: 88-97.
- [22] Krause K M, Combs D K, Beauchemin K A. Effects of increasing levels of refined cornstarch in the diet of lactating dairy cows on performance and ruminal pH[J]. Journal of Dairy Science, 2003, 86 (4): 1341-1353.
- [23] Corona L, Owens F N, Zinn R A. Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle[J]. Journal of Animal Science, 2006, 84 (11): 3020-3031.