

# 哺乳期犊牛开食料中原料对其系酸力和 pH 的影响

屠 焰<sup>1</sup> 刁其玉<sup>1\*</sup> 冯珊珊<sup>2</sup> 周 恽<sup>1</sup> 云 强<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081; 2. 北京农学院, 北京 100226)

**摘 要:** 本文从犊牛开食料原料的配比和系酸力、pH 入手, 研究其对开食料系酸力、pH 的影响规律。选用北方地区犊牛开食料常用的 9 类原料, 以正交试验方法配制开食料, 测定原料、开食料的系酸力和 pH, 并采用多元回归方法进行统计分析。结果表明, 石粉系酸力极高而食盐最低, 植物性饲料原料系酸力由高到低依次为大豆粕、麸皮、玉米; 矿物质类饲料原料为碱性, 玉米、麸皮、大豆粕的 pH 在 5.65~5.92 之间, 维生素预混料和微量元素预混料的 pH 较低; 各原料对开食料都有显著影响 ( $P<0.05$ )。在本试验设计范围内, 配制犊牛开食料时, 仅从开食料系酸力 20~25 mmol/100 g 为宜角度考虑确定的各原料的适宜添加比例为: 大豆粕 $\leq 20\%$ 、麸皮 0~10%、乳清粉 $\leq 20\%$ 、磷酸氢钙 $\leq 2\%$ 、石粉 $\leq 2\%$ 、食盐 0~1.0%、维生素预混料 0~0.04%。犊牛开食料系酸力、pH 与原料配比和系酸力、pH 之间存在有显著的多元线性相关关系。

**关键词:** 犊牛; 开食料; 系酸力; pH; 数学模型

**中图分类号:** S823; S816.15

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2010)01-0063-07

犊牛的培育是奶牛养殖业的关键环节, 其质量直接关系到成年后牛群生产潜能的发挥。开食料为断奶前后的犊牛提供所需的营养物质, 其质量对于犊牛由采食液体饲料向采食固体饲料平稳过渡至关重要。然而出生和断奶对幼龄犊牛来说是一种巨大的应激, 给犊牛生长带来了极大的负面影响。犊牛消化系统发育尚不完善, 刚出生时皱胃是最大的胃室, 瘤网胃的体积仅占 4 个胃的  $1/3^{[1]}$ , 并且只有皱胃具有消化功能, 其功能与单胃动物真胃相近。研究表明, 初生动物胃底腺不发达, 只分泌少量盐酸, 但很快与胃黏液中有机物结合<sup>[2]</sup>, 剩下的少量盐酸在胃肠道中形成游离酸, 易造成胃肠道内容物 pH 过高。维持动物, 尤其是幼畜消化道适宜酸度, 可维持消化酶活性, 提高营养物质消化率, 同时又可减少肠道内有害菌对动物的损害, 避免酸度过高或过低造成的胃肠道疾病。日粮是影响幼畜消化道酸度的主要外源性因素。日粮系酸力或 pH 的高低决定了日粮进入消化道后对游离酸的吸附能力<sup>[3]</sup>。日粮的系酸力与其原料的选择、营养水平的确定以及酸化剂的使用密切相关。在乳仔猪营养与饲料技术的研究中, 人们对日粮中酸化剂的使用上进行了大量研究, 但对日粮的 pH 和系酸力的研究较少, 基础日粮

的酸度水平和酸化剂的添加量也无标准可循<sup>[4]</sup>。而在犊牛饲料中有关这方面的研究更是几乎未见。本研究从犊牛开食料原料的配比和其系酸力、pH 入手, 研究其对开食料系酸力、pH 的影响规律, 从而探讨通过原料配比来调控犊牛开食料酸度的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选择我国北方地区犊牛开食料中常用的原料: 玉米、麸皮、大豆粕、乳清粉、磷酸氢钙、石粉、食盐、微量元素预混料、维生素预混料。其中玉米、麸皮、大豆粕、乳清粉各在北京大兴区、昌平区奶牛养殖场收集 5~7 个样品, 测定系酸力和 pH 后, 以接近平均值为原则各选择 1 个样品。磷酸氢钙产自四川龙蟒集团有限责任公司, 石粉产自河北涞水县牧达矿物质加工厂, 食盐产自中盐北京市盐业公司, 微量元素预混料和维生素预混料产自北京精准动物营养研究中心。

### 1.2 试验设计

除玉米外, 其他原料配比的设置使用正交试验设计方法。每种原料设定 3 个水平(表 1), 选用  $L_{27}(3^{13})$  正交表(表 2)进行配制。最后添加玉米使配方总和达到 100%。测定最终开食料的系酸力和 pH。

收稿日期: 2009-07-27

基金项目: 国家科技支撑计划子课题——奶牛营养调控及高效饲养技术研究(2006BAD04A03-03)

作者简介: 屠 焰(1969-), 女, 浙江嘉善人, 研究员, 博士, 主要从事反刍动物生理营养与饲料科学研究。E-mail: tuyan@mail.caas.net.cn

\* 通讯作者: 刁其玉, 研究员, 博士生导师, E-mail: diaoqiuyu@mail.caas.net.cn

每个处理 3 个重复。经测定,使用的微量元素预混料开食料中的比例固定为 0.2%。  
料的 pH 低于 4.0,无法测定其系酸力,因此将其在

表 1 各原料在开食料中的比例(风干基础)

Table 1 Proportion of ingredients in starter ration (air-dry basis, %)							
水平 Levels	豆粕 Soybean meal	麸皮 Wheat bran	乳清粉 Whey powder	磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	石粉 Limestone	食盐 NaCl	维生素预混料 Vitamin premix
1	10.00	—	—	—	—	—	—
2	20.00	5.00	10.00	1.00	2.00	0.50	0.02
3	30.00	10.00	20.00	2.00	4.00	1.00	0.04

表 2 试验设计(风干基础)

Table 2 Experimental design (air-dry basis, %)									
开食料编号 No. of starter rations	在开食料中的比例 Proportion in starter ration								
	豆粕 Soybean meal	麸皮 Wheat bran	乳清粉 Whey powder	磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	石粉 Limestone	食盐 NaCl	维生素预混料 Vitamin premix	微量元素预混料 Mineral premix	玉米 Corn
1	10.00	—	—	—	—	—	—	0.20	89.80
2	10.00	—	—	1.00	2.00	0.50	0.02	0.20	86.28
3	10.00	—	—	2.00	4.00	1.00	0.04	0.20	82.76
4	10.00	5.00	10.00	—	—	—	0.04	0.20	74.76
5	10.00	5.00	10.00	1.00	2.00	0.50	—	0.20	71.30
6	10.00	5.00	10.00	2.00	4.00	1.00	0.02	0.20	67.78
7	10.00	10.00	20.00	—	—	—	0.02	0.20	59.78
8	10.00	10.00	20.00	1.00	2.00	0.50	0.04	0.20	56.26
9	10.00	10.00	20.00	2.00	4.00	1.00	—	0.20	52.80
10	20.00	—	10.00	—	2.00	1.00	0.02	0.20	66.78
11	20.00	—	10.00	1.00	4.00	—	0.04	0.20	64.76
12	20.00	—	10.00	2.00	—	0.50	—	0.20	67.30
13	20.00	5.00	20.00	—	2.00	1.00	—	0.20	51.80
14	20.00	5.00	20.00	1.00	4.00	—	0.02	0.20	49.78
15	20.00	5.00	20.00	2.00	—	0.50	0.04	0.20	52.26
16	20.00	10.00	—	—	2.00	1.00	0.04	0.20	66.76
17	20.00	10.00	—	1.00	4.00	—	—	0.20	64.80
18	20.00	10.00	—	2.00	—	0.50	0.02	0.20	67.28
19	30.00	—	20.00	—	4.00	0.50	0.04	0.20	45.26
20	30.00	—	20.00	1.00	—	1.00	—	0.20	47.80
21	30.00	—	20.00	2.00	2.00	—	0.02	0.20	45.78
22	30.00	5.00	—	—	4.00	0.50	0.02	0.20	60.28
23	30.00	5.00	—	1.00	—	1.00	0.04	0.20	62.76
24	30.00	5.00	—	2.00	2.00	—	—	0.20	60.80
25	30.00	10.00	10.00	—	4.00	0.50	—	0.20	45.30
26	30.00	10.00	10.00	1.00	—	1.00	0.02	0.20	47.78
27	30.00	10.00	10.00	2.00	2.00	—	0.04	0.20	45.76

设开食料中各原料配比为  $X_i$ ,原料系酸力为  $a_i$ ,原料的 pH 为  $b_i$ ,开食料系酸力为  $Y_1$ ,开食料 pH 为  $Y_2$ ,根据多元回归分析,筛选对日粮系酸力和 pH 有显著影响的原料,并分别建立回归方程

$Y_1 = f(a_i X_i)$ 、 $Y_2 = f(b_i X_i)$ 。

1.3 测定指标和方法

原料系酸力测定方法:取 100 g 风干样品,加入 200 mL 去离子水,在恒温水浴锅保温至 37 ℃,在磁力搅拌器上搅拌并插入温度计,保持(37±1) ℃,将 pH 计电极插入溶液中,用 1 mol/L 的盐酸滴定至 pH 为 4.0,边滴边搅拌,记录所消耗的盐酸的 mL 数,再换算为 mmol 数,即为系酸力数值<sup>[4]</sup>。每样品滴定测定过程不应超过 1 h,否则对结果有影响。

原料 pH 测定方法:称取 20 g 饲料放入烧杯中,加入 40 mL 去离子水,用玻璃棒稍用力搅拌 10 min,呈浆状液后,用酸度计测定<sup>[5]</sup>。

1.4 数据统计分析

采用 SAS 8.2 统计处理软件 ANOVA 进程进

行方差分析,REG 进程逐步回归方法对试验数据进行统计分析,显著水平为  $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 原料的系酸力和 pH

由表 3 可见,石粉的系酸力极高,食盐的最低,植物性饲料原料中,以大豆粕最高,麸皮次之,玉米最低;而 pH 上,植物性饲料原料中玉米、麸皮、大豆粕比较接近,在 5.65~5.92 之间;矿物质类饲料原料(磷酸氢钙、石粉、食盐)则为碱性;维生素预混料和微量元素预混料的 pH 最低。乳清粉系酸力接近于麸皮,而 pH 则与玉米、麸皮、大豆粕相近。

表 3 原料的系酸力和 pH  
Table 3 Acid binding capacity and pH of ingredients

原料 Ingredients	系酸力 Acid binding capacity (mmol/100 g)	pH
玉米 Corn	7.11±0.54	5.79±0.23
麸皮 Wheat bran	27.31±3.47	5.65±0.20
大豆粕 Soybean meal	47.82±4.51	5.92±0.11
乳清粉 Whey powder	25.51±3.97	5.56±0.20
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	42.35	7.39
石粉 Limestone	2 040.00	8.03
食盐 NaCl	0.40	9.01
维生素预混料 Vitamin premix	29.20	4.37
微量元素预混料 Mineral premix	—	3.84

2.2 试验用开食料的系酸力和 pH

由表 4 可知,各试验用开食料的系酸力和 pH 之间存在着一定的直线相关关系,经统计分析,其回归方程为  $Y_1(\text{mmol}/100\text{ g}) = 4.144\ 73 Y_2$ ,  $R^2$  为 0.927 7,  $F$  值为 1 025.83,  $P<0.000\ 1$ ,误差均方根  $S_{Y\cdot X}$  为 6.713 5,其中  $Y_1$  的变化范围在 10.85~39.93,  $Y_2$  的变化范围在 5.51~6.08。

2.3 原料对开食料系酸力、pH 的影响

2.3.1 主要影响因子的筛选

玉米作为填充配比的原料,先定为主要影响因子,不再在表 5 中统计。由表 5 可知,从显著性检验的结果看,在添加玉米和复合微量元素预混料的同时,所选原料对开食料的系酸力和 pH 皆有着较强的影响。对于系酸力来说,石粉、大豆粕的影响较

高,其次是乳清粉、食盐、维生素预混料,最后是麸皮和磷酸氢钙;而对于 pH 来说,乳清粉的影响力最强,大豆粕、食盐其次,石粉和维生素预混料再次之,最后是麸皮和磷酸氢钙。

从表 5 中系酸力数据分析,随着大豆粕、乳清粉、石粉在开食料中比例的增加,开食料的系酸力显著升高( $P<0.05$ );麸皮的比例在 5%时开食料的系酸力要显著高于不添加麸皮时的开食料的系酸力( $P<0.05$ ),而再增加比例对开食料系酸力的影响不大( $P>0.05$ );在磷酸氢钙上也有相似的规律,即与不添加相比,在开食料中添加 1%时显著提高了开食料的系酸力( $P<0.05$ ),而再增加比例对开食料系酸力的影响则不显著( $P>0.05$ )。

表 4 开食料的系酸力和 pH  
Table 4 Acid binding capacity and pH of the starter rations

开食料编号	系酸力	pH (Y <sub>2</sub> )
No. of the starter rations	Acid binding capacity (Y <sub>1</sub> ) (mmol/100 g)	
1	10.85 ± 0.05	5.98 ± 0.01
2	16.68 ± 0.19	5.90 ± 0.01
3	18.58 ± 0.08	5.86 ± 0.01
4	12.93 ± 0.06	5.59 ± 0.01
5	20.15 ± 0.05	5.77 ± 0.03
6	24.00 ± 0.10	5.63 ± 0.02
7	15.98 ± 0.07	5.52 ± 0.01
8	21.08 ± 0.38	5.51 ± 0.02
9	23.97 ± 0.06	5.61 ± 0.01
10	26.58 ± 0.08	5.75 ± 0.01
11	25.60 ± 0.17	5.81 ± 0.02
12	18.93 ± 0.21	5.66 ± 0.04
13	23.62 ± 0.10	5.56 ± 0.01
14	32.72 ± 0.25	5.70 ± 0.01
15	24.03 ± 0.06	5.65 ± 0.01
16	21.97 ± 0.06	5.80 ± 0.02
17	30.73 ± 0.25	6.00 ± 0.02
18	19.80 ± 0.26	5.98 ± 0.04
19	37.00 ± 1.32	5.71 ± 0.01
20	23.73 ± 0.25	5.62 ± 0.01
21	28.68 ± 0.03	5.71 ± 0.01
22	39.93 ± 0.06	5.93 ± 0.01
23	19.44 ± 0.05	5.94 ± 0.01
24	23.23 ± 0.06	6.08 ± 0.01
25	32.98 ± 0.03	5.84 ± 0.01
26	23.31 ± 0.02	5.66 ± 0.02
27	28.34 ± 0.04	5.80 ± 0.01

表 5 原料种类及配比对开食料系酸力、pH 的影响  
Table 5 Effects of ingredients and its levels on acid binding capacity and pH of the starter rations

原料 Ingredients	配比 Levels (X, %)	系酸力 Acid binding capacity (mmol/100 g)				pH			
		aX	开食料	F	P 值 P-value	bX	开食料	F	P 值 P-value
			Starter rations				Starter rations		
大豆粕 Soybean meal	10	4.784	18.25 ± 4.41 <sup>c</sup>	252.14	<0.000 1	0.592	5.71 ± 0.17 <sup>c</sup>	28.71	<0.000 1
	20	9.568	24.89 ± 4.45 <sup>b</sup>			1.184	5.77 ± 0.14 <sup>b</sup>		
	30	14.352	28.52 ± 6.65 <sup>a</sup>			1.776	5.81 ± 0.15 <sup>a</sup>		
	0	0	22.96 ± 7.39 <sup>b</sup>			0	5.78 ± 0.11 <sup>a</sup>		
麸皮 Wheat bran	5	1.365 5	24.45 ± 7.50 <sup>a</sup>	6.05	0.003 9	0.282 5	5.76 ± 0.18 <sup>ab</sup>	2.72	0.073 1
	10	2.731 0	24.24 ± 5.26 <sup>a</sup>			0.565 0	5.75 ± 0.18 <sup>b</sup>		
	0	0	22.36 ± 8.14 <sup>c</sup>			0	5.94 ± 0.08 <sup>a</sup>		
	0	0	22.36 ± 8.14 <sup>c</sup>			0	5.94 ± 0.08 <sup>a</sup>		
乳清粉 Whey powder	10	2.551	23.65 ± 5.59 <sup>b</sup>	25.50	<0.000 1	0.556	5.72 ± 0.09 <sup>b</sup>	283.96	<0.000 1
	20	5.102	25.65 ± 6.05 <sup>a</sup>			1.112	5.62 ± 0.08 <sup>c</sup>		
	0	0	24.65 ± 10.03 <sup>a</sup>			0	5.74 ± 0.16 <sup>b</sup>		
	0	0	24.65 ± 10.03 <sup>a</sup>			0	5.74 ± 0.16 <sup>b</sup>		
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1	0.423 5	23.72 ± 5.06 <sup>b</sup>	4.51	0.014 6	0.073 9	5.77 ± 0.15 <sup>ab</sup>	2.99	0.057 4
	2	0.847 0	23.29 ± 3.55 <sup>b</sup>			0.147 8	5.78 ± 0.16 <sup>a</sup>		
	0	0	18.78 ± 4.55 <sup>c</sup>			0	5.73 ± 0.17 <sup>b</sup>		
	0	0	18.78 ± 4.55 <sup>c</sup>			0	5.73 ± 0.17 <sup>b</sup>		
石粉 Limestone	2	40.8	23.37 ± 3.81 <sup>b</sup>	269.04	<0.000 1	0.160 6	5.77 ± 0.16 <sup>a</sup>	7.90	0.000 8
	4	81.6	29.50 ± 6.67 <sup>a</sup>			0.321 2	5.79 ± 0.13 <sup>a</sup>		
	0	0	23.23 ± 7.74 <sup>b</sup>			0	5.80 ± 0.18 <sup>a</sup>		
	0	0	23.23 ± 7.74 <sup>b</sup>			0	5.80 ± 0.18 <sup>a</sup>		
食盐 NaCl	0.5	0.002	25.62 ± 8.33 <sup>a</sup>	21.50	<0.000 1	0.045	5.77 ± 0.15 <sup>b</sup>	21.57	<0.000 1
	1.0	0.004	22.80 ± 2.37 <sup>b</sup>			0.090	5.71 ± 0.12 <sup>c</sup>		
	0	0	23.13 ± 6.21 <sup>b</sup>			0	5.79 ± 0.19 <sup>a</sup>		
	0	0	23.13 ± 6.21 <sup>b</sup>			0	5.79 ± 0.19 <sup>a</sup>		
维生素预混料 Vitamin premix	0.02	0.005 8	25.30 ± 7.44 <sup>a</sup>	13.97	<0.000 1	0.000 874	5.75 ± 0.15 <sup>b</sup>	7.10	0.001 6
	0.04	0.011 7	23.22 ± 6.55 <sup>b</sup>			0.001 748	5.74 ± 0.13 <sup>b</sup>		

同一种原料中同列数据肩标不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。  
In the same column of same ingredient, values with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ).

从表 5 中 pH 数据分析,随着大豆粕、磷酸氢钙在开食料中比例的增加,开食料的 pH 逐渐升高,其中在大豆粕上各组间差异显著( $P < 0.05$ ),而磷酸氢钙的添加比例达到 2% 时开食料的 pH 显著高于不添加组( $P < 0.05$ ),但与 1% 组差异不显著( $P > 0.05$ );添加石粉也同样提高了开食料的 pH,2% 或 4% 时其间的差异不显著( $P > 0.05$ ),但这 2 组皆显著高于不添加组( $P < 0.05$ )。反之,乳清粉、麸皮、食盐、维生素预混料则作用相反。随着乳清粉、食盐在开食料中比例的增长,开食料的 pH 显著降低( $P < 0.05$ );添加麸皮、维生素预混料也存在着类似的趋势,麸皮的添加比例在 10% 时开食料 pH 显著高于不添加组( $P < 0.05$ ),而与 5% 时差异不显著( $P > 0.05$ ),添加 0.02% 维生素预混料的开食料 pH 和添加 0.04% 维生素预混料时差异不显著( $P > 0.05$ ),但这 2 组皆显著高于不添加组( $P < 0.05$ )。

### 2.3.2 犊牛开食料系酸力、pH 模型的建立

以多元回归统计方法,设开食料系酸力为  $Y_1$  (mmol/100 g),大豆粕、麸皮、乳清粉、磷酸氢钙、石粉、食盐、维生素预混料、玉米的配比分别为  $X_1 \sim X_8$  (%),其系酸力依次为  $a_1 \sim a_8$  (mmol/100 g),求得的多元线性回归方程  $Y_1 = f(a_i X_i)$  为:

$$Y_1 = 1.094 4a_1 X_1 + 0.481 7a_2 X_2 + 1.235 4a_3 X_3 - 0.156 8a_4 X_4 + 0.113 6a_5 X_5 + 62.596 9a_6 X_6 + 60.261 8a_7 X_7 + 0.915 0a_8 X_8。$$

该方程  $S_{Y \cdot X} = 1.856 03$ ,  $R^2 = 0.994 5$ ,  $F = 1 523.74$ ,  $P < 0.000 1$ 。

设开食料 pH 为  $Y_2$  (mmol/100 g),大豆粕、麸皮、乳清粉、磷酸氢钙、石粉、食盐、维生素预混料、玉米的配比分别为  $X_1 \sim X_8$  (%),其 pH 依次为  $b_1 \sim b_8$  (mmol/100 g),求得的多元线性回归方程  $Y_2 = f(b_i X_i)$  为:

$$Y_2 = 1.079 2b_1 X_1 + 0.983 0b_2 X_2 + 0.768 7b_3 X_3 + 1.010 1b_4 X_4 + 0.899 7b_5 X_5 - 0.326 6b_6 X_6 - 27.048 5b_7 X_7 + 1.014 2b_8 X_8。$$

该方程  $S_{Y \cdot X} = 0.056 91$ ,  $R^2 = 0.999 9$ ,  $F = 103 865$ ,  $P < 0.000 1$ 。

## 3 讨 论

### 3.1 原料的系酸力和 pH

有关原料和日粮的系酸力和 pH 测定方面的论文并不多见。丁洪涛等<sup>[4]</sup>测定出石粉的系酸力极高,为 2 846.4 mmol/100 g,本试验中也得到了相似的规律,但数值为 2 040.0 mmol/100 g。对比这 2

个试验测得的石粉 pH 可以发现,本试验的 8.03 也同样低于丁洪涛等<sup>[4]</sup>试验之 8.69。这也许体现了 2 个试验所用石粉有所差异。石粉的主要成分为碳酸钙,其与盐酸会直接发生化学反应,因而导致了盐酸量消耗极大。在考虑日粮系酸力的情况下,需要特别注意石粉的添加量。

其他原料系酸力上,丁洪涛等<sup>[4]</sup>报道的结果为玉米 7.9 mmol/100 g、豆粕 69.4 mmol/100 g、麦麸 46.5 mmol/100 g、乳清粉 46.6 mmol/100 g、磷酸氢钙 69.0 mmol/100 g;侯永清<sup>[6]</sup>试验中测定了更多种类的原料的系酸力,玉米为 12.22 和 13.52 mmol/100 g、豆粕为 55.93 和 54.39 mmol/100 g、小麦为 14.11 mmol/100 g、次粉为 18.69 mmol/100 g、麸皮为 42.45 mmol/100 g、玉米蛋白粉为 0.82 mmol/100 g、菜粕为 49.49 mmol/100 g、棉粕为 47.81 mmol/100 g,而低蛋白乳清粉为 24.27 mmol/100 g。3 个试验的数据有所差距,这反映出原料营养成分、采集地点、采集时间等因素可能会对样品系酸力有所影响,需要更多更细致的研究方可解释,但其系酸力由大到小的次序是相同的,依次为大豆粕、麸皮、玉米。在测定中发现麸皮吸水性较强,滴入盐酸不易搅拌均匀,会影响其测定结果。

有关原料的 pH 方面的资料更是少见。丁洪涛等<sup>[4]</sup>论文中对仔猪常见饲料原料的 pH 进行了测定和计算,其平均值分别为玉米 5.95、豆粕 6.42、鱼粉 5.84、麦麸 6.25、乳清粉 5.97、磷酸氢钙 7.23、石粉 8.69。本试验因涉及研究 pH 与系酸力的关系,特意测定了原料的 pH。结果发现两者间基本规律相同,即矿物质类原料如磷酸氢钙、石粉、食盐 pH 高于 7.0;植物性原料中,大豆粕最高,麦麸次之,玉米最低;乳清粉 pH 低于 6.0。

从上述研究中可见,在植物性饲料原料中,大豆粕的系酸力或 pH 较高。哺乳期犊牛瘤胃功能尚未发育成熟,消化机能很大程度上依赖于皱胃功能,而皱胃消化以分泌盐酸为主。Quigley<sup>[7]</sup>对 6 头 3 日龄小公牛实施了皱胃导管手术,分别饲喂牛奶、全乳蛋白代乳粉和含有乳成分和大豆蛋白的代乳粉,从 17 日龄开始测定犊牛皱胃 24 h 内每秒钟的 pH 变化,结果发现,饲喂后犊牛皱胃的 pH 在 15 min 内从 1.5 迅速升高到 6.0,而饲喂牛奶的犊牛和饲喂代乳粉的犊牛出现了一些重要的差异,饲喂牛奶组的 pH 在升高到 6 左右后,下降的速度较快,且在第 2 顿饲喂后该组的 pH 较低,整个 24 h 测定期内,犊牛皱胃的平均 pH 较低,同时 pH 高于 3 和 4 的时间也较少。和乳猪相似,pH 过高会导致病原体(比如

沙门氏菌或大肠杆菌)更易通过皱胃,从而提高了腹泻和疾病发生的可能性。可以推断,哺乳期犊牛饲喂过多的大豆粕或大豆蛋白而引起腹泻,应该与日粮较高的系酸力或 pH 有关。因此有必要研究犊牛日粮中系酸力或 pH 的作用和影响因素。

### 3.2 开食料的适宜系酸力和 pH

在犊牛开食料系酸力和 pH 方面的研究几乎未见报道,但因哺乳期犊牛反刍功能尚不健全,消化机能仍然主要依靠皱胃,从某种程度上讲与乳仔猪相类似,所以仔猪方面的相关研究也具有一定的参考价值。

健康仔猪胃内 pH 一般低于 4.0,而常见的仔猪补料和断奶料的 pH 为 5.8~6.5。当仔猪摄食系酸力高的日粮后,进入胃内的日粮要结合一定量的胃酸,使胃内 pH 升高,进而影响胃内有关酶的活性,降低营养物质特别是蛋白质在胃内的消化率,甚至影响小肠对营养物质的吸收,腐败发酵作用加剧,导致腹泻<sup>[3]</sup>。日粮的系酸力与其原料的选择、营养水平的确定以及酸化剂的使用密切相关。有调查研究表明,我国典型仔猪日粮的 pH 和系酸力分别为  $5.91 \pm 0.42$  和  $(37.72 \pm 8.64) \text{ mmol/100 g}$ <sup>[8]</sup>。而生产试验表明,降低日粮系酸力 ( $30.0 \sim 19.5 \text{ mmol/100 g}$ ) 可以提高断奶仔猪的日增重和饲料利用率,尤其当日粮系酸力在  $19.5 \sim 23.0 \text{ mmol/100 g}$  时,仔猪的综合生产性能表现最佳<sup>[9]</sup>;随着日粮系酸力水平的降低,仔猪的生长性能有所改善,但与  $40/30 \text{ mmol/100 g}$  相比,日粮系酸力以  $20 \text{ mmol/100 g}$  为宜<sup>[3]</sup>。

在犊牛饲料适宜系酸力方面尚未见报道,但其耐粗放饲养程度应高于仔猪,因此本文借助仔猪方面的研究结果,以开食料系酸力  $20 \sim 25 \text{ mmol/100 g}$  为宜确定原料的适宜比例。从表 5 中可见,以系酸力因素为主,结合 pH,在本试验设计范围内,配制犊牛开食料时,各原料的适宜添加比例分别为:大豆粕  $\leq 20\%$ 、麸皮  $0 \sim 10\%$ 、乳清粉  $\leq 20\%$ 、磷酸氢钙  $\leq 2\%$ 、石粉  $\leq 2\%$ 、食盐  $0 \sim 1.0\%$ 、维生素预混料  $0 \sim 0.04\%$ 。这一系列比例尚有待进行动物试验,验证其在犊牛开食料中应用上的准确性和实用性。

### 3.3 开食料系酸力和 pH 数学模型

近年来丁洪涛等<sup>[4]</sup>对断奶仔猪日粮系酸力模型进行了研究,其回归方程为  $Y = 2.68 + 0.70a_1X_1 + 0.91a_2X_2 + 0.97a_3X_3 + 0.70a_4X_4 + 2.20a_5X_5 + 0.34a_6X_6 + 0.48a_7X_7$ , 其中  $Y$  为日粮系酸力 ( $\text{mmol/100 g}$ ),  $a_1X_1 \sim a_7X_7$  分别为豆粕、鱼粉、麦麸、乳清粉、磷酸氢钙、石粉和玉米在仔猪日粮中的比例和系酸力之积。本文在犊牛开食料系酸力和

pH 上进行了研究,为以原料比例及其系酸力或 pH 调控开食料系酸力或 pH 提供了一个方法。

## 4 结 论

① 在本试验设计范围内,配制犊牛开食料时,仅从开食料系酸力  $20 \sim 25 \text{ mmol/100 g}$  为宜角度考虑确定的各原料的适宜添加比例为:大豆粕  $\leq 20\%$ 、麸皮  $0 \sim 10\%$ 、乳清粉  $\leq 20\%$ 、磷酸氢钙  $\leq 2\%$ 、石粉  $\leq 2\%$ 、食盐  $0 \sim 1.0\%$ 、复合维生素预混料  $0 \sim 0.04\%$ 。

② 犊牛开食料系酸力 ( $Y_1, \text{mmol/100 g}$ )、pH ( $Y_2$ ) 与大豆粕、麸皮、乳清粉、磷酸氢钙、石粉、食盐、维生素预混料、玉米的配比 ( $X_1 \sim X_8, \%$ ) 和系酸力 (依次为  $a_1 \sim a_8, \text{mmol/100 g}$ )、pH (依次为  $b_1 \sim b_8$ ) 的多元线性回归方程分别为:

$$Y_1 = 1.094 4a_1X_1 + 0.4817a_2X_2 + 1.235 4a_3X_3 - 0.156 8a_4X_4 + 0.113 6a_5X_5 + 62.596 9a_6X_6 + 60.261 8a_7X_7 + 0.915 0a_8X_8;$$

$$Y_2 = 1.079 2b_1X_1 + 0.983 0b_2X_2 + 0.768 7b_3X_3 + 1.010 1b_4X_4 + 0.899 7b_5X_5 - 0.326 6b_6X_6 - 27.048 5b_7X_7 + 1.014 2b_8X_8。$$

## 参考文献:

- [1] 李 辉,刁其玉. 哺乳犊牛的消化特点与蛋白质需要[J]. 中国饲料, 2005, 21: 22-24.
- [2] 张心如,罗宜熟,杜干英,等. 猪消化道酸度与调控[J]. 养猪, 2003(4): 51-53.
- [3] 张宏福,卢庆萍,杨 琳,等. 日粮系酸力对断奶仔猪生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2001(18): 9-11.
- [4] 丁洪涛,张宏福,丁保森,等. 断奶仔猪日粮系酸力模型的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2005, 41(6): 18-20.
- [5] 马红艳. 两种复合酸化剂对肉仔鸡作用效果的研究[D]. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 18.
- [6] 侯永清. 饲料酸结合力的测定方法及其应用的研究[J]. 饲料研究, 2001(3): 1-3.
- [7] Quigley J. Calf Note 115-Abomasal pH and milk feeding[EB/OL]. Calf Notes.com, 2006. <http://www.calfnotes.com/CNliquid.htm>
- [8] 唐湘方,张宏福,夏中生. 我国常见典型仔猪日粮系酸力和电解质平衡水平的调查研究[J]. 动物营养学报, 2007, 19(2): 163-165.
- [9] 刘庚寿,龚德林,张敏贤,等. 不同系酸力饲料对断奶仔猪生产性能和腹泻的影响[J]. 饲料工业, 2006, 27(1): 33-34.

# Effects of the Ingredients on Acid Binding Capacity and pH of Calves Starter Ration

TU Yan<sup>1</sup> DIAO Qiyu<sup>1\*</sup> FENG Shanshan<sup>2</sup> ZHOU Yi<sup>1</sup> YUN Qiang<sup>1</sup>

(1. Feed Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Beijing University of Agriculture, Beijing 100226, China)

**Abstract:** This experiment was conducted to study on the effects of the content and acid binding capacity (ABC) or pH of ingredients on the ABC or pH of calves starter ration. Nine feed raw ingredients which were ordinarily used in the northern China were chosen, and mixed to calf starter rations based on  $L_{27}(3^{13})$  orthogonal test table. The ABC and pH of the ingredients and starter rations were determined, and then multiple regression method was used to analyze the data. The results showed that, 1) the ABC of limestone was highest, meanwhile that of NaCl was lowest, and the order of ABC from high to low was soybean meal, wheat bran, corn in plant feed ingredients; 2) the pH of mineral ingredients was alkaline, and that of corn, wheat bran and soybean meal was 5.65 to 5.92. The pH of the vitamin premix and mineral premix were very low; 3) all the ingredients had significant effects on the ABC and pH of starter ration ( $P<0.05$ ). These results indicated that in the range of the experiment design, the suitable contents of ingredients in calves starter ration were: soybean meal $\leq 20\%$ , wheat bran 0~10%, whey powder $\leq 20\%$ ,  $CaHPO_4 \leq 2\%$ , limestone $\leq 2\%$ , NaCl 0~1.0%, vitamin premix 0~0.04% while the optimum ABC of calves starter ration was destined for 20~25 mmol/100 g. There was significant multiple liner correlation between the ABC or pH of calves starter ration and content, ABC or pH of ingredients. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(1): 63-69]

**Key words:** Calf; Starter ration; Acid binding capacity; pH; Mathematical model