

西门塔尔杂交后备母牛粪磷排出量与日粮磷进食量的关系

许建海¹ 姜军² 靳若青¹ 曹琼¹ 黄洁¹ 李强³ 莫放^{1,2*}

(1. 中国农业大学 动物科技学院/动物营养国家重点实验室,北京 100193;2. 中国农业大学 国家肉牛产业技术体系饲料营养功能研究室,北京 100193;3. 张掖市甘州区畜牧兽医局,甘肃 张掖 734000)

摘要 运用消化试验研究肉牛粪磷排出量与进食磷量之间的关系,选用体况良好、体重相近((369.5±37.8) kg)的杂交后备母牛(西门塔尔牛(♂)×中国黄牛(♀))24头,随机分为6组,分别定量(3.50 kg/d)饲喂6种不同磷水平(质量分数分别为0.38%、0.45%、0.50%、0.56%、0.61%和0.67%,DM基础)的精料,粗料(青贮)自由采食。总试验期为30 d,预饲期20 d,正试期10 d(其中采样期7 d)。饲料样及粪样均测定其中磷和DM含量,计算粪磷排出量与日粮磷进食量的回归关系。结果表明:精料磷水平对后备母牛日粮干物质采食量无显著影响($P>0.05$)。以g/d为单位,粪磷排出量与日粮磷进食量的关系为 $y=1.0043x-8.7268$ ($R^2=0.8298, P<0.05, n=24$);以g/kg(DMI)为单位,粪磷排出量与日粮磷进食量的关系为 $y=0.9330x-1.1699$ ($R^2=0.8282, P<0.08, n=24$)和 $y=0.6317x+0.0819$ ($R^2=0.5711, P<0.05, n=20$)。综合分析,后备母牛粪磷排出量与日粮磷进食量高度正相关。

关键词 肉牛; 后备母牛; 磷; 采食量; 排泄量

中图分类号 S 827

文章编号 1007-4333(2011)03-0122-05

文献标志码 A

Relationships between the fecal phosphorus excretion and the dietary phosphorus intake in simmental crossbreed heifers

XU Jian-hai¹, JIANG Jun², JIN Ruo-qing¹, CAO Qiong¹, HUANG Jie¹, LI Qiang³, MO Fang^{1,2*}

(1. College of Animal Science and Technology/State Key Laboratory for Animal Nutrition,

China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Feed Nutrient Function Laboratory for National Beef Cattle Industry Technology System,

China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Animal Husbandry and Veterinary Bureau of Ganzhou, Zhangye 734000, China)

Abstract The aim of this study was to evaluate the relationships between the fecal P excretion and the dietary P intake by digestion trial in beef cattle. Twenty-four crossbreed heifers (Simmental×local cattle, BW = 369.5±37.8 kg) were selected and randomly assigned to six dietary treatments, which contained phosphorus at the level of 0.38%, 0.45%, 0.50%, 0.56%, 0.61% and 0.67% in concentration (DM basis), respectively. Animals were fed the roughage once a day ad libitum, and the concentrate was supplied in two equal amounts (3.50 kg/d). A 10-day digestion trial was included in this 30 days experiment. Total feces were collected and recorded for each cattle during the last 7 days of the experiment. Daily feed offerings and refusals were measured to obtain net feed intake for each animal. Animal feeds and feces were preserved for further analyses of P and DMI. The linear regression analysis was used to study the relationships between the fecal P excretion and the dietary P intake. Results showed that: The levels of concentrate P had no significant influence on DMI ($P>0.05$). The linear relationship between fecal P excreted and dietary P intake was $y=1.0043x-8.7268$ ($R^2=0.8298, P<0.05, n=24$) if it was measured as g/d unit, then was $y=0.9330x-$

收稿日期: 2010-10-30

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(nyhyzx07-035); 国家肉牛产业技术体系项目(ncgytx-38)

第一作者: 许建海, 硕士研究生, E-mail: xjhdexx@163.com

通讯作者: 莫放, 副教授, 主要从事反刍动物营养与饲料研究, E-mail: mofang@cau.edu.cn

1.169 9 ($R^2 = 0.828 2, P < 0.08, n = 24$) and $y = 0.631 7x + 0.081 9$ ($R^2 = 0.571 1, P < 0.05, n = 20$) if measured as g/kg DMI unit. It was suggested that faecal P excretion increased linearly as dietary P intake increased.

Key words beef cattle; heifer; phosphorus; intake; excretion

磷是动物必需的矿物元素之一，除了与钙一起作为骨骼和牙齿主要组成成分外，还几乎对体内各种代谢过程都起着重要的作用，也是畜禽日粮中继蛋白质和能量之后第 3 位重要的营养物质。日粮磷缺乏或过量，都会导致动物生产性能和生产效率下降。生产中，当饲料本身的含磷量不能满足动物对磷的需要量时，多使用无机磷添加剂。因环境保护和节约成本的需要，在饲料磷源选择上优先考虑充分利用饲料中的植酸磷，以降低粪磷的排泄量。

日粮未被利用的磷主要经粪便和尿液排泄，粪便是磷主要的排泄途径，占总排泄量的 95% ~ 98%，由饲料中未被吸收的磷和内源磷组成。很多研究均表明：磷的排泄量与进食量之间存在高度正相关^[1-2]。当饲料中磷的供应量略低于或刚好达到动物需要时，内源粪磷的损失量即为维持的磷需要量。内源必需磷损耗的主要决定因素是干物质采食量，而非动物活体重^[3]。Ajakaiye 等^[4]的研究证明：以 g/kg (DMI) 为单位（此单位相关性高，便于估测），用线性回归分析法估测猪内源磷的排泄量。本试验使用麸皮调控日粮磷水平，采用消化试验研究后备母牛粪磷排泄量与进食磷量的关系，旨在为采用析因法研究肉牛磷的需要量提供基础，为我国肉牛饲养标准的修订提供参数。

1 材料与方 法

1.1 试验动物及试验日粮

选择 24 头月龄一致、体况良好、体重相近 (369.5 ± 37.8) kg 的杂交后备母牛 (西门塔尔牛 (♂) × 中国黄牛 (♀)) 作为试验动物。试验前使用阿福丁进行统一驱虫，并进行口蹄疫疫苗免疫注射。

精料以玉米、麸皮、棉粕和大麦为基础，精料配方和日粮营养含量分别见表 1 和表 2，粗饲料为玉

表 1 试验精料组成 (风干基础)

Table 1 Dietary concentrate composition (air-dry basis)

	w/%						
试验组	玉米	大麦	棉籽粕	麸皮	石粉	食盐	预混料*
1	70.0	10.0	17.9	0	1.0	1	0.1
2	62.0	10.0	15.6	10.0	1.3	1	0.1
3	54.0	10.0	13.4	20.0	1.5	1	0.1
4	46.0	10.0	11.2	30.0	1.7	1	0.1
5	38.0	10.0	8.9	40.0	2.0	1	0.1
6	30.0	10.0	6.7	50.0	2.2	1	0.1

注：* 预混料配方 VA 200 kIU/kg; VD₃ 40 kIU/kg; VE 600 mg/kg; 烟酸 400 mg/kg; 锰 700 mg/kg; 锌 2 000 mg/kg; 铁 800 mg/kg; 铜 500 mg/kg; 碘 6 mg/kg; 硒 25 mg/kg; 钴 5 mg/kg。

表 2 试验日粮营养水平
Table 2 Dietary nutrient levels

营养水平	试验组						玉米青贮 (干物质基础)
	1	2	3	4	5	6	
w(DM)/%	94.20	94.31	93.28	93.26	92.89	94.08	20.05
w(CP)/%	14.82	15.28	15.33	15.13	15.61	15.72	6.37
w(淀粉)/%	39.99	41.45	40.70	42.05	35.23	36.24	2.41
w(NDF)/%	18.51	21.42	20.28	24.29	28.17	30.21	64.66
w(ADF)/%	5.41	8.32	7.05	7.66	8.41	9.42	36.47
w(Ca)/%	0.48	0.58	0.65	0.72	0.82	0.89	0.44
w(P)/%	0.36	0.42	0.47	0.52	0.57	0.63	0.36
m(Ca) : m(P)	1.33	1.38	1.38	1.38	1.44	1.41	1.22
GE/(MJ/kg)	16.32	15.38	16.17	16.18	15.91	16.17	16.39

米秸秆青贮。营养成分除磷外,均按中国肉牛饲养标准(2004)配制^[5]。

1.2 试验设计

采用单因子试验设计,试验动物随机分为6组,每组4头。使用麸皮作为磷源,配置6种磷水平的精料,磷质量分数分别为0.36%、0.42%、0.47%、0.52%、0.57%和0.63%,换算成干物质基础的质量分数分别为0.38%、0.45%、0.50%、0.56%、0.61%和0.67%。

1.3 饲养管理

参试牛全部采用拴系式饲喂,固定槽位和牛床位,专人管理,注意观察试验牛的健康状况。每日饲喂2次(早6:00和晚6:00),先喂精料后喂粗料,各处理组牛的精料供给量均为3.5 kg/d(早晚等量),粗料自由采食,喂后自由饮水。

1.4 样品采集与制备

总试验期为30 d,其中预饲期20 d,正试期10 d,正试期前3 d为消化试验适应期,后7 d全收粪。每天晨饲前收集剩料,将7 d收集的剩料混合称重后取部分样品粉碎制成剩料样;将每天收集的鲜粪样称重后按10%采样混合,于-20℃冷冻保存备用。

将日粮和收集的剩料及粪样于65℃烘48 h,置于试验室回潮48 h后称重,测得初水分并制成分析样本。

1.5 测定指标和方法

分别测定日粮、剩料及粪样的DM和磷含量。DM含量参照文献[6]中的方法测定。磷含量参照文献[7]中的方法测定。

1.6 统计分析

所有数据用Excel进行初步处理,统计分析利用SAS软件包(The SAS System for Windows V8)中的平衡试验设计方差分析过程(ANOVA),均值的多重比较采用Duncan法进行, $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 精料磷水平对后备母牛干物质采食量和磷进食量的影响

由表3可以看出,精料磷水平对后备母牛粗料(即青贮)采食量和日粮干物质采食量均无影响($P > 0.05$)。试验5组和6组(精料磷质量分数分别为0.57%和0.63%)青贮采食量和日粮干物质采食量

表3 精料磷水平对后备母牛干物质采食量和磷进食量的影响

Table 3 Effects of dietary concentrate P on DMI and P intake in heifers

试验组	干物质采食量/(g/d)			磷进食量/(g/d)			实际进食日粮磷质量分数/%
	青贮	精料	日粮总量	青贮	精料	日粮总量	
1	2775.78±284.80	3297.00	6072.78±284.80	9.99±1.03	12.60	22.59±1.03 e	0.37±0.001 f
2	2581.07±192.17	3300.85	5881.92±192.17	9.29±0.69	14.70	23.99±0.69 d	0.41±0.002 e
3	2561.58±217.61	3264.80	5826.38±217.61	9.22±0.78	16.45	25.67±0.78 c	0.44±0.003 d
4	2624.82±75.19	3264.10	5888.92±75.19	9.45±0.27	18.20	27.65±0.27 b	0.47±0.001 c
5	2441.91±191.19	3251.15	5693.06±191.19	8.79±0.69	19.95	28.74±0.69 b	0.50±0.005 b
6	2490.02±198.02	3292.80	5782.82±198.02	8.96±0.71	22.05	31.01±0.71 a	0.54±0.006 a

注:同一列比较,数字后字母相同或不标字母的表示差异不显著($P > 0.05$),字母不同的表示差异显著($P < 0.05$)。

有低于其他各组的趋势($P > 0.05$)。除试验4组和5组(精料磷质量分数分别为0.52%和0.57%)日粮磷进食量无差异外($P > 0.05$),其他各组彼此间差异显著($P < 0.05$),且随着精料磷水平的提高,日粮磷进食量增加。经计算,各试验组牛进食的实际日粮磷质量分数分别为0.37%、0.41%、0.44%、0.47%、0.50%和0.54%,随精料磷水平的提高而

提高,且各组之间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 后备母牛粪磷排泄量与进食磷量的关系

后备母牛粪磷排泄量与日粮磷进食量见表4。

由表4可以看出,以g/d为单位,除试验4组和5组日粮磷进食量无差异外($P > 0.05$),其他各组彼此间差异显著($P < 0.05$),且随着日粮磷水平的提高,日粮磷进食量增加;以g/kg(DMI)为单位,日粮

磷进食量随实际日粮磷水平的提高而提高,且各组之间差异显著($P < 0.05$);以 g/d 和 g/kg (DMI) 为单位,磷排泄量随实际日粮磷水平的提高而增加,试

验 6 组与 4 组和 5 组间没有差异($P > 0.05$),但显著高于试验 1 组、2 组和 3 组($P < 0.05$),而试验 1 组、2 组、3 组、4 组和 5 组彼此间差异不显著($P > 0.05$)。

表 4 粪磷排泄量与日粮磷进食量

Table 4 Fecal P excretion and the dietary P intake in heifers

指标	试验组					
	1	2	3	4	5	6
P 进食量/(g/d)	22.59±1.03 e	23.99±0.69 d	25.67±0.78 c	27.65±0.27 b	28.74±0.69 b	31.01±0.71 a
P 排泄量/(g/d)	15.73±0.91 b	14.88±0.82 b	15.21±1.17 b	19.32±1.41 ab	19.01±1.14 ab	23.83±0.98 a
P 进食量/(g/kg)(DMI)	3.72±0.01 f	4.08±0.01 e	4.41±0.03 d	4.70±0.01 c	5.05±0.05 b	5.36±0.06 a
P 排泄量/(g/kg)(DMI)	2.59±0.15 b	2.53±0.14 b	2.61±0.20 b	3.28±0.24 ab	3.34±0.20 ab	4.12±0.17 a

注:同行数字后字母相同或不标字母的表示差异不显著($P > 0.05$),字母不同的表示差异显著($P < 0.05$)。

以 g/d 为单位,粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系为 $y = 1.0043x - 8.7268$ ($R^2 = 0.8298$, $P < 0.05$, $n = 24$)。以 g/kg (DMI) 为单位,粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系为 $y = 0.9330x - 1.1699$ ($R^2 = 0.8282$, $P < 0.08$, $n = 24$) 和 $y = 0.6317x + 0.0819$ ($R^2 = 0.5711$, $P < 0.05$, $n = 20$)。

3 讨论

3.1 精料磷水平对后备母牛干物质采食量和磷进食量的影响

本研究结果表明,精料磷水平对后备母牛粗料采食量和日粮干物质采食量均无影响,当精料磷质量分数超过 0.52%,达到 0.57% 和 0.63% 时,青贮采食量和日粮干物质采食量有降低趋势。

Erickson 等^[8]选用 60 头 1 岁杂交肥育牛(平均体重 386 kg),采用 2×5 因子试验设计,研究了日粮 2 个钙水平(0.35% 和 0.70% (w), DM) 和 5 个磷水平(0.14%、0.19%、0.24%、0.29% 和 0.34% (w), DM) 对肉牛生产性能、骨状况和胴体品质的影响,结果表明日粮磷水平对肉牛干物质采食量、日增重和饲料转化效率没有影响;在绒山羊上也有类似的报道,赵智力^[9]研究内蒙古白绒山羊生长羯羊钙磷需要量时,设计了钙磷比例基本一致的 5 种磷水平的日粮,非产绒期日粮磷质量分数分别为 0.17%、0.20%、0.25%、0.30% 和 0.35%,产绒期日粮磷质量分数分别为 0.18%、0.27%、0.34%、0.41% 和 0.55%,结果表明:无论是产绒期还是非产绒期日粮磷水平对绒山羊日粮干物质采食量均没有影响。

王玉培^[10]选用 4 头体重 475.00 kg 左右,装有

瘤胃瘘管的杂交一代阉公牛(安格斯(♂)×鲁西黄牛(♀))作为试验动物,以羊草为基础日粮,并分别以玉米、豆粕、棉粕和麸皮按照质量比 30:70 的比例替代部分羊草,共设计 5 种磷水平的试验日粮(日粮磷质量分数分别为 0.179%、0.232%、0.332%、0.414% 和 0.495%, DM),研究饲料总磷瘤胃释放率与全消化道消化率之间相关关系,各组牛进食磷量分别为 14.456、15.808、24.398、30.737 和 34.890 g,计算各组牛干物质采食量分别为 8.076、6.814、7.349、7.424 和 7.048 kg,可以看出,当日粮磷质量分数为 0.495% 时,日粮干物质采食量有降低的趋势。

无论是在肉牛还是在奶牛上,均有采食量受到日粮磷水平影响的报道。Geiser 等^[1]设计了 0.10%、0.17%、0.24%、0.31% 和 0.38% (干物质基础) 5 个磷质量分数的日粮,饲喂平均体重为 278 kg 左右的杂交肉用母牛 180 d,研究肥育肉牛磷的需要量,结果发现干物质采食量和日增重与日粮磷水平呈显著二次曲线关系,而对饲料转化效率没有显著影响。Valk 等^[11]给经产的高产荷斯坦奶牛饲喂 3 种磷质量分数(0.33%、0.28% 和 0.24%, DM) 的日粮,试验期共 21 个月,包括 2 个干奶期和 2 个泌乳期,研究长期饲喂低磷水平的日粮对奶牛干物质采食量、牛奶产量和体重的影响,结果表明:日粮磷质量分数为 0.24% 时,降低了第 1 个干奶期奶牛的采食量,降低了第 2 个泌乳期奶牛的干物质采食量、牛奶产量和体重,而对繁殖性能没有影响,因此日粮含磷 0.28% 即可满足年产奶 9 000 kg 左右的经产奶牛对磷的需要。

结合本研究的结果可以确定,动物对磷的需要量或耐受量有一定的范围,当日粮磷水平超过动物适宜的磷水平,将影响动物的食欲降低采食量。

3.2 后备母牛粪磷排泄量与进食磷量的关系

各试验组牛实际进食日粮磷质量分数分别为0.37%、0.41%、0.44%、0.47%、0.50%和0.54%,均在0.35%~0.55%之间,且基本呈等差数列递增,符合研究粪磷排泄量与进食磷量关系的试验设计。

Geiser等^[1]报道,平均体重为386 kg左右的去势肉牛,总磷的排泄量随进食磷量的增加而提高,以g/d为单位,总磷的排泄量与进食磷量的关系为 $y=0.57x+0.82$, ($R^2=0.49$, $P<0.10$, $n=23$)。本研究以g/d为单位,粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系为 $y=1.0043x-8.7268$ ($R^2=0.8298$, $P<0.05$, $n=24$),与Geiser等^[1]人研究结果存在差异的可能原因有二:一是由于本试验研究的是粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系,而非总排泄磷与日粮进食磷的关系,尿磷排泄量虽少,但不可忽略;二是本研究的磷水平比较高,范围为0.37%~0.54%,而Geiser^[1]等人研究范围为0.12%~0.42%。Adrienne Ekelund等^[2]使用含磷0.24%~0.78%的5种日粮,研究瑞士红白花奶牛粪磷排泄量与进食磷量的关系,结果发现粪磷的排泄量也随进食磷量的增加而提高,以g/d为单位,二者呈显著的线性关系,即 $y=0.86x-9.80$ ($R^2=0.97$, $n=24$),这与本试验的研究结果基本一致。以上这些研究结果说明,粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系受动物品种和日粮磷水平的影响。

当饲料中磷的供应量略低于或刚好达到动物需要时,内源粪磷的损失量,即为维持的磷需要量。以往认为,磷的维持需要随动物体重的变化而变化^[12],根据磷进食量为零时的内源磷的排出量来确定磷的维持需要量^[13]。目前,多倾向于内源必需磷损耗的主要决定因素是干物质采食量,而非动物活体重^[3]。

本研究中,以g/kg(DMI)为单位,以6个试验组的数据进行统计分析,粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系为 $y=0.9330x-1.1699$ ($R^2=0.8282$, $P<0.08$, $n=24$)。因为试验6组(即最高含磷量组,日粮磷水平0.54%,DM)磷的消化率显著低于其他各组,将其数据删除后,采用其他5个试验组的数据进行统计分析,粪磷排泄量与日粮磷进食量的关系为 $y=0.6317x+0.0819$ ($R^2=0.5711$, $P<$

0.05 , $n=20$),回归关系更为显著。

NRC(1996)推荐肉牛可利用磷维持需要为每100 kg体重1.6 g^[14],中国肉牛饲养标准(2004)推荐肉牛可利用磷维持需要为每100 kg体重2.8 g^[5],据此计算本试验所用牛的可利用磷维持需要量分别为5.912和10.346 g左右。本试验磷的摄入量为22.59~31.01 g/d,高于中国肉牛饲养标准(2004)中350~375 kg生长母牛磷的需要量12~19 g/d。此因素可能对试验结果产生一定的影响。

参 考 文 献

- [1] Geisert B G, Erickson G E, Klopfenstein T J, et al. Phosphorus requirement and excretion of finishing beef cattle fed different concentrations of phosphorus[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88: 2393-2402
- [2] Ekelund A, Spfrndly R, Valk H, et al. Effects of varying monosodium phosphate intake on phosphorus excretion in dairy cows[J]. *Livestock Production Science*, 2005, 96: 301-306
- [3] NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* [M]. 7th ed. Washington D C: National Academy Press, 2001
- [4] Ajakaiye A, Fan M Z, Archbold T, et al. Determination of true digestive utilization of phosphorus and the endogenous phosphorus outputs associated with soybean meal for growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81: 2766-2775
- [5] 中华人民共和国农业部. NY/T 815-2004 肉牛饲养标准[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004
- [6] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003
- [7] GB/T 6437-2002. 饲料中总磷的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002
- [8] Erickson G E, Klopfenstein T J, Milton C T, et al. Effect of dietary phosphorus on finishing steer performance, bone status, and carcass maturity[J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77: 2832-2836
- [9] 赵智力. 内蒙古白绒山羊生长羯羊钙、磷需要量的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006
- [10] 王玉培. 饲料总磷瘤胃释放率与全消化道消化率之间相关关系的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2010
- [11] Valk H, Šebek L B J. Influence of long-term feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, and body weight of dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1999, 82: 2157-2163
- [12] NRC. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* [M]. 6th ed. Washington D C: National Academy Press, 1989
- [13] ARC. *Nutrient Requirements of Ruminant Livestock* [M]. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1980
- [14] NRC. *Nutrient Requirements of Beef Cattle* [M]. 7th ed. Washington D C: National Academy Press, 1996