

基于奶牛饲料氮和磷摄入量的粪尿氮和磷排出量估算

卢健^{1,2,3}, 常志州^{2,3}①, 黄红英^{2,3} (1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 3. 江苏省农业废弃物资源化工程技术研究中心, 江苏 南京 210014)

摘要: 通过监测规模化奶牛场夏、冬两季奶牛氮、磷摄入量与排出量, 分析两者之间的相关性, 建立估算模型, 以估算夏、冬两季奶牛粪、磷排放量。结果表明, 冬、夏两季每头成年奶牛每日粪、尿平均排出量分别为 31.14 和 13.90 kg。泌乳牛夏、冬两季通过粪、尿排出的氮、磷总量分别为 270.71 和 66.67 g · d⁻¹, 比干乳牛分别高 16.4% 和 19.2%, 比育成牛分别高 150.7% 和 174.0%。不同生理阶段奶牛每日通过饲料摄入的氮、磷总量差异显著 ($P < 0.05$), 从高到低依次为泌乳牛、干乳牛和育成牛。每日通过粪、尿排出的氮、磷总量差异也达显著水平 ($P < 0.05$), 而且奶牛通过粪、尿排出的氮、磷占氮、磷摄入量的 50% 以上; 夏、冬两季奶牛粪、尿、奶中氮、磷排出量与通过饲料摄入的氮、磷含量呈显著正相关关系, 可利用拟合的回归方程建立基于奶牛饲料氮、磷摄入量的粪、尿中氮、磷排出量的估算模型, 该模型可为奶牛场粪便管理及污染防治等工作提供参考。

关键词: 氮; 磷; 摄入量; 排出量; 奶牛; 估算模型

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2014)01-0101-06

Estimation of Excretion of Nitrogen and Phosphorus With Manure From Dairy Cow Based on Ingestion of N and P With Feeds. LU Jian^{1,2,3}, CHANG Zhi-zhou^{2,3}, HUANG Hong-ying^{2,3} (1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Jiangsu Agricultural Waste Treatment and Recycle Engineering Research Center, Nanjing 210014, China)

Abstract: Through monitoring of ingestion and excretion of nitrogen and phosphorus by dairy cows of an on-scale dairy farm in summer and winter, analysis was done of relationship between the ingestion and excretion and a model was established for estimation of discharge of N and P from the farm in summer and winter. Results show that in water and summer, averagely, an adult dairy cow excretes 31.14 and 13.90 kg · d⁻¹ of feces per day, respectively, and a lactating cow excretes 270.71 g · d⁻¹ N and 66.67 g · d⁻¹ P with feces and urine, 16.4% and 19.2% more than a dry cow does, and 150.7% and 174.0% more than a heifer does, respectively. Daily ingestion of nitrogen and phosphorus with fodder of a dairy cow varies sharply from cow to cow different in physiological stage ($P < 0.05$), displaying an order of lactating cow > drying cow > heifer. Daily excretion of nitrogen and phosphorus with feces and urine from a cow also varies sharply from cow to cow different in physiological stage ($P < 0.05$). The cows excrete with feces and urine more than 50% of the nitrogen and phosphorus ingested. Positive relationship was found of N and P ingestions with fodder and N and P excretions with feces, urine and milk in summer and winter. A model can hence be built up by fitting with a regression equation for estimation of N and P excretions with feces and urine based on N and P ingestions with fodder. The model may provide references for feces management and pollution prevention in dairy farms.

Key words: nitrogen; phosphorus; ingested amount; excreted amount; dairy cow; estimation model

由于我国奶牛规模养殖起步较晚, 奶牛的饲喂缺乏统一标准, 许多奶牛场氮、磷供给量远超过奶牛实际需求量, 造成氮、磷的极大浪费和养殖成本的增加^[1]。了解奶牛场废弃物产生量对于制订合理的污染物治理方案和规模十分重要。目前常用的估算全国或者某个地区畜禽粪便排泄量及氮、磷排出量的方法为排泄系数法^[2-3], 该方法受养殖场饲养方式、饲料特性和奶牛品种等因素影响较大, 其计算结果可能会与实际情况不符。目前有关奶

牛氮、磷排泄系数的研究已有大量报道, 但是结果差异较大, 且部分研究并未涉及牛奶中氮、磷含量的测定, 造成数据不完整, 且难以比较^[4-5]。

奶牛获得氮、磷的主要途径是饲料, 粪便和尿液是奶牛最主要的氮、磷排放途径, 牛奶是泌乳期

收稿日期: 2013-03-27

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAD15B00); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-004)

① 通信作者 E-mail: czhizhou@hotmail.com

奶牛氮、磷输出的重要途径。故在借助相关模型的基础上,通过奶牛饲料氮、磷的摄入量估算粪、尿及牛奶氮、磷排出量。朱宏鹤等^[5]估算了规模奶牛场奶牛粪、尿年产生量,但未提出相关计算模型。陈海媛等^[6]提出了较为系统的产污系数模型,但是并未根据泌乳牛和干乳牛饲料不同作进一步划分。

以监测规模化奶牛场获得夏、冬两季奶牛氮、磷相关数据为基础,建立基于饲料氮、磷摄入量估算夏、冬两季奶牛场氮、磷排出量的简易模型,以期为奶牛场粪便管理及污染防治提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与时间

试验在无锡天蓬生态科技有限公司进行,该奶牛场存栏量为409头,其中泌乳牛135头,干乳牛52头,育成牛222头,品种为中国荷斯坦。试验时

间从2010年8月15日至2011年1月25日,分夏、冬两个阶段进行,每个阶段试验期为14d,其中预试验期9d。

1.2 试验对象

试验选取3个不同生理阶段的奶牛(泌乳牛、干乳牛和育成牛),每个生理阶段随机选择6头奶牛(体质量接近平均水平,采食正常,健康无病,泌乳牛产奶量接近平均水平),冬、夏两季所选奶牛不同。奶牛采用栓系式饲喂。选取奶牛情况见表1。

喂养饲料组成见表2~3。奶牛精饲料和营养成分包括玉米、豆粕、玉米干酒糟及其可溶物(DDGS)、磷酸氢钙、奶牛复合预混料、麸皮、轻质碳酸钙、小苏打、盐、饲料用喷浆玉米纤维、氧化镁、克霉宝、苹果粕、棕榈粕和石粉,各成分含量因季节及奶牛生理阶段不同略有差别。

表1 奶牛编号与体质量

Table 1 Codes and weights of the dairy cows monitored

夏季						冬季					
泌乳牛		干乳牛		育成牛		泌乳牛		干乳牛		育成牛	
编号	体质量/kg	编号	体质量/kg	编号	体质量/kg	编号	体质量/kg	编号	体质量/kg	编号	体质量/kg
0816	580	0621	630	0841	260	0761	620	0639	610	0935	300
0709	620	0726	650	0831	270	0619	630	0619	630	0951	260
0776	640	0634	680	0846	310	0402	570	0513	680	0942	270
0510	570	0503	710	0834	300	0731	560	0405	630	0105	320
0412	600	0657	630	0908	290	0618	630	0406	680	0109	270
0616	650	0433	640	0901	280	0735	610	0624	740	0116	310
平均体质量	610±32		657±32		285±19		603±31		662±48		288±25

奶牛编号前2位数字指奶牛出生年份,后2位数字指该年份奶牛出生的顺序编号,如0816指2008年出生的第16头牛。

表2 夏季奶牛饲料主要成分

Table 2 Main ingredients of the fodder for dairy cows in summer

饲料	氮	磷	干物质
泌乳牛精饲料	29.17	6.75	880.8
泌乳牛营养料	29.93	7.25	878.6
干乳牛精饲料	28.57	9.53	884.7
育成牛精饲料	29.18	6.93	878.9
苜蓿草	16.84	3.57	906.3
羊草	9.51	1.52	891.0
甜菜颗粒粕	16.27	1.98	850.2
玉米干酒糟及其可溶物	45.72	8.55	904.7
青草	21.20	4.37	246.3
鲜玉米秆	11.72	2.01	234.8
秸秆	8.17	3.05	780.9

1.3 样品采集与保存

饲料:精饲料和各种粗饲料分别采集,每个样品采集2份,一份测定含水率,另一份在55℃条件下烘干后粉碎,置于自封袋内保存,样品量不少于

500g。

表3 冬季奶牛饲料主要成分

Table 3 Main ingredients of the fodder for dairy cows in winter

饲料	氮	磷	干物质
泌乳牛精饲料	30.72	7.99	892.6
泌乳牛营养料	29.57	6.08	878.4
干乳牛精饲料	24.77	7.48	881.6
育成牛精饲料	29.34	6.92	878.9
苜蓿草	28.57	3.33	909.4
羊草	9.25	1.54	891.0
甜菜颗粒粕	15.91	1.96	850.2
玉米干酒糟及其可溶物	50.85	8.30	907.7
豆渣	29.51	2.27	198.4
青贮玉米	16.75	2.39	207.7

粪样:将粪便收集于桶中,混合均匀后采集,每个样品采集2份,一份测定含水率,另一份自然风干,置于自封袋内保存,样品量不少于500g。

尿样和奶样: 分别将尿液和牛奶收集于桶中, 混合均匀后采集, 每份样品不少于 250 mL, 置于塑料瓶中, 在 -20 °C 条件下保存, 待用。

1.4 测定指标及方法

每日饲料摄入量根据奶牛实际饲料投放量与残余量差值计算。每日粪、尿、奶排放量分别使用收集桶收集后称量得出。实验室测定指标和方法: 粪便含水量的测定参照 GB/T 8576—88《复合肥料中游离水含量的测定》; 饲料含水量的测定参照 GB/T 6435—86《饲料水分的测定方法》; 粪便和饲料中全氮及全磷含量的测定参照 NY 525—2002《有机肥料》; 尿液和牛奶中总氮含量的测定参照 GB 11891—89《水质 凯氏氮的测定》; 尿液和牛奶中总磷含量的测定参照 GB 11893—89《水质 总磷的测定》。

1.5 数据处理

采用 SPSS 17.0 和 Excel 2007 软件对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 奶牛通过饲料摄入的氮、磷量

泌乳牛、干乳牛和育成牛夏、冬两季每日氮、磷平均摄入量分别为 480.23 和 101.16、282.26 和 73.02、186.36 和 41.05 g。由表 4 可知, 在相同季节不同生理阶段, 奶牛每日从饲料中摄入的氮、磷总量差异显著 ($P < 0.05$), 从高到低依次为泌乳牛、干乳牛和育成牛。这可能与不同生理阶段奶牛饲喂情况不同有关。泌乳牛每日产奶需要大量营养, 因此氮、磷摄入量最大; 干乳牛属成年牛, 每日摄入饲

料总量比育成牛多, 因此通过饲料摄入的氮、磷量也较大。 t 检验表明, 除干乳牛不同季节间每日磷摄入量差异显著 ($P < 0.05$) 外, 泌乳牛和育成牛在不同季节的每日氮、磷摄入量差异均不显著。

2.2 奶牛通过粪、尿、奶排出的氮、磷量

表 5 为夏、冬季奶牛每日粪、尿、奶的排泄量。对两季泌乳牛、干乳牛粪、尿的排泄量分别求平均值, 得出每头成年奶牛每日粪、尿排泄量分别为 31.14 和 13.90 kg, 这与朱宏鹤等^[5]和田宜水^[7]报道的结果基本一致。统计分析结果表明, 泌乳牛和干乳牛夏季日尿排泄量以及冬季日粪、尿排泄量差异均不显著, 但两者均与育成牛差异达显著水平 ($P < 0.05$), 这可能与奶牛生长阶段有关。 t 检验表明, 泌乳牛的日粪、尿排泄量和干乳牛日尿排泄量在夏、冬两季差异显著 ($P < 0.05$), 这可能是因为夏季天气炎热, 奶牛饮水较多导致奶牛排泄量增加。泌乳牛夏、冬两季日产奶量差异不显著。

由表 6 可知, 在夏、冬两季, 干乳牛和育成牛相比, 粪、尿中氮、磷含量差异均未达显著水平, 但两者与泌乳牛粪、尿中氮、磷含量差异显著 ($P < 0.05$), 这可能与泌乳牛饲料中氮、磷含量较为丰富有关 (表 2~3)。 t 检验表明, 相同生理阶段奶牛在不同季节比较而言, 泌乳牛和干乳牛的尿中氮、磷含量在夏、冬季间差异显著 ($P < 0.05$), 这可能是因为夏季奶牛对水的需求量较大, 而冬季需求量较小; 各生理阶段奶牛的粪中氮、磷含量在夏、冬两季差异不显著; 泌乳牛的奶中氮、磷含量在夏、冬两季差异也不显著。

表 4 奶牛每日通过饲料摄入的氮、磷量

Table 4 Daily ingested amounts of nitrogen and phosphorus in the fodder of a dairy cow

g · d⁻¹

奶牛生理阶段	氮摄入量		磷摄入量	
	夏季	冬季	夏季	冬季
泌乳牛	472.13 ± 39.24 ^a	488.33 ± 35.04 ^a	100.92 ± 8.74 ^a	101.39 ± 8.23 ^a
干乳牛	285.46 ± 24.41 ^b	279.05 ± 20.73 ^b	78.38 ± 7.85 ^b	67.65 ± 5.28 ^b
育成牛	179.76 ± 8.12 ^c	192.97 ± 12.92 ^c	42.23 ± 1.73 ^c	39.87 ± 3.35 ^c

同一列英文小写字母不同表示相同季节不同生理阶段奶牛某指标差异显著 ($P < 0.05$)。

表 5 奶牛每日粪、尿、奶排泄量

Table 5 Daily excretion of feces and urine and production of milk from a dairy cow

kg · d⁻¹

奶牛生理阶段	粪排泄量		尿排泄量		奶排泄量	
	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季
泌乳牛	33.45 ± 4.50 ^a	30.10 ± 2.86 ^a	14.63 ± 4.13 ^a	12.50 ± 2.28 ^a	26.88 ± 5.22	26.64 ± 4.38
干乳牛	31.11 ± 3.68 ^b	29.91 ± 4.05 ^a	15.32 ± 4.20 ^a	13.16 ± 3.01 ^a		
育成牛	14.22 ± 2.83 ^c	13.01 ± 1.97 ^b	7.93 ± 1.89 ^b	7.25 ± 1.92 ^b		

同一列英文小写字母不同表示相同季节不同生理阶段奶牛某指标差异显著 ($P < 0.05$)。

表6 奶牛粪、尿、奶中的氮、磷含量

Table 6 Nitrogen and phosphorus contents in feces, urine and milk of a dairy cow

项目	季节	$w(\text{氮})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$			$w(\text{磷})/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$			含水率 $w/\%$		
		泌乳牛	干乳牛	育成牛	泌乳牛	干乳牛	育成牛	泌乳牛	干乳牛	育成牛
粪	夏	4.19±0.59 ^a	3.58±0.96 ^b	3.46±0.53 ^b	1.89±0.52 ^a	1.63±0.38 ^b	1.66±0.37 ^b	81.97±1.01 ^a	81.34±1.42 ^a	81.65±1.33 ^a
	冬	4.44±0.69 ^a	3.64±0.63 ^b	3.48±0.63 ^b	2.03±0.45 ^a	1.79±0.38 ^b	1.64±0.34 ^c	79.50±2.14 ^b	80.19±2.02 ^{ab}	81.07±2.22 ^a
尿	夏	8.93±1.86 ^a	7.78±1.14 ^b	7.15±1.42 ^b	0.31±0.05 ^a	0.27±0.05 ^b	0.26±0.05 ^b			
	冬	10.80±2.42 ^a	9.57±2.01 ^b	8.98±2.01 ^b	0.34±0.07 ^a	0.30±0.06 ^b	0.28±0.05 ^b			
奶	夏	4.44±1.69			0.94±0.25					
	冬	4.48±0.69			0.92±0.15					

同一指标同一行英文小写字母不同表示相同季节不同生理阶段奶牛某指标差异显著($P<0.05$)。

奶牛每日排泄的粪、尿、奶中氮、磷总量见表7。 t 检验表明,3种不同生理阶段奶牛每日通过粪、尿、奶排出的氮、磷总量在夏、冬两季间差异均不显著,这可能是因为夏、冬两季奶牛饲喂饲料中氮、磷总量差异不显著所致,饲料在奶牛体内的转化途径一致,同一生理阶段奶牛的饲料利用率大体相同^[8],导致奶牛排泄的粪、尿中氮、磷含量差异不大。统

计分析表明,在相同季节,不同生理阶段奶牛日均氮、磷排出总量差异显著($P<0.05$),这可能是不同生理阶段奶牛饲喂饲料中氮、磷含量差异显著,且不同生理阶段奶牛对饲料的利用率不同所致^[9]。泌乳牛夏、冬两季通过粪、尿排出的氮、磷总量分别为270.71和66.67 $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$,比干乳牛分别高16.4%和19.2%,比育成牛分别高150.7%和174.0%。

表7 奶牛每日排泄的粪、尿、奶中氮、磷总量

Table 7 Daily excretion of nitrogen and phosphorus in feces, urine and milk from a dairy cow

 $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$

项目	季节	氮排出总量			磷排出总量		
		泌乳牛	干乳牛	育成牛	泌乳牛	干乳牛	育成牛
粪	夏	140.67±30.27 ^a	110.92±30.05 ^b	49.01±12.11 ^c	63.36±19.92 ^a	50.87±13.92 ^b	23.43±6.73 ^c
	冬	133.74±25.31 ^a	108.75±24.90 ^b	45.07±9.61 ^c	61.23±14.65 ^a	52.96±10.93 ^b	21.17±5.14 ^c
尿	夏	132.71±50.79 ^a	119.10±38.05 ^a	56.23±15.61 ^b	4.53±1.52 ^a	4.07±1.31 ^a	2.02±0.64 ^b
	冬	134.30±37.52 ^a	126.41±40.02 ^a	65.63±24.36 ^b	4.21±0.98 ^a	4.01±1.31 ^a	2.03±0.69 ^b
奶	夏	119.74±51.80			25.26±8.32		
	冬	119.43±27.58			24.59±6.37		

同一指标同一行英文小写字母不同表示相同季节不同生理阶段奶牛某指标差异显著($P<0.05$)。

2.3 奶牛粪、尿、奶中氮、磷排出量与饲料氮、磷摄入量的关系

由表8可知,在夏、冬两季,干乳牛氮、磷排泄率均高于70%,而育成牛和泌乳牛为60%左右。这是由于干乳牛处于成熟期,只需摄取满足日常活动的氮、磷;泌乳牛由于泌奶需要,每日需摄入更多的氮、磷;育成牛处于生长发育阶段,每日需摄入大量氮、磷以满足生长需要。各生理阶段奶牛每日粪、尿中的氮排出总量占摄入量比例的平均值为64.8%,这与KLAUSNER^[10]和MULLIGAN等^[11]的研究结果基本相符。奶牛每日通过尿液排出的磷占磷摄入总量的比例较小,仅为5%左右,大部分磷通过粪便排出。因此,在清理粪便时,应该将粪、尿分开,这样可以避免粪便中的磷元素过多的流失于尿液中,以减轻后续废水处理中脱磷的压力。泌乳牛夏、冬两季每日由奶输出的氮、磷仅占日氮、磷摄

入量的25%左右。因此,应该对不同生理阶段奶牛分别研制饲料配方^[12-13],特别是对泌乳牛,考虑如何均衡分配各种营养以满足奶牛泌乳需求,应成为今后研究氮、磷减排技术的重点之一。

对不同生理阶段奶牛粪、尿、奶中氮、磷排出量与饲料氮、磷摄入量进行曲线拟合,得到的回归方程如表9~11所示。由表9~11可知,泌乳牛粪、尿、奶中氮排出量与氮摄入量以及粪、尿、奶中磷排出量与磷摄入量均存在显著正相关关系($P<0.01$ 或 $P<0.001$);干乳牛粪、尿中氮排出量与氮摄入量以及粪、尿中磷排出量与磷摄入量均存在显著正相关关系($P<0.01$ 或 $P<0.001$);育成牛粪、尿中氮排出量与氮摄入量以及粪、尿中磷排出量与磷摄入量均存在显著正相关关系($P<0.05$ 或 $P<0.01$ 或 $P<0.001$)。

表 8 奶牛摄入饲料中氮、磷在粪、尿、奶中的分配

Table 8 Distribution of ingested nitrogen and phosphorus in feces, urine and milk

%

项目	季节	氮日排出量占日摄入量的比例			磷日排出量占日摄入量的比例		
		泌乳牛	干乳牛	育成牛	泌乳牛	干乳牛	育成牛
粪	夏	29.52±4.38 ^b	38.40±7.98 ^a	27.06±5.73 ^b	61.81±15.15 ^a	63.95±12.45 ^a	55.00±14.19 ^a
	冬	27.20±3.54 ^b	38.68±7.03 ^a	23.17±3.88 ^b	59.83±10.34 ^b	77.57±11.12 ^a	52.63±8.96 ^b
尿	夏	27.54±8.81 ^b	41.08±10.83 ^a	31.01±7.81 ^b	4.41±1.17 ^a	5.10±1.29 ^a	4.74±1.36 ^a
	冬	27.16±6.05 ^b	44.67±12.19 ^a	33.54±10.87 ^b	4.12±0.66 ^b	5.83±1.59 ^a	5.01±1.43 ^b
奶	夏	24.72±9.56			24.56±6.62		
	冬	24.22±4.23			23.97±4.75		

同一指标同一行英文小写字母不同表示相同季节不同生理阶段奶牛某指标差异显著 ($P < 0.05$)。

表 9 泌乳牛粪、尿、奶中氮、磷排出量与饲料氮、磷摄入量的回归方程

Table 9 Regression equations between N and P ingestions with fodder by and N and P excretions with feces, urine and milk from lactating cows

自变量	因变量	回归方程	相关系数	P 值
氮摄入量 (N_{im})	粪氮排出量 (N_{fm})	$N_{fm} = 52.993 + 0.196N_{im}$	0.708	<0.01
	尿氮排出量 (N_{um})	$N_{um} = 38.892 + 0.220N_{im}$	0.675	<0.01
	奶氮排出量 (N_{mm})	$N_{mm} = -19.833 + 0.324N_{im}$	0.867	<0.001
磷摄入量 (P_{im})	粪磷排出量 (P_{fm})	$P_{fm} = -11.060 + 0.719P_{im}$	0.758	<0.001
	尿磷排出量 (P_{um})	$P_{um} = 0.297 + 0.040P_{im}$	0.601	<0.01
	奶磷排出量 (P_{mm})	$P_{mm} = -7.406 + 0.317P_{im}$	0.828	<0.001

表 10 干乳牛粪、尿中氮、磷排出量与饲料氮、磷摄入量的回归方程

Table 10 Regression equations between N and P ingestions with fodder by and N and P excretions with feces, urine and milk from dry cows

自变量	因变量	回归方程	相关系数	P 值
氮摄入量 (N_{ig})	粪氮排出量 (N_{fg})	$N_{fg} = 16.318 + 0.364N_{ig}$	0.774	<0.001
	尿氮排出量 (N_{ug})	$N_{ug} = 7.729 + 0.447N_{ig}$	0.839	<0.001
磷摄入量 (P_{ig})	粪磷排出量 (P_{fg})	$P_{fg} = 15.099 + 0.504P_{ig}$	0.708	<0.01
	尿磷排出量 (P_{ug})	$P_{ug} = -0.535 + 0.0627P_{ig}$	0.814	<0.001

表 11 育成牛粪、尿中氮、磷排出量与饲料氮、磷摄入量的回归方程

Table 11 Regression equations between N and P ingestions with fodder by and N and P excretions with feces, urine and milk from heifers

自变量	因变量	回归方程	相关系数	P 值
氮摄入量 (N_{iy})	粪氮排出量 (N_{fy})	$N_{fy} = 19.034 + 0.174N_{iy}$	0.849	<0.001
	尿氮排出量 (N_{uy})	$N_{uy} = 12.008 + 0.303N_{iy}$	0.494	<0.05
磷摄入量 (P_{iy})	粪磷排出量 (P_{fy})	$P_{fy} = -1.771 + 0.586P_{iy}$	0.407	<0.05
	尿磷排出量 (P_{uy})	$P_{uy} = -0.815 + 0.069P_{iy}$	0.631	<0.01

2.4 奶牛场氮、磷日排出总量估算

将奶牛按生理阶段分为泌乳牛、干乳牛和育成牛 3 类,且奶牛排出氮、磷的主要途径为粪、尿,据此得出夏、冬季奶牛场氮、磷日排出总量的初步估算公式:

$$N_T = \alpha \times (N_{fm} + N_{um}) + \beta \times (N_{fg} + N_{ug}) + \chi \times (N_{fy} + N_{uy}), \quad (1)$$

$$P_T = \alpha \times (P_{fm} + P_{um}) + \beta \times (P_{fg} + P_{ug}) + \chi \times (P_{fy} + P_{uy}). \quad (2)$$

$$\chi \times (P_{fy} + P_{uy}). \quad (2)$$

式(1)~(2)中, N_T 为奶牛场粪、尿的氮日排出总量, $g \cdot d^{-1}$; N_{fm} 、 N_{fg} 和 N_{fy} 分别为每头泌乳牛、干乳牛和育成牛粪的氮日排出量, $g \cdot d^{-1} \cdot 头^{-1}$; N_{um} 、 N_{ug} 和 N_{uy} 分别为每头泌乳牛、干乳牛和育成牛尿的氮日排出量, $g \cdot d^{-1} \cdot 头^{-1}$; α 、 β 和 χ 分别为奶牛场泌乳牛、干乳牛和育成牛头数; P_T 为奶牛场粪、尿的磷日排出总量, $g \cdot d^{-1}$; P_{fm} 、 P_{fg} 和 P_{fy} 分别为每头泌乳牛、干

乳牛和育成牛粪的磷日排出量, $g \cdot d^{-1} \cdot 头^{-1}$; P_{um} 、 P_{ug} 和 P_{uy} 分别为每头泌乳牛、干乳牛和育成牛尿的磷日排出量, $g \cdot d^{-1} \cdot 头^{-1}$ 。

将表 9~11 中的回归方程带入式(1)~(2), 得到奶牛场氮、磷日排出量估算公式:

$$N_T = \alpha(91.885 + 0.416N_{im}) + \beta(24.047 + 0.811N_{ig}) + \chi(31.042 + 0.477N_{iy}), \quad (3)$$

$$P_T = \alpha(-10.763 + 0.759P_{im}) + \beta(14.564 + 0.567P_{ig}) + \chi(-2.586 + 0.655P_{iy}). \quad (4)$$

式(3)~(4)中, N_{im} 、 N_{ig} 和 N_{iy} 分别为每头泌乳牛、干乳牛和育成牛的氮日摄入量, $g \cdot d^{-1} \cdot 头^{-1}$; P_{im} 、 P_{ig} 和 P_{iy} 分别为每头泌乳牛、干乳牛和育成牛的磷日摄入量, $g \cdot d^{-1} \cdot 头^{-1}$ 。

上述公式根据饲料氮、磷摄入量估算氮、磷排出量, 而非采用更易获得的饲料摄入总量, 原因是不同奶牛场使用的饲料成分各不相同, 可能会导致氮、磷排出量估算结果误差较大。估算公式基于夏、冬两季的监测数据建立, 能够满足初步估算夏、冬两季奶牛场氮、磷排出量的需要。

3 结论

(1) 夏、冬两季不同生理阶段奶牛每日氮、磷摄入量差异显著 ($P < 0.05$), 从高到低依次为泌乳牛、干乳牛和育成牛。夏、冬两季泌乳牛每日通过奶排出的氮、磷占每日氮、磷摄入量的 25% 左右。夏、冬两季, 不同生理阶段奶牛每日粪、尿中的氮、磷排出量差异显著 ($P < 0.05$), 可见在估算奶牛场氮、磷排出总量时, 须分别计算不同生理阶段奶牛的氮、磷排出量。

(2) 奶牛每日通过尿液排出的磷占每日磷摄入量的 5% 左右, 大部分通过粪便排出, 因此, 在清理粪便时应尽量将粪、尿分开收集与处理。

(3) 根据奶牛各生理阶段饲料摄入及氮、磷排放差异, 建立了奶牛场每日粪、尿中氮、磷排出量的估算模型, 可以较为准确地估算冬、夏两季奶牛场

的氮、磷排出总量。

参考文献:

- [1] 杨正德. 应用营养调控技术降低奶牛磷的排泄[J]. 中国奶牛, 2008, 26(9): 49-53.
- [2] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [3] 张田, 卜美东, 耿维, 等. 中国畜禽粪便污染现状及产沼气潜力[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1241-1249.
- [4] 史鹏飞. 规模化奶牛场产污系数和排污系数测定研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- [5] 朱宏鹤, 常志州, 叶小梅, 等. 太湖地区规模奶牛场粪尿年产生量估算[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(3): 517-521.
- [6] 陈海媛, 张宝贵, 郭建斌, 等. 规模化养殖的中国荷斯坦奶牛产污系数模型的确定[J]. 中国环境科学, 2012, 32(10): 1895-1899.
- [7] 田宜水. 中国规模化养殖场畜禽粪便资源沼气生产潜力评价[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 230-234.
- [8] 赵津, 崔彦召, 张克春, 等. 不同泌乳阶段奶牛饲料中 N、P、Ca 的生物学利用率研究[J]. 乳业科学与技术, 2010, 33(6): 276-280.
- [9] 红敏, 赵瑞霞, 高民, 等. 不同饲养模式下乳牛粪尿中氮磷排放量的研究[J]. 饲料工业, 2012, 33(11): 48-51.
- [10] KLAUSNER S D. Mass Nutrient Balances on Dairy Farms[C] // Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. Ithaca, NY, USA: Cornell University, 1993: 126-129.
- [11] MULLIGAN F J, DILLON P, CALLAN J J, et al. Supplementary Concentrate Type Affects Nitrogen Excretion of Grazing Dairy Cows[J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(10): 3451-3460.
- [12] VALK H, BEYNEN A C. Proposal for the Assessment of Phosphorus Requirements of Dairy Cows[J]. Livestock Production Science, 2003, 79(2): 267-272.
- [13] HINRICHS C C, WELSH R. The Effects of the Industrialization of US Livestock Agriculture on Promoting Sustainable Production Practices[J]. Agriculture and Human Values, 2003, 20(2): 125-141.

作者简介: 卢健(1987—), 男, 山东东营人, 硕士生, 主要研究方向为农业废弃物综合利用。E-mail: am_jacklu@163.com