

# 基于摄入养分含量预测猪新鲜粪便肥料成分含量的试验研究

杨增玲<sup>1</sup>, 韩鲁佳<sup>1</sup>, 刘 依<sup>1</sup>, 朴香淑<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083;

2. 中国农业大学农业部饲料工业中心, 北京 100094)

**摘 要:** 试验旨在建立基于摄入养分含量的数学模型, 用来预测猪粪便肥料成分含量。通过饲养试验得到摄入养分含量和猪粪便中肥料成分含量的实测数据, 对其进行统计分析。由方差分析得出: 不同的日粮水平对粪中、尿中和粪尿混合物中总氮含量影响显著, 对尿中和粪尿混合物中钾含量影响显著, 对磷和铵态氮的含量影响均不显著; 不同日粮水平对粪中磷的百分含量的影响显著。由回归分析得到: 利用摄入粗蛋白的量可预测粪、尿和粪尿混合物中总氮的含量; 利用摄入钾的量可预测尿中和粪尿混合物中钾的含量; 利用摄入磷的量可预测粪中磷的百分含量。

**关键词:** 猪粪便; 肥料成分含量; 数学模型; 摄入养分

中图分类号: X713

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-00-06

## 0 引言

畜禽养殖业的发展, 特别是集约化养殖的高速发展, 造成了畜禽粪便的相对集中, 带来了严重的环境污染。例如, 一头猪的日排泄粪尿量如果按 6 kg 计算, 则年产粪尿 2.5 t<sup>[1]</sup>。猪粪尿不仅排泄量大, 而且其中含有大量的有机物质, 其中生化耗氧量 BOD 浓度为 33 000 mg · L<sup>-1</sup>, 具有很高的污染负荷<sup>[2]</sup>。随着人们环保意识的增强, 进行畜禽粪便无害化处理、资源化利用, 防止和消除集约化养殖场畜禽粪便的污染, 已经日益得到重视。畜禽粪便作为肥料资源是其重要利用途径之一, 但是大量粪便如果使用不当或过量施用, 不但无法达到培肥土壤、使作物增产的效果, 还会导致土壤、大气、水体的污染, 使生态环境遭到破坏。而正确、合理利用家畜粪便的前提条件就是要预知其肥料成分含量, 做到有的放矢。

国外, 尤其是欧、美等发达国家在预测家畜粪便肥料成分含量方面已有很多研究, 归纳起来其方法主要有两种: 一种是基于检测技术手段的快速测定法<sup>[3-7]</sup>, 另一种是数学模型法。对于数学模型法 Clanton 等人<sup>[8]</sup> 1998 年以白鼠为实验动物进行了基于体重和日粮来预测粪便中营养成分含量的研究, 但是得到的预测方程不能直接适用于大动物。Aarnink 等人<sup>[9]</sup> 也建立了预测肥育猪的排粪量和粪便中肥料成分含量的模型, 但其选择的自变量太复杂, 在实际生产中应用有困难。Smith<sup>[10, 11]</sup> 和 Bridges<sup>[12]</sup> 等人也作了类似的研究。

但这种数学模型法的研究在国内尚未见报道。本文研究了摄入粗蛋白(CP)、磷(P)、钾(K)的量对猪粪、尿

及粪尿混合物中的氮(TN)、铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、P、K 含量的影响, 并建立了相应的数学模型。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究方法的确定

由营养平衡可以得到一个简单的关系式来预测畜禽粪便中所含 N、P、K 的量, 即:

粪便中所含的 N、P、K 的量 = 摄入的养分含量 - 转化为畜产品(如猪体组织)的养分含量<sup>[10]</sup>

上式所体现的物质平衡流程图如图 1 所示。

由此可以推断摄入养分含量是影响粪中 N、P、K 含量的主要因素。因此本试验以生长肥育猪为研究对象, 通过饲养试验, 实测摄入养分含量和粪便肥料成分含量, 并进行回归分析, 建立了预测生长肥育猪粪便中 N、P、K 含量的经验模型。

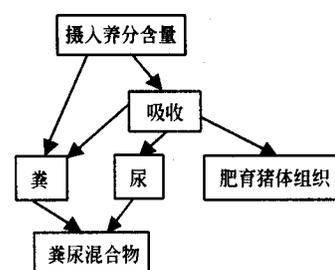


图 1 物质平衡流程图

Fig 1 Flow diagram for mass balance of elements

### 1.2 试验设计

本试验选用 30 kg 左右的皮特兰生长肥育猪 6 头, 分别放在 6 个代谢笼中饲喂, 试验在中国农业大学农业部饲料工业中心猪营养代谢实验室进行。

为更好的研究摄入养分含量与粪中肥料成分含量的相关关系, 本试验使用农业部饲料工业中心的猪饲料配方软件配制出 5 种试验日粮, 配制日粮的标准是在满足美国 NRC (1998) 生长肥育猪营养标准的前提下, 尽量使各日粮中的 CP、P、K 的含量成梯度变化, 日粮配方如表 1 所示。

收稿日期: 2003-01-14 修订日期: 2003-09-10

基金项目: 教育部优秀青年教师资助计划项目

作者简介: 杨增玲, 女, 博士, 研究方向为生物质资源开发利用与环境, 北京 中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 100083

通讯作者: 韩鲁佳, 教授, 博士生导师, 中国农业大学(东区)191 信箱 现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 100083

表 1 日粮配方及其营养水平

Table 1 Composition of experimental diets

日粮组成/%	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5
玉米	65	65.7	69.6	64	58.6
大豆粕	18.5	22.5	26	31	36
豆油	—	—	0.8	1.2	1.4
石粉	0.9	1	1	1	1
磷酸氢钙	0.3	0.5	0.89	1.28	1.7
碳酸氢钾	—	0.02	0.04	0.06	0.08
食盐	0.3	0.28	0.26	0.24	0.22
1% 预混料	1	1	1	1	1
蛋氨酸	0.18	0.13	0.08	0.05	—
赖氨酸	0.61	0.46	0.33	0.17	—
玉米淀粉	13.21	8.41	—	—	—
	100	100	100	100	100
猪消化能	3.36	3.32	3.3	3.3	3.3
粗蛋白	14.27	16.19	18.14	20	21.9
总磷	0.34	0.4	0.5	0.58	0.67
总钾	—	—	—	—	—
钙	0.46	0.55	0.65	0.76	0.87
有效磷	0.16	0.21	0.29	0.36	0.44
赖氨酸	1.15	1.15	1.15	1.16	1.15
蛋氨酸	0.39	0.37	0.35	0.34	0.31
蛋+胱	0.63	0.63	0.64	0.64	0.63
苏氨酸	0.57	0.66	0.74	0.83	0.92
实测值					
粗蛋白*	14.570	17.055	18.047	19.865	21.932
总磷*	0.391	0.476	0.572	0.712	0.764
总钾*	0.638	0.786	0.914	1.001	1.091

注: 表中带“\*”的值是实验室实测值, 其中粗蛋白的测定参照 GB/T 6432-1994, 总磷的测定参照 GB/T 6437-2002, 钾的测定参照 GB/T 18633-2002。

要考察试验日粮对粪便中肥料成分含量的影响, 考虑到猪的个体差异, 同时为了试验数据的可靠性, 每种日粮进行 6 次重复试验, 选用随机区组试验设计, 试验安排如表 2。

表 2 试验方案

Table 2 Experimental design

区组	处 理				
1	A <sub>1</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>
2	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>
3	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>
4	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>5</sub>
5	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
6	A <sub>3</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>

注: 表中 A 表示因素(日粮水平), A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub>、A<sub>5</sub> 表示因素 A 的 5 个水平。

1.3 试验过程

试验开始之前, 将 6 头肥育猪分别放在 6 个代谢笼中, 饲喂标准日粮一周, 使其适应代谢笼的饲喂方式。试验开始即以尽量食尽而无剩料为原则, 摸清其采食量, 然后定量饲喂试验日粮。每期试验分两个阶段进行: 每期前 3 d 为适应期, 分别饲喂 5 种基础日粮, 定量饲喂, 自由饮水, 使试验用生长肥育猪消化道中原有的饲料残渣全部排清, 同时适应新的日粮; 第 4~5 d 收集粪尿。代谢室内保持一定的温度(24 左右)、充足的光照以及良好的通气环境。

用水冲净代谢笼, 在集粪盘中铺上一层塑料布(事先称好每块重量, 标记), 在集尿口下面放好集尿桶, 桶上放一自制过滤布, 以免粪从集尿口进入集尿桶, 并在每只集尿桶中加入大约 20 mL 酒石酸, 防止易挥发气体的挥发。粪便收集时间内, 每天分别收集粪和尿, 并按粪尿比例将一部分粪和尿混合, 获得粪尿混合样本。粪及粪尿混合物烘干后制成化学分析样品, 待测其总氮(TN)、P、K 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的含量; 尿样直接放在冰箱中冷冻, 待测其 TN、P、K 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的含量。



图 2 代谢笼示意图

Fig. 2 Schematic of metabolism crate

1.4 实验室化学分析

粪便样本中的 TN 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 利用凯氏自动蛋白质测定仪采用蒸馏后滴定法测得(参照 GB/T 6432-94); P 利用紫外分光光度计采用分光光度法测得(参照 GB/T 6437-2002); K 利用带火焰光度的原子吸收分光光度计采用火焰光度法测得(参照 GB/T 18633-2002)。

1.5 统计分析

对实测数据使用 SPSS 统计软件进行处理: 通过方差分析检验不同日粮水平对粪便中肥料成分含量影响的显著性; 通过线性回归分析建立摄入养分含量与粪便肥料成分含量之间的相关关系, 并建立预测肥料成分含量的数学模型。

2 结果与分析

按试验设计进行试验, 得到样本各 30 份。进行数据处理前, 剔除由外界因素(试验条件或人为误差)产生的奇异值: 在分析 TN 时剔除了一个奇异值; 分析 P 时剔除了一个奇异值; 分析 K 时剔除了两个奇异值; 分析 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 时剔除了一个奇异值。

2.1 不同日粮水平影响粪便肥料成分含量的显著性检验

不同日粮水平对粪中、尿中和粪尿混合物中 TN、P、K 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量的影响如表 3 所示: 可以看出, 不同的日粮水平对粪中 TN 含量影响极显著 (P < 0.01), 对粪中 P、K 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量影响不显著; 对尿中 TN 含量影响极显著 (P < 0.01), 对尿中 K 含量影响极显著 (P < 0.01), 但对 P 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量影响不显著; 对粪尿混合物中 TN 含量影响显著 (P < 0.01), 对粪尿混合物中 K 含量影响极显著 (P < 0.01), 但对 P 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 含量影响不显著。

在分析中发现虽然不同日粮水平对粪中、尿中和粪尿混合物中 P 含量 ( $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$ ) 的影响均不显著, 但不同日粮水平对粪中 P 的百分含量 (%) 的影响极显著 ( $P <$

0.01), 如表 4 所示。

以上讨论中所说的含量等于百分含量乘每天的排粪量, 每天的排粪量和排尿量如表 5 所示。

表 3 不同日粮水平对粪便肥料成分含量的影响

Table 3 Effect of different diets on the composition of slurries

日粮水平	$n^*(\text{TN})$	TN $/\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	$n^*(\text{P})$	P $/\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	$n^*(\text{K})$	K $/\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$	$n^*(\text{NH}_4^+-\text{N})$	$\text{NH}_4^+-\text{N}$ $/\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$
<b>粪</b>								
日粮 1	5	3.877	6	3.020	6	1.875	6	0.605
日粮 2	6	4.936	6	3.867	6	2.333	6	0.724
日粮 3	6	5.179	6	3.893	6	2.307	6	0.661
日粮 4	6	5.862	6	4.526	5	2.623	6	0.850
日粮 5	6	6.916	5	5.058	5	3.200	5	0.906
组间均方	4	7.063	4	3.288	4	1.287	4	8.934E-02
组内均方	24	1.404	24	1.733	23	0.605	24	4.613E-02
F 值		5.030		1.898		2.127		1.937
显著检验 P		0.004		0.144		0.110		0.137
<b>尿</b>								
日粮 1	5	11.295	6	1.902	6	5.620	6	11.342
日粮 2	6	12.521	6	1.693	6	6.187	6	12.981
日粮 3	6	13.804	6	1.929	6	7.502	6	9.739
日粮 4	6	15.457	6	2.104	5	10.383	6	13.333
日粮 5	6	17.577	5	2.366	5	10.611	5	11.087
组间均方	4	34.478	4	0.346	4	29.330	4	12.898
组内均方	24	9.456	24	1.168	23	1.605	24	71.502
F 值		3.646		0.296		18.270		0.180
显著检验 P		0.019		0.878		< 0.01		0.946
<b>粪尿混合物</b>								
日粮 1	5	15.172	6	4.828	6	7.495	6	9.949
日粮 2	6	17.457	6	5.478	6	8.520	6	11.145
日粮 3	6	18.983	6	5.728	6	9.809	6	12.637
日粮 4	6	21.319	6	6.543	5	13.005	6	14.145
日粮 5	6	24.589	5	7.589	5	13.683	5	12.616
组间均方	4	73.716	4	6.177	4	40.377	4	15.344
组内均方	24	12.100	24	3.537	23	2.571	24	22.805
F 值		6.092		1.747		15.703		0.673
显著检验 P		0.002		0.173		< 0.01		0.617

注: \* n 在日粮 1~ 日粮 5 的各行表示有效数据个数; 在组间均方和组内均方各行表示自由度个数。

表 4 不同日粮水平对粪中 P 的百分含量的影响

Table 4 Effect of different diets on the percent of P of feces

项 目	日粮 1	日粮 2	日粮 3	日粮 4	日粮 5
粪中 P 的百分含量/%	0.7446	0.8503	0.8251	1.0418	1.0819
组间均方			0.128		
组内均方			1.940E-02		
F 值			6.575		
显著检验 P			0.001		

表 5 排粪量和排尿量

Table 5 Quantity of feces and urine

kg · d<sup>-1</sup>

	日粮 1		日粮 2		日粮 3		日粮 4		日粮 5	
	排粪量	排尿量								
1	0.383	5.077	0.411	1.157	0.289	2.526	0.597	2.238	0.462	1.208
2	0.292	1.585	0.404	3.333	0.486	2.639	0.518	1.078	0.394	1.213
3	0.387	3.876	0.301	2.673	0.393	2.041	0.342	1.152	0.491	4.889
4	0.399	3.742	0.592	1.544	0.464	1.146	0.390	4.567	0.292	1.325
5	0.450	1.284	0.376	1.522	0.436	5.657	0.360	1.767	0.484	3.193
6	0.524	1.825	0.693	4.553	0.557	2.207	0.565	3.814	0.694	4.121

2.2 回归分析

2.2.1 预测 TN 的含量

从方差分析看出日粮中不同 CP 含量对粪中、尿中和粪尿混合物中 TN 的含量影响显著, 假设可以用摄入粗蛋白的量(CP<sub>(i)</sub>)来预测粪中、尿中和粪尿混合物中的 TN。相关分析如表 6。从表中看出摄入粗蛋白的量与粪中、尿中和粪尿混合物中 TN 的含量相关性显著, 对其进行回归分析, 如图 3 所示。从回归方程看出: 用摄入粗蛋白的量来预测粪尿混合物中 TN 的含量比单独预测粪或尿中 TN 的含量效果要好, 可见 TN 在粪、尿中的比例并不稳定。分析发现, TN 在粪、尿中的比例变化较大均值为 2.029, 标准偏差为 0.838。

表 6 摄入粗蛋白的量和粪便中 TN 含量的相关关系

Table 6 Correlations between crude protein intake and the content of TN of slurries

项 目		粪中 TN (TN <sub>(f)</sub> )	尿中 TN (TN <sub>(u)</sub> )	粪尿混合 TN (TN <sub>(m)</sub> )
摄 入 粗 蛋 白	Pearson 相关系数	0.655**	0.811**	0.874*
	不相关的双尾检验值	小于 0.01	小于 0.01	小于 0.01
	样本数	29	29	29

注: \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

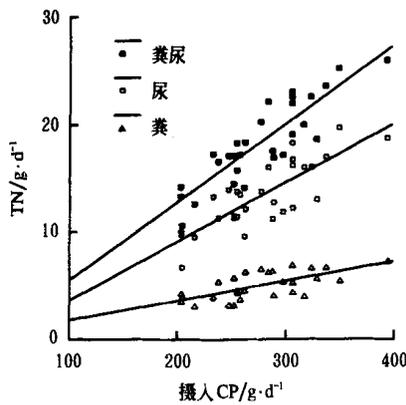


图 3 摄入粗蛋白的量和粪便中 TN 含量的相关关系

Fig. 3 Correlations between CP intake and the content of TN of slurries

粪中 TN 含量 (TN<sub>(f)</sub>) 和摄入粗蛋白量(CP<sub>(i)</sub>) 的回归方程为

$$TN_{(f)} = 1.804E(-02) CP_{(i)} + 3.968E(-02)$$

$$(R^2 = 0.429, S.E(b) = 0.004, P < 0.01)$$

其中, 设一无线性回归方程的形式为  $y = bx + a$ ,

则  $S.E(b)$  为非标准回归系数  $b$  的标准差。

尿中 TN 含量(TN<sub>(u)</sub>) 和摄入粗蛋白量(CP<sub>(i)</sub>) 的回归方程为

$$TN_{(u)} = 5.427E(-02) CP_{(i)} - 1.773$$

$$(R^2 = 0.657, S.E(b) = 0.008, P < 0.01)$$

粪尿混合物中 TN 含量(TN<sub>(m)</sub>) 和摄入粗蛋白量(CP<sub>(i)</sub>) 的回归方程为

$$TN_{(m)} = 7.230E(-02) CP_{(i)} - 1.733$$

$$R^2 = 0.764, S.E(b) = 0.008, P < 0.01)$$

2.2.2 预测 K 的含量

从方差分析看出日粮中不同 K 含量对尿中和粪尿混合物中 K 的含量影响显著, 可以推想用摄入 K 的量(K<sub>(i)</sub>)来预测尿中和粪尿混合物中的 K。相关分析如表 7 所示。从表中看出摄入 K 的量与尿中和粪尿混合物中 K 的含量相关性显著, 对其进行回归分析, 如图 4 所示。

表 7 摄入 K 的量和粪便中 K 含量的相关关系

Table 7 Correlations between K intake and the content of K of slurries

项 目		尿中 K (K <sub>(u)</sub> )	粪尿混合 K (K <sub>(m)</sub> )
摄 入	Pearson 相关系数	0.781**	0.849*
	不相关的双尾检验值	小于 0.01	小于 0.01
K	样本数	28	28

注: \*\* 表示在 0.01 水平上显著相关; \* 表示在 0.05 水平上显著相关。

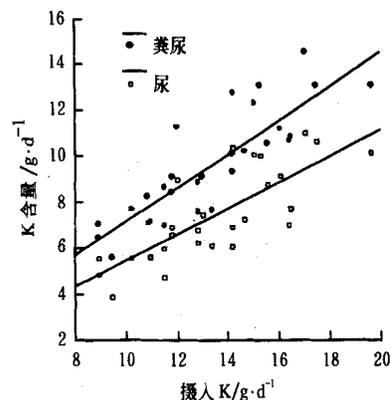


图 4 摄入 K 的量和粪便中 K 含量的相关关系

Fig. 4 Correlations between K intake and the content of K of slurries

尿中 K 含量 (K<sub>(u)</sub>) 和摄入 K (K<sub>(i)</sub>) 的回归方程为

$$K_{(u)} = 0.567K_{(i)} - 0.219$$

$$(R^2 = 0.610, S.E(b) = 0.089, P < 0.01)$$

粪尿混合物中 K 含量(K<sub>(m)</sub>) 和摄入 K (K<sub>(i)</sub>) 的回

归方程为

$$K_{(m)} = 0.735K_{(i)} - 0.167$$

$$(R^2 = 0.721, S.E.(b) = 0.090, P < 0.01)$$

### 2.2.3 预测粪中 P 的百分含量

从方差分析看出日粮中不同 P 含量对粪中 P 的百分含量影响显著,可以推想用摄入 P 的量 ( $P_{(i)}$ ) 来预测粪中 P 的百分含量。相关分析如表 8, 从表中看出摄入 P 的量与粪中 P 的百分含量相关性显著,对其进行回归分析,如图 5 所示。

表 8 摄入 P 的量和粪中 P 的百分含量的相关关系

Table 8 Correlation between P intake and the percent of P of feces

项 目		粪中 P ( $P_{(f)}$ )
摄 入 P	Pearson 相关系数	0.783**
	不相关的双尾检验值	小于 0.01
	样本数	29

注: \*\* 表示在 0.01 的水平上显著相关。

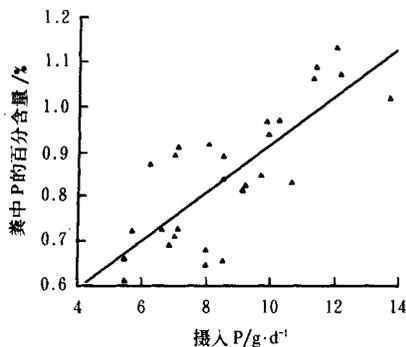


图 5 摄入 P 的量和粪中 P 的百分含量的相关关系

Fig. 5 Correlation between P intake and the percent of P of feces

粪中 P 的百分含量 ( $P_{(f)}\%$ ) 和摄入 P ( $P_{(i)}$ ) 的回归方程为

$$P_{(f)}(\%) = 5.261E(-02)P_{(i)} + 0.383$$

$$(R^2 = 0.614, S.E.(b) = 0.008, P < 0.01)$$

## 3 结 论

1) 方差分析得出: 不同的日粮水平对粪中、尿中和粪尿混合物中 TN 含量影响显著 ( $P < 0.05$ ); 对尿中和粪尿混合物中 K 含量影响显著 ( $P < 0.01$ ); 对 P 和  $\text{NH}_4\text{-N}$  的含量影响均不显著; 不同日粮水平对粪中 P 的百分含量的影响显著 ( $P < 0.01$ )。

2) 利用摄入粗蛋白的量可预测粪中 TN 的含量 ( $R^2 = 0.429, P < 0.01$ )、尿中 TN 的含量 ( $R^2 = 0.657, P < 0.01$ ) 和粪尿混合物中 TN 的含量 ( $R^2 = 0.764, P < 0.01$ )。

3) 利用摄入 K 的量可预测尿中 K 的含量 ( $R^2 = 0.610, P < 0.01$ )、粪尿混合物中 K 的含量 ( $R^2 = 0.721, P < 0.01$ )。

4) 利用摄入 P 的量可预测粪中 P 的百分含量 ( $R^2 = 0.614, P < 0.01$ )。

### [参 考 文 献]

- [1] 刘 芳. 畜牧产业发展对环境的影响[J]. 农业环境与开发, 2000, 17(1): 30- 33
- [2] 李宝林, 王凯军, 申立贤, 等. 大型集约化猪场猪粪尿问题研究综述及建议[J]. 农村能源, 1997(4): 27- 29
- [3] Kessel V an J S, Thompson R B, Reeves J B III. Rapid on-farm analysis of manure nutrients using quick tests[J]. J Prod Agric, 1999, 12(2): 215- 224
- [4] Scotford IM, Cumby T R, Han Lujia, et al. Development of a prototype nutrient sensing system for livestock slurries[J]. J Agric Engng Res, 1998(69): 217- 228
- [5] Scotford IM, Cumby T R, Richard P A, et al. Development of an in-line nutrient sensing system for livestock slurries[J]. J Agric Engng Res, 1999(74): 303- 316
- [6] Han Lujia, Trevor Cumby, Ian Scotford. Estimating Nutrient Content of Animal Slurries[J]. Transactions of the CSAE (农业工程学报), 1996, 12(3): 139~ 143
- [7] Smith K A, Nicholson R J, Williams J R, et al. A review of rapid methods for assessing the nutrient content of organic manures[R]. ADAS Report to MAFF Environmental Protection Division, Project Number WA 0605, 1993
- [8] Clanton C J, Gilbertson C B, Schulte E R et al. Model for predicting the effect of nitrogen intake, body mass, and dietary calcium and phosphorus on manure nitrogen content[J]. Transactions of the ASAE, 1988, 31(1): 208 - 214
- [9] Aarnink A J A, E. N. J. van Ouw erkerk, Versteegen M W A. A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. Livestock Production Science 1992, 31: 133- 147.
- [10] Smith K A, Frost J P. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters Part 1: cattle and sheep [J]. Bioresource Technology 2000, 71: 173- 181.
- [11] Smith K A, Charles D R, Moorhouse D. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirement and controlling nitrogen losses to ground and surface waters Part 2: pigs and poultry[J]. Bioresource Technology 2000, (71): 183- 194
- [12] Bridges T C, Turner L W, Cromwell G L, et al. Modeling the effects of diet formulation on nitrogen and phosphorus excretion in swine waste[J]. Applied Engineering in Agriculture, 1995, 11(5): 731- 739

## Experimental study on estimating fertilizer value of raw swine slurries based on nutrients intake

Yang Zengling<sup>1</sup>, Han Lujia<sup>1</sup>, Liu Yi<sup>1</sup>, Piao Xiangshu<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Ministry of Agriculture Feed Industry Centre, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract** This experiment is aimed at developing a mathematical model in order to estimate fertilizer value of raw swine slurries based on nutrients intake. Data of nutrient contents in diets and in slurries were obtained by feeding experiment and analyzed. One-way ANOVA analytical results of the experiment show that the effects of different diets on the content of total nitrogen in pig feces, urine and manures are significantly different; the effects of different diets on the content of potassium in pig urine and manures are significantly different; the effects of different diets on the content of phosphorus and ammoniacal nitrogen in pig slurries are not significantly different; the effects of different diets on the percent of phosphorus in pig feces are significantly different. The results of linear regression analysis show that crude protein intake can be evaluated for estimating the content of total nitrogen in pig feces, in pig urine and in pig manures; potassium intake can be evaluated for estimating the content of potassium in pig urine and in pig manures; phosphorus intake can be evaluated for estimating the percent of phosphorus in pig feces.

**Key words:** pig slurries; fertilizer value; mathematical model; nutrients intake

(上接第 192 页)

对自然环境造成污染, 需要将这种污染控制在可接受的水平;

- 社会约束力和消费者接受程度——基于消费者需求和环境问题, BBE 系统需要不断地改进以保持竞争力;

- 食品生产的可靠性、保险性和安全性——消费者关注的是食物供应的安全性和无污染性;

- 提高产品的经济效益——在中国, 必须保证生产者良好的效益, 并能够为经济群体提供相关工作。

4) 我们必须致力于解决全社会对于能源安全保障问题, 有机废弃物已经并将继续被用来作为生产生物能源的原料以减少气体排放(甲烷、挥发性气体以及臭气等)。下述的生物质转换技术已经得以实现并会发展: 气化; 液化; 其它热化学转换; 生物柴油生产; 氧化; 酒精发酵; 厌氧消化。

5) 生物燃料仍然处于起始阶段仍需大力发展, 有必要对目前用于生物能源的生产和使用的技术现状进行评估。小型的沼气发酵池已经得以很好的发展了, 然而对于畜禽场以及其他农业生产设施来说还需要大型的消化装置。

### 3 BBE 近期(15 年)发展趋势

1) 更好的测量方法、监测系统、消化技术以及决策程序将会提高空气、水以及生物系统质量。全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)等众多信息技术也将会被应用到农业生产中。

2) 动植物综合生产系统和废弃物处理系统可以减/免运输成本, 效率更高。畜牧和绿色植物产品将更综合化和大型化。

3) 在改良技术和新技术的帮助下, 生物能源供应量会有所增加, 因而可以降低人类对不可再生能源的依赖性。我们会努力提高消化、发酵、氧化、气化和液化等生物能源的转换效率。

4) 发展以环境系统控制为平台的动植物生产系统, 以方便管理和解决问题。通过提高通风系统的设计和控制能力, 可以提高房舍系统的能源利用效率。

5) 通过发展有机和精准农业, 提高设施设计与管理能力、消化技术, 提升公众觉悟和政府的规章制度的力度, 希望可以减少动物生产设施废弃物的排放量和化学用品用量。

6) 工作环境、室内空气质量以及动物福利将改善。职业卫生和消费者需求是驱动力。

### 4 BBE 长期(50 年)发展趋势

1) 纳米科学和技术将从根本上影响新技术和 BBE 的发展。这些纳米级和生物基础技术包括: 纳米生物传感器将能应用到追踪病原、遥感以及营养测绘等精准农业上面; 生物技术和新材料可以改变许多生物生产过程。农业建筑可以采用新型材料建造。畜牧生产中臭气组分也可以通过饲喂新饲料、除臭剂得以解决; 氢原子(驱动)经济也可能会逐步替代石油经济; 燃料电池以及其他能源转换技术可能会成为 21 世纪的新经济引擎; 包括中国在内的现代社会, 可能会逐步从石油能源供应走向农业能源供应的过渡。

2) 分散的能源供应系统可能会取代集中式的供应系统原因有两点: 经济、安全。这种技术和跳跃式结构在中国比在发达国家更易实现, 因为发达国家的这些基础结构已经存在(而不易改变)。例如, 中国就几乎从没有电话的状态跳跃到无线电话时代。

3) 可持续发展概念已应用到了环境与能源系统以及农业生态产业综合体的设计当中。这种综合体可以是大型的、生活/工作环境混合的模式, 包含动物、植物、有机体、能源供应、废物循环和可持续的农业生产系统。

4) 专家预测在未来 50 年内, 中国的小城镇发展是 BBE 的一个重要任务。宏观的问题包括: 水和能源供应问题, 消费者餐桌上食品安全和食品供应是否充足的问题, 必须考虑技术需求与供给平衡问题。

5) 论坛还阐述了一些长期教育问题, 专家们坚信通过下述措施可将生物工程变成一个系统工程: 开设更多的生物课程以及物理、化学课程以夯实毕业生的生物科学基础知识; 将生物基础知识与工程设计进行有机的结合; 增加生物工程毕业生的就业岗位。

(本刊辑)