

# 农田养分再循环研究

## III. 粪肥的氨挥发\*

钱承樑 鲁如坤

(中国科学院南京土壤研究所)

随着我国农业生产的发展和作物产量的提高,化肥的用量也在不断增加。但从进一步改善农产品质量、提高经济效益、保护生态环境和人类健康、保持和提高土壤肥力来说,农业的出路在于逐步建立“低投入的持久农业”,这需要通过扩大农业再循环才能达到。而人畜粪肥是养分再循环中两大养分来源之一,其意义重大<sup>[1]</sup>。但粪肥中的氮素也易于挥发,形成的挥发性氨与释放产生的二氧化碳、甲烷等物质带来了一些环境问题,甚至影响全球气候。笔者就我国各地广泛应用的几种主要粪肥的氨挥发损失作了初步探索。

### 一、试验材料与方法

选用6种畜禽粪(猪、牛、马、羊、兔、鸡)和1个人粪为供试材料(粪中不含尿)。它们均采自江苏省农科院的畜牧场。由于粪肥中的氮素随时都在进行挥发,故采样速度要迅速。本试验所用的7种粪样都是在粪便排出后4—5小时内收集的。采后装在密闭的塑料袋内带回,并立即布置试验。

(一)各类粪肥中氨的挥发试验 将5.00克新鲜粪样,盛装在瓶口盖有表面皿的500ml广口瓶内进行自然挥发,定时调整水分。挥发性氨用硼酸溶液吸收,再用标准酸溶液滴定,挥发性氨每2天测定1次,连续测到50天,共25次。50天后,粪便的挥发氨量减少,测定改为5天1次,连续测到90天。试验进行到125天时,又进行了最后1次测定。

(二)粪肥全氮的测定 采用 $H_2SO_4$ -水杨酸消煮法,加 $K_2SO_4$ - $CuSO_4$ -Se粉混合物作催化剂,消化液用半微量蒸馏法测定。

(三)粪肥有机碳的测定 采用 $K_2Cr_2O_7$ - $H_2SO_4$ 氧化法消煮,容量法测定。

供试粪肥的碳、氮含量列于表1。

\* 本项工作曾得到江苏省农科院畜牧所包承玉同志和南京土壤所熊礼明同志的大力协助,特此致谢。

表1

供试粪肥的碳氮含量

项 目	马粪	牛粪	羊粪	兔粪	猪粪	鸡粪	人粪
有机碳(C, gkg <sup>-1</sup> )	390	356	343	355	346	292	401
全 氮(N, gkg <sup>-1</sup> )	15.4	18.9	22.0	23.0	24.0	29.4	67.4
C/N	25.3	18.8	15.6	15.5	14.4	10.0	6.0
含水量(gkg <sup>-1</sup> )	778	844	748	672	700	766	820

## 二、试验结果

### (一) 各类粪肥的氨挥发特征

1. 粪肥的氨挥发量：各类粪肥的氨挥发量跟畜禽种类、年龄、食物构成和残留于粪便中的含氮物质的数量与形态，以及粪便所含的微生物状况、环境气象条件和分解时间长短等诸多因素有关。表2的结果显示：马粪和牛粪的氨挥发量低，鸡粪和人粪的氨挥发量较高。如果以猪粪的氨挥发量作为相对标准来比较，可以看出牛、马、羊、兔等食草类家畜和反刍动物的粪便氨挥发量均较低。尤其是牛、马粪的氨挥发量只及猪粪的18.6%和3.7%，而鸡粪和人类的氨挥发量却远大于猪粪，分别为猪粪的1.8倍和3.1倍，如果以马粪与人粪相比则相差达84倍。

表2 各类粪肥的氨挥发量(90天时间)

项 目	马粪	牛粪	羊粪	兔粪	猪粪	鸡粪	人粪
氨挥发量mgN(90天)	0.36	1.81	4.82	6.94	9.75	17.69	30.47
以猪粪为标准的相对%	3.7	18.6	49.4	71.2	100	181.4	312.5

2. 粪肥的氨挥发过程：各类粪肥的氨挥发过程清楚地反映了各类粪肥之间不仅挥发量存在着巨大差异，挥发的速度和强度也相差悬殊。例如牛、兔、鸡粪的挥发过程相对显得快而猛，猪、马和人粪的挥发过程则显得稳而长。从10天的氨挥发总量来看，牛粪已达到94.5%，兔粪为95.0%，鸡粪为90.1%；而猪粪只有77.5%，马粪为30.6%，人粪还是零。当挥发到30天时，牛粪和兔粪的氨挥发总量都达到100%；此时马粪还仅有44.4%，人粪也只有69.8%(表3)。各类粪肥的氨挥发过程归纳起来有3个类型：一是大量的氨都集中在前期进行挥发，中、后期氨的挥发量均很少，多数粪便属此。二是全过程的氨挥发量均极低，但挥

表3 各类粪肥的氨挥发过程

挥发天数	10天	20天	30天	40天	50天	60天	70天	80天	90天
马粪mgN	0.11	0.11	0.16	0.25	0.29	0.29	0.29	0.29	0.36
%	30.6	30.6	44.4	69.4	80.6	80.6	80.6	80.6	100
牛粪mgN	1.71	1.76	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81
%	94.5	97.2	100	100	100	100	100	100	100
羊粪mgN	4.35	4.45	4.50	4.58	4.64	4.64	4.71	4.71	4.82
%	90.3	92.3	93.4	95.0	96.3	96.3	97.7	97.7	100
兔粪mgN	6.59	6.90	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94	6.94
%	95.0	99.4	100	100	100	100	100	100	100
猪粪mgN	7.56	8.56	9.07	9.30	9.44	9.53	9.61	9.75	9.75
%	77.5	87.8	93.0	95.4	96.8	97.7	98.6	100	100
鸡粪mgN	15.94	16.57	16.67	16.78	17.51	17.64	17.64	17.69	17.69
%	90.1	93.7	94.2	94.9	99.0	99.7	99.7	100	100
人粪mgN	0	10.60	21.28	28.23	29.35	29.85	30.07	30.28	30.47
%	0	34.8	69.8	92.7	96.3	98.0	98.7	99.4	100

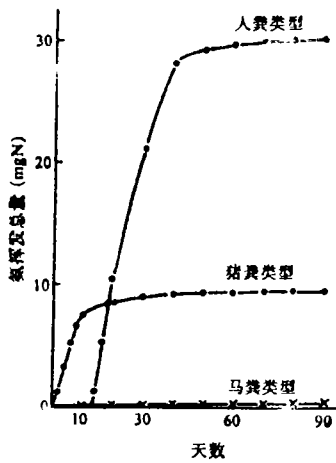


图1 各类粪肥的氨挥发特性曲线

发时间却最长，如马粪。三是前期没有氨的挥发，后期挥发量逐步增大，挥发时间亦长，如人粪。以上3个类型氨挥发过程可用特性曲线图表征(图1)。

因各类粪肥的氨挥发特性曲线比较规则，且符合指数函数曲线类型，故对各类粪肥的氨挥发过程，均可配以符合各类粪肥氨挥发特性的曲线来代表，采用公式如下：

$$y = ae^{b/x}$$

式中：x为粪肥的分解时间(天数)；y为粪肥在对应时间内的氨挥发累积量。

经换算后的各粪肥氨挥发特性曲线方程式列于下：

$$\text{牛粪 } \ln y = 0.6372 - 1.2612 \frac{1}{x} \quad r = -0.9701^{**}$$

$$\text{羊粪 } \ln y = 1.5784 - 1.9355 \frac{1}{x} \quad r = -0.9894^{**}$$

$$\text{兔粪 } \ln y = 1.9878 - 1.9589 \frac{1}{x} \quad r = -0.9865^{**}$$

$$\text{猪粪 } \ln y = 2.3456 - 1.1111 \frac{1}{x} \quad r = -0.9952^{**}$$

$$\text{鸡粪 } \ln y = 2.8595 - 1.0547 \frac{1}{x} \quad r = -0.9616^{**}$$

$$\text{人粪 } \ln y = 3.4905 - 6.8074 \frac{1}{x} \quad r = -0.9946^{**}$$

因为马粪的氨挥发特性曲线没有出现峰值，基本上呈直线型，故采用线性方程拟合较合适。即  $y = 0.0765 + 0.0032x \quad r = 0.9582^{**}$

应用以上各公式，我们就可以对各类粪肥在类似条件下的氨挥发过程进行预测。

3. 粪肥的氨挥发阶段：对各类粪肥氨挥发过程的分析，一般能区分为起始挥发日期、挥发高峰日期、快速挥发期、缓慢挥发期、间断(断续)挥发期和暂停挥发期等阶段(表4、5及图2)。快速挥发期是指粪肥中的氨以连续高浓度进行挥发的阶段。快速挥发期的下限(终点)，即是氨挥发特性曲线的转折点，同时又是缓慢挥发期的上限(起点)；缓慢挥发期的氨挥发量明显降低，氨的吸收测定值低于0.25mgN；间断挥发期是在氨的吸收测定值出现零值前一次的吸

表4 各类粪肥的氨挥发阶段

项目	起始挥发天数	挥发高峰天数	快速挥发期	缓慢挥发期	间断挥发期	暂停挥发期
马粪	第1天	无	无	无	10天	10天后
牛粪	第1天	第1—2天	6天	无	8天	14天后
羊粪	第1天	第1—2天	10天	无	14天	24天后
兔粪	第1天	第1—2天	12天	无	2天	14天后
猪粪	第1天	第5—6天	12天	20天	43天	75天后
鸡粪	第1天	第1—2天	12天	4天	39天	55天后
人粪	第14天	第15—16天	30天	13天	35天以上	90天以上

表5

各类粪肥不同阶段的氮挥发量

粪肥种类	峰值 mgN	快速挥发期的氮挥发量及所占%		缓慢挥发期的氮挥发量及所占%		间断挥发期的氮挥发量及所占%		暂停挥发期的氮挥发量及所占%	
		mgN	%	mgN	%	mgN	%	mgN	%
马粪	无	0	0	0	0	0.11	30.6	0.25	69.4
牛粪	0.95	1.71	94.4	0	0	0.05	2.8	0.05	2.8
羊粪	1.89	4.35	90.3	0	0	0.15	3.1	0.32	6.6
兔粪	2.79	6.86	98.8	0	0	0.04	0.6	0.04	0.6
猪粪	2.19	7.56	77.5	1.51	15.5	0.68	7.0	0	0
鸡粪	10.99	16.22	91.7	0.24	1.3	1.18	6.7	0.05	0.3
人粪	3.97	28.68	94.1	0.96	3.2	0.83	2.7	未到暂停期	—

收值低于 0.1mgN 开始计算，暂停挥发期是根据连续 5 次以上(连续10天以上时间)氮的吸收测定值均为零时确定的。

从各类粪肥氮挥发过程的挥发阶段情况看，起始挥发日期一般从第 1 天起就有氮的挥发，只有人粪特别慢，直至第14天时才开始有氮的挥发。氮的挥发高峰期一般在 2 日内即可达到，人粪和猪粪需 4 至 6 天才到达。从峰值高度比较，鸡粪的峰值很高，是其它粪肥的几倍至十几倍。粪肥峰值的高低反映了该粪肥氮挥发的强度大小。各类粪肥的快速挥发期一般都维持在10天左右时间，只有人粪这一时期长达30天。快速挥发期是氮挥发过程的一个重要阶段，

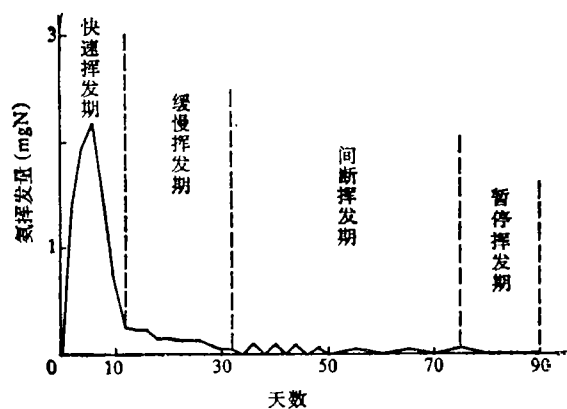


图2 猪粪中氮挥发的持续时日

因为一般粪肥在这阶段的氮挥发量已达 90% 以上，在以后各个阶段中，氮的挥发量不大了。食草类动物的牛、马、羊、兔粪均没有缓慢挥发期，这是与非食草畜禽和人粪的一大区别。猪粪在缓慢挥发期的氮挥发量占有一定的比重，达到 15.5%。在间断挥发期和暂停挥发期这两个阶段中，也充分显示了食草类畜禽的间断挥发期时间要短得多，并且都较早地开始转入暂停挥发期。现以猪粪肥为例，将其各挥发阶段的持续时日以图 2 示之。

4. 粪肥的氮挥发强度：各类粪肥的氮挥发强度与粪肥的氮挥发总量、氮挥发峰的峰值大小之间一般呈平行相关，但不完全一致。它与氮挥发峰峰值的相关系数为  $r = 0.9249^{**}$ ，与氮挥发总量的相关系数为  $r = 0.7928^*$ ，可见氮挥发总量与氮挥发峰值大小仅能作为氮挥发强度的参考指标。只有各类粪肥快速挥发期的平均日挥发量才能作为氮挥发强度的确切指标(表 6)。

由表 6 可见，各类粪肥的氮挥发强度序列为：鸡粪 > 人粪 > 猪粪 > 兔粪 > 羊粪 > 牛粪 > 马粪。

表6

各类粪肥的氮挥发强度

项 目	人粪	鸡粪	猪粪	兔粪	羊粪	牛粪	马粪
氮挥发总量(90天时间) mgN	30.47	17.69	9.75	6.94	4.82	1.81	0.36
氮挥发高峰值 mgN	3.97	10.99	2.19	2.79	1.89	0.95	0
快速挥发期的平均日挥发量mgN	0.956	1.352	0.630	0.572	0.435	0.285	0

表7

各类粪肥的全氮含量及氨态氮的挥发率

粪肥种类	5克鲜粪125天累计的氮挥发总量 (mgN)	折合100克鲜粪累计的氮挥发总量 (mgN)	鲜粪含水率 (gkg <sup>-1</sup> )	全氮含量 (Ngkg <sup>-1</sup> )	氨态氮的挥发率 (%)
马粪	0.36	7.2	778	15.4	2.1
牛粪	1.85	37.0	844	18.9	12.6
羊粪	4.90	98.0	748	22.0	17.7
兔粪	6.97	139.4	672	23.0	18.5
猪粪	10.04	200.8	700	24.0	27.9
鸡粪	18.11	362.2	766	29.4	52.7
人粪	31.14	622.8	820	67.4	51.3

表8

粪肥的有机碳含量与碳氮率

粪肥种类	有机碳 (Cgkg <sup>-1</sup> )	全氮 (Ngkg <sup>-1</sup> )	挥发性(氨态)氮 (Ngkg <sup>-1</sup> )	C/N(全N)	C/N(挥发性N)
马粪	390	15.4	0.32	25.3	1218
牛粪	356	18.9	2.38	18.8	149
羊粪	343	22.0	3.89	15.6	88.1
兔粪	355	23.0	4.26	15.5	83.4
猪粪	346	24.0	6.70	14.4	51.6
鸡粪	292	29.4	15.49	10.0	18.9
人粪	401	67.4	34.58	6.0	11.6

5. 粪肥的氨挥发率：我们测定了鲜粪的含水量、氨挥发总量及粪肥的全氮含量，并计算了氨态氮的挥发率。结果列于表7。

由表7的结果可以看到，鲜粪的氨挥发总量与粪肥的全氮含量结果完全吻合，随着各类粪肥的全氮含量的增高，氨挥发量则渐次增加。即使将鲜粪的含水率这一因素考虑在内，它们的氨态氮的挥发率，也同样存在着这样的规律性。对粪肥的全氮含量和鲜粪挥发性氮量的相关统计结果，其回归方程为： $y = 5.77x - 6.00$ ，相关系数  $r = 0.9423^{**}$ ，相关极显著。

### (二) 各类粪肥的碳氮率与氨挥发量的关系

一般认为，微生物在分解有机物质的同时，也利用其中的营养物质合成自身的细胞体。对土壤而言，其分解和合成作用的强弱与土壤中有机物质的碳氮比率有关。土壤微生物在合成自身细胞体时需要的碳氮比约为25:1，C/N大于此值，微生物以利用矿化的氮来合成细胞体的蛋白质为主，使土壤中的有效态氮水平降低<sup>[2]</sup>。根据这一机制，我们比较了各类粪肥的有机碳含量及相应的碳氮比率(表8)。粪肥中有机碳的含量以人粪为最高，达401gkg<sup>-1</sup>，比牛、羊、马粪的有机碳含量都高，也比稻草中的有机碳含量为高，稻草含有有机碳355gkg<sup>-1</sup>。马粪的C/N率在25:1以上，其它粪肥均未达到此比率。鉴于马粪的氨挥发量接近于零，又不出现氨的挥发峰和快速挥发期。可以认为，马粪在腐解过程中释放的养分将被微生物所固定。

我们还比较了粪肥中挥发性(氨态)氮与粪肥中有机碳的碳氮率，结果表明，马粪的C/N(挥发性N)较其它粪肥高出一至二个数量级。

鸡粪和人粪的挥发氮量和挥发强度远比其它粪肥高，这也可以从这两个粪肥的碳与全氮和挥发性(氨态)氮的比率上看出差异，这两个粪肥的二种碳氮率均在25:1的微生物固定值以下，故微生物对有效氮的吸收利用始终处于较低的水平，因而能维持氮的较高挥发量。

我们还发现，粪肥的C/N率对氮的挥发有着密切的关系。粪肥的C/N率与挥发性氮(氨态)之间的相关系数为  $r = -0.8598^*$ ，从而证实了粪肥的C/N率与挥发性氮之间存在着显著的负相关。粪肥的C/N率与氨挥发总量的相关系数则为  $r = -0.9135^{**}$ ，说明相关性更强。图3

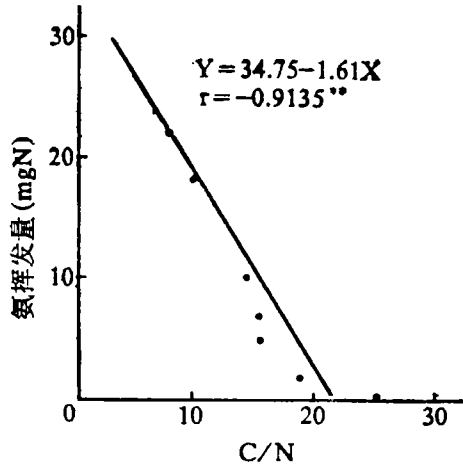


图3 粪肥的C/N率与氨挥发总量的关系

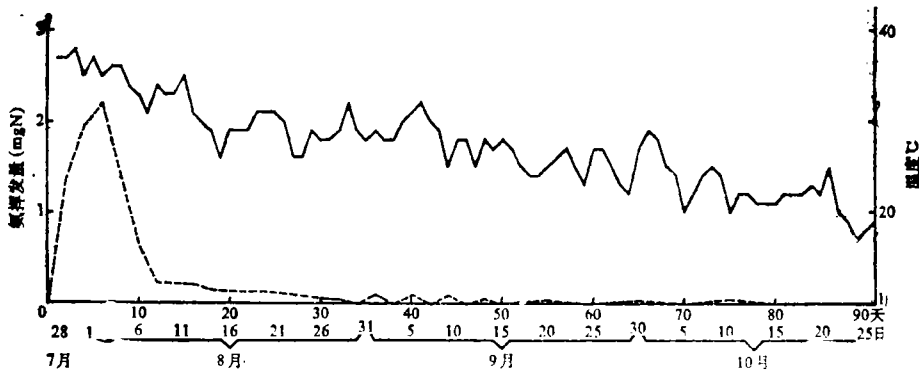


图4 猪粪的氨挥发量与温度的关系

显示,当氨挥发量趋近于零时的C/N,即微生物开始出现生物固持氮素的C/N,约为22:1。似乎比文献<sup>[3]</sup>报道的低了一些。

### (三)温度与氨挥发量的关系

图4将猪粪的氨挥发量曲线与相应的温度(气温)曲线进行了比较,由图可见,从7月30日至8月15日的17天时间内,气温是逐渐下降的,由7月30日的38℃降至8月15日的26℃,气温共降低12℃,在此期间,猪粪的氨挥发量也相应的下降了2.04mgN。

在牛、羊、兔、鸡粪的氨挥发量曲线中亦具有相似的趋势。粪肥的氨挥发量除随气温波动外,还受土壤性质及加入的稻草、过磷酸钙等物质的影响,其影响程度有时甚至超过气温的作用。

### 参 考 文 献

- [1] 鲁如坤,江西省农田养分循环和平衡,红壤生态系统研究,第一集,27-32,科学出版社,1992,
- [2] 熊毅、李庆远主编,中国土壤(第二版),546-552,科学出版社,1990,
- [3] Sharpley, A. N et al. Root extraction of nutrients associated with long-term soil management Adv. in soil Sci. 19, 151-200.1992