

淹水条件下猪粪对黄棕壤 性质的影响*

蔡祖聪 马毅杰 徐琪 熊毅

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文通过在下蜀黄土中添加不同量的猪粪,研究在以淹水为主、干湿交替条件下,猪粪对土壤理化性质的影响。经培育 427 天后,测定了土壤有机质、全氮、水解氮、速效磷、钾、CEC、土壤对 NH_4^+ 和磷的吸附及土壤物理性质的变化,并用主组元分析评价了施用猪粪对这些性质的综合影响。结果表明,在施用量为 1% 时,由于氧化铁的活化,使土壤结构破坏,猪粪对土壤理化性质的综合影响较差;但施用量在 3% 以上,土壤的各性质均得到改善,综合影响较好。

生物物质循环对土壤的形成及土壤肥力的维持与提高起着十分重要的作用,因此,物质循环和能量转换成为土壤生态系统研究的重要内容。农田土壤生态系统中,有机物质的归还不仅影响土壤中的能量传递和物质循环,而且也决定着土壤肥力的保持和提高。

随着水利条件的不断改善,水稻田面积不断扩大,在新改稻田中,如何通过改土培肥以保持与提高土壤肥力是一个重要的研究课题。

本文通过在下蜀黄土中添加不同量的猪粪,研究在以淹水为主,干湿交替条件下,猪粪对土壤理化性质的影响,并尝试用主组元分析方法综合评价猪粪的作用。

一、材料和试验方法

(一) 供试材料 供试土壤采自江苏省江宁县下蜀黄土发育的黄棕壤。粘土矿物以伊利石为主,含有一定的蛭石和高岭石,质地为壤粘土,有机质 0.94%,全 N 0.062%, C/N 8.79。土样风干,碾细 (<1cm) 供培育用。

供试猪粪采自江苏省武进县。有机质 62%,全 N 2.44%, C/N 14.7,水解 N 0.23%,全 P 1.77%,速效 P 0.93%,全 K 1.18%,速效钾 1.05%,猪粪经 60℃ 烘干,磨细通过 1 mm 筛目供培育用。

(二) 试验设计 试验分五个处理,一个对照,三次重复。猪粪和土的配比见表 1。猪粪和土充分混合后置于温室内,淹水培育为主,干湿交替,不渗水。培育 427 天后采样(1983 年 5 月 21 日—1984 年 7 月 21 日),其间搅拌三次,以保持上下均匀一致。

* 本文中供试样本由刘元昌和王德建同志提供,陈家坊研究员为本研究工作提出许多宝贵的意见,南京土壤研究所物化室、物理室、地理室有关同志为样本分析提供了方便,在此一并致谢。

表 1 试验设计

Table 1 The design of experiment

处理号 Treatment No.	土重(kg) Wt. of soil (A)	猪粪重(g) Wt. of manure (B)	(B)/(A) (%)
CK	6	0	0
1	6	60	1
2	6	180	3
3	6	300	5
4	6	420	7
5	6	540	9

二、结果与讨论

(一) 土壤有机质的变化

培育 427 天之后,从图 1 可以看出,无论是土壤粗有机物质还是土壤有机质均与猪粪加入量呈极显著线性相关,说明猪粪的分解速率不受施用量的影响,这一结果与 Pal 等^[12]和林心雄等^[1]的报道一致。从图 1 可以看出,土壤中每增施 1% 的猪粪,土壤粗有机物质增加 0.34%, 土壤有机质增加 0.24%。因为猪粪含有机质 62%, 可以算出,培育 427 天后,猪粪中有机质有 54.8% 残留在土壤中,其中 38.7% 转化成为土壤有机质, 16.1% 仍未腐解,可被肉眼分辨。可见,施用猪粪能够有效地提高土壤有机质含量。土壤复合量也与猪粪施用量呈线性相关 ($r = 0.992^{**}$)。土壤有机质的复合度随着土壤有机质量的增加而下降(图 2)。

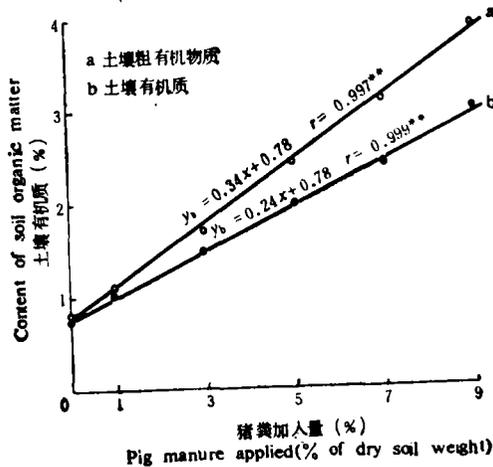


图 1 猪粪加入量和土壤有机质的关系

Fig. 1 The effect of the manure on the content of soil organic matter

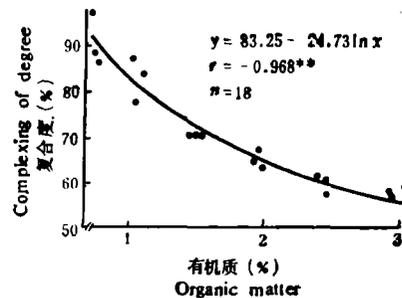


图 2 土壤有机质和复合度的关系

Fig. 2 Correlation between the complexing degree and the soil organic matter

(二) 土壤物理性质的变化

从表 2 结果可以看出,随着土壤有机质的增加,土壤破碎系数由对照土壤的 5.05kg/

表 2 猪粪对土壤物理性质的影响
Table 2 Effect of the manure on soil physical properties

处理号 Treatment No.	OM (%)	容重 (g/cm ³) bulk density	浸水容重 (g/cm ³) bulk density in water	破碎系数 (kg/cm ²) Modulus of repture	G _w * (%)	G _u ** (%)
CK	0.76	1.51	0.77	5.05	4.4	30.5
1	1.05	1.42	0.77	5.36	4.8	29.2
2	1.50	1.39	0.71	4.20	3.5	31.3
3	1.97	1.36	0.71	4.13	3.3	31.7
4	2.45	1.28	0.70	3.92	3.1	32.0
5	2.97	1.20	0.69	2.89	2.6	31.4

* G_w: 水分散复合胶体 (<2μ); ** G_u: 水稳性复合胶体 (<2μ)。

cm³ 下降到处理 5 的 2.89 kg/cm²。这一结果与 Tiark^[4] 在土壤中施用牛粪后所得的结果一致。Tiark 认为这是有机质降低了土壤颗粒之间联结力的结果。

土壤浸水容重是土壤耕性的一个指标,太湖地区耕性较好的土壤浸水容重在 0.5—0.6 g/cm³ 之间^[5]。表 2 结果表明,施用猪粪使土壤的浸水容重显著降低,由对照土壤的 0.77 g/cm³ 下降到处理 5 土壤的 0.69 g/cm³。土壤容重随着土壤有机质的增加而下降,并与土壤有机质呈线性负相关, $Y = 1.59 - 0.13 OM$ ($r = -0.965^{**}$)。土壤容重下降是土壤浸水容重下降的一个重要原因。其次,随着土壤新鲜有机质的增加,土壤表面亲水性下降^[10],而土壤表面亲水性下降也能使土壤的浸水容重下降^[6]。但表 2 中,土壤有机质与浸水容重的关系并不很密切,这可能与土壤结构体的稳定性有关。

土壤水分散复合胶体和水稳性复合胶体的数量,可以说明土壤结构体的稳定性。表 2 中,水分散复合胶体与土壤有机质含量呈负相关 ($r = -0.862^{**}$);水稳性复合胶体随着土壤有机质的增加而有所增加, $G_w + G_u$ 占全土的百分数不随土壤有机质的增加而变化,这表明新增加的土壤有机质促进了土壤复合体的形成,这些新形成的复合体具有水稳性,但不能抗超声波分散。

本试验中,由于土壤未受根系穿插、冻融等作用,带水搅动又使土壤内部变得均一,结果土壤中 >0.005 mm 孔隙并不因有机质的增加而变化。相反 <0.005 mm 孔隙则与土壤有机质呈线性关系 ($r = 0.976^{**}$)。这可能与有机质通过多价阳离子与无机组分联结形成网状结构^[11],提供大量的微小孔隙有关。

从表 2 可以看出,处理 1 土壤的浸水容重、破碎系数、水分散复合胶体等均表现反常。图 3 表明,土壤无定形氧化铁 (Fe_o) 因加入 1% 的猪粪而突然增加,猪粪用量继续增加,Fe_o 不再有明显增加,这一结果与何群等^[2] 用紫云英在相同土壤上的试验结果一致。似乎说明,这种土壤的氧化铁是很易活化的。由此看来,处理 1 的土壤结构被破坏是造成上述反常现象的主要原因。而处理 1 的土壤结构被破坏则是猪粪所能提供的有机质的胶结作用不足以补偿被活化的氧化铁的胶结作用的结果。粘土矿物边面电荷反转^[7] 也可能是处理 1 的土壤结构被破坏的原因之一。

(三) 土壤表面吸附性能的变化

1. 土壤阳离子交换量的变化 土壤有机质具有比土壤大得多的 CEC,但是,由于

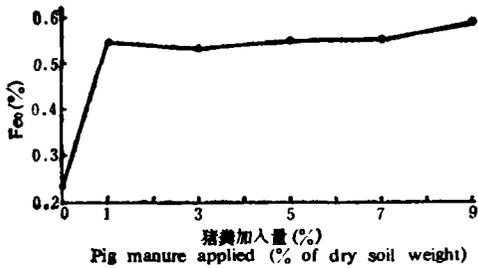


图3 加入猪粪对无定形氧化铁 (Fe_o) 的影响
Fig. 3 The effect of the manure applied on the amorphous iron oxides (Fe_o)

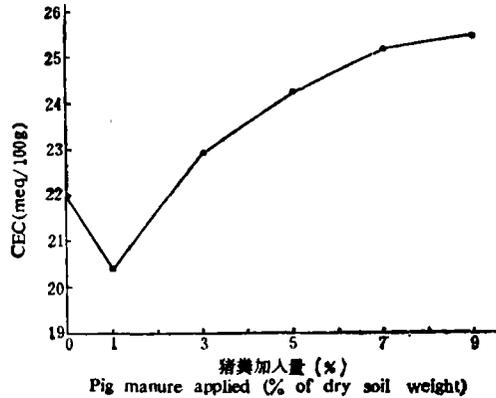


图4 猪粪对土壤阳离子交换量的影响
Fig. 4 Effect of the manure on the CEC of soil

在有机无机复合过程中有部分交换点被掩盖^[9],因此,土壤有机质对土壤 CEC 的影响并不是简单的加和关系。图 4 是施用猪粪后土壤阳离子交换量的变化。如图 3 所示,由于在本试验中有无定形氧化铁含量的变化,氧化铁的活化使其本身的正电荷增加^[2],从而影响土壤 CEC 的变化。因此,土壤 CEC (Y) 不仅与有机质含量 (X_1) 有关,还与无定形氧化铁含量 (X_2) 有关。多元回归分析表明,它们之间有如下关系:

$$Y = 21.8 + 4.76 \ln X_1 - 4.73 X_2, R = 0.962^{**}$$

即土壤 CEC 随着土壤有机质的增加而增加,随着无定形氧化铁的增加而减小。

由上式可以求出土壤有机质的表观交换量,即单位有机质引起的土壤 CEC 的变化:

$$\frac{\partial Y}{\partial X_1} = \frac{4.76}{X_1}$$

可见,土壤有机质的表观交换量随着土壤有机质的增加而下降。

2. 土壤吸附 NH_4^+ 的变化 傅积平等^[4]的研究表明,用 H_2O_2 去除土壤有机质后,土壤对 NH_4^+ 的吸附明显减少。图 5 表明,在本试验中,用 $0.01 N NH_4Cl$ 或用 $0.05 N NH_4Cl$ 处理土壤,土壤吸附 NH_4^+ 量均随着猪粪加入量的增加而减少,尤以处理 1 的土壤与对照比较为最明显。这一结果表面看来与傅积平等的结果相反,但考虑到本试验中,由于在加入猪粪的同时带入了 K^+ , Ca^{2+} 等阳离子,随着施用量的增加,土壤中这些离子的浓度增加,它们与 NH_4^+ 竞争交换点,使土壤对 NH_4^+ 的吸附减少。表 3 的统计结果证实了土壤中阳离子对 NH_4^+ 的竞争作用。表 3 的偏相关系数说明,土壤对 NH_4^+ 的吸附与 CEC 呈正相关,与土壤中其它阳离子浓度呈负相关。因此,本试验与傅积平等研究结果的不一致,似乎可以归结于试验条件的差异。

3. 土壤吸附磷酸根的变化 加入猪粪后土壤对磷酸根的吸附如图 6 所示,可由下列回归方程描述:

$$Y = 38.6 - 24.2 X_1 + 105.1 X_2, R = 0.960^{**}$$

式中 X_1 为土壤有机质, X_2 为无定形氧化铁。这一结果表明,土壤有机质和无定形氧化铁是影响土壤对磷酸根吸附量的二个重要因素,这与洪顺山等^[2]和傅积平等^[4]的研究结果

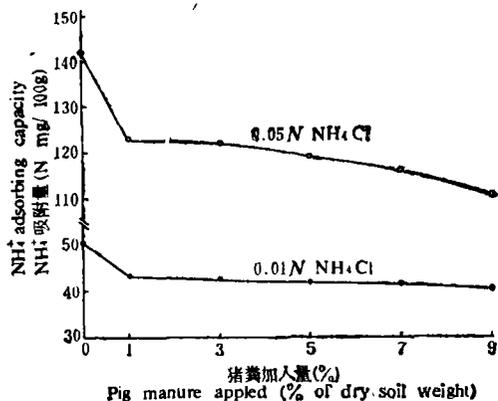


图 5 猪粪对土壤吸附 NH₄⁺ 的影响

Fig. 5 Effect of the manure on the NH₄⁺ adsorbing capacity of soil

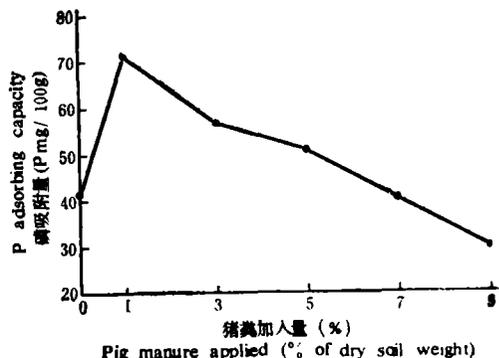


图 6 猪粪对土壤吸附磷酸根的影响

Fig. 6 Effect of the manure on the P adsorbing capacity of soil

表 3 土壤 CEC 和阳离子浓度对 NH₄⁺ 吸附量的相关系数

Table 3 Correlation coefficient of CEC, concentration of cations in soil and the NH₄⁺ adsorbing capacity of soil

NH ₄ Cl 浓度 (N) Concentration	偏相关系数 Partial correlation coefficient		R
	r _{13,2*}	r _{12,3**}	
0.01	-0.861**	0.622**	0.887**
0.05	-0.885**	0.718**	0.933**

r_{13,2*}: 土壤 NH₄⁺ 吸附量与土壤阳离子浓度的偏相关系数; r_{12,3**}: 土壤 NH₄⁺ 吸附量与土壤 CEC 的偏相关系数。

表 4 土壤养分供应状况的变化

Table 4 Effect of the manure on soil nutrient

处理号 Treatment No.	全 N (%) Total N	C/N	水解 N (ppm) Hydrolyzable-N	速效磷 (P, ppm) Available-P	A*	速效钾 (K, mg/100g) Available-K	A*
CK	0.057	7.80	62	1.7		12	
1	0.076	8.00	72	11	10	15	29
2	0.112	7.80	85	47	16	21	29
3	0.139	8.23	111	68	14	28	30
4	0.167	8.47	123	82	12	34	30
5	0.197	8.73	147	99	12	42	32

A* = $\frac{\text{处理土壤速效养分} - \text{对照土壤速效养分}}{\text{施入处理土壤的速效养分}} \times 100\%$

一致。

4. 土壤养分供应状况的变化 土壤全 N 与猪粪施用量呈线性正相关, 回归方程为

$$Y = 0.015X + 0.061 \quad (r = 0.997^{**})$$

式中 Y 为全 N; X 为猪粪施用量。猪粪 N 的残留率高达 62.3%, 显著大于猪粪有机质的残留率。除处理 2 的土壤外, 各处理的土壤 C/N 比均较对照土壤有所提高(表 4)。

土壤水解 $N(N_x)$ 与全 N 呈正相关, $N_x = 25.2 + 601 N$ ($r = 0.985^{**}$), 可以算出, N_x/N 随着全 N 的增加而下降。这可能与复合态有机质中的 N 较易水解有关^[8,12]。

对照土壤的速效磷仅 1.7 ppm, 远远不能满足水稻生长的需要。由于供试猪粪中 $NaHCO_3$ 可提取磷占全磷的 52.5%, 经培育后, 这些磷素中 10—16% 仍然保持速效形态(表 4), 因此, 加入猪粪后可迅速提高土壤的速效磷含量, 处理 1 土壤的速效磷已达具有一般肥力水平土壤的速效磷含量。土壤速效磷与土壤有机质呈极显著正相关 ($r = 0.978^{**}$)。土壤有机质每增加 1%, 速效磷平均增加 4.51 mg/100g 土。

供试土壤含有中等水平的速效钾, 这可能与供试土壤中的粘土矿物以伊利石为主有关。猪粪中的钾几乎全部可被中性 NH_4OAc 提取, 这些钾进入土壤后仍有 29—32% 可被中性 NH_4OAc 提取, 表明土壤对钾的固定要比对磷的固定小得多。速效钾也与有机质呈正相关 ($r = 0.999^{**}$), 每增加 1% 土壤有机质, 平均增加速效钾 13.7 mg/100g 土。

三、猪粪对土壤理化性质的综合影响

已如上述, 加入猪粪并经培育 427 天后, 土壤理化性质发生了一系列的变化。本文尝试用主组元分析对这一系列的变化进行综合评价。表 5 结果表明, 各指标与土壤有机质及各指标之间均达显著或极显著水平。求表 5 相关阵的特征值, 并将前二个特征值及累积贡献率和相应的正规化向量列于表 6 和表 7。由于各处理仅猪粪施用量不同, 其它条件均相同, 所以第一主组元反映的信息达全部 11 个指标提供信息的 82.9%。从表 7 可以看出, 第一主组元是对 11 个指标的综合反映。因此, 第一主组元值 (Y_1) 可以反映猪粪对土

表 5 土壤肥力指标相关阵

Table 5 Correlation matrix of the indexes of soil fertility

指标 Index	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1										
2	0.9956	1									
3	0.9820	0.9716	1								
4	-0.8185	-0.8398	-0.7569	1							
5	-0.8017	-0.8398	-0.7894	0.6788	1						
6	0.9047	-0.7845	0.8520	-0.8273	-0.7609	1					
7	0.9880	0.9114	0.9655	-0.8082	-0.7388	0.8971	1				
8	0.9776	0.9841	0.9428	-0.8492	-0.7810	0.9245	0.9716	1			
9	0.9976	0.9947	0.9775	-0.8193	-0.7943	0.9126	0.9906	0.9736	1		
10	-0.6331	-0.6057	-0.5915	0.5339	0.6338	-0.7852	0.6338	-0.5949	-0.6619	1	
11	-0.8621	-0.8664	-0.8288	0.7814	0.8196	-0.884	-0.8179	-0.8775	-0.8619	0.6822	1

注: 1. 有机质; 2. 全 N ; 3. $<0.005mm$ 孔隙; 4. 浸水容重; 5. 破碎系数; 6. CEC; 7. 水解 N ; 8. 速效磷; 9. 速效钾; 10. 磷的吸附; 11. G_{w_0} 。

表 6 前二个主组元的贡献率

Table 6 Variances of the 1st. and 2nd. principal components

主组元 Component	特征值 Eigenvalue	贡献率(%) Variance	累积贡献率(%) Cumulative variance
1	9.12	82.9	82.9
2	1.65	15.0	97.9

表 7 前二个主组元的正规化特征向量

Table 7 Eigenvector of the 1st. and 2nd. principal components

指标 Index	主组元 Component	
	1	2
1	0.3325	-0.0817
2	0.2771	0.7853
3	0.3217	0.0166
4	-0.2887	0.0102
5	-0.2851	-0.0175
6	0.2637	-0.6023
7	0.3236	-0.0184
8	0.3283	0.0383
9	0.3330	-0.0863
10	-0.2394	0.0630
11	-0.3070	0.0060

表 8 土壤的第一主组元值 (Y_1)

Table 8 The value of the principal component of samples

处理号 Treatment No.	Y_1
CK	-9.48
1	-11.17
2	-2.02
3	2.72
4	7.25
5	13.59

壤理化性质的综合影响, Y_1 值越大, 表明猪粪对土壤理化性质的综合影响越好。

原始数据用标准差方法标准化后求得的土壤 Y_1 值列于表 8。从表 8 可以看出, 处理 1 的土壤与对照相比, Y_1 值减小 18%。因此, 可以认为, 处理 1 的土壤由上述土壤理化性质反映的土壤肥力低于对照土壤。这一结果与下蜀黄土发育的黄棕壤旱改水后出现“一年稻, 二年草, 三年撩”的现象相吻合。出现这种现象的原因可能是旱改水后, 在有机肥分解的同时形成还原条件, 使氧化铁活化, 由这些氧化铁胶结的结构体破坏, 对磷的吸附量增加。而施用有机肥增加的有机胶体数量不足以替代氧化铁的作用, 虽然有机肥增加了土壤养分含量, 但土壤的肥力水平并不因此而提高。当给土壤提供足够的有机胶体

后,土壤的结构体恢复,土壤的肥力水平提高。在供试的土壤有机质范围内,当土壤有机质含量达 1.5%时,由上述土壤理化性质反映的土壤肥力水平已高于对照土壤,此后,随着土壤有机质的继续增加, Y_1 值继续增加。因此,为了使由下蜀黄土发育的黄棕壤旱改水后快速熟化,有必要在较短时间内使土壤有机质达到一定水平。

参 考 文 献

- [1] 林心雄等, 1981: 田间测定植物残体分解速率的砂滤管法。土壤学报, 第 18 卷 1 期, 97—102 页。
- [2] 何群、陈家坊、许祖诒, 1981: 土壤中氧化铁的转化及其对土壤结构的影响。土壤学报, 第 18 卷 4 期, 326—333 页。
- [3] 洪顺山、朱祖祥, 1979: 从磷酸盐位探讨土壤中磷的固定机制及其有效性问题。土壤学报, 第 16 卷 1 期, 94—109 页。
- [4] 傅积平、张敬森、熊毅, 1983: 太湖地区水稻土复合胶体的特性。土壤学报, 第 20 卷 2 期, 112—128 页。
- [5] 谢森祥等, 1959: 水稻土耕性的初步研究。土壤学报, 第 7 卷 1 期, 85—90 页。
- [6] S. J. 格雷格著(胡为柏译), 1966: 固体表面化学。上海科学出版社。
- [7] H. 范·奥尔芬著(许冀泉等译), 1977: 粘土胶体化学导论。农业出版社。
- [8] Anderson, D. W., et al., 1981: Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter I. Soil Sci. Soc Amer. J., 45: 767—772.
- [9] Desilva, J. A. and Toth, S. T., 1964: Cation-exchange reaction, electrokinetic and volumetric behavior of clay-organic complexes. Soil Sci., 97: 63—79.
- [10] Giovannini, G. and Lucchesi, S., 1984: Differential thermal analysis and infrared investigations on soil hydrophobic substance. Soil Sci., 137: 457—463.
- [11] Giovannini, G., et al., 1976: Iron and aluminium as cementing substances of soil aggregates. Soil Sci., 27: 148—153.
- [12] Kyuma, K., et al., 1969: The nature of organic matter in soil organo-mineral complexes. Soil Sci. Plant Nutr., 15: 149—155.
- [13] Pal, D. and Broadbend, F. E., 1975: Kinetics of rice straw decomposition in soils. J. Environment Quality, 4: 256—260.
- [14] Tiarks, A. E., et al., 1974: Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. Soil Sci. Amer. Proc., 38: 826—830.

EFFECTS OF PIG MANURE ON THE PROPERTIES OF YELLOW BROWN EARTH UNDER SUBMERGED CONDITION

Cai Zucong, Ma Yijie, Xu Qi and Hseung Yi

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

Summary

Effects of pig manure on properties of yellow-brown earth were studied in a incubation experiment for 427 days under submerged condition without percolation. Manure applied at the rates of 0 (as the check), 1, 3, 5, 7 and 9% of soil weight.

The results indicated that the decomposition rate of manure was not influenced by the application rate. The organic material in the manure remained in the soil was 54.8%, of which 38.7% was transformed into soil organic matter and 16.1% undecomposed; 62.3% of nitrogen of the manure remained in the soil. Hydrolyzable N was closely related to the soil total N ($r=0.985^{**}$, $n=18$). Available P and K increased by 4.52 and 13.7 mg/100g respectively with increasing of 1% O.M. As O.M. varied from 0.76 to 2.97%, the bulk density varied from 1.51 to 1.20 g/cm³, the bulk density in water from 0.77 to 0.69 g/cm³, and the modulus of repture from 5.05 to 2.89 kg/cm³. The CEC was positively correlated to content of O. M. and negatively correlated to content of amorphous iron oxides. NH₄⁺ adsorbing capacity of the soil increased with the increasing of CEC and with decreasing of the cations in the soil. Phosphorus adsorbing capacity was positively correlated to content of amorphous iron oxides and negatively correlated to content of O. M.

The level of soil fertility was evaluated by applying the principal component to 11 indexes of soil fertility. The results showed that the fertility level of the soils in which the O.M. content was less than 1.1% was lower than that of the check because of activity of iron oxides. Only when O.M. content was more than 1.5% was the level of the soil fertility significantly higher than that of the check.