

有机物料在稻作制中的物理作用*

朱红霞 姚贤良

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文总结了浙江省嘉兴高产水稻土在连续七年施用有机物料后, 土壤物理性质所发生的一系列变化。并对不同处理土壤经稻季和麦季后所表现出来的不同的土壤物理特性以及不同时期施用有机物料的效果进行了比较。结果表明, 尽管供试土壤的有机质水平已经高达 35.5 g/kg土, 超过了以往认为有机肥改土最适有机质含量范围 ($<30.0\text{g/kg土}$)^[1], 但施用有机物料仍能提高耕层土壤的孔隙度、降低容重、减少破裂系数和提高 1—0.05mm 粗微团聚体的含量, 对土壤物理性质的改善作用还是比较明显的, 但其效果受施用土壤条件的影响。从培育土壤结构的角度出发, 杭嘉湖平原的水稻土增施有机物料还是有积极意义的。

关键词 高产水稻土, 有机物料, 物理性质

以往的研究表明, 当稻谷产量小于 7t/ha 时^[10], 主要是依靠合理施用化肥, 而产量的进一步提高则要考虑合理地调控土壤的物理条件。特别在当前由于多熟制的发展, 土壤浸水时间延长, 干耕晒垡机会减少, 土壤出现粘闭、起浆、僵硬、水气矛盾突出; 另外, 农村的肥料结构中化肥用量愈来愈大, 而有机肥的比重日益减少, 致使土壤生态平衡失调, 土壤物理环境日益恶化, 土壤生产力得不到充分发挥^[2]。国际水稻所原所长 Swaminathan 认为, 土壤物理条件已成为影响稻作制土壤上大规模增产的主要障碍因素^[11]。有机物料对旱地土壤物理性质的改善作用已被公认, 但其对水田土壤的作用问题还有不少争论, 仍是一个值得研究的课题。为进一步了解高产水稻土地区有机肥的改土效果, 土壤物理室结构组于 1982 年在嘉兴布置了长期施用有机物料的野外定点试验, 该试验还在继续进行。本文就高产水稻土连续七年施用有机物料后, 在麦收和稻收后土壤物理性质的不同变化进行了对比分析。

一、材料和方法

(一) 田间试验

试验于 1982 年开始, 采用稻、稻、麦轮作, 麦季地下水位约在 60cm 左右, 试验田设有排水沟, 多余水分可由排水沟流至田边的小河。试验前土壤的农化性质如表 1 所示。从表中数据可以看出, 该土壤的肥力水平较高。供试土壤的机械组成为: 1—0.25mm 是 13.1g/kg±; 0.25—0.05mm 是 64.0g/kg±;

* 本项工作得到徐富安同志的协助, 特此致谢。

0.05—0.01mm 是 408.7g/kg±; 0.01—0.005mm 是 102.1g/kg±; 0.005—0.001mm 是 186.4g/kg±; <0.001mm 是 225.7g/kg±, 属于粗粉质重壤土。田间试验设共三个处理: 1.对照: 施硫酸为 1.65t/ha·year, 过磷酸钙为 0.6t/ha·year, 氯化钾 0.45t/ha·year; 2.麦廐: 化肥用量同对照, 但麦田增施廐肥 30t/ha; 3.稻廐: 化肥用量同对照, 早稻田增施廐肥为 30t/ha。

表 1 供试土壤的农化性质¹⁾

Table 1 Some chemical properties of the soil used for the experiment

有机质 O.M. (g/kg)	全 N 含量 Total N (g/kg)	全 P 含量 Total P (g/kg)	全 K 含量 Total K (g/kg)	水解 N Hydrolysable N (mg/kg)	速效 P Rapidly available P (mg/kg)	速效 K Rapidly available K (mg/kg)
35.5	1.78	0.849	20.0	126	26.6	114

1) 表中数据由徐富安同志提供。

每处理三个重复, 小区面积为 67m², 种植早稻、晚稻前都进行淹水耕耙处理, 麦田免耕, 采样时间为 1989 年麦收后和晚稻收割后, 试验已进行 7 年, 采样深度为 0—20cm, 麦收后各处理土壤有机质含量的分析结果为, 对照: 34.5g/kg±; 麦廐: 40.7g/kg±; 稻廐: 41.7g/kg±。

(二) 测定方法

全 N 用开氏法; 有机质用重铬酸钾氧化法; 微团聚体分析和机械分析用吸管法; 容重用环刀法, 当量孔隙用石英砂-高岭土吸力平板仪测定^[3]; 破裂系数用无侧限压力仪测定^[4]。

二、结果和讨论

(一) 土壤团聚性

土壤中加入有机物料, 可以通过影响微生物活性来加强土壤的团聚体稳定性。有机

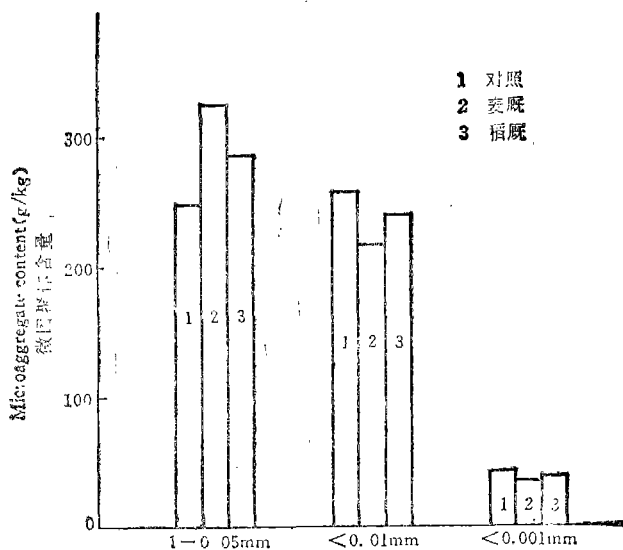


图 1 有机物料对土壤微团聚体分布的影响

Fig. 1 Effect of organic materials on the microaggregate distribution of the soil

聚合物本身也可借阳离子桥、氢键、范德华力以及三氧化物-腐殖质复合体等连结于粘粒表面, 稳定土壤结构^[5]。通过对麦收后耕作层土壤微团聚体的分析表明(图 1), 施用有机物料后, 土壤中 1—0.05mm 粗微团聚体含量增加, 分别由对照的 249.7g/kg± 增加到 327.6g/kg± (麦廐)和 281.8g/kg± (稻廐), 而细粒含量 (<0.01mm 和 <0.001mm) 减少, 土壤的结构系数则从 81.52% (对照) 增加到 84.28% (麦廐)和 83.34% (稻廐), 说明其能提高土壤的团聚度和稳定度。另外还表明, 麦廐处理的效果优于稻廐处理, 即在好气条件下施用有机物料对粗微团聚体的形成更为有利。可见, 有机物料对土壤团聚作用的影响并不完全取决于它的数量, 而且还受施用土壤条件及管理过程的影响。

(二) 土壤持水性

为了解田间施用有机物料对水稻土持水性的影响, 分别在麦收和晚稻后采取各处理的原状土样, 测定了低吸力段(0.25—90kPa)的水分特征曲线。

图 2 为根据回归方程所作的水分特征曲线, 可以看出, 对照土壤的含水量比相同吸力下用有机物料处理土壤的含水量高。在 30kPa 吸力下(接近田间持水量), 对照土壤的持水量为 445g/kg±, 而用有机物料处理的分别为 418g/kg± (稻廐)和 405g/kg± (麦廐)。据研究^[6], 适合于小麦生长的水分吸力范围为 2—50kPa, 而各不同处理土壤在这一

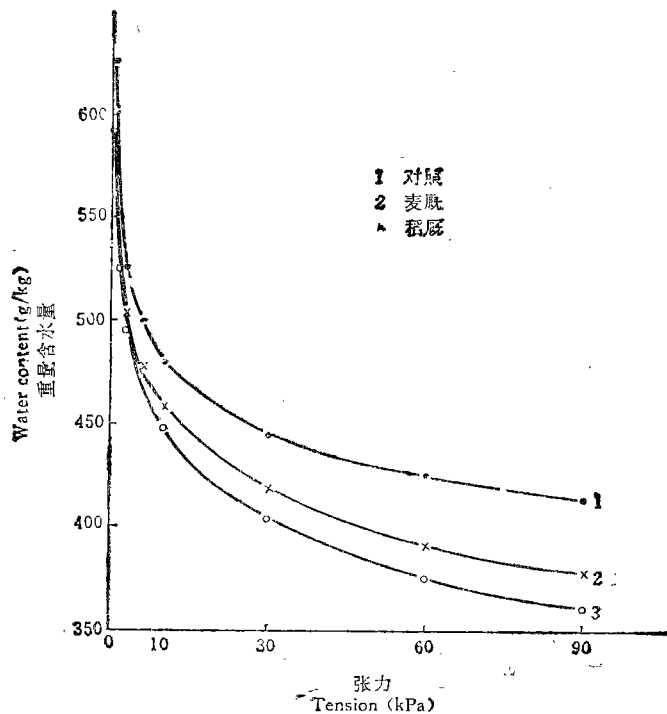


图 2 有机物料对麦茬土壤持水性的影响

Fig. 2 Effect of organic materials on the water retention of soil after wheat harvest

范围内所含的水量分别为, 对照是 116g/kg±; 麦廐是 179g/kg±; 稻廐是 133g/kg±。可见, 尽管施有机物料使土壤在相同吸力下的持水量下降, 而适合于稻后旱作(小麦)生长范围的水分贮量反而增加, 从而为旱作生长提供既有良好的通气性能, 又有足够有效水贮

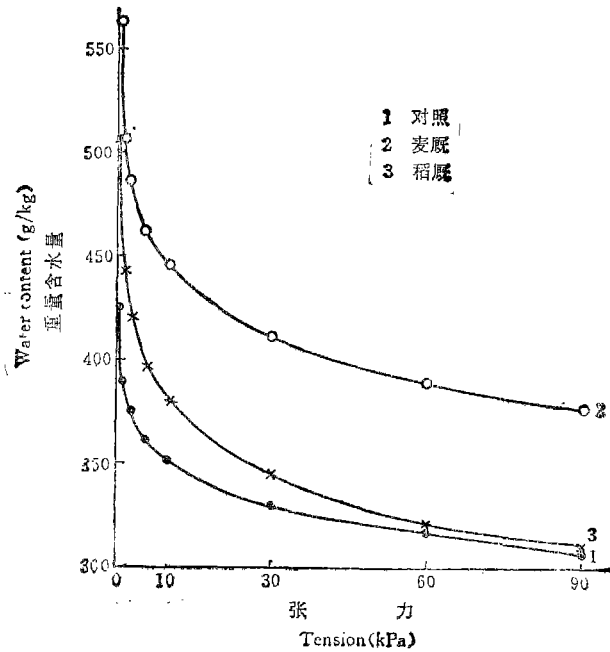


图3 有机物料对稻茬土壤持水性的影响

Fig. 3 Effect of organic materials on the water retention of soils after autumn rice harvest

量的土壤物理环境。

晚稻收割后土壤的持水性(图3)与麦收后土壤相反,对照土壤在各不同吸力下的含水量比施有机物料的要少,尤以与麦廐处理的差异更大。可见施有机物料使稻季土壤的持水能力增加。对各处理原状土样的测定结果进行回归分析,土壤在吸力 s 由 0.25kPa 增加到 90kPa 的脱水过程中,重量含水量 $\theta(\text{g/kg})$ 与 $s(\text{kPa})$ 的关系符合方程: $\theta = a + b \log s$, 式中 a, b 为回归系数。三个方程分别为:

$$\text{对照: } \theta = 397.3 - 46.8 \log s \quad (1)$$

$$r = -0.992^{**}$$

$$\text{麦廐: } \theta = 519.7 - 73.4 \log s \quad (2)$$

$$r = -0.976^{**}$$

$$\text{稻廐: } \theta = 457.0 - 76.5 \log s \quad (3)$$

$$r = -0.976^{**}$$

方程中 b 的物理意义为增加一个 $\log s$ 值时,土壤所释放的水量, b 值越大,释放的水量越多,排水越快,反之则少,排水较慢。从以上三个方程可见,方程(1)的 b 值小于方程(2)和(3),说明施用有机物料后,尽管稻后土壤在各吸力下含水量增加,回旱落干时的脱水速度仍较对照土壤快。

水稻收割后,水田湿土需相当一段时间才能使土壤水分条件满足耕作的要求。缩短水稻收割与后季旱作播种之间的时间间隔,对争取季节,提高旱作产量有重要意义。施用有机物料后,稻后土壤排水速度加快,为旱作的及时播种创造了有利条件。

有机物料对土壤持水性能的影响有两方面的作用:(1)有机物料本身的持水能力比

表 2 有机物料对土壤容重 (g/cm^3) 的影响
Table 2 Effect of organic material on soil bulk density

处理 Treatment	采样时间 Time of sampling					
	麦后 After wheat harvest			稻后 After rice harvest		
1	1.11			1.19		
2	1.03	0.08**		0.95	0.24**	
3	1.02	0.09**	0.01	1.08	0.11	0.13

L.S.D.(0.05) = 0.05 L.S.D.(0.01) = 0.07 (麦后); L.S.D.(0.05) = 0.14 L.S.D.(0.01) = 0.20(稻后)。

土壤矿物质部分大; (2) 有机物料分解产物对土壤颗粒的团聚作用以及分解残渣对土体的疏松作用, 使土壤结构发生改变, 从而影响土壤的持水性能。麦后与稻后土壤的不同持水性与旱作和稻作期间有机物料的作用不同有关。在稻季淹水粘闭情况下, 土粒分散, 大孔隙减少, 有机物料持水性大起主导作用。而在旱作期间, 粘闭土壤的结构得到恢复, 经有机物料处理的土壤, 结构恢复较好, 大孔隙相对较多, 从而使土壤在低吸力段的持水量下降。

(三) 土壤容重

有机物料对嘉兴高产水稻土麦收后和稻收后土壤容重影响的结果列于表 2。

由表可见, 麦后土壤施有机物料处理的土壤容重都极显著 ($p = 0.01$) 地低于对照, 不同时期施有机物料对其影响不显。而在稻后, 只有麦廐处理土壤容重才极显著地低于对照, 稻廐处理则不显著。值得注意的是, 不同时期施用有机物料可使容重平均值的差异高达 $0.13\text{g}/\text{cm}^3$, 而 $\text{L.S.D.}(0.05) = 0.14$, 与 5% 的显著水平相接近。追究造成这种差异的原因, 可以认为是在植稻期施有机物料, 处于淹水还原条件下, 有机物料的分解会产生一些简单的有机酸和还原性气体, 它们会破坏部分土壤团聚体, 使土粒分散, 容重增加。而在好气条件下, 有机物料分解完全, 其产物(尤其是多糖)能起到团聚土粒的作用, 土壤容重减少。

(四) 土壤孔隙性

表 3 有机物料对土壤总孔隙度 (ml/L) 的影响
Table 3 Effect of organic material on soil total porosity

处理 Treatment	采样时间 Time of sampling					
	麦后 After wheat harvest			稻后 After rice harvest		
1	582.5			550.2		
2	611.8	29.3**		639.8	89.6**	
3	614.7	32.2**	2.9	592.4	42.2	47.4

L.S.D.(0.05) = 18.8 L.S.D.(0.01) = 26.3 L.S.D.(0.05) = 54.0 L.S.D.(0.01) = 75.7

试验结果表明(表 3、4、5), 施用有机物料使麦后土壤的总孔隙度和 $pF = 2$ 时的充气孔隙度都极显著地高于对照。土壤中大孔隙的增加对改善粘质土壤不良的通气透水特

表 4 有机物料对麦茬土壤 $pF = 2$ 时充气孔隙度的影响Table 4 Effect of organic material on $>0.03\text{mm}$ soil porosity after wheat harvest

处理 Treatment	$>0.03\text{mm}$ 孔隙度 (ml/L) $>0.03\text{mm}$ porosity		
1	141.1		
2	172.1	31.0*	
3	184.7	43.6**	12.6

L.S.D.(0.05) = 23.9 L.S.D.(0.01) = 33.5

表 5 稻茬土壤 $pF = 2$ 时充气孔隙的方差分析Table 5 Analysis of variance of $>0.03\text{ mm}$ soil porosity after rice harvest

误差源 Source of error	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F
处理	20317	2	10158	2.48 N.S
误差	49113	12	4092	
总平方和	69430	14		

F(05) = 3.89 F(01) = 6.93

性具有重要意义。而稻后土壤，只有麦茬处理才能使土壤的总孔隙度有所增加， $pF = 2$ 时土壤的充气孔隙没有显著增加。日本学者的研究也表明^[12]，有机肥和绿肥处理的小区，0—5cm 土层的固相比率比其它二处理（施无机肥和不施肥的对照）低，而大孔隙比例则大，对照的固相率最高，大孔隙最少，这与本试验的结果是一致的。对照区土壤因植稻期的

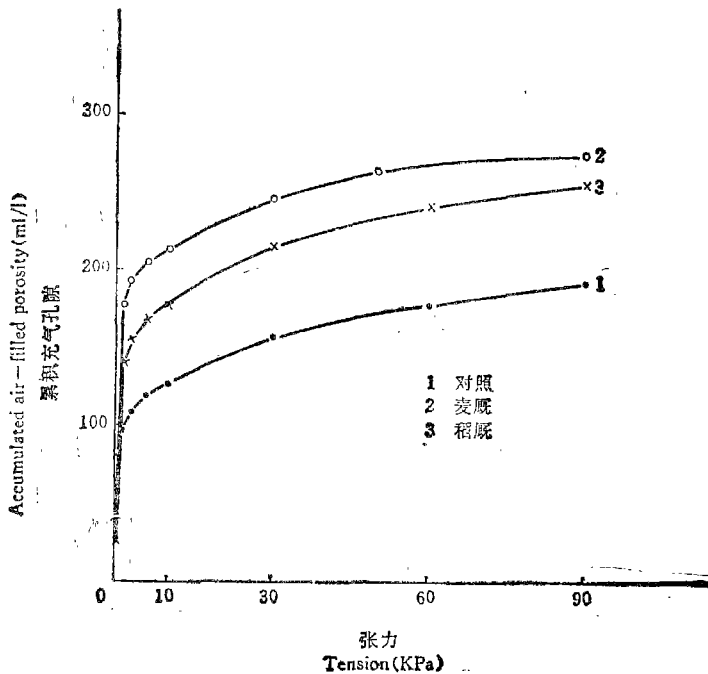


图 4 稻茬土壤的累积充气孔隙

Fig. 4 Accumulated air-filled porosity of soil after autumn rice harvest.

淹水和粘闭,土壤颗粒分散,水化并膨胀,固相比率减少,但在稻后土壤落干种植旱作时,土体因干燥而收缩,固相率又提高,土壤中大孔隙也因脱水收缩而减少。而经有机物料处理后的土壤,脱水落干时收缩较少,排水后由于碎屑和团粒结构的发展,大孔隙比例较对照高。这一点从稻后土壤在不同吸力下的累积充气孔隙的增加也可以说明(图4)。经有机物料处理后,土壤脱水时进气比对照快,同时土壤持水量也较高(图2),这说明有机物料具有协调粘闭土壤稻后水气矛盾的功能。

表6 有机物料对土壤孔隙分布的影响

Table 6 Effect of organic material on soil pore distribution (ml/L)

采样时间 Time of sampling	麦后 (After wheat harvest)			稻后 (After rice harvest)		
	1	2	3	1	2	3
处理 Treatment						
粗孔隙 (>200 μ m)	92.5	99.0	106.7	97.7	178.4	139.8
有效 (50-200 μ m) 孔隙 (5-50 μ m)	39.2	55.0	59.2	19.6	27.2	28.0
	62.6	72.1	72.3	60.0	59.8	73.2
细孔隙 (<5 μ m)	388.2	382.2	373.7	373.0	374.4	351.4

根据 Kladvko 和 Nelson 等报道^[13],液态污泥施用到粉壤土中,使土壤容重减少,主要是由于大于 50 μ m 大孔隙增加引起的。本试验结果表明(表6),增施有机物料以后总孔隙度增加,主要是增加了粗孔隙和有效孔隙,而细孔隙的数量没有什么变化。这与程云生、许绣云等的研究结果有所差别,前者认为有机物料只能增加毛管孔隙度^[7],而后者则认为有机物料对土壤孔隙状况作用不大^[8]。这可能与各试验所处水文条件不同有关。在试验田地势低洼、内排水不良的情况下,水多气少会减弱有机质改善土壤物理性质的效果。

(五) 土壤机械强度

本试验测定结果表明,对照土壤的破裂系数比施有机物料处理的土壤大,稻后土壤和麦后土壤有相同的趋势(见表7),这与温室试验的结果相符。

麦后土壤破裂系数的变异系数大于稻后土壤,这说明土壤在旱作期间受干湿交替等

表7 有机物料对土壤破裂系数的影响

Table 7 Effect of organic material on soil rupture modulus

采样时间 Time of sampling	麦后 After wheat harvest			稻后 After rice harvest		
	1	2	3	1	2	3
处 理 Treatment						
破裂系数 Modulus of rupture (kpa)	336 \pm 116	141 \pm 101	51 \pm 50	345 \pm 132	287 \pm 55	178 \pm 80
变异系数 Coefficient of variation (%)	34.5	71.6	98.0	38.3	19.2	44.9

作用而发育起来的结构,经植稻期的淹水粘闭后,部分土壤团粒分散,土体趋向均一。另外还可以看出,麦茬土壤在经早稻和晚稻种植后,破裂系数有所增加,增加幅度为:麦茬(146kPa) > 稻茬(127kPa) > 对照(9kPa)。对照的稻后土壤与麦后土壤破裂系数的平均值差异不大,其变异系数也相差无几。而施有机物料处理的土壤差异较大。由此可见,有机物料的施用,有利于植稻后种植旱作时土壤结构的恢复,适合获得水旱作物双高产的土壤结构条件的培育。

(六) 犁底层土壤

犁底层是水稻土的主要层次,它是由水稻栽培中长期粘闭,并在化学胶结和物理压实的作用影响下而形成。犁底层的存在对保水和减少养分流失很有好处,但也有不利之处,例如我国太湖地区70年代的改制,导致犁底层从60年代的5—8cm增厚至70年代的10—20cm^[9],从而严重影响土壤的通透性,成为作物产量不稳的重要原因之一。

为了了解长期施用有机物料对水稻土犁底层的影响,在稻后测定了犁底层土壤的容重、持水特性和孔隙分布。结果表明,麦茬处理犁底层容重由对照的1.41g/cm³下降到1.31g/cm³,但没能达到5%显著水平,而稻茬处理犁底层土壤的容重几乎没有变化。对各处理犁底层土壤在0.25—90kPa范围内的吸力与含水量之间的关系进行回归分析,其三个方程分别为:

$$\text{对照: } \theta = 314.8 - 25.0 \log s \quad r = -0.985^{**}$$

$$\text{麦茬: } \theta = 349.2 - 30.0 \log s \quad r = -0.987^{**}$$

$$\text{稻茬: } \theta = 323.5 - 33.3 \log s \quad r = -0.974^{**}$$

可见,增施有机物料后,犁底层土壤持水曲线的 b 值有增大的趋势,说明对稻后快速排水有利。孔隙性测定结果表明麦茬处理的总孔隙度和 $pF = 2$ 时的充气孔隙度都大于对照,稻茬处理变化不大。大于0.005mm孔隙(粗孔隙+有效孔隙)分别为:89.5ml/L(对照);120.6ml/L(麦茬);109.2ml/L(稻茬),大孔隙的增加对水稻生长有利。日本学者的研究也得到了相似的结果^[12]。

三、结 语

综上所述,尽管供试土壤的有机质水平已经达到了35.5g/kg±,超过了以往认为有机物料改土最适有机质含量范围(<30.0g/kg±),在连续7年施用有机物料后,仍能提高耕层土壤的孔隙度、降低容重、减少破裂系数和提高1—0.05mm粗微团聚体的含量,因此,从整个轮作周期看,有机物料是能改善水稻土物理性质的。另外,施有机物料处理的土壤,排水落干时充气孔隙增加较快,有利于进气,土体也疏松,有利于水稻收割后及时整地播种旱作。可见,在集约化程度较高的一些高产水稻土地区,同样必须重视有机物料的施用。

参 考 文 献

- 熊毅、李庆远, 1987: 中国土壤。第二版, 400 页, 科学出版社。
- 方兆登、张益农, 1987: 杭嘉湖平原水稻土物理性质的探讨。土壤, 第 19 卷 5 期, 253—258 页。
- 徐富安, 1980: 介绍一种孔隙测定装置。土壤通报。第 5 期, 17—20 页。

4. S.A. 泰勒(华孟译), 1983: 物理的土壤学。241 页, 农业出版社。
5. L.D. 贝弗尔(周传槐译), 1983: 土壤物理学。第四版, 158 页, 农业出版社。
6. 赵诚斋, 1989: 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕法的关系。土壤学报, 第26卷 2 期, 101—108 页。
7. 程云生, 1983: 水稻土的排水及其意义。土壤学报, 第 20 卷 3 期, 215—223 页。
8. 许绣云、姚贤良, 1988: 有机物料对两种水稻土物理性质的影响。土壤, 第 20 卷 4 期, 169—174 页。
9. 徐琪、陆彦椿、刘元昌、朱洪官, 1980: 中国太湖地区水稻土。第 65—71 页, 上海科学技术出版社。
10. Kawaguchi, K., and K. Kyuma, 1977: Paddy Soils in Tropical Asia, Their Material Nature and Fertility. The Hawaii University Press, Honolulu.
11. Swaminathan, M. S., 1985: Forward. Soil Physics and Rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
12. Eiichi Kohno, 1988: Physical effect of organic matter in paddy soil. Proceedings of The First International Symposium on Paddy soil Fertility pp 963—981, Chiangmai, Thailand.
13. Kladviko, E. J., and D. W. Nelson, 1979: Changes in soil properties from application of anaerobic sludge. J. Water Pollut. Control Fed., 51: 325—332.

PHYSICAL EFFECT OF ORGANIC MATERIAL ON RICE-BASED CROPPING SYSTEM

Zhu Hongxia and Yao Xianliang

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

Summary

Changes in the physical properties of high-yield paddy soil in Jiaxing, Zhejiang Province after seven-year application of organic materials were analyzed. Different physical properties of soils in different treatments and the effect of application time of organic material were compared after wheat harvest and later rice harvest. Results show that although the organic matter content of the soil used in the experiment was as high as 35.5 g/kg, the physical properties of high-yield paddy soil were improved significantly by applying organic material. The soil bulk density and rupture modules decreased but the soil porosity and 1—0.05 mm microaggregates increased. Meanwhile, its effectiveness was closely related to different moisture conditions. Applying organic material into waterunsaturated soil in wheat season was more effective than that into water-saturated soil in early rice season. Moreover, soils treated with organic materials were more loose and had a quicker increase of air-filled porosity than the soil of control treatment, which would be beneficial to the sowing of upland crop as early as possible after rice harvest.

Key words High-yield paddy soil, Organic material, Physical property