

太湖地区水稻土的物理特性与少免耕法的关系

赵 诚 斋

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文从土壤物理特性和作物生长的关系探讨了耕作的要求。土壤水分能量特性可被机械扰动改变,这是导致土壤粘闭的重要原因。水稻土的含水量和有效水均以表土高,而下层低,含水量和容重成线性负相关($n = 62, r = -0.909^{**}$)。土壤扰动可提高持水量,长年免耕在干旱年份可能会出现水分不足问题。

土壤含水量、气容量和机械强度三者的变化相互联系。由三个因素决定的小麦生长最佳范围是在水分吸力0.02—0.5巴内,而田间持水量大于塑性限,所以秋季耕作必然导致土壤粘闭。免耕土壤的容重一般在1—1.25g/cm³之间,是稻麦生长的较佳环境,所以水稻土本身存在适合稻麦免耕生产的条件。根据水稻和三麦分别52和23组次对比试验,水稻免耕增产19斤/亩,三麦49斤/亩,均达到极显著水平($p = 0.01$)。平田地区连续三年免耕土壤不恶化,囊水型土壤第二年开始有变差趋势,但产量不减低。免耕有保护土壤结构的作用,但不利于结构发展。

太湖地区农民有传统精耕细作的习惯,是我国重要的粮仓。近十年来乡镇企业迅速发展,因此工农业争劳力的现象十分突出。为了能使工农业生产平衡发展,迫切需要既能节省劳力、又能保护土壤肥力的耕作法。在这一要求下,我们从1977年起就研究了传统耕作的效益和少免耕法的稻麦产量,1981年发表了初步研究结果^[1]。其后,继续研究了少免耕法对土壤的要求及可能会出现的问题,并在不同土壤上进行了适应性试验。本文是继前文[参考文献3]的第二报。

一、稻板土的形成机理及其物理特性

粘质原状土样在渍水或非饱和条件下扰动,它们将分别变成泥浆或粘闭状态,这些状态的土壤水分能量特性有很大的差异(图1)。因颗粒胶结时发生能量固定,当受到扰动则使能量释放,这时水势降低而吸力增加。土粒胶结强度大的土壤,例如犁底层,它的原状土和扰动土的水分能量特性差异也大。在耕作过程中,机具对土壤挤压和土堡沿犁壁移动,都会导致破坏土粒之间的连接,因土壤吸力增加,水分就从四周向这破坏区移动。这时抑制粘土膨胀的能障消失了,于是每个土粒就具有一个较厚的水膜,土粒相互被水膜隔开,而水膜又是粘连土粒的桥,土壤变成均匀的质体,这称为粘闭。雨后人走过的田埂发生泥泞也是这一道理。

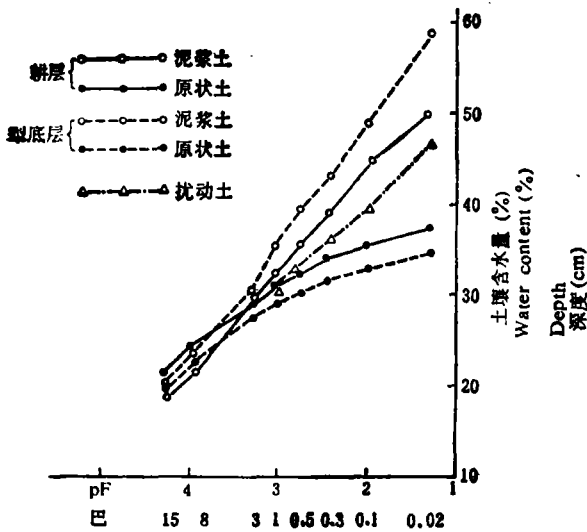


图 1 黄泥土在不同状态下的特征曲线

Fig. 1 Water characteristic curves of permeable paddy soil in different state

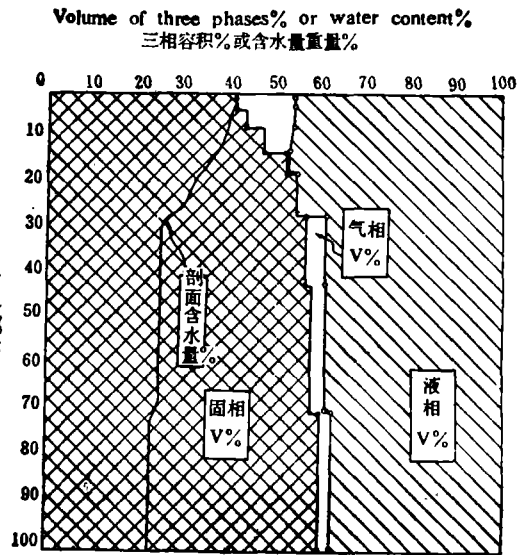


图 2 黄泥土的剖面特征(取样于稻板田, 田间持水量下)

Fig. 2 Profile characteristic of permeable paddy soil in autumn after harvest

土壤粘附性是吸力的函数, 故土壤吸力增加也会降低耕作过程中发生于土壤内部和沿犁壁的土壤滑动, 这将促使耕作工具将大量能量输入土壤, 从而引起土壤结构连锁破坏^[6]。

这是耕作扰动引起水稻土结构破坏和粘闭的主要原因。

春耕时渍水耙耖, 部分土壤分散。黄泥土耕层 < 1 厘米大小的土壤达 22—40%^[2], 通常大土块沉于耕层底部, 淤泥在上部。在淹水还原条件下, 土壤松软部份容易进一步分散^[4], 而紧实的僵土块可保存到秋收。所以耕层下部的土壤容重往往较表土高(图 2)

由耕作和还原产生的粘闭土壤^[4], 结构的恢复必须消除土粒外的水膜^[1], 以便土粒本身重建接触, 以后通过干湿交替作用形成团聚体, 故水稻土在淹水期间不存在发展结构的条件。从图版 I 照片 1 可看出, 结构形态以片状为主, 表土尤为明显, 这是机械作用产生结构的佐证。所以水稻土干燥过程是结构发展的重要条件, 这往往是高平田地区土壤结构较好, 而囊水型土壤结构不好的主要原因。

黄泥土的剖面特征是(图 2): 表土(耕层)容重不超过 1.25 克/厘米³, 而耕层以下发展到 1.50—1.70。犁底层的充气孔隙接近于零, 而以下又达到 2—4%, 这是结构体之间有隙缝存在之故。特别值得注意的是, 底土含水量很低(24—26%), 向上逐渐增高, 到耕作层达 38—42%。看来, 耕作在提高土壤持水量上有很大的作用, 这与图 1 的结果相一致。

根据田间大量观测的数据, 土壤容重和自然含水量有很好的线性关系(图 3)。

当土壤吸力发展到 0.40—0.45 巴, 小麦生长即受到很大抑制^[1], 0.5 巴吸力的含水量可

1) 张佳宝, 1985: 土壤粘闭发生的原因及其对作物生长的影响。南京土壤研究所硕士研究生论文。

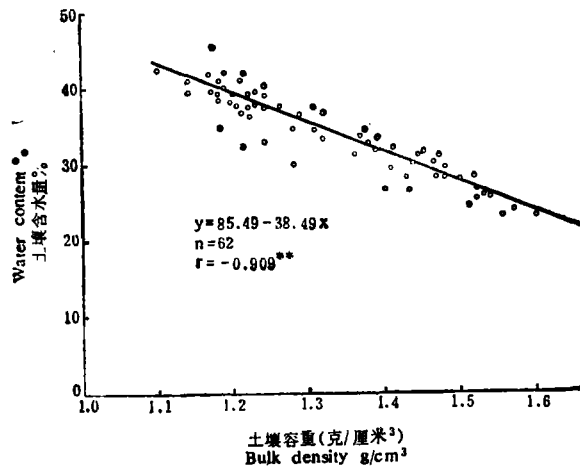


图3 在田间条件下土壤剖面中容重和含水量的关系(根据黄泥土和乌山土的测定资料)

Fig. 3 The relation between moisture content and bulk density at field capacity (permeable and water-logged paddy soils)

作为易效水的下限。根据图 1 和 2 的资料可框算出, 耕层和犁底层的易效水含量分别为 5.5 和 4.5 个百分数。30 厘米以下的水分相当在吸力 3 巴以上, 即使有易效水, 数量一定很少。就是以凋萎点(15 巴)为下限计算, 总有效水量也不过 3—6 个百分数, 其数量之低, 不及西北黄土。紧实的下层土壤, 不饱和导水度也是很低的, 所以土壤水分的给源主要是 30 厘米以上所保持的水分。久晴以后大雨, 底土含水量不过增加 0.8 个百分数。可见, 解决北方旱地干旱的措施之一, 增加土壤湿润层的说法不适用于水稻土。提高水稻土的持水性主要在于降低土壤容重和消除粘粒膨胀的能障。从图 1 可看出, 把原状土形成泥浆后, 在 pF2 时耕层含水量可从 35% 提高到 44%, 而犁底层从 32.5% 提高到 47.5%。

软烂土脱水以后, 再次灌水持水量将比灌水前相同吸力的含水量低。降低的程度随干燥程度而增加。所以土壤田间持水量不仅是与当时状态有关, 还与过去曾经发生过干土的历史有关, 土层中不同部位的土壤在年份之间都会存在水分含量及其有效性的差异。

二、土壤耕种特性

土壤水分特性也是耕种基础。结持界限是表明土壤某一状态的含水量范围, 通常把塑性下限作为宜耕含水量的上限, 如果超过这一含水量耕作, 土壤就会粘闭; 对一定土壤同一茬口的田间持水量是比较稳定的, 但茬口之间差异较大, 塑性下限是常量。我们采用 Archer (1975)^[9]评价旱地土壤耕作性能的方法, 但把恒定的塑性下限作为分母以与田间持水量比较, 以此作为评价水稻土耕种特性的指标, 若

$$\frac{F.C.}{P.L.} > 1, \text{ 耕作特性不好, 愈大愈不好。}$$

$$\frac{F.C.}{P.L.} < 1, \text{ 耕作特性好。}$$

式中 F.C. 和 P.L. 分别是田间持水量和塑性下限。根据多年来田间观测发现, 囊水型

表1 水稻土的耕作特性
Table 1 Cultivated properties of paddy soils

| 土壤 Soil | 采土地点 Site | 质地 Texture | 粘粒含量 % Clay | 有机质% C. O. | 结持度 Consistency | | | 粘粒活度 Clay activity | 0.1巴和0.3巴的含水量与塑限的比值 $\frac{W.C.*}{P.L.}$ | | | |
|--------------|--------------|---------------|-------------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|-----------------------|---|------------|------------------------------|------------|
| | | | | | 流限% L.L.* | 塑限% P. L.* | 塑性指数 P.I.* | | 0.1巴% W. C. in 0.1 bar | 比值 Rate | 0.3巴% W. C. in 0.3 bar | 比值 Rate |
| 黄泥土 0-14 | 无锡,光福 | 轻粘 | 30.90 | 2.79 | 50 | 25 | 25 | 0.81 | 38.47 | 1.54 | 33.96 | 1.36 |
| 黄泥土 1-6 | 无锡,东亭 | 重壤 | 24.80 | 2.99 | 46 | 26 | 20 | 0.83 | 41.79 | 1.61 | 38.40 | 1.45 |
| 黄泥土 7-12 | | | | | | | | — | 35.93 | 1.38 | 33.20 | 1.28 |
| 黄泥土 15-20 | | | | | | | | — | 32.04 | 1.23 | 30.27 | 1.16 |
| 黄泥土 0-14 | 吴县胜浦 | 重壤 | 22.70 | 3.10 | 49 | 28 | 21 | 0.93 | 38.82 | 1.39 | 36.55 | 1.31 |
| 鲜血白土 0-14 | 武进,农科所 | 重壤 | 22.72 | 2.88 | 41 | 24 | 17 | 0.75 | 34.89 | 1.43 | 31.28 | 1.30 |
| 青紫泥 0-14 | 吴江,铜锣 | 重壤 | 20.46 | 3.79 | 53 | 28 | 25 | 1.22 | 42.41 | 1.51 | 38.54 | 1.38 |
| 乌山土 1-6 | 常熟,辛庄 | 重壤 | 17.00 | 3.69 | 48 | 27 | 21 | 1.23 | 38.18 | 1.41 | 36.25 | 1.34 |
| 乌山土 7-12 | | | | | | | | | 39.29 | 1.46 | 35.54 | 1.32 |
| 乌山土 15-20 | | | | | | | | | 32.04 | 1.19 | 30.27 | 1.12 |
| 板浆白土 0-14 | 溧阳,竹簏 | 重壤 | 18.26 | 2.12 | 40 | 23 | 17 | 0.87 | 33.11 | 1.44 | 29.52 | 1.28 |
| 小粉白土 0-14 | 长兴,农科所 | 重壤 | 19.55 | 3.26 | 43 | 26 | 17 | 0.87 | — | — | — | — |
| 白土 | 无锡,八士 | 中壤 | 20.90 | 1.69 | 35 | 28 | 13 | 0.62 | 28.69 | 1.40 | 23.9 | 1.09 |
| 潮砂土 0-14 | 上海宝山 | 重壤 | 16.45 | 2.19 | 37 | 24 | 13 | 0.79 | 29.99 | 1.25 | 25.25 | 1.05 |

* L.L. = Liquid limit, P. L. = plastic limit, P. I. = plastic index, W. C. = water content.

水稻土秋耕时含水量总是接近 0.1 巴,而平田地区有暗管的田块接近于 0.3 巴,所以可用 0.1 或 0.3 巴吸力确定田间持水量。

表 1 是本区主要土壤的分析结果。大部份土壤这比值都大于 1,有粘粒含量愈高这比值愈大的趋势;只有粘粒含量低于 20% 的白土和潮砂土才接近于 1。这比值还随有机质含量的增加而增大,因为有机质使田间持水量增加的量大于塑性限,这从粘粒含量相同的囊水型青紫泥和乌山土与白土比较,或从平田地区的胜浦黄泥土和武进白土的比较,都可看出这种趋势。土壤有机质增加没有显出耕作性能变好的象征。塑性指数和粘粒活度也都随土壤有机质含量的增加而提高,好象有机质会增加土壤表面活性。这些关系显示了水稻土的特殊性。

以上结果表明,秋季耕作不可避免会导致土壤粘闭。

若增加田间排水工程或延期秋耕,土壤含水量也许能降到塑性限以下,但我们将从下面土壤机械特性与含水量的关系中看出,这些努力仍然得不到什么利益。

土壤含水量、空气和机械强度三者是影响小麦生长的三个重要因素,水稻土大于根径的连续孔隙较少,根的生长必须克服土壤强度。这三者的关系随含水量的变化如图 4 所示。其中收缩线和饱和线之间的空间为空气容量,试样是重壤质肥沃黄泥土。

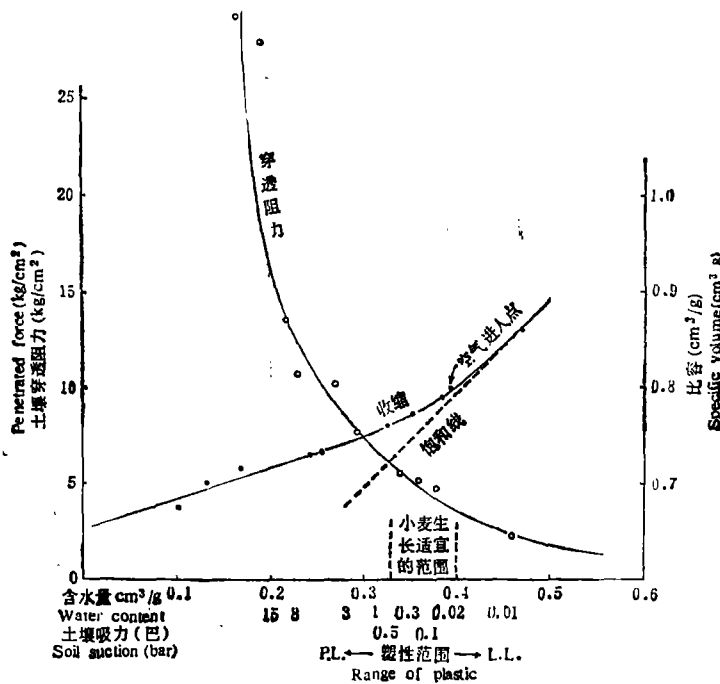


图 4 黄泥土的机械特性与含水量的关系

Fig. 4 The relation between mechanical property and moisture content in permeable paddy soil

当土壤含水量低于 0.4cm³/g 时,机械强度低于 4kg/cm²,吸力低于 0.02 巴,这两者虽适合小麦生长,但充气孔隙度接近于零,显然,这对小麦生长是不利的。含水量降低后,充气孔隙度发展了,当充气孔隙度达到临界值时(10%),土壤吸力为 0.5 巴,机械强度为 6.4

kg/cm²,这时虽土壤通气性已变好,而后两者已进入会影响作物生长的范围。若含水量进一步降低到 0.305cm³/g(这还远高于塑性限),吸力已达 1 巴,机械强度 7.5kg/cm²,这些都到达严重影响根生长的范围,特别是对种子萌发和幼苗生长。可见,即使通过各种途径降低了土壤含水量,土壤耕种性能也有所改善,但是对作物生长不利。所以秋播宜在较高水分条件下进行,而对耕作是不利的。

免耕法和常规耕作的土壤其重要差异是,土壤种稻不烂,容重略高(1.15—1.25 克/厘米³),稻板田土不分散。据此,我们也研究了土壤融烂和紧实度对水稻生长的影响以及土壤紧实度对小麦生长的影响¹⁾,结论是,适合水稻生长的土壤容重是在 1.1—1.25g/cm³之间。只有粘质囊水型土壤有扰散效果。平田地区的土壤,不论肥力高低都没有因土壤融烂而有改善水稻生长的作用。土壤紧实度对小麦生长有影响,可能改变了土壤水分和养分的供应,但在免耕条件下可能有的土壤紧实度不会发生显著影响,即使有的话也可通过改善肥水条件而不发生。

以上结果为免耕法提供了依据。

三、免耕法的效果和问题讨论

从 1977—1985 年在全区不同土壤上进行了大量免耕适应性试验,土壤包括平田地区的黄泥土、青黄泥和白土,囊水型的青紫泥、乌山土和栗子土。水稻和三麦分别有 52 和 23 组次对比试验,结果列于图 5。

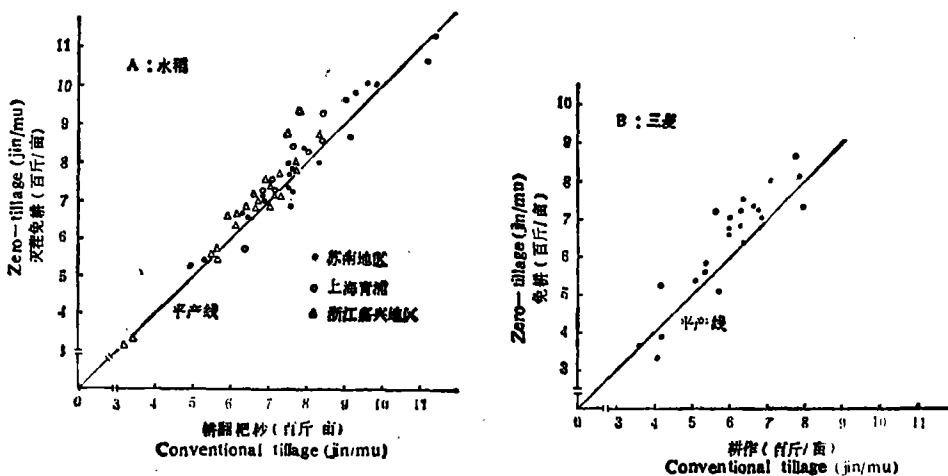


图 5 稻麦耕作和免耕的产量(1977—1985)

Fig. 5 Rice and wheat yield in conventional and zero-tillage (1977—1985)

水稻免耕平均增产 19.2 斤/亩,增产极显著 ($p = 0.01$),中产区和高产地区有少数试点减产,这些多系管理不善所致,如施肥过多或受除草剂药害,免耕水稻有抗台风能力较差的现象。水稻普遍早发穗,中期落黄和后期成熟都较早。

1) 赵诚高,1985:太湖地区合理耕作的土壤基础和免耕法的效果和问题。“六五”国家科技攻关项目论文集(一)。

三麦免耕平均增产 49.1 斤/亩,增产幅度大于水稻,增产也极显著 ($p = 0.01$)。前期有极明显的生长优势。在肥力水平高的土壤上有倒伏发生,减产以低产白土较多。

黄泥土和乌山土上的长期试验表明:连续 2—3 年免耕稻麦均无严重减产事例。但水稻栽秧有困难,目前尚未普遍推广水稻免耕栽培法,小麦免耕种植已发展到播种面积的 90% 以上。

土壤监测表明:连续免耕两年,黄泥土充气孔隙度增加 4%,破裂系数减低 $2\text{kg}/\text{cm}^2$,这在双三制的土壤改善尤其显著,乌山土第一年也有所改善,第二年免耕的优越性已经消失,第三年土壤变板。看来连续免耕的改土效果同土壤氧化还原条件有关。

免耕法的不足是,土壤不能晒垡,底土无干土机会,虽有保护土壤结构的作用,但对结构的发展不利。拖拉机虽能早日下田作业,但降低了土壤有效水量。因水稻土的底土持水量低,地下水向上补给极慢,逢秋季少雨年份,可严重影响种子发芽和生长。当然在雨水多的年份以及为了缓和劳力不足,免耕法的优越性是不可否认的。

参 考 文 献

- [1] 赵诚斋,1984:太湖地区水稻土的耕作问题。土壤,第 16 卷 2 期,58—60 页。
- [2] 赵诚斋,赵渭生,1979:土壤紧实度与土块分配对水稻生长的影响及耕作方法的调节。土壤学报,第 16 卷 3 期,265—276 页。
- [3] 赵诚斋,周正度,董百舒,1981:苏南地区水稻土的合理耕作的研究。土壤学报,第 18 卷 3 期,223—233 页。
- [4] 赵诚斋,赵渭生,1983 年:水稻土的水理性质与土壤耕作的关系。土壤学报,第 20 卷 2 期,140—153 页。
- [5] Archer, J. R., 1975: Soil consistency. Soil Physical condition and crop production. P 289—295. Ministry Agriculture, Fisheries and Food Technical Bulletin
- [6] Koeniges, F. R., 1963: The puddling of Clay Soils. Neth. J. Agric. Sci., 11(2): 145—155.

PHYSICAL PROPERTIES OF PADDY SOILS IN RELATION TO MINIMUM AND ZERO-TILLAGE METHODES IN TAIHU LAKE REGION

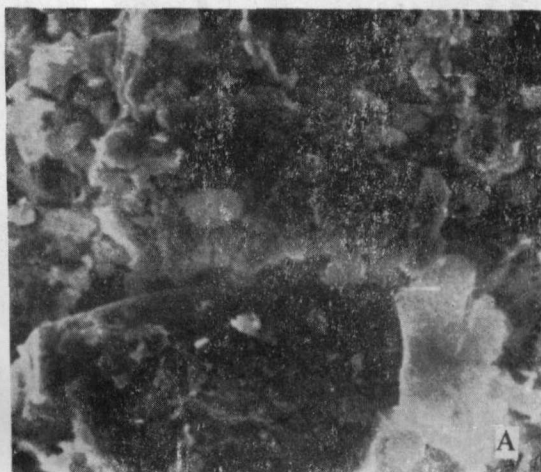
Zhao Chengzhai

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

The present paper deals with the requirements of paddy soils for tillage and through study on the relationship between the physical properties of soil and the growth of crops. Experiment results revealed the great effect of the soil mechanical disturbance on water potential, which indicated that it is a major factor resulting in soil puddling; moisture content and the capacity of effective moisture were higher in topsoil than in subsoil, which shows that soil puddling increases water retention. The linear negative correlation between moisture content and bulk density was statistically significant ($n=62$, $r=-0.909^{**}$). Thus long-term zero-tillage soils can supply insufficient water for crop growth.

The most favorable condition for wheat growth on paddy soil was the soil moisture suction ranging from 0.02 to 0.5 bar. Because field capacity is higher than plastic limit, plowing and pulverizing the soil following rice inevitably leads to soil puddling. The best growth of rice appeared at the bulk densities ranging from 1 to 1.3 g/cm³, which was similar to those after the flooding of the soil of zero-tillage following wheat. Therefore, zero-tillage is suitable for paddy soil under cropping system of rice and wheat. The grain yields of rice and wheat under zero-tillage were increased by 142.5 kg/ha and 367.5 kg/ha, respectively as compared with traditional tillage, according to the results obtained from 52 experiments of rice and 23 experiments of wheat. The physical properties were not deteriorated in permeable paddy soils under zero-tillage for three years and in waterlogged paddy soil for two years.



A. 表土层, 0—3cm



B. 耕层土, 7—12cm

照片 1 黄泥土电子显微镜扫描($\times 1000$)

Photo. 1 The micromorphological features of permeable soil crumb in plowed layer observed under scanning electron microscope ($\times 1000$)