

# 免耕制度下耕作土壤结构演化的 数字图像分析\*

李德成<sup>1,2</sup> B. Velde<sup>2</sup> J. F. Delerue<sup>2</sup> 张桃林<sup>1</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008) (2 Laboratoire de Géologie, CNRS 4385, ENS, 75231 Paris)

**摘 要** 利用数字图像方法, 研究了室内模拟和自然田间免耕下的土壤结构演化状况。图像定性表明随免耕时间的推移土壤中团聚体由小变大, 土体逐渐趋于紧实。图像定量分析结果表明随着免耕时间的推移, 小团聚体和小孔隙减少而大团聚体和大孔隙增加。田间土样的结果表明了自然的阶段性降雨对土壤结构可能具有一定的调节作用, 但从图像与团聚体粒径分布和孔隙孔径分布的变化来看, 免耕是否有利于土壤性质和农业生产尚很难确定。

**关键词** 免耕, 土壤结构, 团聚体粒径分布, 孔隙孔径分布, 数字图像

中图分类号 S152.6

免耕会对土壤某些性质产生一定的影响。国内有关免耕研究主要利用常规物理分析方法进行, 有的认为免耕可以改善土壤结构和土壤排水通气性能, 有的认为免耕可以保护土壤结构但不利于结构发展, 也有的认为免耕会导致土体收缩或导致具有高生物活性的土层变薄<sup>[1~4]</sup>。图像分析技术在西方已被用于研究免耕对土壤结构的影响<sup>[5~13]</sup>, 结论不尽一致。另外研究也主要集中在比较免耕与常规耕作的土壤在孔隙方面的差异, 但对免耕过程中土壤团聚体以及孔隙的演变状况则研究较少。本文利用数字图像方法, 研究了室内模拟免耕状况下和田间免耕状况下土壤团聚体以及孔隙在一个作物生长期内的演变趋势。

## 1 研究方法

### 1.1 供试土壤

选择两类粘粒含量高的耕作土壤: 一是法国中西部 LaT 地区的黑色石灰土(LaT 土样)<sup>[14]</sup>, 用于室内模拟研究; 二是美国 Illinois 州中部 C Thomas 试验农场发育于黄土母质的粉壤质软土(C Thomas 土样)<sup>[15]</sup>, 用于田间试验研究。两类土壤的主要粘土矿物类型均为伊利石/蒙皂石层间矿物, 其中蒙皂石含量均高于 50%。

### 1.2 土样的采集与处理

免耕下在作物生长期影响土壤结构的主要因素为阶段性的自然降雨。两类土样所在地区在作物生长阶段基本均是每隔 10~15 天降雨一次, 每次降雨 2~4 天。阶段性自然降雨作为一种自然干湿交替

\* 国家自然科学基金(No. 49901008)和第一作者的法国政府博士奖学金(No. 19991288)资助项目

收稿日期: 2001-06-30; 收到修改稿日期: 2001-09-06

过程,对土壤结构可能产生一定的影响<sup>[16-20]</sup>。因此,在本研究中主要考虑这一自然因素。

LaT 土样试验方法:将 LaT 土样破碎后(粒径 $< 2\text{cm}$ )装入直径 $6\text{cm}$ 、高 $20\text{cm}$ 的塑料圆筒,底部用两张直径 $10\text{cm}$ 的滤纸封闭,置于盛水器皿中利用毛管作用充分湿润土壤 $12$ 小时,然后沿圆筒上缘加水至高出土表 $2\text{cm}$ ,在土壤达到水分饱和状态后取出放在网架上,至土样完全风干,此为一次模拟自然降雨(约需 $4\sim 6$ 天)。分别设置了 $2$ 次、 $3$ 次、 $7$ 次和 $9$ 次四个模拟自然降雨处理。

C Thomas 土样田间试验:在玉米生长期(5~9月)以 $10\sim 15$ 天的间隔(基本为一次阶段性降雨过程),在土壤较干燥状态下用同一直径的塑料圆筒连续 $10$ 次取样,采样深度为 $15\sim 20\text{cm}$ 。

土样风干后,沿圆筒边缘注入浸渍剂(10V Araldite GY 783 树脂:4V Hardner HY296 固化剂:适量 Epi-Dye 荧光有机染料)至高出土表 $0.5\text{cm}$ ,静止一夜待浸渍剂固化。用电锯每隔 $2\text{cm}$ 或 $3\text{cm}$ 切割土样,所得切面用不加染料的浸渍剂均匀涂抹以强化孔隙部分。在紫外灯( $265\text{nm}$ )照射下进行拍照,所得照片在 $600\text{dpi}$ 的分辨率下扫描输入微机,利用 Photoshop 软件将真彩色图像经过颜色替换处理转换为灰阶图像,再经过图像分割处理转换为二元黑白图像( $4.5\text{cm} \times 4.5\text{cm}$ ,分辨率为 $25\mu\text{m}$  像素 $^{-1}$ ),然后利用 MicroMorph1.3 软件进行相应的图像分析<sup>[14,15,21,22]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 LaT 土样

图1为 LaT 土样4个处理在 $1\text{cm}$ 和 $3\text{cm}$ 两个深度处的图像。图2和表1为对应的团聚体粒径分布与孔隙孔径分布的图像分析结果。

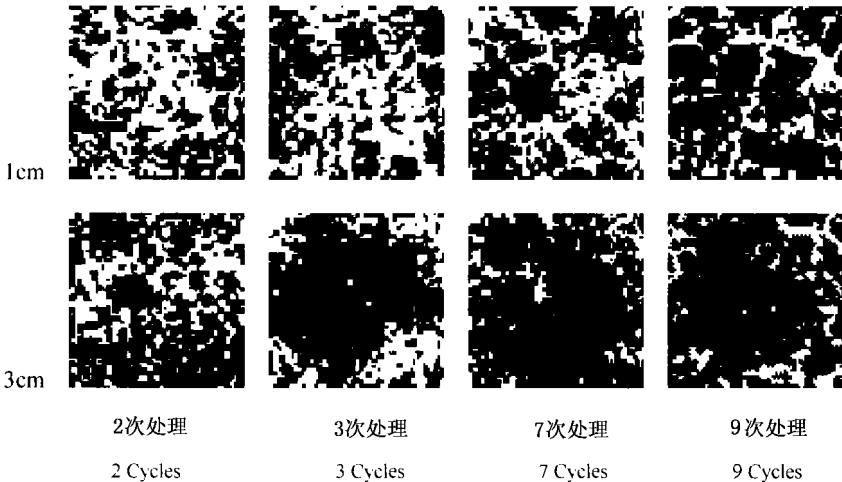


图1 模拟免耕下 LaT 土样在不同处理时的数字图像(白:孔隙,黑:团聚体)

Fig. 1 Digital images of LaT samples treated by simulated non-tillage (white: pores, black: aggregates)

(1) 由图像可以发现,随着深度增加或时间的推移(即处理次数的增加),团聚体由小变大,边缘逐渐模糊,形状也逐渐不规则,孔隙平面分布趋于不均匀,土体逐渐趋于紧实。

(2) 图像分析结果表明,孔隙面积总体上随时间的推移而降低,与 $2$ 次处理相比, $3$ 次和 $9$ 次两个处理,在 $1\text{cm}$ 处孔隙面积降低幅度分别为 $44.60\%$ 和 $34.71\%$ ( $7$ 次处理略增 $0.60\%$ ),在 $3\text{cm}$ 处孔隙面积降低幅度分别为 $24.89\%$ 、 $49.85\%$ 和 $48.81\%$ 。

(3) 团聚体粒径分布和孔隙孔径分布基本类似高斯分布或对数正态分布<sup>[10,14,15]</sup>,这一

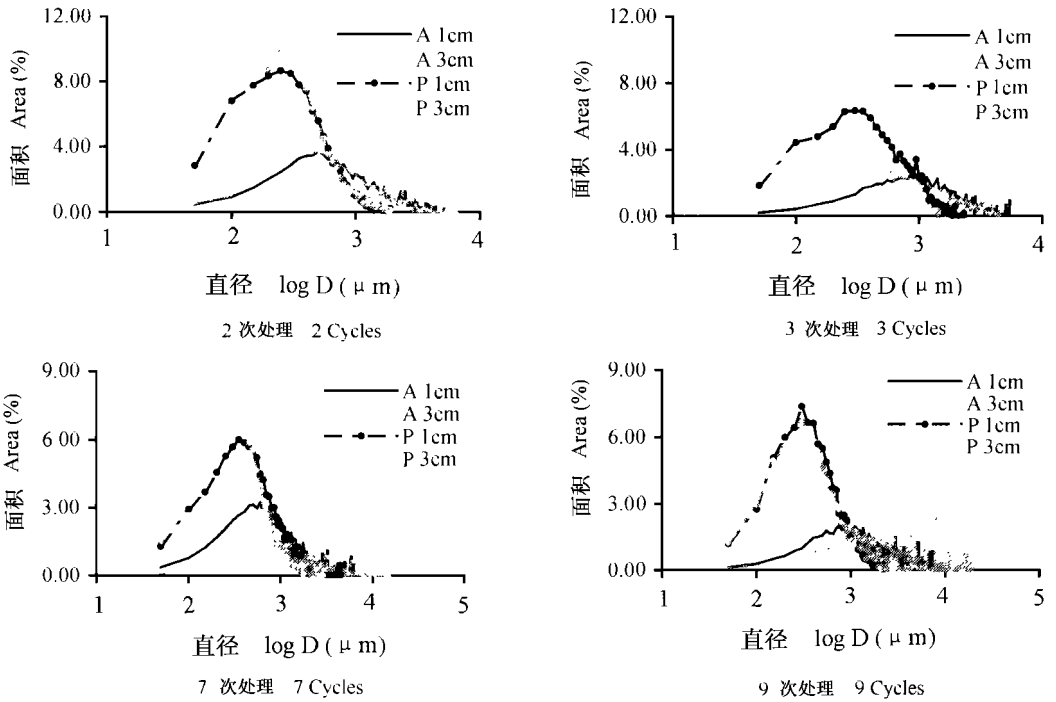


图2 Laif 土样团聚体粒径分布(A)和孔隙孔径分布(P)的图像分析结果

Fig. 2 Analytical results of aggregate (A) and pore (P) size distributions of Laif samples

分布在小粒径区域( $\leq 2\text{mm}$ )或小孔径区域( $\leq 1\text{mm}$ )比较规则,但在大粒径区域( $> 2\text{mm}$ )或大孔径区域( $> 1\text{mm}$ )则变得较不规则。

(4) 同一深度处团聚体粒径分布曲线和孔隙孔径分布曲线的“峰顶”(众数)所对应的粒径( $M_a$ )和孔径( $M_p$ )基本随处理次数增加而增大(右移)。与2次处理相比,3次、7次和9次三个处理  $M_a$  在1cm处分别增大  $300\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$  和  $250\mu\text{m}$ , 在3cm处分别增大  $0\mu\text{m}$ 、 $550\mu\text{m}$  和  $700\mu\text{m}$ , 表明随免耕时间推移小团聚体减少而大团聚体增加;  $M_p$  在1cm处分别增大  $100\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$  和  $50\mu\text{m}$ , 但在2cm处的位移较为复杂,3cm处理减少  $50\mu\text{m}$ ,7cm处理未变,9cm处理增大  $50\mu\text{m}$ , 但总体上表明随免耕时间推移小孔隙减少而大孔隙增加。

表1 免耕下 Laif 土样在1cm和3cm深度处的图像分析结果

Table 1 Image analytical results of Laif samples at 1cm and 3cm depths under non-tillage

指标 Index	2次处理 2 cycles		3次处理 3 cycles		7次处理 7 cycles		9次处理 9 cycles	
	1cm	3cm	1cm	3cm	1cm	3cm	1cm	3cm
孔隙面积(%)	30.65	29.41	25.98	22.09	32.50	14.75	20.01	15.69
$M_a(\mu\text{m})$	500	500	800	500	600	1050	750	1200
$M_p(\mu\text{m})$	250	250	350	200	350	250	300	300

## 2.2 C Thomas 土样

图3为C Thomas 土样在其中5个采样期的2cm和5cm深度处的数字图像。表2是各

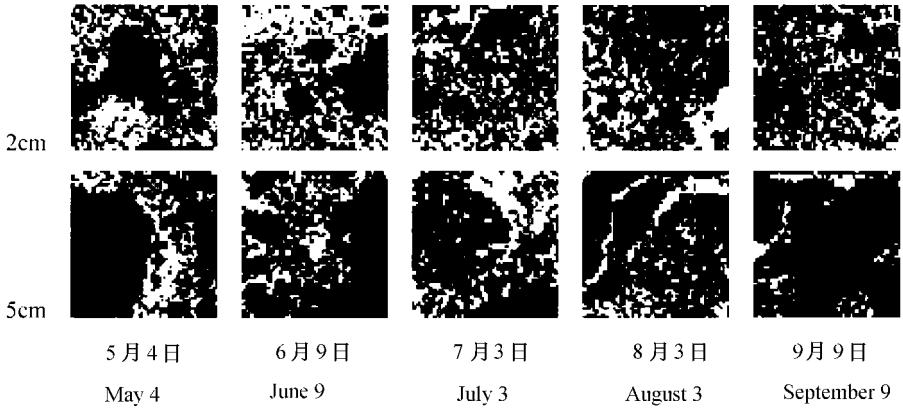


图3 不同免耕阶段 C Thomas 田间土样的数字图像(白:孔隙,黑:团聚体)

Fig.3 Digital images of C Thomas field soil samples under non-tillage (white: pores, black: aggregates)

采样期(免耕时间)土样的孔隙面积分析结果,图4是团聚体粒径分布曲线和孔隙孔径分布曲线的“峰顶”(众数)所对应的粒径( $M_a$ )和孔径( $M_p$ )的图像分析结果。

表2 免耕下 C Thomas 土样的孔隙面积分析结果

Table 2 Changes of pore area of C Thomas soil samples under non-tillage

深度	日期 Date									
Depth (cm)	5/04	5/15	5/26	6/09	6/22	7/04	7/13	8/03	8/23	9/09
2	25.40	30.31	25.14	32.74	22.88	23.44	11.88	26.65	31.59	26.59
5	17.84	8.00	10.66	33.30	23.84	22.54	18.80	39.25	49.26	23.91
8	21.21	5.16	1.34	18.57	1.15	27.61	22.67	19.58	18.19	5.46
11	7.18	2.79	—	2.31	—	2.35	8.95	12.85	11.34	4.27
13	0.59	1.10	—	—	—	—	6.39	—	3.20	—

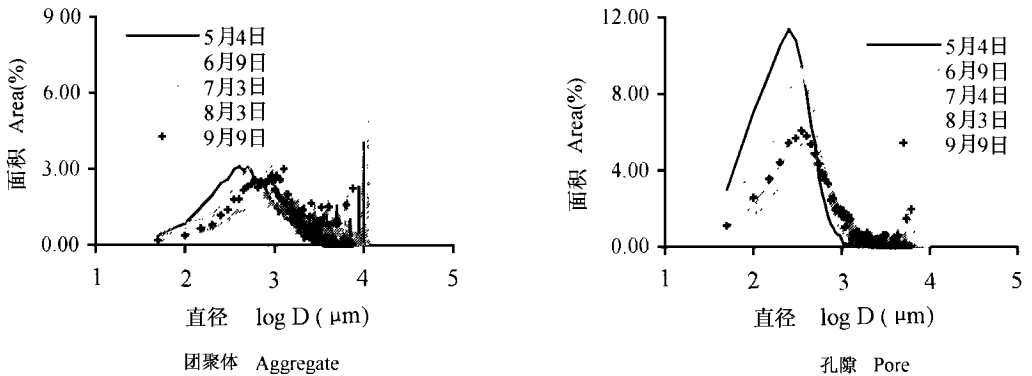


图4 C Thomas 的团聚体粒径分布和孔隙孔径分布图像分析结果(2cm 深度)

Fig.4 Aggregate and pore size distributions of C Thomas field soil sample (2cm depth)

由图像及图像分析结果可以看出:

(1) 随着深度增加,团聚体数量减少,边缘由清晰到模糊,形状由规则到不规则,孔隙

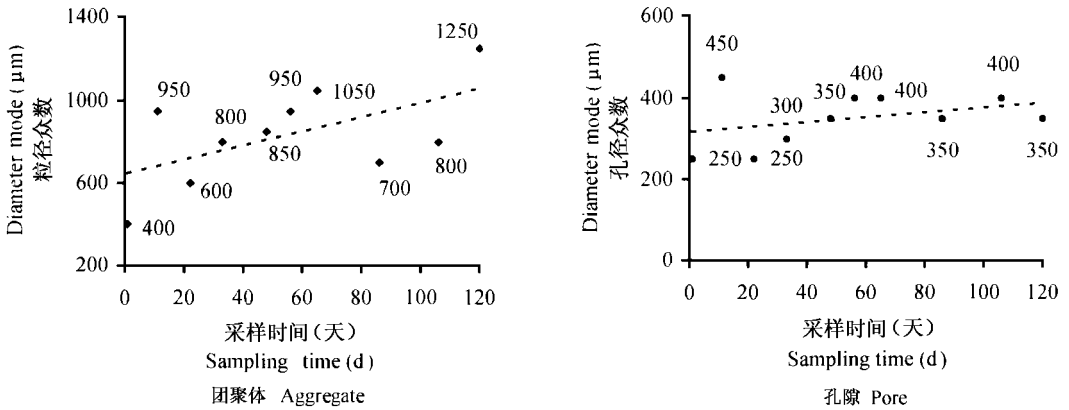


图 5 C Thomas 土样团聚体粒径分布和孔隙粒径分布的  $M_q$  和  $M_p$  的变化(5月4日为第1天)

Fig. 5 Changes of  $M_a$  and  $M_p$  of C Thomas soil samples of non-tillage (May 4-the first day)

平面分布逐不均匀,这与室内模拟试验的图像基本一致;后期土样(8月3日~9月9日)一般在4cm以下出现较宽的裂隙。裂隙的出现一般对土壤中物质的迁移产生一定的影响<sup>[23, 24]</sup>。

(2) 孔隙面积的分析结果(表2)表明:第一,孔隙面积总体上呈现随深度的增加而降低的趋势<sup>[25]</sup>;第二,孔隙在8~13cm深度处就基本观察不到,这明显不同于室内模拟试验(其在13cm深度处的孔隙面积基本仍在10%以上);第三,没呈现类似室内模拟试验的结果,即孔隙面积随免耕时间的推移而逐渐减低,表明自然间断性降雨对孔隙状况可能具有一定的调节作用<sup>[16~20]</sup>。

### 3 结 论

综上所述,可以得出以下基本结论:

1. 图像反映了免耕下土壤中团聚体由小变大,边缘逐渐模糊,形状也逐渐不规则,孔隙平面分布趋于不均匀,土体逐渐趋于紧实。团聚体粒径分布和孔隙孔径分布的众数位移表明免耕下小团聚体和小孔隙减少而大团聚体和大孔隙增加,这可能表明土壤结构趋于变劣。

2. 自然田间土壤在免耕下孔隙面积并未出现类似室内模拟土壤所表现出随免耕时间的推移而降低的趋势,另外在后期的较深层次处出现较宽裂隙,表明了自然阶段性降雨(自然干湿交替)导致田间土壤一直处于膨胀和收缩两种状态,从而不断地改变着孔隙状况,对土壤孔隙起着一定的调节作用。其与室内试验结果的差异可能为试验条件的不同所致。

3. 免耕对土壤性质和农业生产的影响究竟是利是弊一直存在争议。本研究结果虽然表明自然阶段性降雨过程可能对免耕的土壤结构具有一定的调节作用,但从图像及团聚体粒径分布和孔隙孔径分布变化来看,免耕是否有利于土壤性质和农业生产尚难于确定。

## 参 考 文 献

1. 刘世平,庄恒扬,陆建飞等. 免耕法对土壤结构影响的研究. 土壤学报, 1998, 35(1): 33~ 37
2. 赵诚斋. 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕的关系. 土壤学报, 1989, 26(2): 101~ 107
3. McGary D. Soil compaction and cotton growth on a Vertisol. Aust. J. Soil Res., 1990, 28(6): 869~ 877
4. 吴留松,顾宗濂,谢思琴等. 免耕法对土壤微生物和生物活性的影响. 土壤学报, 1992, 29(4): 370~ 376
5. Pgaliai M, La Marca M, Lucamante G. Micromorphometric and micromorphological investigations of clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. J. Soil Sci., 1983, 34(2): 391~ 403
6. Pgaliai M, La Marca M, Lucamante G, *et al.* Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in clay loam soil under viticulture. Soil Tillage Res., 1984, 4(5): 433~ 444
7. Shipitalo M J, Protz R. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. Can. J. Soil Sci., 1987, 67(3): 445~ 456
8. Moran C J, Koppi A J, Murphy B W, *et al.* Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments. Soil Use Manage., 1988, 4(3): 96~ 102
9. Mackie-Dawson L A, Mullins C E, Goss M J, *et al.* Seasonal changes in the structure of clay soils in relation to soil management and crop type. II. Effects of cultivation and cropping at Compton Beauchamp. J. Soil Sci., 1989, 40(2): 283~ 292
10. Singh P, Kanwar R S, Thompson M L. Macropore characterization for two tillage systems using resin impregnation technique. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55(6): 1674~ 1679
11. Drees L R, Karathanasis A D, Wikling L P, *et al.* Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58(2): 508~ 517
12. Pgaliai M, Raghione M, Panini T, *et al.* The structure of two alluvial soils in Italy after 10 years of conventional and minimum tillage. Soil Tillage Res., 1995, 34(4): 209~ 223
13. Miller J J, Kokko E G, Kozub G C. Comparison of porosity in a Chernozemic clay loam soil under long-term conventional tillage and no-till. Can. J. Soil Sci., 1998, 78(4): 619~ 629
14. Velde B. Surface cracking and aggregate formation observed in a Rendzina soil, La Touche (Vienne) France. Geoderma, 2001, 99(3-4): 261~ 276
15. Velde B. Structure of surface cracks in soil and muds. Geoderma, 1999, 93(1-2): 101~ 124
16. Shiel R S, Adey M A, Loddler M. Effects of successive wet/dry cycles on aggregate size distribution in a clay texture soil. J. Soil Sci., 1988, 39(1): 71~ 80
17. Hussein J, Adey M A. Changes of structure and till mellowing in a Vertisol due to wet/dry cycles in the liquid and vapour phases. Euro. J. Soil Sci., 1995, 46(3): 357~ 368
18. Samah A K, Pillai-McGarry U, McGarry D. Repair of the structure of a compacted Vertisol via wet/dry cycles. Soil Tillage Res., 1996(1-2), 38: 17~ 34
19. Hussein J, Adey M A. Changes in microstructure, voids and fabric of surface samples of a Vertisol caused by wet/dry cycles. Geoderma, 1998, 85(1): 63~ 82
20. Pillai U P, McGarry D. Structure repair of a compacted Vertisol with wet-dry cycles and crops. Soil Sci. Soc. Am. J., 1999, 63(1): 201~ 210
21. 李德成, Velde B, Delerue J F, 等. 利用土壤切片和数字图像方法研究土壤孔隙的垂直空间变异性. 土壤与环境, 2000, 9(2): 135~ 138
22. 李德成, Velde B, Delerue J F, 等. 用于研究土壤孔隙三维结构的连续数字图像的制备. 土壤与环境, 2001, 10(2): 108~ 110
23. 区自清, 贾良清, 金海燕等. 大孔隙和优先水流及其对污染物在土壤中迁移行为的影响. 土壤学报, 1999, 36(3): 341~ 347
24. Thomas G W, Philips R E. Consequences of water movement in macropores. J. Environ. Qual., 1979, 8(2): 149~ 152
25. Velde B, Moreau E, Terribile F. Pore networks in an Italian vertisol: Quantitative characterization by two dimensional image

## IMAGE ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF CULTIVATED SOIL STRUCTURES UNDER NON-TILLAGE SYSTEM

Li De-cheng<sup>1,2</sup> B. Velde<sup>2</sup> J. F. Delerue<sup>2</sup> Zhang Tao-lin<sup>1</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

(2 *Laboratoire de Géologie, CNRS 4385, ENS, 75231 Paris*)

### Summary

This paper, by using digital image method, studied the structural development of cultivated soils under non-tillage system with simulated laboratory conditions and natural field conditions. The obtained images qualitatively showed that aggregates in soils became larger, and soil blocks became more compacted under the states of non-tillage. The analytical results of aggregate and pore size distributions clearly showed that smaller aggregates and pores decreased while larger aggregates and pores increased. The results of field soil samples also showed that natural interval rainfall may have a function on adjustment of soil structure, yet it is still uncertain whether non-tillage system is beneficial to soil properties and agricultural production if judged from the soil images and the changes of aggregate and pore size distributions.

**Key words** Non-tillage, Soil structure, Aggregate size distribution, Pore size distribution, Digital image