

不同种植方式对温室土壤微形态的影响^①申思雨^{1,2}, 刘 哲¹, 吕贻忠^{1*}

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2 漯河市农产品质量安全检测中心, 河南漯河 462000)

摘要:以河北曲周长期定位试验站的温室菜田土壤为研究对象, 研究常规种植、无公害种植、有机种植 3 种不同的种植方式对土壤微形态特征的影响。结果表明: 有机种植下, 土壤结构疏松; 土壤团聚体发育良好, 大团聚体数量较多; 有机质含量增加 100%; 土壤孔隙的面积百分比最大, 表层孔隙度达到了 32%, 当量孔径 > 0.1 mm 孔隙比例最高, 即有助于提高通气孔隙含量, 增加土壤的通气性。因此, 有机种植条件下土壤结构疏松、发育良好, 易形成适合作物生长的良好土壤结构; 常规种植条件下, 土壤结构较为紧实, 发育程度较低; 无公害种植条件下, 土壤结构发育程度居于两者之间。

关键词: 土壤结构; 土壤微形态; 温室土壤; 有机种植

中图分类号: S152.2

土壤结构是由各级土壤的组成物质和土壤孔隙形成的三维结构, 是一个多尺度的立体概念, 是土壤中各种过程进行的物理框架^[1]。土壤是地球上最为复杂的生物材料^[2], 对于其结构的研究, 始终是土壤学领域的一个重大难题。

我国有机农业起步于 20 世纪 90 年代, 其核心是建立和恢复农业生态系统的多样性和良性循环, 以促进农业的可持续发展^[3]。国内外学者关于有机种植土壤的研究主要集中在土壤生物多样性、土壤养分、土壤污染等方面^[4-17]。有关土壤结构的研究, 主要集中在土壤体积质量(容重)与团聚体变化方面。研究表明, 有机种植条件下土壤的体积质量显著低于常规农场, 有助于提高土壤孔隙度。通过有机与常规农业对比, 发现有机培肥有助于提高水稳性大团聚体含量, 增加土壤结构稳定性^[18-22]。土壤微形态概念由 Kubiena 于 1938 年提出^[23], 是研究土壤结构发育及变化的重要方法。目前, 对有机栽培条件下土壤微形态研究的较少。我国主要进行农田土壤微形态研究, 包括黑土、红壤、紫色土、水稻土等^[24-31]。关于温室土壤仅有阎立梅和王丽华^[32]、夏艳玲和东野光亮^[33]等进行了不同棚龄下土壤微形态的研究, 缺少对于不同种植方式下土壤微结构的对比研究。本文以河北省曲周县不同种植措施下温室菜田长期定位试验的

土壤为研究对象, 通过对其微结构的定性及定量研究, 以揭示有机种植方式对于土壤微结构的影响。

1 样区概况

试验点位于中国农业大学曲周长期定位试验站 (36°52'N, 115°01'E), 该区暖温带半湿润大陆性季风气候, 年均温 13.1℃, 无霜期约为 210 天, 多年平均降水量 604 mm。温室菜田定位试验始于 2003 年, 设置常规种植、无公害种植、有机种植 3 种种植方式, 小区面积大小: 52 m × 74 m, 约为 0.04 hm²; 每种种植方式设 3 个重复; 种植制度为番茄-黄瓜轮作制。供试土壤为盐化潮土, 黏质壤土, 施肥时间约为每年的 3~5 月, 其中, 不同处理间的施肥方式及施肥量如表 1 所示。

表 1 不同处理施肥方式及施肥量
Table 1 Fertilization methods and the amount of fertilizer used for different treatments

种植方式	肥料类型	养分施入量 (kg/hm ²)
常规种植	化肥	N : 293.8, P ₂ O ₅ : 75.0, K ₂ O : 285.0
无公害种植	有机肥为主, 少量化肥	N : 382.8, P ₂ O ₅ : 154.5, K ₂ O : 565.7
有机种植	有机肥(鸡粪, 堆肥)	N : 471.9, P ₂ O ₅ : 234.0, K ₂ O : 846.3

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571317)、“十二五”支撑计划项目(2012BAD14B01)和环保公益性行业科研专项项目(2013467036)资助。

* 通讯作者(lyz@cau.edu.cn)

作者简介: 申思雨(1992—), 女, 河南新乡人, 硕士研究生, 研究方向为土壤结构。E-mail: ivyshen9213@163.com

2 材料与方法

2.1 土壤样品的采集

常规土样的采集：采用蛇形采样法，在 0~10、10~20、20~40 cm 土层分别进行混合土样的采集，每个处理取 3 个重复。

原状土样的采集：在试验小区内，按“S”形路线选取合适的试验点后，挖土壤剖面。分别在选定的深度(0~10、10~20、20~40 cm)用环刀采集原状土。

2.2 实验分析方法

土壤体积质量(容重)：环刀法^[34]；土壤有机质：重铬酸钾外加热法^[34]；土壤微团聚体：吸管法^[35]。土壤微形态样品的固化参照文献^[36]的固化方法，土壤薄片使用 Nikon LV100 POL 型号偏光显微镜进行观察，使用连接显微镜的尼康数码相机进行拍照，图片大小：2 560 pixel × 1 920 pixel，相当于图片大小：1.10 mm × 0.76 mm，存储为 TIF 格式。在图像处理方面：首先，使用 Photoshop 的阈值工具进行图像二值化处理；其次，使用 Matlab 软件的 imadjust 语句及中值滤波语句进行降噪以及图像增强；最后，使用

imsubtract 语句以及 regionprops 语句的 Area 部分提取图片中孔隙的像素面积，并除以图片总面积即可得到切片中孔隙的面积比。

3 结果与讨论

3.1 不同种植方式对土壤体积质量和有机质的影响

由表 2 数据可知：在 0~40 cm 土层，土壤体积质量大小的变化顺序为有机种植<无公害种植<常规种植。与常规种植相比，有机种植下各层土壤体积质量显著降低；无公害种植条件下，0~10 cm 土层土壤体积质量下降不显著；10~20、20~40 cm 土层土壤体积质量显著降低。说明有机种植具有降低土壤体积质量，疏松土壤，改良土壤结构的作用。

不同种植模式土壤有机质含量在剖面上自上而下均呈下降趋势。不同种植模式土壤有机质含量：有机种植>无公害种植>常规种植。有机种植下，0~10 cm 土层土壤有机质含量达 54.82 g/kg，约为常规种植的 2 倍，各层有机质含量均显著增加；无公害种植下，其表层有机质含量也较高，10~20、20~40 cm 土层，有机质含量增加不显著。说明有机种植方式能够明显增加土壤有机质含量。

表 2 不同种植方式下的土壤体积质量和有机质含量
Table 2 Soil bulk density and soil organic matter content under different planting patterns

土层 (cm)	体积质量 (g/cm ³)			有机质(g/kg)		
	无公害种植	有机种植	常规种植	无公害种植	有机种植	常规种植
0~10	1.33 a	1.28 a	1.17 b	26.83 c	40.46 b	54.82 a
10~20	1.42 a	1.33 b	1.29 b	18.95 b	19.87 b	35.41 a
20~40	1.56 a	1.49 bc	1.45 c	6.75 c	7.24 bc	9.64 a

注：同行不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P<0.05$)(LSD 法)。

3.2 不同种植方式对土壤团聚体的影响

从图 1 可以看出：随着土壤层次的加深，>0.25 mm 的团聚体含量逐渐降低。在 0~10、10~20 cm 土层，<0.05 mm 的微团聚体含量都较高。其中，常规种植下<0.05 mm 的微团聚体含量最高，0.05~0.25 mm 的团聚体含量较低。>0.25 mm 的团聚体含量在有机种

植下最高，无公害种植次之，常规种植最低。有机胶体、有机无机复合物作为土壤团聚体形成的胶结物，是土壤团聚体形成的基础，在有机种植下，表层土壤有机质含量较高，有利于提高土壤大团聚体的含量，提高土壤的结构稳定性。在 20~40 cm 土层土壤中各级团聚体的含量基本相同。

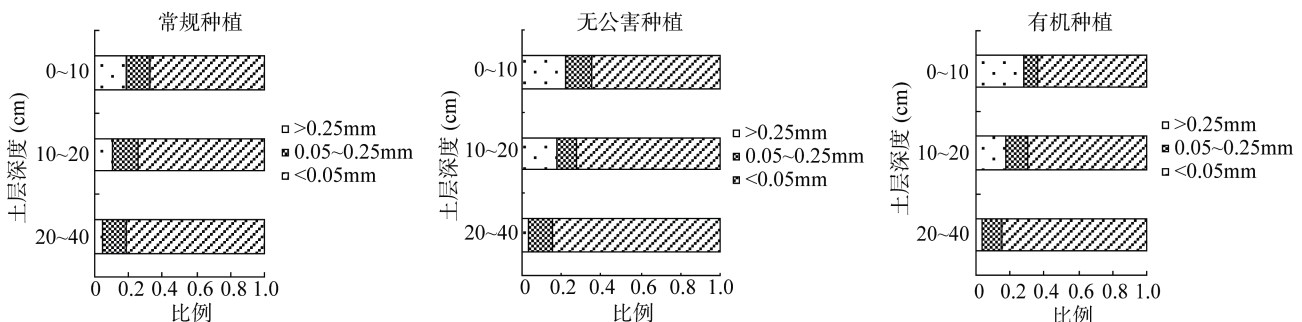


图 1 不同种植条件下土壤团聚体含量

Fig. 1 Soil aggregates under different planting conditions

3.3 不同种植方式对于土壤微形态的影响

土壤微形态描述按照 Stoops^[37]于 2003 年修订的标准进行描述。具体见表 3。

土壤中的矿物种类及其含量主要由母岩决定。根

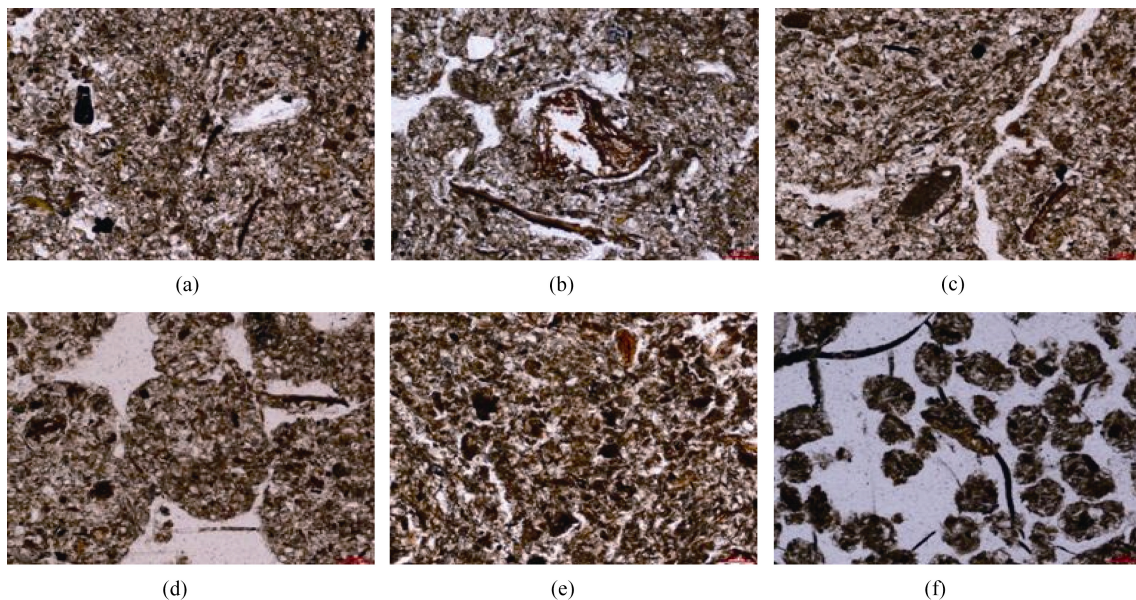
据不同种植方式下土壤切片的观察,不同处理下土壤矿物组成基本相似。切片中的矿物颗粒主要以石英为主,占矿物量的 90% 以上,粒径在 10~100 μm,呈散斑点状分布均匀。此外还有斜长石、云母等存在。

表 3 不同种植方式下土壤微形态特征
Table 3 Soil micro morphological characteristics under different planting patterns

种植方式	土层(cm)	微结构	有机质	孔隙
常规种植	0~10	中度分离棱角状结构	少量植物残体和新鲜生物排泄物	主要为裂隙和简单堆积孔隙,总孔隙度约为 28%
	10~20	棱角状结构	少量的植物根系的横切面和植物残体碎屑	面状孔隙为主,总孔隙度约为 26%
	20~40	弱分离的整块状结构	几乎无新鲜植物残体,有机质较少	孔隙较少
无公害种植	0~10	中度分离棱角状结构和轻度分离的团粒结构	少量植物残体和新鲜生物排泄物及腐熟的有机质	复合堆积孔隙,孔隙呈树枝状,总孔隙度约为 29%
	10~20	团粒结构,一定量的面状和板状结构	有一定的植物残体和新鲜的生物排泄物	复合堆积孔隙和面状孔隙,孔隙度约为 27%
	20~40	轻度分离棱柱状结构,少量团粒结构	几乎无新鲜植物残体,有机质较少	孔道和面状孔隙为主,孔隙度 20%~25%
有机种植	0~10	团粒结构为主	大量有机质和新鲜生物排泄物	复杂堆积孔隙为主,具有囊孔和孔道,总孔隙度 30% 以上
	10~20	中度分离的粒状结构和块状结构	有一定的植物残体和新鲜的生物排泄物及部分腐熟有机质	复合堆积孔隙为主,总孔隙度 28%~30%
	20~40	轻度分离棱角状结构	有少量的植物残体和新鲜的生物排泄物	孔道和面状孔隙为主,孔隙度 25%左右

不同种植方式下土壤微结构发生较大变化,在常规种植下,0~10 cm 土层为中等分离的棱角状结构,团聚体是弱发育的块状团聚体(图 2b),且数量少,土壤结构较紧实(图 2a);土壤中新鲜植物残体及有机质含量较少,有机-无机复合物含量少,且土壤生物活动

痕迹较弱,反映该土壤不利于土壤团聚体的形成;下层土壤结构紧实。在无公害种植下,0~10 cm 土层土壤微结构中度分离棱角状结构和轻度分离的团粒结构(图 2d),团聚体数量增多,土壤结构有所改善,土壤有机质含量有所增加,生物活动痕迹增强,说明在该条



(a: 常规种植下较紧实的土壤结构; b: 常规种植下弱发育的团聚体; c: 无公害种植下较疏松的土壤结构; d: 无公害种植条件下轻度分离的团粒结构; e: 有机种植条件下疏松的土壤结构; f: 有机种植条件下高度分离的团粒结构)

图 2 不同处理下土壤微结构(1.10 mm×0.76 mm)

Fig. 2 Micro structure under different planting conditions

件下,土壤生物活性增强,有机质含量升高;下层土壤的紧实度有所降低,土壤结构较为疏松(图 2c)。在有机种植下,0~10 cm 土层的土壤结构疏松(图 2e),微结构以团粒结构为主(图 2f),发育良好的团聚体数量明显增多,切片中可以观察到大量新鲜有机质和半分解的植物残体,生物排泄物及有机质分解形成的孔道;下层土壤结构也有明显改善。说明使用有机肥有助于发育良好的团聚体的形成,土壤结构发育良好。

3.4 不同种植方式对土壤大孔隙的影响

土壤孔隙是水分、空气、根系、土壤微生物和土壤动物活动的地方,孔隙状况在很大程度上能够反映土壤质量的好坏。本次试验中的土壤孔隙分析主要使用 Photoshop 和 Matlab 软件进行数字图像处理及定量化分析。

3.4.1 土壤切片孔隙的定性化分析 在常规种植下,主要为裂隙和简单堆积孔隙,且 20~40 cm 土层土壤孔隙度较低(表 3)。裂隙和简单堆积孔隙主要出现在结构性较差、肥力较低的土壤上,说明常规种植下,土壤结构性较差,土壤肥效较低。在无公害种植下,土壤结构有了进一步改善,孔隙以复合堆积孔隙为主,各层总孔度有所增加。在有机种植下,孔隙以复杂型堆积孔隙为主,还有面状孔隙、囊孔和孔道等,总孔度增加,0~10 cm 土层孔度达到 32%。即施用有机肥有助于孔隙发育,提高土壤总孔度,改良土壤结构,提高土壤保水能力。

3.4.2 土壤切片孔隙的定量化分析 通过对不同种植方式下土壤总孔隙面积进行分析(表 4)可知:不同深度及处理间土壤总孔隙度变化与土壤体积质量的变化基本一致,但由于分辨率问题,很多非活性孔隙和小毛管孔隙观察不到,导致总孔隙数值偏低。有机种植土壤孔隙面积百分比最高,0~10 cm 土层有

机种植土壤孔隙面积百分比高达约 32%;常规种植的土壤孔隙面积百分比相对都较低,主要因为常规施肥区长年施用化肥,留在土壤中的植物残体较少,土壤有机质含量低,土壤结构体和孔隙发育差,导致孔隙度较低。而在有机种植区,每年有大量的有机物质施入土壤中,使得土壤中的有机质含量增加,微生物和酶的活性相应提高,动物活动也增强,促使土壤结构体和孔隙发育良好,孔隙度较高。

不同种植方式不仅对土壤孔隙面积百分比有影响,而且对孔隙的当量孔径分布也有一定的影响。孔隙可分为三类:小孔隙、中孔隙和大孔隙。小孔隙是指当量孔径<0.02 mm 的孔隙,主要用于储藏土壤水分;中孔隙是指 0.02~0.1 mm 的孔隙,是土壤水分运转的重要通道;大孔隙是指>0.1 mm 的土壤孔隙,是土壤具有良好透气性的基础。由于显微镜的放大倍数及连接相机的分辨率,主要对>0.02 mm 的土壤孔隙进行分析。由表 4 数据可以看出:不同种植方式且不同深度,当量孔径>0.1 mm 的孔隙面积比最大;0.02~0.1 mm 的孔隙较少,而且各个粒级的孔隙度差距较大。不同种植条件下对当量直径>0.1 mm 的孔隙影响较大。有机种植下,0~10 cm 土层当量孔径大于>0.1 mm 的孔隙最多,高达 24.0%,无公害种植的较少,为 20.4%。随着土层的加深,在 20~40 cm 土层,0.02~0.1 mm 的土壤孔隙含量:有机种植>无公害种植>常规种植,即有机种植不仅提高耕层以下土壤大孔隙的比例,也可以提高中孔隙的比例,有利于下层土壤水分的运移,保证土壤的通气性。

4 结论

1) 有机种植下,土壤有机质含量增加显著,且土壤体积质量下降明显,表层土壤体积质量仅为 1.17 g/cm³,即有机质有明显的疏松土壤的作用。

2) 经过 9 年的有机种植,土壤表层结构由中等分离的棱角状结构为主变为团粒结构为主,发育良好的团聚体含量明显增加。即施用有机肥有利于增加土壤团聚体含量,促进团聚结构的发育。有机种植下,土壤中新鲜生物排泄物含量增加,有机质含量增加,有机质形成的团聚体含量增加。

3) 有机种植下的孔隙由简单堆积孔隙为主转变为复杂堆积孔隙为主,土壤孔隙的面积百分比最大,表层孔隙度达到了 32%;且>0.02 mm 的土壤孔隙明显上升,提高了土壤中水分运转速率及土壤的透气性。

表 4 不同种植方式下土壤的孔隙结构特征(%)

Table 4 The characteristics of the soil pore structure under different planting patterns

土层(cm)	孔隙(mm)	常规种植	无公害种植	有机种植
0~10	0.02~0.1	8.9	7.2	6.3
	>0.1	18.4	20.4	24.0
	合计	28.8	28.8	31.6
10~20	0.02~0.1	8.2	7.2	6.2
	>0.1	15.9	18.9	23.3
	合计	25.6	27.4	30.8
20~40	0.02~0.1	6.4	7.9	8.0
	>0.1	17.3	15.1	19.6
	合计	25.0	24.4	29.0

注:由于分辨率限制,<0.02 mm 的孔隙未在表中列出。

参考文献：

- [1] 周虎, 吕贻忠, 李保国. 土壤结构量化研究进展[J]. 土壤学报, 2009, 46(3): 501-506
- [2] Young I M, Crawford J W. Interactions and self- organization in the soil-microbe complex[J]. Science, 2004, 304(5677): 1 634-1 637
- [3] 高振宁. 保护生态环境, 发展有机农业[J]. 农村生态环境, 2001, 17(2): 1-4
- [4] 任天志. 持续农业中的土壤生物指标研究[J]. 中国农业科学, 2000(1): 68-75
- [5] 梁文举, 闻大中. 土壤生物及其对土壤生态学发展的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 137-140
- [6] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 等. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1 027-1 032
- [7] Carter M R. Microbial biomass as an index for tillage-induced changes in soil biological properties[J]. Soil & Tillage Research, 1986, 7(86): 29-40
- [8] Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, et al. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties[J]. Bioresource Technology, 2000, 72(99): 9-17
- [9] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44-46
- [10] 高祥照, 胡克林, 郭焱, 等. 土壤养分与作物产量的空间变异特征与精确施肥[J]. 中国农业科学, 2002, 35: 660-666
- [11] Baldwin D S, Mitchell A M. The effects of drying and re-flooding on the sediment and soil nutrient dynamics of lowland river-floodplain systems: A synthesis[J]. Regulated Rivers Research & Management, 2000, 16(5): 457-467
- [12] Treseder K K, Vitousek P M. Effects of soil nutrient availability on investment in acquisition of N and P in Hawaiian rain forests[J]. Ecology, 2001, 82: 946-954
- [13] 赵沁娜, 徐启新, 杨凯. 潜在生态危害指数法在典型污染行业土壤污染评价中的应用[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2005: 111-116
- [14] 陈晶中, 陈杰, 谢学俭, 等. 土壤污染及其环境效应[J]. 土壤, 2003, 35(4): 298-303
- [15] Morillo E, Romero A S, Maqueda C. Soil pollution by PAHs in urban soils: a comparison of three European cities[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2007, 9(9): 1 001-1 008
- [16] Straalen N M V. Assessment of soil contamination - a functional perspective[J]. Biodegradation, 2002, 13(1): 41-52
- [17] 汪润池. 有机、常规种植方式下土壤有机碳和微生物特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011
- [18] 曹丹. 有机、常规种植方式下土壤特性定位监测及生物肥的调控作用[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [19] Condon L M, Cameron K C, Di H J. A comparison of soil and environmental quality under organic and conventional farming systems in New Zealand[J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2000, 43(4): 443-466
- [20] 耿瑞霖, 郁红艳, 丁维新, 等. 有机无机肥长期施用对潮土团聚体及其有机碳含量的影响[J]. 土壤, 2010, 42(6): 908-914
- [21] 高会议, 郭胜利, 刘文兆, 等. 不同施肥处理对黑垆土各粒级团聚体中有机碳含量分布的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(5): 931-938
- [22] 袁颖红, 李辉信, 黄欠如, 等. 不同施肥处理对红壤性水稻土微团聚体有机碳汇的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2 961-2 966
- [23] Kubiena W L. Micropedology[J]. Soil Science, 1939, 2: 163
- [24] 周虎, 李保国, 吕贻忠, 等. 不同耕作措施下土壤孔隙的多重分形特征[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1 094-1 100
- [25] Zhou H, Li B G, Lv Y Z. Micromorphological analysis of soil structure under no tillage management in the black soil zone of Northeast China[J]. Journal of Mountainence. 2009, 6(2): 173-180
- [26] 东野光亮, 史衍玺, 李贻学. 从微形态特征看砂姜黑土土地资源的利用改良[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 52-54
- [27] 尹秋珍, 郭正堂, 方小敏. 海南砖红壤的微形态特征以及南方网纹红土与砖红壤环境意义的差异[J]. 土壤学报, 2006, 43(3): 353-361.
- [28] 申朝瑞, 庞奖励, 黄春长. 泾河中游古耕作土壤的微形态特征研究[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 273-277
- [29] 何毓蓉, 黄成敏, 徐建忠. 湘赣浙滇川紫色土微形态比较研究[J]. 山地学报, 1996, 14(S1): 9-13
- [30] 何毓蓉, 黄成敏, 宫阿都. 中国紫色土的微结构研究——兼论在 ST 制土壤基层分类上的应用[J]. 西南农业学报, 2002, 15(1): 65-69
- [31] 朱钟麟, 舒丽, 刘定辉, 等. 秸秆还田和免耕对水稻土微形态特征的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 682-687
- [32] 闫立梅, 王丽华. 不同龄温室土壤微形态结构与特征[J]. 山东农业科学, 2004(3): 60-61
- [33] 夏艳玲, 东野光亮. 不同棚龄大棚土壤微形态特征研究[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18(4): 340-342
- [34] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1980
- [35] 龚伟, 颜晓元, 蔡祖聪, 等. 长期施肥对小麦-玉米轮作土壤微团聚体组成和分形特征的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(6): 1 141-1 148
- [36] 中国科学院南京土壤研究所土壤微形态实验室. 用不饱和和聚酯树脂制备土壤薄片的方法[J]. 土壤, 1976(5/6): 329-336
- [37] Stoops G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 19(5): 507-509

Effects of Different Planting Patterns on Soil Micro Structure in Greenhouse

SHEN Siyu^{1,2}, LIU Zhe¹, LV Yizhong^{1*}

(1 *Resource and Environment College, China Agricultural University, Beijing 100193, China;*
2 *Agricultural Product Quality and Safety Testing Center of Luohe, Luohe, Henan 462000, China*)

Abstract: The greenhouse soils under the three different planting patterns from Quzhou County of Hubei Province were used to investigate the effects of planting patterns on soil micro morphological characteristics. Results indicated that the soil matrix and soil aggregates were well-developed and soil organic matters were increased by 100% under the organic planting conditions, compared with conventional cultivation. The organic planting led to the largest soil pore area and soil surface porosity reached 32%. The organic planting also improved the ventilation pore content and increased the ventilation of the soil with the highest pore proportion of >0.1 mm. Under the conditions of conventional cultivation, soil structure was tight and lower developed. Under the conditions of pollution-free cultivation, the development degree of soil structure was bigger than that under the conditions of conventional cultivation, but less than that under organic planting conditions. Therefore, soil structure was loose and well developed under the conditions of organic cultivation for the crop growth.

Key words: Soil structure; Soil micro morphology; Greenhouse soil; Organic planting