

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.035

种植方式对华北平原典型农田土壤微形态特征的影响

孙增慧¹ 韩霁昌¹ 刘哲¹ 吕贻忠²

(1. 陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 西安 710075; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100093)

摘要: 以华北平原曲周 18 年长期定位试验的农田土壤为研究对象, 利用偏光显微镜观察常规种植、无公害种植和有机种植 3 种植方式下的土壤薄片, 研究种植方式对土壤微形态特征的影响。结果表明: 3 种植方式下的土壤和土壤粗颗粒的矿物组合基本一致, 主要由石英和长石组成, 但颗粒的形态和粒径有一定差别; 有机种植下, 土壤表层结构由中度分离的块状和板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, 土壤容重显著下降, 有机质显著增加; 表层土壤容重为 1.19 g/cm^3 , 有机质含量为 22.67 g/kg , 总孔隙度高达 32%。常规种植条件下, 土壤表层结构以中度分离的块状结构为主, 土壤结构较为紧实, 发育程度较低; 表层土壤容重为 1.30 g/cm^3 , 有机质含量为 18.42 g/kg , 表层的总孔隙度为 30%。无公害种植条件下, 土壤表层结构以中度分离的团块状结构和少量的高度分离的粒状结构为主, 土壤结构发育程度居于有机种植和常规种植二者之间。因此, 有机种植条件下土壤结构疏松, 土壤透气性良好, 有利于作物生长。

关键词: 土壤微形态; 土壤结构; 种植方式; 农田土壤; 华北平原

中图分类号: S152.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)05-0282-08

Effect of Planting Patterns on Soil Micro Structure in Typical Farmland of Huabei Plain

SUN Zenghui¹ HAN Jichang¹ LIU Zhe¹ LÜ Yizhong²

(1. Shaanxi Province Land Engineering Construction Group, Xi'an 710075, China)

2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100093, China)

Abstract: Based on an 18-year experiment with different planting patterns in Quzhou County of Huabei Plain, the farmland soils under the conventional cultivation, pollution-free cultivation and organic planting conditions were used to investigate the effects of planting patterns on soil micro morphological characteristics. Soil samples under the three planting conditions were collected and then soil thin sections were made. Soil micro morphological characteristics in soil thin sections were segmented from cross plain light photographs by image analysis. Results showed that the three soils were quite similar in mineral composition under three planting patterns. Their coarse granules were mainly formed of quartz and feldspar, but there was somewhat difference in size and shape of particles. The soil matrix and soil aggregates were well developed and soil organic matters were increased by about 25% under the organic planting condition, compared with conventional cultivation. The organic planting led to the highest soil pore area and soil surface porosity was up to 32%, the bulk density was the lowest with value of 1.19 g/cm^3 and the organic matter was the highest of 22.67 g/kg . Under the conventional cultivation condition, the bulk density of topsoil was 1.30 g/cm^3 , the organic matter was 18.42 g/kg , the soil surface porosity was 30%, and soil structure was tight and under-developed. Under the pollution-free cultivation condition, the development degree of soil structure was bigger than that under the conventional cultivation condition, but it was less than that under organic planting condition. Therefore, soil structure was loose and well developed under the organic cultivation condition for plant growth.

Key words: soil micro morphology; soil structure; planting pattern; farmland soil; Huabei Plain

收稿日期: 2016-08-23 修回日期: 2016-11-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(41571317)、“十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD14B01)、环保公益性行业科研专项(2013467036)和陕西省重点科技创新团队计划项目(2016KCT-23)

作者简介: 孙增慧(1987—),男,工程师,博士,主要从事土地工程和土壤物理研究,E-mail: sunzenghui061@126.com

通信作者: 吕贻忠(1965—),男,教授,博士,主要从事土壤化学研究,E-mail: lyz@cau.edu.cn

引言

土壤结构是不断变化的具有生命力的实体,在其中不断进行着物质和能量的交换过程,其自身也在运动和变化^[1]。土壤的涨缩、分散和团聚等过程不仅是结构变化的过程,也与土壤水、气、热运动和物质转化(如碳和氮)密切相关。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^[2],是地球上最为复杂的生物材料^[3]。对其结构的研究始终是土壤学领域的一个重大难题,而研究土壤微形态是研究土壤特征的一个必不可少的环节。

土地利用可以使土壤理化性质产生一系列的变化^[4-6],不同土地利用方式的土壤微形态特征也会发生改变。土壤微形态特征及其变化规律可以反映土壤形成、发育演变及与环境的关系,这有助于更深入地了解人为因素在改变土壤结构过程中的地位和作用^[1,7-11]。目前土壤微形态研究领域多集中在土壤形成分类的微形态、土壤肥力的微形态、区域土壤的微形态、古土壤微形态和土壤退化的微形态研究等方面^[12]。张晓娜等^[13]研究了北京地区不同土纲典型剖面的土壤微形态特征;何海燕等^[14]对不同土地利用方式下的土壤微形态特征作了对比研究;郑毅等^[15]分析了自然和农业环境土壤微形态形成过程和生态功能;聂胜委等^[16]和庞奖励等^[17]报道了长期施肥和退耕还林对土壤微形态的影响;申思雨等^[18]研究了不同种植方式对温室土壤微形态的影响。

华北平原是我国重要的粮食主产区,但该地区土壤质量下降问题已成为威胁该区粮食生产的一个重要问题^[19-20],而目前从微形态学角度对该地区土壤质量的研究鲜见报道。通过对土壤微形态的研究,可以了解土壤骨骼颗粒、细粒物质、土壤形成物等的形态和土壤颗粒的组配与空间分布、形态、结构,并分析微观形态的发生,从而了解土壤中进行的各种过程以及成土母质矿物与有机体之间的关系^[21-22]。土壤结构对于农田土壤保水保肥至关重要,研究种植方式对土壤微形态特征的影响对农业结构调整、土壤改良有着重要的意义。长期定位施肥试验是研究土壤质量演变的重要方法和手段,能够对土壤质量演变规律与趋势、养分循环与平衡等问题进行系统研究^[23]。因此,本文研究农田土壤中不同种植方式下的土壤微形态,试图从微形态的角度阐明华北平原典型农田中不同种植方式对土壤的影响,以为该区土壤改良及可持续发展提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验点设在中国农业大学曲周长期定位试验站(36°52'N、115°01'E),全区属于暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 13.1℃,年均无霜期 210 d,多年平均降水量 604 mm。根据中国土壤系统分类该地土壤为盐化潮褐土。长期定位施肥试验开始于 1994 年,到 2012 年已进行了 18 年。不同处理间的施肥方式及施肥量见表 1。

表 1 不同处理施肥方式及施肥量

Tab. 1 Fertilization methods and amount of fertilizer used for different treatments

种植方式	施肥方式	养分施入量/(kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
常规种植	单施化肥	235	60	228
无公害种植	施用有机肥加少量化肥	306.2	123.6	452.6
有机种植	施用有机肥处理(鸡粪,堆肥)	377.5	187.2	674.4

1.2 研究方法

1.2.1 采样方法

在长期定位试验田中,于 2012 年 9 月下旬,在 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm 3 个土层分别采集混合土样和原状土样,每个小区设置 3 个重复。在采集和运输过程中尽量减少对土壤的扰动,以免破坏团聚体。

1.2.2 试验分析方法

土壤容重采用环刀法^[24],土壤有机质含量采用重铬酸钾外加热法^[24]。颜色描述、粒度、总有机碳含量(TOC)和 CaCO₃ 含量测定参照文献[25]。土

壤微形态样品的固化参照文献[26]方法,土壤薄片(32 mm×24 mm)在 Leica-DMRX 偏光显微镜下观察,有关微形态参数的定量测量在 SISCIASV 8.0 金相图像处理分析软件下完成。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面特征及理化性质

从剖面实际观察和样品分析结果看,3 个处理下土壤剖面的分异均较清楚,剖面构型也相似,均为 Ap1-Ap2-AB,但各发生层的理化性质存在差异(表 2)。

表2 不同种植方式下土壤剖面特征

Tab.2 Pedological description of soil under different planting patterns

种植方式	发生层	土层深度/ cm	颜色和结构	含水率/ %	CaCO ₃	总有机碳	pH 值	粒度/(g·kg ⁻¹)		
					含量/ (g·kg ⁻¹)	含量/ (g·kg ⁻¹)		50 ~ 2 000 μm	2 ~ 50 μm	0 ~ 2 μm
常规 种植	Ap1	0 ~ 10	浊黄橙, 10YR4/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	13.67	55.7	8.40	7.8	93.2	879.2	27.6
	Ap2	10 ~ 20	浊黄橙, 10YR4/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	15.29	59.2	7.45	8.0	58.1	872.4	69.5
	AB	20 ~ 40	浊黄橙, 10YR5/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 中等数量孔隙	14.58	62.8	6.35	8.0	44.3	919.3	36.4
无公害 种植	Ap1	0 ~ 10	浊黄橙, 10YR7/5, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	14.28	54.4	8.91	7.4	88.3	734.6	177.1
	Ap2	10 ~ 20	浊黄橙, 10YR7/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	16.08	52.8	7.89	7.6	45.7	843.2	111.1
	AB	20 ~ 40	浊橙色, 7.5YR5/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 中等数量孔隙	14.89	59.9	6.84	7.7	76.3	889.3	34.4
有机 种植	Ap1	0 ~ 10	浊黄橙, 10YR7/3, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	14.89	53.8	9.03	7.4	98.2	774.5	127.3
	Ap2	10 ~ 20	浊橙色, 7.5YR7/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	16.78	58.3	8.45	7.8	96.5	783.5	120.0
	AB	20 ~ 40	浊橙色, 7.5YR7/4, 粉砂壤土质地, 团粒结构, 大量孔隙	15.96	60.1	7.21	7.6	128.4	605.6	266.0

注:土壤发生层中,A为淋溶层;B为淀积层;p为经耕作或其他措施扰动的土层;AB为过渡土层。

2.2 种植方式对土壤容重和有机质含量的影响

有机种植较常规种植和无公害种植显著降低了土壤容重(表3)。其中,在0~10 cm土层中,有机种植的土壤容重较常规种植和无公害种植的土壤容重分别降低了8.5%和7.0%;10~20 cm土层中,分别降低了2.6%和2.0%;20~40 cm土层中,分别降低了5.8%和4.6%。说明长期有机种植方式下的

土壤紧实度降低,且表层容重小于底层。

有机种植较常规种植和无公害种植显著增加了土壤有机质含量(表3)。其中,在0~10 cm土层中,有机种植的土壤有机质含量较常规种植和无公害种植有机质含量分别增加了23.1%和15.0%;10~20 cm土层中,分别增加了26.8%和24.4%;20~40 cm土层中,分别增加了18.9%和6.6%。

表3 不同种植方式下土壤容重和有机质含量

Tab.3 Soil bulk density (BD) and organic matter (OM) content under different planting patterns

项目	土层深度/cm	常规种植	无公害种植	有机种植
容重/(g·cm ⁻³)	0 ~ 10	1.30 ^a	1.28 ^a	1.19 ^b
	10 ~ 20	1.51 ^a	1.50 ^a	1.47 ^b
	20 ~ 40	1.55 ^a	1.53 ^a	1.46 ^b
有机质含量/(g·kg ⁻¹)	0 ~ 10	18.42 ^c	19.72 ^b	22.67 ^a
	10 ~ 20	10.67 ^b	10.88 ^b	13.53 ^a
	20 ~ 40	7.08 ^a	7.90 ^a	8.42 ^a

注:数据为3个重复的平均值,同一行数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

2.3 不同种植方式对土壤微形态的影响

2.3.1 种植方式对土壤微结构特性的影响

土壤微形态描述按照STOOPS^[27]于2003年修订的标准进行描述,具体见表4。不同种植方式下土壤微结构发生较大的变化,在常规种植下,上层土壤为中度分离的块状结构和中度分离的板状结构,孔隙类型主要为裂隙和简单堆积孔隙(图1a),孔隙壁相对较粗糙($R = 1.96$),单个孔隙相对较小($D = 10.2 \mu\text{m}$)。土壤中新鲜植物残体及有机质含量较少,

且土壤生物活动痕迹较弱。下层土壤结构紧实,土壤微结构主要类型为弱分离的块状微结构(图1d)和致密的弱分离块状结构(图1g),孔隙壁较粗糙($R = 1.69$),单个孔隙较小($D = 8.7 \mu\text{m}$)。在薄片中没有发现有新鲜的有机质和土壤生物活动的痕迹(图1g),表明该土壤不利于土壤团聚体的形成。

无公害种植下,上层土壤为中度分离的团块状结构和少量高度分离的粒状结构(图1b),孔隙壁相对较光滑($R = 2.14$),单个孔隙相对较大($D =$

表 4 不同种植方式下土壤微形态特性

Tab. 4 Soil micro morphological characteristics under different planting patterns

种植方式	土层深度/ cm	微结构	有机质和土壤生物	孔隙类型
常规种植	0~10	中度分离的块状结构和中度分离的板状结构	少量新鲜植物残体	主要为裂隙和简单堆积孔隙, $R = 1.96, D = 10.2 \mu\text{m}$, 孔隙度 30.00%
	10~20	弱分离的块状结构	少量新鲜植物残体, 土壤生物活动也较少	主要为简单堆叠孔隙、面状孔隙和孔洞结构, $R = 1.87, D = 9.3 \mu\text{m}$, 孔隙度 27.01%
	20~40	致密的弱分离的块状结构	几乎无新鲜植物残体和土壤生物活动痕迹	主要为孔道和孔洞, $R = 1.69, D = 8.7 \mu\text{m}$, 孔隙度 25.91%
无公害种植	0~10	中度分离的团块状结构和少量高度分离的粒状结构	一定量新鲜植物残体和土壤生物活动痕迹	主要为面状孔隙和复合堆叠孔隙, $R = 2.14, D = 14.5 \mu\text{m}$, 孔隙度 30.36%
	10~20	中度分离的块状结构和中度分离的板状结构	少量新鲜植物残体和土壤生物活动痕迹	主要为面状孔隙和孔道, $R = 2.03, D = 11.9 \mu\text{m}$, 孔隙度 27.64%
	20~40	弱分离的块状结构, 少量板状结构	少量未完全分解的植物残体	主要为孔道、面状孔隙和孔洞, $R = 1.98, D = 9.7 \mu\text{m}$, 孔隙度 25.10%
有机种植	0~10	比较松散的团粒状结构	大量新鲜植物残体, 一定量土壤生物排泄物, 土壤生物活动的痕迹明显	主要为复合堆叠孔隙和面状孔隙, $R = 2.46, D = 16.4 \mu\text{m}$, 孔隙度 31.73%
	10~20	中度分离的团粒状结构和中度分离棱角块状结构	一定量新鲜有机质和土壤生物活动的排泄物	主要为堆集性孔隙、面状孔隙和孔道, 孔道内有小团体, $R = 2.23, D = 14.7 \mu\text{m}$, 孔隙度 29.24%
	20~40	中度分离的次棱角块状结构和一定量的团粒结构	少量土壤生物活动的痕迹和未完全分解的植物残体	主要为面状孔隙、孔洞和孔道, $R = 2.12, D = 11.3 \mu\text{m}$, 孔隙度 27.08%

注: R 为孔隙壁光滑的程度; D 为与孔隙面积相等的圆的直径, μm 。

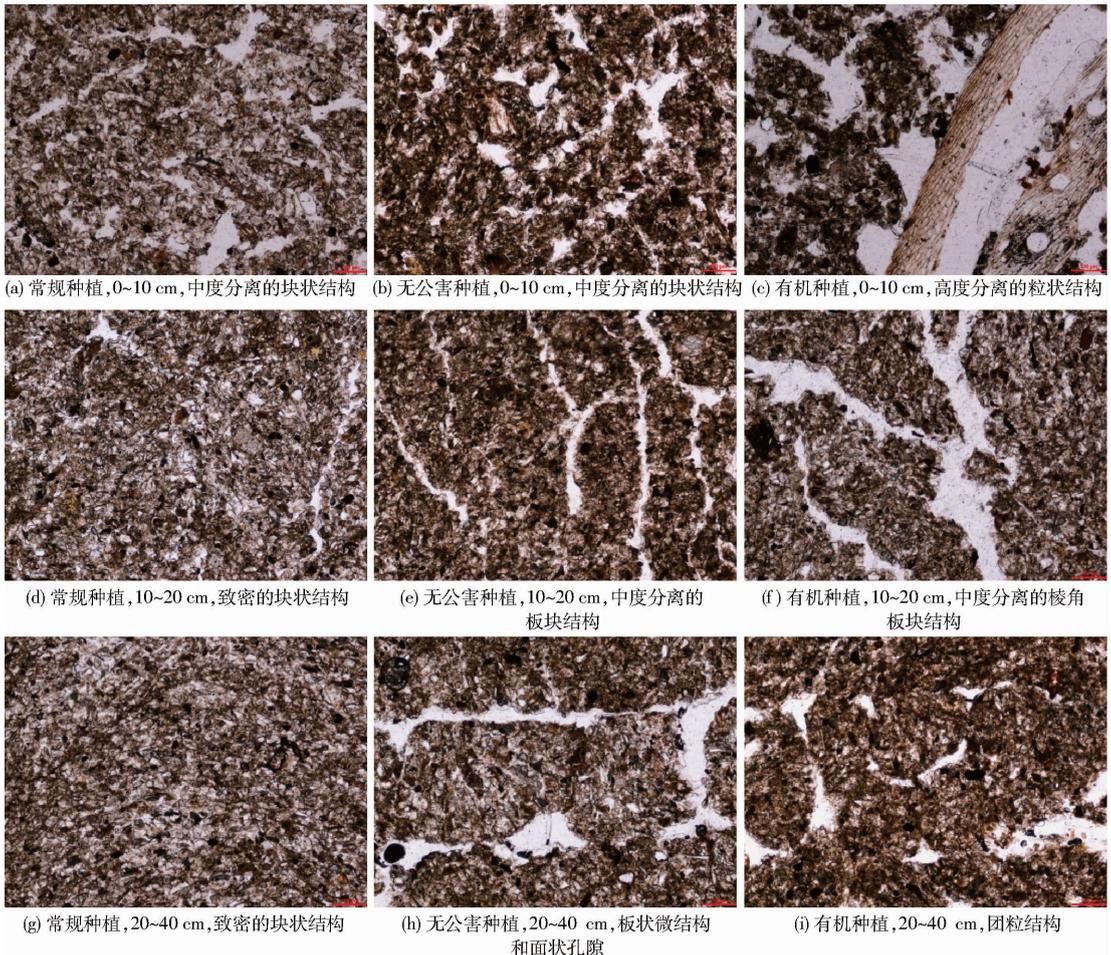


图 1 不同种植方式下土壤微结构特征 (图像尺寸: 1.10 mm × 0.76 mm)

Fig. 1 Micro structure characteristics under different planting conditions

11.9 μm), 土壤中有少量的新鲜植物残体和土壤生物活动的痕迹。下层土壤微结构主要类型为中度分离的块状微结构和中度分离的板状微结构(图 1e)和弱分离的块状结构和少量的板状微结构(图 1h), 孔隙壁相对较粗糙($R = 1.98$), 单个孔隙相对较小($D = 9.7 \mu\text{m}$)。说明在该条件下, 土壤生物活性增强, 有机质含量升高。

有机种植下, 上层土壤结构主要为比较松散的团粒状结构, 孔隙壁较光滑($R = 2.46$)单个孔隙较大($D = 16.4 \mu\text{m}$), 新鲜的植物残体含量较大, 在新鲜的植物残体附近可以看到一些土壤生物的排泄物, 也观察到土壤生物活动的痕迹(图 1c)。下层土壤微结构主要类型是中度分离的团粒状结构和中度分离棱角块状微结构, 也可以观察到一定量的新鲜有机质和土壤生物活动的粪便(图 1f), 孔隙壁相对较光滑($R = 2.12$), 单个孔隙相对较大($D = 11.3 \mu\text{m}$), 在 20~40 cm 土层中也观察到少量土壤生物活动的痕迹和未完全分解的植物残体(图 1i)。

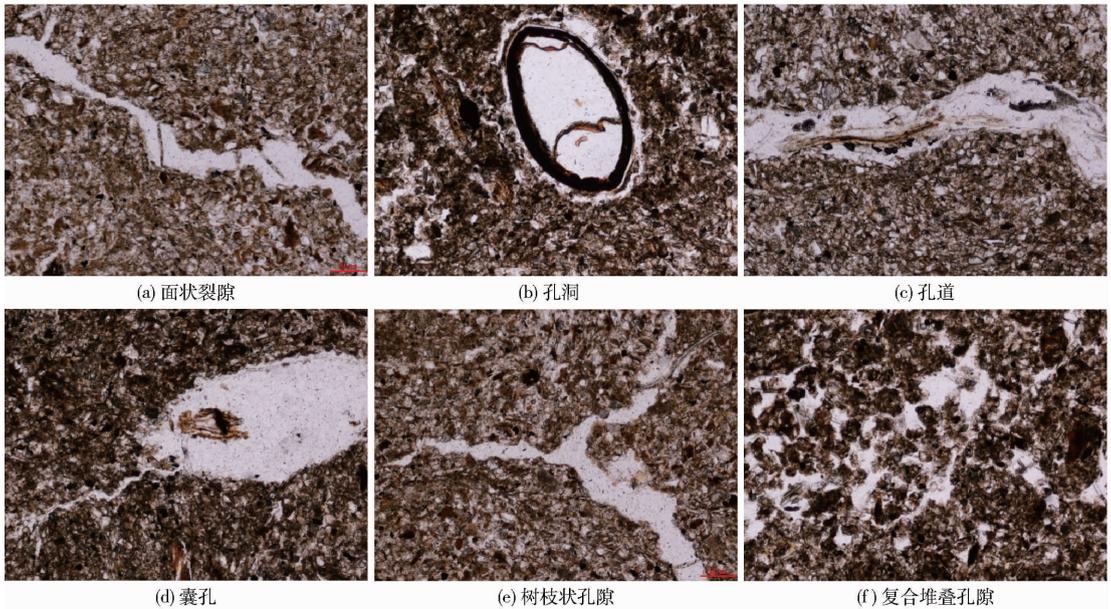


图2 土壤孔隙类型的微形态特征(图像尺寸:1.10 mm × 0.76 mm)

Fig.2 Morphological characteristics of soil gap type

在 0~40 cm 土层中有机种植孔隙度最高, 约为 28%~32%; 无公害种植次之, 约为 26%~31%; 常规种植最低, 约为 26%~30% (表 4)。与申思雨等^[18]在温室土壤中所得出的结果相似。这主要是由于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。有机种植中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。而且 3 种处理中的孔隙面积百分比都是随着深度的增

说明在该种植方式下有助于发育良好的团聚体的形成, 土壤结构发育良好。

显微镜下观察到的有机质主要是植物残体、腐殖质凝团和蚯蚓粪粒。3 种处理中有机质种类基本相似, 但数量上有差异。土壤有机质主要来源于植物、土壤生物残体和动物的排泄物, 排泄物与土壤中生物活动和生物量有着直接的关系^[17]。有机种植中有相对较多的蚯蚓粪粒, 且有较高的总有机碳(表 2), 说明有机种植中生物活动较其他种植方式活跃强烈。这可能是因为有机种植中施入较多的有机肥, 有利于土壤生物的生存和繁殖, 因而造成了土壤微结构的差异。

2.3.2 种植方式对土壤孔隙类型的影响

常规种植下的土壤面状裂隙(图 2a)、简单堆集性孔隙较多。无公害处理的土壤切片孔隙(图 2b)、孔道(图 2c)、树枝状孔隙较多, 囊孔(图 2d)和复合堆集性孔隙相对较少。有机肥处理的土壤切片中树枝状孔隙(图 2e)和复合堆集性孔隙(图 2f)较多, 孔道和孔洞次之, 裂隙和根孔较少。

加而逐渐减小, 这可能是由于人为耕作的影响。

2.4 种植方式对土壤粗颗粒分布特征的影响

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。主要以石英、长石、云母为主, 粗粒物质主要是石英。星散斑点状均匀分布着大量石英颗粒(图 3a), 边缘不规则, 棱角突出; 也有少量粒径较大的石英颗粒(图 3b); 还观察到橄榄石(图 3c)和斜长石(图 3d), 橄榄石出现在岩屑中的频率比在基质中的频率高; 在土壤切片中还发现有少量的岩屑(图 3e)和黄铁矿(图 3f)。岩屑呈椭圆

形或圆形,边缘很平滑,岩屑中间往往有边缘不规则的石英。黄铁矿在正交偏光下呈现黄铜色,具有金属光泽。

3 个处理的粗颗粒形态有明显差异(表 5)。0~40 cm 土层中粗颗粒的平均粒径由小到大排序均为:有机种植、无公害种植、常规种植;球度平均值由小到大排序为:有机种植、无公害种植、常规种植;圆度平均值由小到大排序为:常规种植、无公害种植、有机种植。常规种植仅在 20~40 cm 土层有明显定向性,值为 57.89%;无公害种植仅在 20~40 cm 土层有弱的定向性,值为 49.62%。孔隙的形

状和数量在一定程度上反映土壤结构的改良程度、土壤变异程度和土壤水分运动的状态^[28]。在 0~10 cm、10~20 cm 和 20~40 cm 土层中,常规种植下的矿物面积百分比要低于无公害种植和有机种植。在常规种植下矿物面积百分比变化范围为 12%~18%,无公害种植下变化范围为 17%~22%,有机种植下变化范围为 17%~21%。这可能由于常规种植下,土壤中的有机质含量和酶活性都较低,土壤微生物和土壤动物活性也较低,作物根系生长受到一定的影响,根系分泌物减少,对矿物的风化和土壤的发育产生了一定的影响。

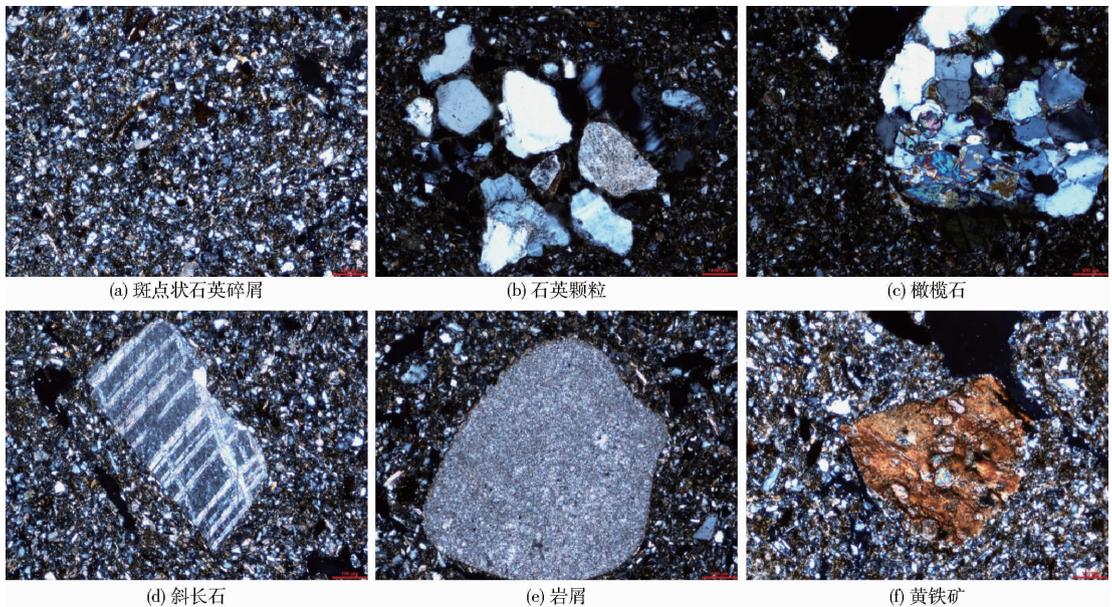


图 3 土壤矿质组分微形态特征(图像尺寸:1.10 mm × 0.76 mm)

Fig. 3 Morphological characteristics of soil mineral component

表 5 不同种植方式下土壤粗颗粒特征

Tab. 5 Features of coarse particles of soil under different planting patterns

种植方式	土层深度 /cm	颗粒数	矿物组合					平均粒径 /μm	球度		定向性 /%	圆度	
			Q + Fs	Mica	Ol	Py	Op		平均值	最大值		平均值	范围
常规种植	0~10	5429	90	+	-	+	++	33	2.376	12.081	36.89	1.960	1.156~14.597
	10~20	4682	92	+	-	+	++	34	2.072	10.893	34.32	1.891	1.134~10.655
	20~40	6983	93	++	±	+	++	38	2.476	13.933	57.89	1.723	1.181~9.469
无公害种植	0~10	4876	89	+	-	+	+	28	2.136	11.894	33.32	2.347	1.200~16.237
	10~20	4006	90	+	-	+	++	32	1.934	9.234	36.72	2.083	1.189~14.478
	20~40	5423	93	+	±	+	++	35	2.248	11.673	49.62	1.893	1.134~11.378
有机种植	0~10	4003	85	+	-	+	+	28	2.034	8.934	31.22	2.914	1.246~18.125
	10~20	3478	87	+	+	+	+	28	1.884	6.347	30.28	2.467	1.214~15.587
	20~40	4923	86	+	±	+	++	33	2.126	9.356	28.34	2.213	1.199~13.583

注:颗粒数,土壤薄片参与统计的粗颗粒数;矿物组合中:Q,石英;Fs,长石;Mica,云母;Ol,橄榄石;Py,黄铁矿;Op,不透明矿物。++表示含量为 2%~4%;+表示含量为 1%~2%;±表示含量小于 1%;-表示含量为未见或缺少;球度,粗颗粒长与宽的比值;定向性,长轴与水平夹角为 0°的颗粒所占的比例;圆度,粗颗粒边沿圆滑的程度。

土壤中不稳定矿物的含量与其受到的风化程度有关,受到土壤含水率及运移过程、土壤温度、土壤生物、pH 值等土壤内部条件的制约^[29]。3 个处理的土壤在未进行长期定位试验前,土地的利用方式

基本一致,作物品种、施肥类型、土壤翻耕的方式和强度都相同。显然,3 种处理土壤粗颗粒的差异主要归因于施肥类型不同。由于有机种植长期施用有机肥,土壤比较疏松,土壤环境和生物活动等条件更

有利于矿物的风化和分解,即有利于颗粒变小变圆。因此,有机种植下粗颗粒形态特征参数的分异程度降低(表5)。

3 结论

(1)有机种植下,土壤容重显著下降,表层土壤容重仅为 1.19 g/cm^3 ,且土壤有机质含量增加显著,表明有机种植方式有利于显著疏松土壤。

(2)3种种植方式中土壤粗颗粒的矿物组合基本一致,主要由石英和长石组成。经过长期的有机种植,土壤表层结构由中度分离的块状和板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,且土壤中新鲜生物排泄物含量增加。施用有机肥有利于增加土壤团聚体含量,促进团聚体结构的发育。

(3)有机种植下的孔隙由简单堆积孔隙为主转变为复合堆叠孔隙和面状孔隙为主,孔隙壁较光滑, R 范围为 $2.12 \sim 2.46$,单个孔隙较大、 D 范围为 $11.3 \sim 16.4 \mu\text{m}$;与常规种植相比,无公害种植和有机种植均明显的提高了孔隙壁的光滑度和单个孔隙的直径。有机种植下的土壤孔隙面积百分比要大于常规种植和无公害种植,表层的总孔隙度高达 32% 。因此长期有机种植条件下,土壤的结构疏松、透气性良好,有利于作物生长。

参 考 文 献

- 1 COSTANTINI E, PELLEGRINI S, VIGNOZZI N, et al. Micromorphological characterization and monitoring of internal drainage in soils of vineyards and olive groves in central Italy[J]. *Geoderma*, 2006, 131(3-4): 388-403.
- 2 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.
ZHOU Hu, LÜ Yizhong, LI Baoguo. Advancement in the study on quantification of soil structure[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(3): 501-506. (in Chinese)
- 3 YOUNG I M, CRAWFORD J W. Interactions and self-organization in the soil-microbe complex[J]. *Science*, 2004, 304(5677): 1634-1637.
- 4 阿迪力·吾彼尔,袁素芬,赵万羽. 准噶尔盆地新建防护林对林下土壤理化性状的影响[J]. *干旱区地理*, 2007, 30(3): 420-425.
GOPUR Adil, YUAN Sufen, ZHAO Wanyu. Effects of newly-constructed shelterbelt on soil physical and chemical properties in Junggar basin, Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*, 2007, 30(3): 420-425. (in Chinese)
- 5 王增丽,冯浩,方圆. 麦秸预处理方式对黄绵土结构及低吸力段持水性的影响[J/OL]. *农业机械学报*, 2012, 43(7): 56-62,72. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20120710&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.010
WANG Zengli, FENG Hao, FANG Yuan. Effect of pretreated wheat straw on soil aggregate and water-holding capacity within low suctions in loess soil[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(7): 56-62,72. (in Chinese)
- 6 王志超,李仙岳,史海滨,等. 农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J/OL]. *农业机械学报*, 2015, 46(5): 101-106, 140. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150515&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.05.023
WANG Zhichao, LI Xianyue, SHI Haibin, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(5): 101-106, 140. (in Chinese)
- 7 LIMA H V, SILVA A P, SANTOS M C, et al. Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil)[J]. *Geoderma*, 2006, 132(3-4): 416-426.
- 8 PANG J, HU X, HUANG C, et al. Micromorphological features of old cultivated and modern soils in Guanzhong Areas, Shaanxi Province, China[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(9): 691-699.
- 9 USÓN A, POCH R M. Effects of tillage and management practices on soil crust morphology under a Mediterranean environment[J]. *Soil and Tillage Research*, 2000, 54(3-4): 191-196.
- 10 王殿武,刘树庆,文宏达,等. 高寒半干旱区春小麦田施肥及水肥耦合效应研究[J]. *中国农业科学*, 1999, 32(5): 62-68.
WANG Dianwu, LIU Shuqing, WEN Hongda, et al. Study of the effect of fertilizer application and water-fertilizer coupling on spring wheat field in cold highland-semiarid region[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1999, 32(5): 62-68. (in Chinese)
- 11 谭德水,金继运,黄绍文,等. 不同种植制度下长期施钾与秸秆还田对作物产量和土壤钾素的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(1): 133-139.
TAN Deshui, JIN Jiyun, HUANG Shaowen, et al. Effect of long-term application of K fertilizer and wheat straw to soil on crop yield and soil K under different planting systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(1): 133-139. (in Chinese)
- 12 秦鱼生,涂仕华,王正银,等. 长期定位施肥下紫色土土壤微形态特征[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(1): 352-356.
QIN Yusheng, TU Shihua, WANG Zhengyin, et al. Micro-morphological features of a purple soil under different long-term fertilizer treatments[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 352-356. (in Chinese)
- 13 张晓娜,王数,王秀丽,等. 北京地区不同土纲典型剖面的土壤微形态特征[J]. *土壤*, 2016, 48(3): 565-573.

- ZHANG Xiaona, WANG Shu, WANG Xiuli, et al. Micromorphological characteristics of typical profiles in different soil orders in Beijing area[J]. *Soils*, 2016, 48(3): 565–573. (in Chinese)
- 14 何海燕,张丹,张瑜,等. 不同土地利用方式下黑土土壤微形态特征研究[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(4): 883–890.
HE Haiyan, ZHANG Dan, ZHANG Yu, et al. Study of black soil micromorphological characters in different land-use type at Heilongjiang Province[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 29(4): 883–890. (in Chinese)
- 15 郑毅,张福锁. 土壤结构和耕作对根际微生态系统的影响[J]. *云南农业大学学报*, 2003, 18(2): 193–197.
ZHENG Yi, ZHANG Fusuo. Effects of soil structure and tillage on the rhizospheric micro-ecosystem[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2003, 18(2): 193–197. (in Chinese)
- 16 聂胜委,黄绍敏,张水清,等. 长期定位施肥对土壤效应的研究进展[J]. *土壤*, 2012, 44(2): 188–196.
NIE Shengwei, HUANG Shaomin, ZHANG Shuiqing, et al. Effects of long-term located fertilization on soils: a review[J]. *Soils*, 2012, 44(2): 188–196. (in Chinese)
- 17 庞奖励,郭美娟,邱海燕,等. 关中东部地区退耕还林对土壤微形态的影响研究[J]. *土壤学报*, 2009, 46(2): 210–217.
PANG Jiangli, GUO Meijuan, QIU Haiyan, et al. Effect of ‘grain for green’ on micromorphological features of the soil in east Guanzhong region[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(2): 210–217. (in Chinese)
- 18 申思雨,刘哲,吕貽忠. 不同种植方式对温室土壤微形态的影响[J]. *土壤*, 2016, 48(2): 355–360.
SHEN Siyu, LIU Zhe, LÜ Yizhong. Effects of different planting patterns on soil micro structure in greenhouse[J]. *Soils*, 2016, 48(2): 355–360. (in Chinese)
- 19 邢鹏飞,高圣超,马鸣超,等. 有机肥替代部分无机肥对华北农田土壤理化特性、酶活性及作物产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(3): 98–104.
XING Pengfei, GAO Shengchao, MA Mingchao, et al. Impact of organic manure supplement chemical fertilizer partially on soil nutrition, enzyme activity and crop yield in north China Plain[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2016(3): 98–104. (in Chinese)
- 20 张贝尔,黄标,张晓光,等. 近30年华北平原粮食主产区土壤肥力质量时空演变分析——以山东禹城市为例[J]. *土壤*, 2012, 44(3): 381–388.
ZHANG Beier, HUANG Biao, ZHANG Xiaoguang, et al. Evaluation of soil fertility quality variation during past 30 years in a major grain-producing region of the North China Plain—a case study of Yucheng County [J]. *Soils*, 2012, 44(3): 381–388. (in Chinese)
- 21 曹升赓. 土壤微形态[J]. *土壤*, 1980(4): 155–161.
- 22 RASA K, EICKHORST T, YLI-HALLA M, et al. Structure and pore system in differently managed clayey surface soil as described by micromorphology and image analysis[J]. *Geoderma*, 2012, 173–174: 10–18.
- 23 沈善敏. 长期土壤肥力试验的科学价值[J]. *植物营养与肥料学报*, 1995, 1(1): 1–9.
SHEN Shanmin. The scientific value of long term soil fertility experiment[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Sciences*, 1995, 1(1): 1–9. (in Chinese)
- 24 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- 25 庞奖励,黄春长,贾耀锋. 关中东部地区全新世土壤发育及记录的水文事件[J]. *土壤学报*, 2005, 42(2): 1–7.
PANG Jiangli, HUANG Chunchang, JIA Yaofeng. Hydrological events recorded in the Holocene soil in Guanzhong area, China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 1–7. (in Chinese)
- 26 中国科学院南京土壤研究所土壤微形态实验室. 用不饱和聚酯树脂制备土壤薄片的方法[J]. *土壤*, 1976(增刊): 329–333.
- 27 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.
- 28 熊毅,李庆奎. 中国土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- 29 庞奖励,黄春长,张旭,等. 白鹿原人工果树林地土壤和农耕地土壤微形态对比研究[J]. *土壤学报*, 2007, 44(5): 792–800.
PANG Jiangli, HUANG Chunchang, ZHANG Xu, et al. Micromorphological features of the cultivated soil and anthropogenic forest soil at Bailuyuan site, Shaanxi Province[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(5): 792–800. (in Chinese)