

白鹿原人工果树林地土壤和农耕地土壤 微形态对比研究*

庞奖励^{1,2} 黄春长¹ 张旭¹ 周自翔¹ 查小春¹

(1 陕西师范大学旅游与环境学院,西北历史环境与经济社会发展研究中心,西安 710062)

(2 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室,西安 710075)

摘 要 选择白鹿原人工果树林地土壤和耕地土壤为研究对象,用偏光显微镜和 Qwin 软件对土壤微形态进行了观察和定量分析。结果表明:两种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;林地土壤中主要是孔道和填充孔隙,孔隙壁较光滑,剖面中微形态连续变化,而耕地土壤的孔隙形态复杂,孔隙壁相对较粗糙,从上向下微结构明显变化,其中 20 cm 和 35 cm 是两个重要转折点;大量隐晶方解石反映土壤环境频繁变化,大量针状方解石出现在犁底层中下部并指示一种短期稳定的土壤环境,大量细晶方解石反映长期稳定的土壤环境。

关键词 土壤微形态;耕作土壤;人工果林土壤;白鹿原
中图分类号 S151⁺ 文献标识码 A

土地利用变化是全球变化研究的核心内容,而土壤微形态是土地利用在微观尺度上的直观表现,其蕴含着诸如矿物组合、物质迁移、耕作方式、土壤肥力、土地利用方式等丰富的信息,这正是科学家不遗余力地通过不断改进观测技术对其进行深入研究的原因。自 20 世纪 30 年代显微镜技术引入土壤领域到今天,其研究内容已从早期纯土壤学扩展到土地评估、土壤生态、环境演变等领域。Khormali 等^[1,2]研究了土壤中方解石的微形态及意义。Davidson 等^[3~7]研究了不同土地利用方式下土壤的微形态特征。Mooney 等^[8~10]从土壤微形态中提取环境演变和土壤侵蚀的有关信息。贺秀斌等^[11,12]借助现代技术对微结构及演化过程进行了数字仿真。近 20 年来,国内在这方面的研究无论是深度、广度或技术方面进展有限,使得与国际上研究水平有一定的差距。土地利用方式因使用者的目的不同而经常改变,但有关土地用途改变后土壤特别是微形态的变化研究鲜见报道。本文通过对白鹿原人工果树林地土壤和农业耕作土壤微形态的研究和对比,试图说明土地利用变化对土壤微形态的影响和微形态对土地利用的响应。

1 研究区概况与研究材料

白鹿原位于西安东南的黄土台原区,海拔 630~670 m,属温带大陆性半湿润气候,四季分明,雨热同季。降雨集中在 6~10 月,年均降水量 700 mm。年均气温 13℃,极端温度分别为 43.3℃ 和 -17.4℃。0 年积温 4 854℃,10 年积温 4 241℃,无霜期 212 d。光照资源丰富,年光照时数为 2 372~2 920 h,热量可满足农作物一年两熟的需要^[13]。白鹿原系第四纪黄土堆积所成,原面的现代土壤是在全新世黄土基础上发育形成的黑土^[14]或堆垫旱耕人为土^[15]。原面比较平坦,适宜农业发展。历史资料及土壤调查成果表明,历史时期以来区内旱作农业发达,以冬小麦为主,也有玉米、豆类等,长期的耕作活动形成了较好的耕作土壤。但区内水源缺乏,灌溉条件较差,农业用水多靠自然降水补给。

在 20 世纪 70 年中期,当地群众观念的改变,使一部分农业耕地土地改变用途,改种经济林(主要品种有桃、梨、苹果、杏)。由于果林效益较高,使这些

*国家自然科学基金项目(40471119,40571154)、黄土与第四纪地质国家重点实验室基金项目(SKLLQG0604)、陕西省自然科学基金(2006D01)资助

作者简介:庞奖励(1963~),男,西安市人,教授,博士,主要从事土地利用与土壤演变的研究。Tel:029-85310525; Fax: 029-85310528;

E-mail: jlpang@snnu.edu.cn; lhypjl@sina.com

收稿日期:2006-06-06;收到修改稿日期:2007-04-02

人工果林连续保持下来,现仍为果林地。30 多年以来,果树品种不断改良,现在难以见到树龄在 30 a 以上的人工果林,但土地作为果林的用途始终未变。因此,研究中可以忽略果树品种变化和树龄的因素,将其作为连续人工果林对待。据实地调查,由于庄稼种和收的需要,耕地被年复一年地翻耕,而人工果林的管理则相对较简单,仅在树下非定期的局部施肥,不必频繁地翻动。分别在长期耕作的土壤和具 30 a 以上的人工果林地选择研究剖面,以对比两种不同土地利用形式土壤的微形态特征。为了更好地研究人类活动对土壤微形态的影响,两个剖面相距约 50 m,其自然环境条件完全一样,N34°08'24.4",E109°17'36.5",海拔 665 m,坡度 5.3°,坡向 NE55°,采样时间 2005 年 4 月。

2 研究方法

从本次实际调查和以前土壤普查资料看,人类耕作活动对土壤的直接影响在深度上很少超过 50 cm,农作物对土壤的影响也集中在地表 50 cm 内,故本次采样深度为 60 cm。剖面 A 和剖面 B 分别选

在杏林地中央和小麦田内,人工挖掘 100 cm × 100 cm × 100 cm 的样坑,从地表开始向下每 5 cm 连续采微形态样品,疏松土层用 PVC 管(高 7 cm × 直径 5 cm)取样,然后两端小心密封。同时以每 2 cm 连续采全岩样用于土壤理化性质分析。样品在室内自然风干。颜色描述,粒度、总有机碳(TOC)和 CaCO₃含量测量同参考文献[10]。阳离子交换量测定方法见参考文献[16]。样品固化参照曹升庚的方法^[17],薄片(32 mm × 24 mm)在西安地质矿产研究所制作。在 Leica -DMRX 偏光显微镜下对薄片进行观察。有关参数的定量测量在 LEICAL Qwin 软件下完成。文中对薄片的描述和术语同参考文献[18]。

3 结果

3.1 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,两个土壤剖面的分异均较清楚,剖面构型也相似,Ap₁-Ap₂-BC,但各发生层分界线的位置及发生层的理化性质有显著差异(详见表 1)。

表 1 白鹿原人工果林土壤剖面和耕地剖面特征

Table 1 Pedological description of the cultivated soil and artificial fruit forest soil at Bailuyuan site, Shaanxi Province

发生层 Horizon	深度 Depth (cm)	颜色和结构 Color and structure	MS ¹⁾ (×10 ⁻⁸ SI)	容重 Bulk density (g cm ⁻³)	含水量 Water content (%)	CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	TOC ²⁾ (g kg ⁻¹)	CEC ³⁾ (cmol kg ⁻¹)	pH	粒度 Gain(g kg ⁻¹)		
										2 000~ 50 μm	50~ 2 μm	<2 μm
人工果林土壤剖面 Artificial fruit forests soil profile												
Ap	0~15	浊橙色, 7.5 YR7/4, 粉砂黏土质地, 团粒状结构, 大量孔隙	140.3	1.27	10.11	37.11	8.90	17.40	8.0	75	713	212
AB	15~45	浊黄橙, 10 YR7/3, 黏土粉砂地, 团块状结构, 中等数量孔隙	154.9	1.48	13.24	23.73	7.42	14.77	8.2	69	648	283
BC	45~60	浊橙色, 7.5 YR7/4, 粉砂黏土质地, 团粒状结构, 中等数量孔隙, 常见粉霜状碳酸盐	118.4	1.36	11.56	62.73	6.12	18.2	8.1	88	701	211
耕地土壤剖面 Cultivated soil profile												
Ap ₁	5~10	浊橙色, 7.5 YR7/3, 粉砂黏土质地, 团粒状结构, 微团聚体(0.5~1.0mm)发育, 大量孔隙、植物根系和蚯蚓粪。有砖瓦块	136.8	1.39	11.62	36.04	10.23	19.1	8.1	63	721	216

续表

发生层 Horizon	深度 Depth (cm)	颜色和结构 Color and structure	MS ¹⁾ ($\times 10^{-8}$ SI)	容重 Bulk density (g cm^{-3})	含水量 Water content (%)	CaCO ₃ (g kg^{-1})	TOC ²⁾ (g kg^{-1})	CEC ³⁾ (cmol kg^{-1})	pH	粒度 Grain(g kg^{-1})		
										2 000~ 50 μm	50~ 2 μm	<2 μm
Ap ₂	20~35	油黄橙, 10YR7/5, 黏土粉砂地, 团块状结构, 微显层状, 较紧实, 常见粉霜状碳酸盐	16.87	1.47	14.97	30.52	8.72	18.7	8.1	54	672	274
BC	35~60	浊橙色, 7.5YR7/4, 粉砂黏土质地, 团粒状结构, 大量粉霜状碳酸盐	116.9	1.33	10.64	67.30	5.41	18.4	8.2	91	717	192

1) MS:磁化率 Magnetic Susceptibility; 2) TOC:总有机碳 Total Organic Carbon; 3) CEC:阳离子交换量 Cation Exchange Capacity

3.2 土壤的孔隙和微垒特征

镜下观察到的孔隙类型有:填充孔隙、气泡状孔隙、囊状孔隙、孔道、面状孔隙,其中常见的为填充孔隙和孔道。林地土壤剖面中,主要为孔道和填充孔隙,少量囊状孔隙,孔隙壁比较光滑($R = 2.03$),单

个孔隙较大($D = 14.5 \mu\text{m}$,图1~图5),并且地表向下孔隙逐渐变小(见表2)。耕地剖面中,孔隙形态复杂,主要为填充孔隙、囊状孔隙,少量面状孔隙和孔道,孔隙壁相对较粗糙($R = 1.96$),单个孔隙较小($D = 10.1 \mu\text{m}$,图6和图7)。

表2 白鹿原人工果林土壤和耕地土壤微形态特征¹⁾

Table 2 Micromorphological features of the cultivated soil and artificial fruit forest soil at Bailuyuan site, Shaanxi Province

发生层 Horizon	薄片位置 Thin section location	C/F ₁₅ μm	c/f 相对分布式 c/f-related distribution	基本垒结及孔隙 Elementary fabric and void	土壤形成物 Pedofeatures
人工果林土壤剖面 Artificial fruit forests soil profile					
Ap	5~10 cm(1)	0.20	双空间填隙状	填充孔隙、囊状孔隙, $R = 2.24$, $D = 31.77$, $K = 2.09$, 孔隙度 27.33%。中等分离良好团粒状微结构	3%黄棕色残积黏土浓聚物。方解石以隐晶态分散于基质中
	10~15 cm(1)	0.20	双空间填隙状	填充孔隙和孔道, 孔隙壁较光滑, $R = 2.69$, $D = 19.50$, $K = 1.71$, 孔隙度 24.7%。中等分离的良好团状微结构	2%~3%棕黄色残积黏土浓聚物。方解石以隐晶态分散于基质中
AB	20~25 cm(1)	0.19	双空间斑状	填充孔隙、少量孔道隙, $R = 3.04$, $D = 12.05$, $K = 1.87$, 孔隙度 22.16%, 中等分离的团块状微结构	7%黄棕色残积黏土浓聚物和淀积黏土, 少量亚胶膜黏土。少量生方解石隐晶
	25~30 cm(1)	0.22	双空间斑状	填充孔隙和孔道, 孔隙壁光滑, $R = 2.07$, $D = 10.12$, $K = 1.63$, 孔隙度 20.44%。弱分离的团块状微结构	9%黄棕色残积黏土和淀积黏土。少量次生方解石
	30~35 cm(1)	0.23	双空间斑状	填充孔隙和孔道, $R = 1.99$, $D = 8.76$, $K = 1.80$, 孔隙度 22.78%。弱分离的团块状微结构	7%黄棕色黏土, 少量亚胶膜黏土。常见方解石微晶
	40~45 cm(1)	0.23	双空间填隙状	填充孔隙、囊状孔隙, 少量孔道, $R = 2.09$, $D = 9.07$, $K = 1.80$, 孔隙度 19.44%。中等分离的团块状微结构	5%量黏土。次生方解石微晶增多

续表

发生层 Horizon	薄片位置 Thin section location	C/ F ₁₅ μm	c/f 相对分布式 c/f-related distribution	基本垒结及孔隙 Elementary fabric and void	土壤形成物 Pedofeatures
BC	55~60 cm(1)	0.25	单空间填隙状	填充孔隙、囊状孔隙, R = 1.99, D = 10.33, K = 1.80, 孔隙度 20.018%。中等分离的团粒状微结构	少量黄棕色黏土 (< 2%)。大量隐晶和细晶方解石, 主要呈浓聚物状
耕地土壤剖面 Cultivated soil profile					
Ap ₁	5~10 cm(1)	0.20	双空间填隙状	填充孔隙、囊状孔隙、面状孔隙, R = 1.6, D = 12.05, K = 1.76, 孔隙度 27.71%。中等分离的团粒状微结构	2% 残积黏土。中等数量方解石, 以隐晶态分散于基质中
	10~15 cm(1)	0.19	双空间填隙状	填充孔隙和囊状孔隙, 孔壁较粗糙。R = 2.17, D = 10.36, K = 1.55, 孔隙度 31.47%。中等分离的团粒状微结构	少量残积黏土 (2%)。大量方解石以隐晶态分散于基质中
Ap ₂	20~25 cm(1)	0.17	双空间填隙状	填充孔隙和囊状孔隙, 少量面装孔隙, 以堆叠孔隙为主, 孔隙度 14.89%, R = 2.24, D = 5.03, K = 1.82。孔壁较粗糙。弱分离的团块状微结构	大量黄棕色残积黏土和淀积黏土 (10%)。中等数量生方解石隐晶
	25~30 cm(1)	0.18	双空间斑状	填充孔隙和囊状孔隙, 孔壁粗糙, R = 1.88, D = 11.50, K = 1.95, 孔隙度 16.78%。弱分离的团块状微结构	较多残积黏土 (8%), 少量淀积黏土。见到大量针状次生方解石微晶
	30~35 cm(1)	0.21	双空间斑状	填充孔隙和囊状孔隙, 孔壁较粗糙。R = 1.98, D = 11.45, K = 1.71, 孔隙度 18.82%。弱分离的团块状微结构	较多残积黏土 (5%), 大量针状次生方解石微晶
BC	40~45 cm(1)	0.24	双空间填隙状	填充孔隙和囊状孔隙, R = 1.84, D = 10.44, K = 1.71, 孔隙度 19.32%。弱分离的团粒状微结构	少量黏土 (< 3%)。较多生方解石微晶
	55~60 cm(1)	0.24	单间填隙状	填充孔隙, R = 2.04, D = 9.87, K = 1.71, 孔隙度 19.47%。中等分离的团粒状微结构	少量黏土 (< 2%)。大量隐晶方解石, 主要呈浓聚物状

1) R: 空隙壁光滑的程度 Smoothness of pore wall; D: 与孔隙面积相等圆的直径 Diameter of a circle the same in area as the pore; K: 空隙的长/宽比 Ratio of length/width of a pore; C/ F₁₅ μm : 大于 15 μm 颗粒含量/ 小于 15 μm 颗粒含量 Ratio of particle > 15 μm / particles < 15 μm in content

3.3 土壤形成物

土壤形成物有黏土矿物(伊利石和蒙脱石为主, 少量高岭石)、方解石、无定形铁。黏土可分为残积黏土和淀积黏土, 前者常呈浓聚物状, 形态和大小变化很大, 廓较比较模糊。淀积黏土明显光性定向, 多呈团块状, 少量亚胶膜状, 与周围物质界线较清楚。黏土常被无定形铁混染而呈棕黄色-黄棕色。次生方解石主要是隐晶和微晶, 少量细晶, 见有浓集物、针状、星散状。方解石混染黏土时则模糊不清楚。林地剖面中, 0~15 cm 层少量残积黏土(图 1), 方解石与黏土混染在一起呈团聚体状, 模糊不清。从

15 cm 开始, 黏土明显增加。在 30~45 cm 黏土含量最高, 淀积黏土占 1/3, 少量亚胶膜状(见表 3, 图 1~图 3), 而方解石多含量明显减少。45~60 cm 中黏土含量显著减少, 出现大量方解石细晶(图 5)。在耕地剖面中, 0~20 cm 中残积黏土矿物常与隐晶方解石混染在一起(图 6 和图 7)。20~35 cm 层黏土含量明显最高(8%~10%), 淀积黏土占 1/3, 但缺少亚胶膜状黏土(图 8、图 9)。从 25 cm 开始出现较多针状方解石微晶, 并延续到 45 cm。黏土含量从 35 cm 开始显著减少, 但出现大量方解石细晶(图 10)。

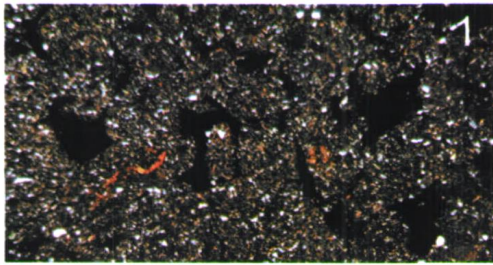


图1 人工林土壤微形态(5~10 cm), 正交偏光(10×5)

Fig. 1 Micromorphology of anthropogenic woodland soil at 5~10 cm, crossed polarised light (10×5)

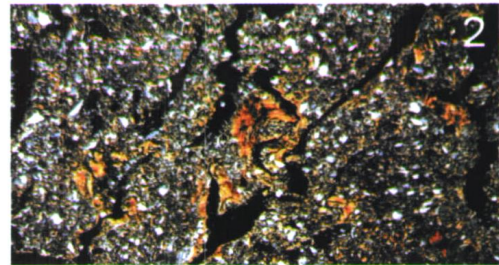


图2 人工林土壤微形态(25~30 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 2 Micromorphology of anthropogenic woodland soil at 25~30 cm, crossed polarised light (10×10)

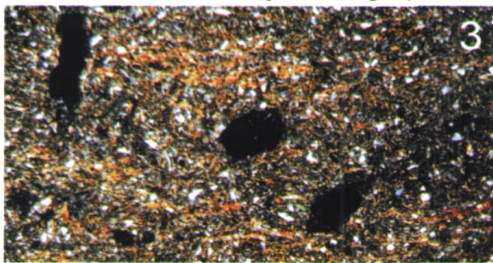


图3 人工林土壤微形态(30~35 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 3 Micromorphology of anthropogenic woodland soil at 30~35 cm, crossed polarised light (10×10)

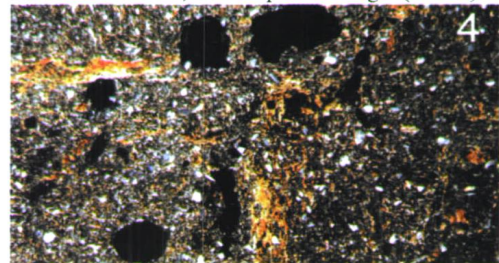


图4 人工林土壤微形态(40~45 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 4 Micromorphology of anthropogenic woodland soil at 40~45 cm, crossed polarised light (10×10)

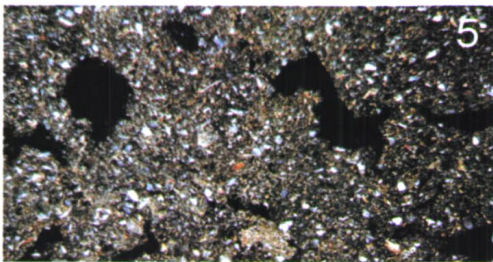


图5 人工林土壤微形态(55~60 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 5 Micromorphology of anthropogenic woodland soil at 55~60 cm, crossed polarised light (10×10)

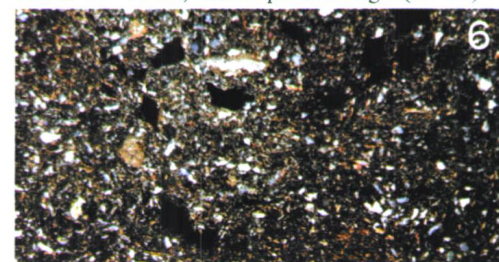


图6 农业耕作土壤微形态(5~10 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 6 Micromorphology of cultivated soil at 5~10 cm, crossed polarised light (10×10)

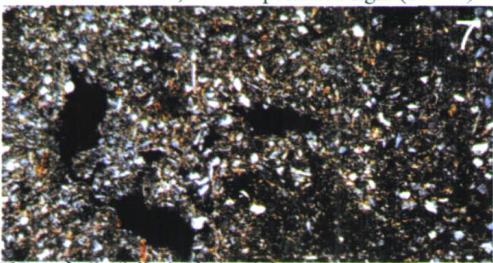


图7 农业耕作土壤微形态(10~20 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 7 Micromorphology of cultivated soil at 10~20 cm, crossed polarised light (10×10)

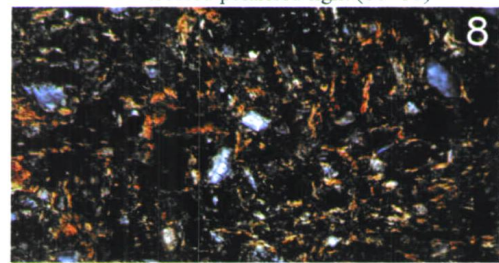


图8 农业耕作土壤微形态(25~30 cm), 正交偏光(10×20)

Fig. 8 Micromorphology of cultivated soil at 25~30 cm, crossed polarised light (10×20)

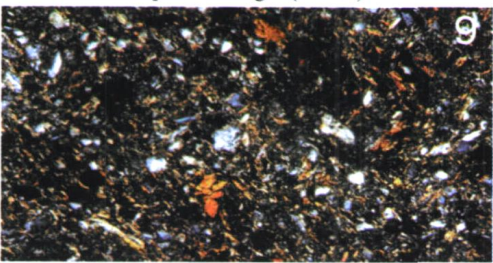


图9 农业耕作土壤微形态(30~35 cm), 正交偏光(10×20)

Fig. 9 Micromorphology of cultivated soil at 30~35 cm, crossed polarised light (10×20)

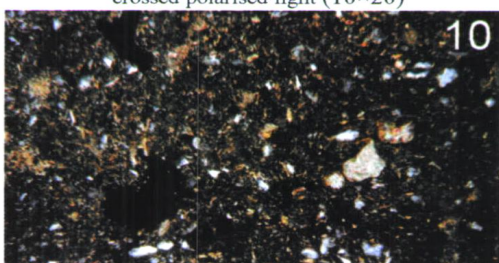


图10 农业耕作土壤微形态(40~45 cm), 正交偏光(10×10)

Fig. 10 Micromorphology of cultivated soil at 40~45 cm, crossed polarised light (10×10)

3.4 粗颗粒分布特征

两个剖面相比,粗颗粒($>15\ \mu\text{m}$)的矿物组合基本一致,主要是石英和长石,少量绿帘石、白云母、不透明矿物,而粗颗粒的形态则有明显差异(表3)。耕地的 A_p 层与人工林地的 A_p 层相比较,粗颗粒的平均粒径减小(分别为 $21\sim 25\ \mu\text{m}$ 和 $27\sim 29\ \mu\text{m}$),圆度在表层增加(分别为 $2.011\sim 2.919$ 和 $1.836\sim 1.906$),球度变化不明显(分别为 $1.901\sim 2.389$ 和

$2.048\sim 2.264$),耕地在 $20\sim 35\ \text{cm}$ 深度明显有定向性($47.32\sim 57.72$),而林地仅 $25\sim 30\ \text{cm}$ 有弱的定向性(42.08)。两剖面的BC层相比,粗颗粒的平均粒径(分别为 $33\ \mu\text{m}$ 和 $34\ \mu\text{m}$)、球度(分别为 $2.411\sim 2.967$ 和 2.488)、定向性(分别为 $33.32\sim 34.56$ 和 32.70)和圆度(分别为 $1.886\sim 1.960$ 和 $1.833\sim 1.906$)相似,变异不大。

表3 白鹿原人工果林土壤和耕地土壤粗颗粒特征

Table 3 Features of coarse particles in the cultivated soil and artificial fruit forest soil at Bailuyuan site, Shaanxi Province

深度 Depth (cm)	颗粒数 ¹⁾ Number	矿物组合 ²⁾ Mineral assemblage							平均粒径 Mean size (μm)	球度 ³⁾ Aspect ratio		定向性 ⁴⁾ Orientation (%)	圆度 ⁵⁾ Roundness	
		Q + Fs	Mus	Ep	Hb	Cc	Bi	Op		平均 Mean	最大值 Maximum		平均 Mean	范围 Range
人工果林土壤剖面 Artificial fruit forests soil profile														
5~10	4 180	90	+	+	-	-	-	+	27	2.114	7.997	31.22	1.906	1.136~4.933
10~15	3 212	90	+	++	-	-	-	+	29	2.048	12.08	33.63	1.891	1.159~15.14
20~25	5 364	92	+	++	-	-	-	++	28	2.264	7.341	36.72	1.836	1.134~10.62
25~30	4 617	92	+	++	-	-	-	++	27	2.122	6.232	42.08	1.799	1.125~9.469
30~35	2 523	90	+	++	-	-	-	++	28	2.205	6.006	39.41	1.870	1.269~17.17
40~45	2 948	88	+	++	-	-	-	++	29	2.109	8.809	29.32	1.960	1.134~14.17
55~60	1 873	86	++	++	±	±	±	+	33	2.488	7.678	32.70	1.886	1.169~15.78
耕地土壤剖面 Cultivated soil profile														
5~10	3 306	92	+	+	-	-	-	+	25	2.060	7.083	30.22	2.919	1.137~10.55
10~15	6 834	91	+	++	-	-	-	+	23	1.901	9.922	28.77	2.134	1.156~10.02
20~25	3 081	93	+	++	-	-	-	++	22	2.389	7.000	49.62	2.011	1.200~9.139
25~30	4 650	93	+	+	-	-	-	++	21	2.204	6.060	57.72	1.908	1.200~7.887
30~35	5 830	92	+	++	-	-	-	++	23	2.184	12.00	47.32	1.966	1.181~10.03
40~45	6 654	87	++	++	±	±	±	+	33	2.411	9.980	34.56	1.833	1.169~14.17
55~60	2 399	85	++	++	±	±	±	+	34	2.967	8.539	33.32	1.906	1.109~10.11

1) 指土壤薄片参与统计的粗颗粒数 Total number of coarse grains; 2) Q: 石英 Quartz; Fs: 长石 Feldspar; Bi: 黑云母 Biotite; Hb: 角闪石 Hornblende; Ep: 绿帘石 Epidote; Cc: 方解石 Calcite; Mus: 白云母 Muscovite; Op: 不透明矿物 Opacite. “++”= $2\% \sim 4\%$; “+”= $1\% \sim 2\%$; “±”= $<1\%$; “-”= 未见或缺少 Absence; 3) 指粗颗粒长与宽的比值 Ratio of length/width of a coarse grain; 4) 定向性指长轴与水平夹角为 0° 的颗粒所占的比例 Percentage of grains with the angle between the longest axis and the horizon being 0° ; 5) 指粗颗粒边沿圆滑的程度((周长 \times 周长)/(4 \times 面积 $\times 1.064$)) Smoothness of the brim of a coarse grain ((perimeter \times perimeter)/(4 \times area $\times 1.064$))

4 讨论

耕地土壤和林地土壤粗颗粒矿物组合基本一致,但在孔隙形态与分布、颗粒形态有较大差异,这与两种土壤的发育环境不同有关。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^[19]。耕作土壤中, $0\sim 20\ \text{cm}$ (A_{p1})层的孔隙度高($22.71\% \sim 31.47\%$)、形态复杂和孔隙壁较粗糙($R=1.6\sim 2.17$),次生黏土少和方解石主要是隐晶态,这与长期耕作活动有关。区内耕作活动主要是种收小麦前后的翻耕土

壤,这样的活动使孔隙形态、数量和空间位置不停变动。矿物结晶理论认为,表生环境中方解石要形成较粗的晶体必须满足:土壤溶液 CaCO_3 达到一定的浓度保证能形成大量结晶中心;要有足够的结晶时间;有一个较长时间的稳定环境(pH、Eh、 f_{O_2} 、湿度、温度等),任何一个因素的变化都会影响结晶程度^[20]。土壤中次生方解石的形成经历了原生方解石溶解(移动)再沉淀的过程。 Ap_1 层环境的频繁变化的结果是难以保证充足的结晶时间,方解石仅发育到隐晶阶段。耕作使土壤疏松有利于养分、水分和空气的迁移,也有利于铝硅酸盐矿物的分解,形成次生黏土矿物和一些游离铁。运移的水分使一部分黏土向下移动到犁底层淀积,形成淀积黏土。

从 20 cm 开始,微形态出现显著变化,20~35 cm (Ap_2)层孔隙趋于变小($D = 5.03 \sim 11.5$),孔壁光滑度增加($R = 1.88 \sim 2.24$),次生黏土明显增多(8%~10%)和淀积黏土比例增加,从 25 cm 开始出现较多针状方解石微晶,这些特征与长期耕作活动产生的犁底层直接相关。与 Ap_1 相比,耕作活动无法直接影响到 Ap_2 ,这使其具有一个较稳定的环境,方解石结晶中心有条件稳定成长,但稳定的时间不足以形成粗晶,仅形成众多的针状方解石微晶。较紧实的犁底层尽管未构成隔水层,但会阻滞水分向下运动。当水分从疏松的 Ap_1 到达 Ap_2 层,由于阻滞作用水分在 Ap_1 和 Ap_2 界面附近含量增加,这不利于方解石的结晶,因此在 Ap_2 顶部方解石减少,但却有利于黏土淀积。在 35 cm 以下,犁底层对水的阻滞对黏土形成和淀积不利,黏土很快减少。尽管这对方解石生长有利,但溶液补充减少,也难以形成方解石粗晶,仍仅形成细晶。显然,土壤中大量针状方解石指示一种较长时期较稳定环境,大量隐晶指示多变的环境,大量细晶则指示长期的稳定环境。

与剖面 B 相比,林地剖面中缺少像耕地那样的犁底层,土壤环境呈现逐渐变化,故微结构在剖面上变化比较连续。在 0~15 cm 层,生物活跃,有时也进行一定的人工疏松,但缺少的频繁耕作扰动,故具有一个相对稳定的稳定环境,孔隙形态、数量和位置变化慢,对方解石结晶成长有利,使一部分方解石结晶中心长成细晶。从 15 cm 开始,微形态出现显著变化,显著特征是黏土含量增多。由于缺少强烈人为影响,整个剖面的环境比较稳定,土壤水分能够较连续地向下运移,并携带次生黏土同时长距离的下移,因而在较厚的范围内(15~45 cm)均有较多的黏

土,甚至出现少量亚胶膜状黏土,形成的孔壁较光滑。从 45 cm 开始,黏土含量显著减少而方解石含量增加,这应该水分下渗的下界。在此以下部分,尽管环境稳定,但溶液补充有限又成为制约方解石生长的重要因素,方解石仍未形成大晶体,仍形成细晶。

现代土壤中出现的粗颗粒主要是地表环境中抗风化能力较强的矿物,不稳定矿物(如角闪石、黑云母、碳酸盐矿物等)多发生风化解。土壤中不稳定矿物的多少与其受到的风化程度有关,受到土壤内部条件(土壤水分含量及运移过程、土壤温度、土壤生物、pH 等)的制约。白鹿原人工果林地是耕地土壤改变用途而成,其他方面并未受到人为改造,而且土壤改变用途后仍与耕作土壤在同一自然环境下发育,也就是说,两种土壤受到的风化强度应该一致,这就是两种土壤矿物组合基本一致的直接原因。但土地改变用途后,人类对土壤的扰动过程有很大的差别,对颗粒的形态产生较明显的影响。耕作土壤受到人类频繁的影响,而林地土壤则接近自然作用,故两种剖面相比,耕地土壤的粗颗粒平均粒径较低、圆度和球度较高,这种变化正是耕作活动加强了颗粒机械运动,增强了磨损作用所致。在耕作土壤中,20~35 cm 颗粒出现明显的定向,而林地土壤定向性不那么明显,这是耕地中出现犁底层标志。

5 结 论

1) 人工果树林地土壤和耕作土壤粗颗粒的矿物组合基本一致,主要由石英和长石组成。林地土壤中主要为孔道和填充孔隙,孔壁较光滑,而耕地孔隙形态复杂,孔隙壁相对较粗。

2) 在耕作土壤中,20 cm 和 35 cm 是微结构变化的两个重要转折点,35 cm 左右是水分下渗的下界线。人工果林土壤中,从上向下微结构连续变化,45 cm 是水份下渗的下界线。耕地土壤 35~60 cm 和林地土壤 45~60 cm 的微形态十分相似。

3) 耕地土壤中,20~35 cm 黏土含量明显增加,在 25~45 cm 出现大量针状方解石微晶,人工果林土壤中,15~45 cm 黏土含量明显增加并出现较多淀积黏土,但缺少针状方解石。

4) 针状方解石是耕作土壤的重要特征,主要出现在 Ap_2 中下部,指示一种短期稳定的和水分含量较低的土壤环境,大量隐晶方解石反映频繁耕作扰

动,大量细晶方解石反映长期稳定的土壤环境,说明耕地土壤环境不如林地稳定。

参考文献

- [1] Khormali F, Abtahi A, Stoops G. Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran. *Geoderma*, 2006, 132: 31 ~ 46
- [2] Blazejewski G A, Stolt M H, Gold A J, *et al.* Macro- and micromorphology of subsurface carbon in riparian zone soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69 (4): 1 320 ~ 1 329
- [3] Davidson A D. Bioturbation in old arable soils: Quantitative evidence from soil micromorphology. *Journal of Archaeological Science*, 2002, 29: 1 247 ~ 1 253
- [4] Ricks D P, Ransom M D, Kluitenberg G J, *et al.* Effects of thirty years of irrigation on the genesis and morphology of two semiarid soils in Kansas. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68: 1 916 ~ 1 926
- [5] 郑毅,张福锁. 土壤结构和耕作对根际微生态系统的影响. 云南农业大学学报, 2003, 18: 193 ~ 197. Zheng Y, Zhang F S. Effects of soil structure and tillage on the rhizospheric microecosystem (In Chinese). *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2003, 18: 193 ~ 197
- [6] 庞奖励,黄春长,张战平. 周原全新世复合古土壤和成壤环境的微形态学研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 22 ~ 28. Pang J L, Huang C C, Zhang Z P. Micromorphological studies of the Holocene soil complex and pedogenical environment on the Zhouyuan loess tableland (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(1): 22 ~ 28
- [7] Ecardo A C, Costantini, Pellegrini S, *et al.* Micromorphological characterization and monitoring of internal drainage in soils of vineyards and olive groves in central Italy. *Geoderma*, 2006, 131(3/4): 388 ~ 403
- [8] Mooney S J. Using micromorphology to understand the rewetting mechanisms in milled peat. *Catena*, 2003, 54: 665 ~ 678
- [9] Scarciglia F, Terribile F, Colombo C. Micromorphological evidence of paleoenvironmental changes in Northern Cilento (South Italy) during the Late Quaternary. *Catena*, 2003, 54: 515 ~ 536
- [10] 庞奖励,黄春长,贾耀峰. 关中东部地区全新世土壤发育及记录的水文事件. 土壤学报, 2005, 42(2): 1 ~ 7. Pang J L, Huang C C, Jia Y F. Hydrological events recorded in the Holocene soil in Guanzhong area, China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 1 ~ 7
- [11] 贺秀斌,冯桓,冯兆东. 土壤显微结构的 X 光 - 同步加速器计算机三维图像透视技术. 土壤学报, 2005, 42(2): 328 ~ 330. He X B, Feng H, Feng Z D. 3D Imaging of soil microstructure using synchrotron X-ray computed microtomography (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(2): 328 ~ 330
- [12] Lima H V, Silva A P, Santos M C, *et al.* Micromorphology and image analysis of a hardsetting Ultisol (Argissolo) in the state of Ceara (Brazil). *Geoderma*, 2006, 132(3/4): 416 ~ 426
- [13] 聂树人. 陕西自然地理. 西安: 陕西人民出版社, 1981. Nie S R. Shaanxi Physical Geography (In Chinese). Xi'an: Shaanxi People Press, 1981
- [14] 郭兆元. 陕西土壤. 北京: 科学出版社, 1992. 68 ~ 110. Guo Z Y. Soil in Shaanxi (In Chinese). Beijing: Science Press, 1992. 68 ~ 110
- [15] 龚子同,陈志城. 中国土壤系统分类. 北京: 科学出版社, 1999. 132 ~ 146. Gong Z T, Chen Z C. Chinese Soil Taxonomy (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 132 ~ 146
- [16] 刘光崧,蒋能慧,张连第. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996. 25 ~ 27. Liu G S, Jiang N H, Zhang L D. Soil Physical and Chemical Analysis and Description of Soil Profiles (In Chinese). Beijing: Chinese Standard Press, 1996. 25 ~ 27
- [17] 曹升赓. 土壤和非固结物质薄片系统制备方法. 土壤专报, 1989, 43: 42 ~ 45. Cao S G. Thin section preparation of soil and non-clotted material (In Chinese). *Monograph Pedologica Sinica*, 1989, 43: 42 ~ 45
- [18] Stoops G. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. Madison, Hardbound: Soil Science Society of America, 2003
- [19] 熊毅,李庆远编. 中国土壤. 北京: 科学出版社, 1987. Xiong Y, Li Q K. Chinese Soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1987
- [20] 赵珊耳,边秋娟,凌其联. 结晶学与矿物学. 北京: 高等教育出版社, 2004. Zhao S E, Bian Q J, Ling Q L. Crystallography and Mineralogy (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2004

MICROMORPHOLOGICAL FEATURES OF THE CULTIVATED SOIL AND ANTHROPOGENIC FOREST SOIL AT BAILUYUAN SITE, SHAANXI PROVINCE

Pang Jiangle^{1,2} Huang Chunchang¹ Zhang Xu¹ Zhou Zixiang¹ Zha Xiaochun¹

(College of Tourism and Environmental Sciences, Northwest Research Center for Historical Environment and Socioeconomic Development, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

(State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, CAS, Xi'an 710075, China)

Abstract Samples were collected from anthropogenic forest soil and cultivated soil at Bailuyuan site to observe and quantitatively analyze their micromorphological features with the aid of a polarizing microscope and the Qwin software. Results show that

the two soils are quite similar in mineral composition. Their coarse granules are mainly formed of quartz and feldspar, but somewhat different in size and shape of particles. The anthropogenic forest soil is characterized by smooth pores, packed voids and continuity in succession of micromorphology, whereas the cultivated soil by intricate rough pores and obvious changes in succession of micromorphology with depth of the profile, particularly at 20 cm and 35 cm in depth. The existence of a large amount of cryptocrystal calcite suggests that the soil environment has been subjected to frequent changes, of acicular calcite in the mid and lower part of the plow pan that the soil environment has undergone a short stable period, and of microlitic calcite that the soil environment has been maintained stable for quite a long period.

Key words Micromorphology; Cultivated soil; Anthropogenic forest soil; Bailuyuan