

米仓山不同退耕年限土壤理化性质变化特征

纪月¹, 杜琳青², 田鹏², 赵广举^{1,3}, 崔玉美², 马亮乾²

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 研究不同退耕年限下的土壤理化性质特征, 为区域生态系统服务功能的提升与生态文明建设提供科学依据。[方法] 以中国南北过渡带的米仓山退耕 20, 25, 35, 50 a 的样地为研究对象, 以未施肥耕地和天然林地作为对照, 采用“时空替代法”, 分析米仓山地区不同退耕年限土壤理化性质特征。[结果] ①土壤机械组成在退耕前期无明显变化, 在退耕 50 a 时与天然林地相似。退耕 20, 25, 35, 50 a 样地的土壤大粒径团聚体百分含量较耕地均有不同程度的升高, 其增幅分别为 17.70%, 53.23%, 52.50% 和 70.30%; ②随着退耕年限增加, 土壤容重呈下降趋势, 退耕 50 a 样地土壤容重接近天然林地。不同退耕年限下土壤水分特征曲线均可用 Gardner 模型拟合, 土壤持水性由高到低排序为: 天然植被 > 退耕 25 a > 退耕 35 a > 退耕 20 a > 耕地 > 退耕 50 a。③土壤有机质及全氮含量随退耕年限增加呈显著增加趋势 ($p < 0.05$), 且上层土壤含量高于下层土壤, 呈现明显的表聚现象。上层土壤中退耕 20, 25, 35, 50 a 的样地中土壤有机质及全氮含量较耕地分别提高了 27%, 134%, 71% 和 343% 和 20%, 76%, 64% 和 246%, 下层土壤中分别提高了 7%, 88%, 53% 和 422% 和 12%, 59%, 35% 和 201%。全磷含量在 0.55~0.36 g/kg 之间波动, 受退耕年限影响较小。[结论] 退耕还林措施能有效增加土壤容重, 提升土壤大粒径团聚体、有机质和全氮含量, 进而改善土壤理化性质, 退耕 50 a 样地土壤的理化性质接近于天然林地。

关键词: 米仓山; 退耕年限; 土壤结构; 水分特征曲线; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)05-0048-07

中图分类号: S157, S152.7

文献参数: 纪月, 杜琳青, 田鹏, 等. 米仓山不同退耕年限土壤理化性质变化特征[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 48-54. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.008; Ji Yue, Du Linqing, Tian Peng, et al. Soil physical and chemical property changes in different periods of abandoned lands in Micang Mountain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 48-54.

Soil Physical and Chemical Property Changes in Different Periods of Abandoned Lands in Micang Mountain

Ji Yue¹, Du Linqing², Tian Peng², Zhao Guangju^{1,3}, Cui Yumei², Ma Liangqian²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The soil physical and chemical properties under different types of cultivation for a fixed number of years were studied to provide a scientific basis for the improvement of regional ecosystem services and ecological civilization construction. [Methods] Soil samples of forest land with different vegetation restoration periods (20, 25, 35, and 50 years) were collected by a spatiotemporal method. Unfertilized farmland and natural forest were taken as the control area. [Results] ① The soil particle composition did not change significantly in the early stage of returning farmland and was similar to that of the natural forestland at 50 years, while the content of large aggregates in 20, 25, 35, and 50-year abandoned plots increased by different degrees compared with the cultivated land (17.70%, 53.23%, 52.50%, and 70.30%, respectively).

收稿日期: 2020-04-01

修回日期: 2020-06-24

资助项目: 国家科技基础资源调查项目“中国南北过渡带综合科学考查”(2017FY100904)

第一作者: 纪月(1996—), 女(汉族), 河北省衡水市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤侵蚀。Email: 3081303082@qq.com。

通讯作者: 田鹏(1982—), 女(汉族), 黑龙江省佳木斯市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事流域水文过程侵蚀与水土保持研究。Email: pengtian@nwsuaf.edu.cn。

② With the increase in the number of years of vegetation restoration, the soil bulk density showed a downward trend and finally tended to natural vegetation. The soil bulk density of the 50-year plot was close to that of natural woodland. All the soil moisture characteristic curve fitted well with the Gardner model. The order of the soil water-holding capacity was as follows: natural vegetation > 25 years > 35 years > 20 years > farmland > 50 years. ③ With the increasing number of years of vegetation restoration, both soil organic matter and total nitrogen content obviously increased ($p < 0.05$). The content in the upper layer of soil was higher than that in the subsoil, and there was a significant phenomenon of surface layer accumulation. The contents of organic matter and total nitrogen in the upper layer of soil increased by 27%, 134%, 71%, and 343%, and by 20%, 76%, 64%, and 246%, respectively, while those in subsoil increased by 7%, 88%, 53%, and 422%, and by 12%, 59%, 35%, and 201%, respectively. However, the content of total phosphorus was between 0.55 and 0.36 g/kg; thus, it was less affected by the fixed number of years of the returning farmland. [Conclusion] The grain for green project can obviously improve the soil bulk density, increase soil particle size aggregates, improve the content of organic matter and total nitrogen, and further improve soil physical and chemical properties. The physical and chemical properties of the soil abandoned in 50 years were close to that of natural forestland.

Keywords: Micang Mountain; grain for green years; soil structure; soil moisture characteristic curve; soil nutrient

中国是世界上水土流失最为严重的国家之一。长期以来,由于不合理的土地利用及粗放经营,导致区域水土流失严重,生态环境恶化,人地矛盾突出,为防治水土流失,恢复脆弱生态环境,缓解区域内农民贫困状况,中国实施大规模的退耕还林工程^[1]。经过近 20 a 的退耕还林工程实施,中国西部地区植被盖度得到了明显的提升,江河泥沙情势发生显著改变,水土流失得到有效遏制。退耕还林工程通过改变下垫面条件,使土壤理化性质发生变化,从而影响区域生态、水文、土壤侵蚀过程。因此,研究退耕还林工程的土壤变化效应对退耕还林效益评价及区域水资源保护具有重要意义,同时可为生态文明建设提供依据。

随着退耕还林工程的实施与退耕年限的延长,退耕地生态系统结构和功能得到有效的改善,土壤理化性质与植物根系系统发生变化,进而改变地表大气界面的水文、生物循环过程^[2]。研究表明,退耕草地随着退耕年限的增加,土壤的持水及供水性能得到有效提升^[3];侯浩等研究发现土壤中有有机碳和全氮含量随林龄的增加而增加^[4];郭明明等^[5]指出退耕还林工程可增加土壤水稳性团聚体含量,提高土壤的抗冲性。董莉丽等^[6]研究发现退耕还林对黄土高原土壤物理性质、化学性质及生物特性均有良好的改良作用。

米仓山地区位于中国南北过渡带的中部,区内沟壑纵横,地势险峻,水土流失严重,为减少水土流失、改善生态环境,自 20 世纪 70 年代开始,该区开展了一系列退耕还林工作^[7-10],随着几十年的植被恢复,该区生态环境发生了显著变化,诸多学者开展退耕还林对米仓山地区的影响研究,但研究焦点多集中在林

群落分布^[11-12]和退耕还林工程效益等^[8]方面。对于退耕还林工程对土壤理化性质的影响研究则相对较少。因此,本文以米仓山不同退耕年限样地为研究对象,采用“时空替代法”分析不同退耕年限下土壤理化性质差异,揭示该区退耕还林后土壤理化性质的变化规律,以期对米仓山地区退耕还林效益评价与水土流失综合治理提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

米仓山地处四川省、陕西省和甘肃省的交界处,西接摩天岭,东接大巴山,是汉江、嘉陵江的分水岭。该区山势陡峭、地形复杂,多为石质山地或土石山区,森林覆盖率较高,海拔较低的低山丘陵区植被盖度较低,水土流失严重。米仓山位于中国南北过渡带,受东南季风和西南季风的影响,气候温暖湿润^[13],平均气温 14.4 °C,年均降水量达 1 100~1 200 mm,平均蒸发量为 457.2 mm。本研究区的采样点米仓山北坡,位于陕西省汉中市西乡县(107°15'—108°15'E, 32°32'—33°14'N)。研究区土壤类型以黄棕壤、黄褐土为主。植被分为人工林和天然林为主,人工林主要为侧柏(*Platycladus orientalis*)、锐齿栎(*Quercus aliena*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、桑树(*Morus alba*)、茶(*Camellia sinensis*)、竹子(*Bambusoideae*)等,天然林主要为栓皮栎(*Quercus variabilis*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、大叶榉(*Zelkova schneideriana*)等,农作物主要有玉米(*Zea mays*)、烟草(*Nicotiana tabacum*)、黄豆(*Glycine max*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集 本研究采用“时空替代法”进行样地的选取,通过野外调查、询问周围农户等方式,确定样地的退耕年限,分别选取退耕 20, 25, 35, 50 a 的样地作为研究对象,同时选取未施肥耕地及天然林地作为对照,样地选择遵循典型性、代表性和一致性的原则。土壤样品采于 2018 年 10 月,样品采集时首先去除表面的枯枝落叶层,每种类型林地挖掘 3 个 40 cm 深的

土壤剖面,按上层(0—20 cm),下层(20—40 cm)分层采集土样并编号,其中退耕 50 a 和天然林地的样地土层比较浅薄,因此退耕 50 a 的林地采集 0—10 cm 和 10—20 cm 的土样,天然林地只采集 0—10 cm 的土样。各林地再分层将土样混合,带回实验室风干研磨、过筛、混合分样、贮存,用于测定土壤养分。此外,在每个样地用环刀采集原状土,用于测定土壤水分指标。各样地的基本特征见表 1。

表 1 样地基本概况

经度	纬度	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向/ (°)	退耕 年限/a	林地 类型	质量 含水量/%	土层 厚度/cm	饱和导水率/ (mm·min ⁻¹)
107°27′	32°40′	1 577	21	南偏东 32°	天然林地	栓皮栎	27.21	10	0.24
107°30′	32°41′	1 400	27	南偏东 11°	25	水杉+竹	26.79	40	0.24
107°34′	32°48′	1 019	15	南偏西 25°	50	侧柏林	42.33	20	0.28
107°34′	32°48′	991	23	南偏西 5°	35	柏树	30.47	40	0.12
107°34′	32°48′	985	28	南偏东 36°	20	茶树	28.78	40	0.36
107°30′	32°41′	1 392	9	南偏东 54°	耕地	农作物	55.18	40	0.33

1.2.2 土壤样品处理与测定 本研究主要测定土壤水分、土壤养分、土壤结构等土壤理化性质。土壤水分指标测定了土壤容重和土壤水分特征曲线,分别采用环刀法和离心法测定;土壤养分指标测定了土壤有机质、全氮及全磷,分别用重铬酸钾—外加热法,凯氏定氮法及钼锑抗比色法来测定^[14]。土壤结构指标测定了土壤机械组成和土壤团聚体,土壤机械组成采用 Mastersizer 2000 激光粒度分析仪测定,根据国际制粒径分级标准划分质地:砂粒(2~0.02 mm)、粉粒(0.02~0.002 mm)、黏粒(<0.002 mm)。土壤团聚体采用湿筛法测定^[15-16],分别得到 >1, 0.5~1, 0.25~0.5, 0.053~0.25, <0.053 mm 粒径的团聚体含量。

1.2.3 数据处理与分析 采用 SPSS 20.0 软件进行数据统计分析。采用单因素方差分析的方法分析不同数据组间的差异并用 Origin 2016 制图,采用 Pearson 相关系数分析不同指标间的相关性。显著水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤结构特征

不同退耕年限样地土壤机械组成见图 1。研究区域内表层土壤机械组成以粉粒为主,含量在 70.25%~88.12%之间,黏粒次之,含量在 8.28%~25.50%之间,砂粒最少,含量在 1.48%~4.61%之间。以耕地机械组成为背景对比不同退耕年限样地土壤颗粒变化发现,退耕 20~35 a 的样地各粒径土粒含量变化不明显,退耕 50 a 的样地黏粒含量上升了 19.38%,粉粒

含量下降了 17.87%,砂粒含量变化不明显,各粒径土壤百分含量接近天然林地。由此表明,经过较长时间的退耕还林后,土壤颗粒组成变化明显。

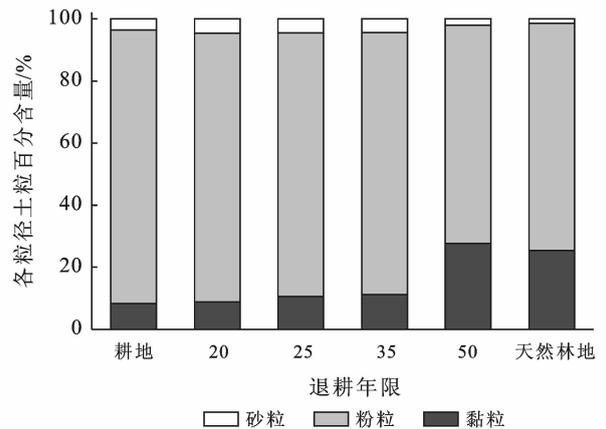


图 1 米仓山不同退耕年限样地土壤机械组成分布特征

分析各退耕年限的土壤团聚体特征发现,退耕 20, 25, 35 a 和 50 a 的样地中上层土壤 >1 mm 粒径的团聚体百分含量分别比对照耕地增加了 5.75%, 33.12%, 35.02% 和 78.48%, 其中退耕 50 a 样地 >1 mm 粒径的团聚体百分含量为 80.23%, 与天然林地相近(图 2a)。0.5~1 mm 及 0.25~0.5 mm 粒径的团聚体百分含量均呈现先升高后降低的趋势, 最大值分别出现在退耕 25 a 及退耕 20 a 的样地, 为 20.90% 和 20.70%。粒径介于 0.053~0.25 mm 及 <0.053 mm 的团聚体百分含量逐渐降低, 耕地含量最高为 48.60% 和 30.8%, 天然林地含量最低, 为 1.95% 和 5.45%。这说明退耕还林可以改善土壤的团粒结构,

随着退耕年限增加,土壤中植物根系和腐殖质的数量上升,有利于团聚体形成,再通过团聚作用将小粒径团聚体转变为大粒径团聚体,提高土壤保水保肥能力,增强土壤抗冲能力。

由图 2b 可以看出,下层土壤中团聚体百分含量变化趋势与上层土壤具有一致性。在下层土壤中,耕地和退耕 50 a 的样地中粒径 >1 mm 团聚体百分含量高于上层土壤,退耕 20 a, 25 a 和 35 a 的样地分别比上层土壤低 3.10%, 20.47% 和 20.97%。除退

耕 25 a 的样地中 0.5~1 mm 粒径的团聚体百分含量比上层土壤高 5.35% 外,退耕 20, 35 a 和 50 a 的样地分别比上层土壤低 2.8%, 0.85% 和 1.13%。粒径位于 0.25~0.5 mm 及 0.25~0.053 mm 的团聚体含量分别比上层土壤高 4.40%, 5.22%, 6.33% 和 1.10% 及 3.50%, 12.28%, 7.18% 和 0.87%, 而耕地则低于上层土壤,说明退耕还林对上层土壤团聚体的改良作用优于下层土壤,且退耕年限越长,改良作用越明显。

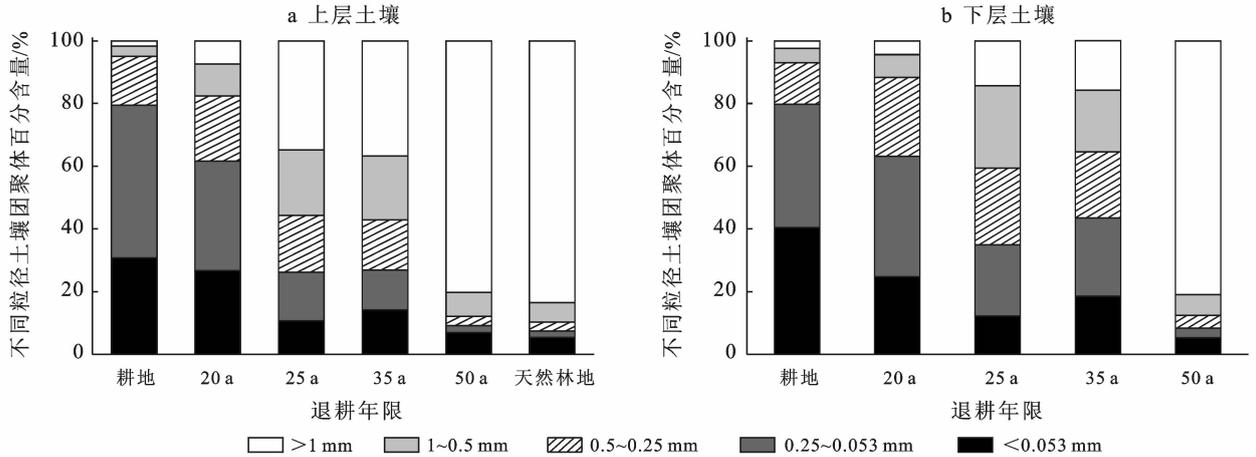
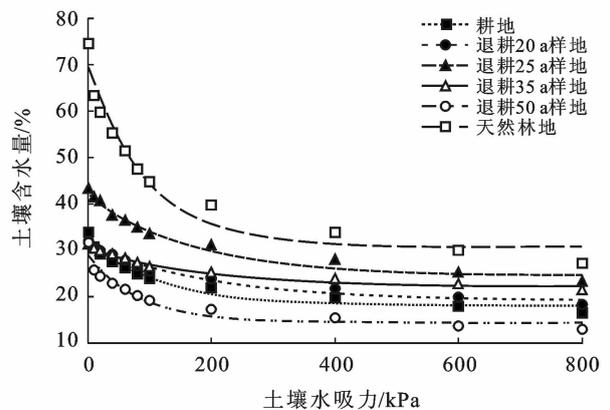
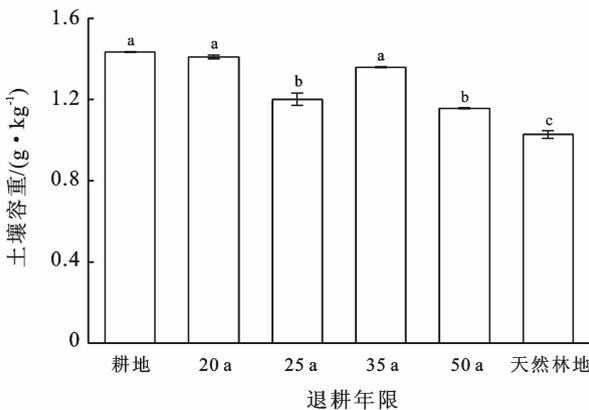


图 2 米仓山不同退耕年限样地各土层团聚体分布特征

2.2 土壤水分特征

对比不同退耕年限的土壤容重发现,耕地表层土壤容重最大,这与其长期耕种,土壤受到不同程度的压实相关。不同退耕年限样地土壤容重如图 3 所示。随着退耕年限增加,土壤容重呈现先减少后增加再减少的变化趋势。退耕 20, 25, 35, 50 a 的样地容重分别比耕地降低了 2%, 16%, 5% 和 19%。通过差异性

分析 ($p < 0.05$), 耕地、退耕 20 a 和 35 a 样地的土壤容重虽然逐渐降低但不存在显著性差异,退耕 25 a 和 50 a 的样地土壤容重显著低于退耕 20 a 和 35 a 及耕地的样地,且显著高于天然林地表层的土壤容重。这说明退耕还林措施可以改善土壤容重,并且退耕年限越长,改善效果越明显,但仍未达到天然林地的效果。



注:不同小写字母代表不同处理间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

图 3 米仓山不同退耕年限样地土壤水分特征

土壤水分特征曲线是描述土壤水吸力与土壤含水量关系的曲线,它的高低代表土壤持水能力的大

小。如图 3 所示,不同退耕年限土壤水分特征曲线差异明显,随着吸力值的增加,土壤含水量持续降低。

吸力值在 0~100 kPa 时,土壤含水量随土壤水吸力增大迅速降低,吸力值在 100~800 kPa 时,土壤含水量随土壤水吸力增大缓慢下降并趋于平缓。选取 Gardner 模型 $\theta = AS^{-B}$ 对不同退耕年限土壤水分特征曲线进行拟合,与实测数据误差较小(见表 2)。A 表示土壤持水能力的大小,A 值越高,代表持水能力越强,不同退耕年限土壤持水能力由大到小为:天然林地>退耕 25 a>退耕 35 a>退耕 20 a>耕地>退耕 50 a;B 表示吸力值变化时,土壤含水量变化率大小,不同退耕年限土壤含水量率变化由大到小为:退耕 50 a>天然林地>耕地>退耕 25 a>退耕 20 a>退耕 35 a;A×B 值越大,比水容量就越大,土壤水分有效性越好,不同退耕年限样地比水容变化不大,仅退耕 25 a 的样地高于耕地,其他样地均小于天然林地。说明随着退耕年限的增加,土壤持水能力增强且混交林的持水能力高于纯林,土壤含水量变化率无明显规律,水分有效性变化不明显。

表 2 Gardner 模型水分特征曲线拟合参数

退耕年限	A	B	A×B	r^2
耕地	0.24	0.14	0.03	0.97
20 a	0.25	0.12	0.03	0.94
25 a	0.33	0.13	0.04	0.96
35 a	0.26	0.08	0.03	0.96
50 a	0.19	0.16	0.03	0.97
天然林地	0.44	0.20	0.08	0.97

注:A,B 为 Gardner 模型 $\theta = AS^{-B}$ 的参数, θ 表示土壤含水量,S 表示土壤水吸力,A 表示土壤持水能力,B 表示土壤含水量变化率。

2.3 土壤养分特征

不同退耕年限样地土壤养分含量见图 4。随着退耕年限增加,退耕林地有机质含量逐渐升高。在上层土壤中,退耕 20,25,35,50 a 的样地有机质含量较耕地分别增加了 27%,134%,71%和 343%(图 4a),其中耕地与退耕 20 a 有机质含量差异不显著,退耕

25 a,35 a 和 50 a 的样地差异显著($p < 0.05$)。在下层土壤中,退耕 20,25,35,50 a 的样地有机质含量较耕地分别增加了 7%,88%,53%和 422%(图 4b)。这说明退耕还林能增加土壤有机质含量,退耕年限越长,土壤有机质积累量越高,且上层土壤有机质含量明显高于下层土壤,是因为退耕还林措施对上层土壤有机质的影响高于下层土壤。退耕还林后土壤全氮含量显著高于对照耕地,土壤全氮含量由高到低依次为:退耕 50 a>退耕 25 a>退耕 35 a>退耕 20 a>耕地,在上层土壤中,退耕 20,25,35,50 a 的样地全氮含量较耕地分别增加了 20%,76%,64%和 246%(图 4c)。在下层土壤中,除退耕 20 a 样地全氮含量低于耕地外,退耕 25,35,50 a 的样地全氮含量较耕地分别增加了 59%,35%和 201%(图 4d)。说明退耕还林措施可以提高土壤全氮含量,退耕时间越长,全氮含量越高,且上层土壤含量高于下层土壤。退耕对土壤全磷的影响见图 4。在上层土壤中,土壤全磷含量在 0.42~0.55 g/kg 之间波动,无明显规律且差异不明显(图 4e)。在下层土壤中土壤全磷含量在 0.37~0.45 g/kg 之间波动,无明显规律且不存在显著性差异(图 4f)。这说明退耕还林措施对米仓山土壤全磷的含量无明显影响。

2.4 相关性分析

分析不同恢复年限对土壤各指标的影响发现(见表 3),土壤容重与有机质含量呈极显著负相关($p < 0.01$),与全氮含量、团聚体百分含量呈显著负相关($p < 0.05$),有机质含量与全氮含量、团聚体百分含量及黏粒百分含量呈极显著正相关($p < 0.01$),全氮含量与团聚体百分含量和黏粒百分含量呈极显著正相关($p < 0.01$)。这表明退耕后,植被覆盖度随退耕年限的增加而增加,植被根系活动及枯枝落叶层的分解能增加土壤黏粒含量,改善土壤的团粒结构,增加土壤孔隙,降低土壤容重,增加土壤的通气透水性,土壤动物及微生物活动性增加,有助于积累有机质和全氮。

表 3 不同指标间相关性分析

项目	土壤容重	有机质含量	全氮含量	全磷含量	团聚体含量	黏粒含量	粉粒含量	砂粒含量
土壤容重	1							
有机质含量	-0.951**	1						
全氮含量	-0.910*	0.979**	1					
全磷含量	-0.159	0.390	0.417	1				
团聚体含量	-0.874*	0.857**	0.858**	0.278	1			
黏粒含量	-0.835*	0.955**	0.985**	0.221	0.787	1		
粉粒含量	0.834*	-0.948**	-0.985**	-0.201	-0.814*	-0.997**	1	
砂粒含量	0.751	-0.894*	-0.884*	-0.307	-0.556	-0.914*	0.882*	1

注:**表示在置信度为 0.01 时,相关性极显著;*表示在置信度为 0.05 时,相关性显著。

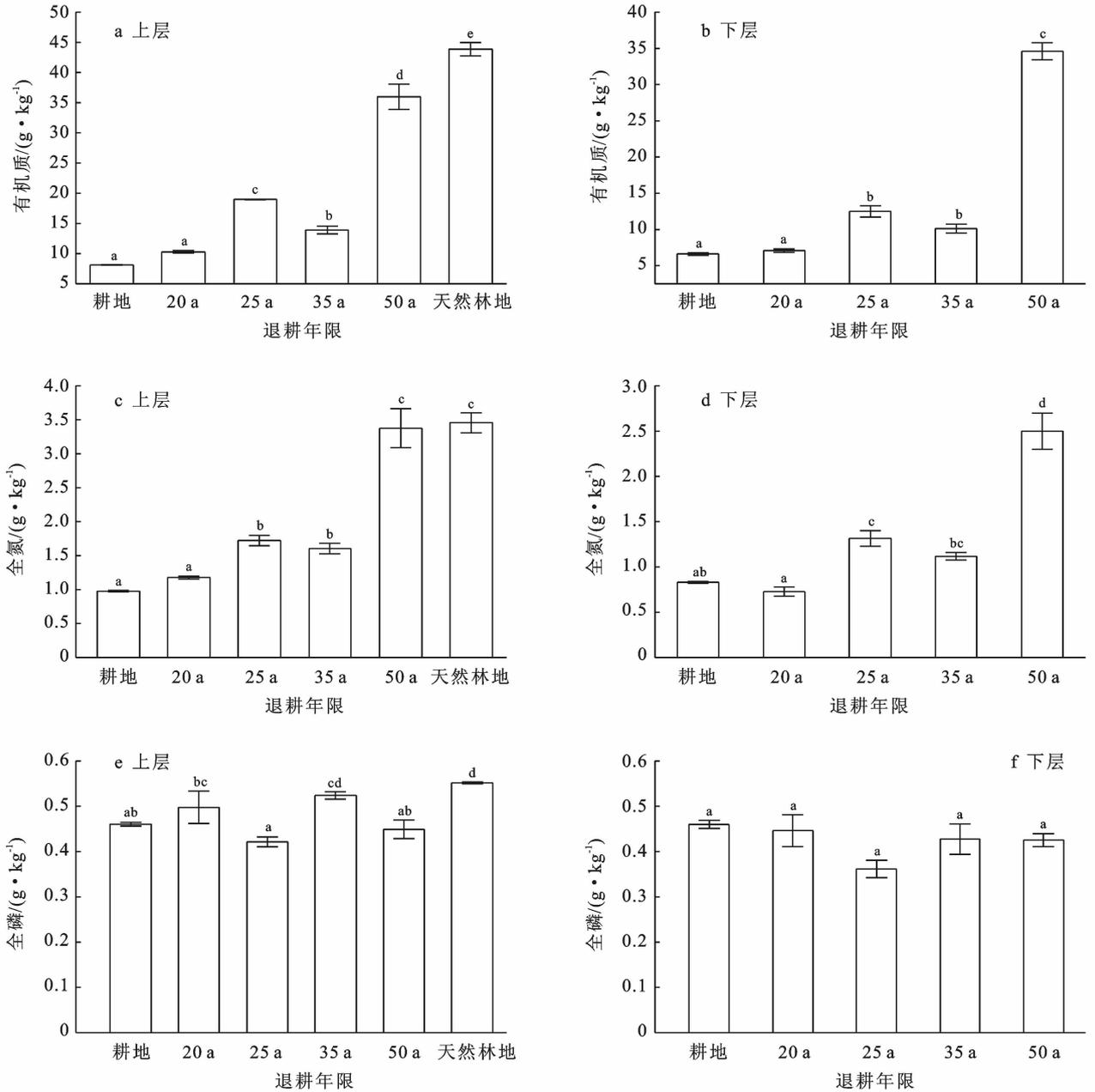


图4 米仓山不同退耕年限不同土层土壤的全量养分特征

3 讨论

通过对比米仓山地区不同退耕年限的土壤结构发现,与耕地相比,退耕林地粉粒含量降低,黏粒含量增加,大粒径团聚体含量增加,小粒径团聚体含量降低。这与于寒青、苏静等得出的植被恢复有利于土壤团聚形成并能影响团聚体的组成及分布特征结论一致^[17,18]。主要是因为退耕还林后,植被根系及其分泌物加速了地表物质的风化,增加了小粒径土粒的含量特别是黏粒的含量,小粒径土粒通过凝聚胶结作用促进土壤团聚体的形成,且随退耕年限的增加,小粒径团聚体团聚为大粒径团聚体的作用增强,进而有效增

加土壤的稳定性。在本研究中上层土壤的团聚体变化趋势与下层相同,但下层土壤大粒径团聚含量略低于上层土壤,表明植被根系对上层土壤团聚体的影响大于下层土壤。

米仓山地区实施退耕还林后,退耕林地土壤容重显著低于对照耕地,且随着退耕年限的增加,逐渐趋于天然植被。主要是因为退耕后,土壤团聚结构得到改善,大粒径团聚体含量上升,土壤通气透水性增强,因此土壤容重降低。在本研究中退耕 25 a 样地中土壤容重小于 35 a 样地,主要是因为退耕 25 a 的样地是混交林地(水杉和竹子),其根系较纯林发达,故容重降低幅度较大。这与张晓霞等^[19]在晋西黄土区的

研究结果相同。

退耕还林后,米仓山地区退耕林地的土壤有机质及全氮含量较耕地有显著提升,并逐渐接近天然林地,且上层土壤含量高于下层土壤,呈现出明显的表聚性。土壤有机质和全氮含量主要来自于枯枝落叶的分解并随时间积累在土壤中,退耕年限越长,有机质及全氮积累量越大;然而在下层土壤中,由于水热条件不足,微生物分解作用受限,故下层有机质及全氮积累量小于上层土壤。

4 结论

本研究以米仓山北坡为研究对象,采用“时空替代法”,通过野外采样,以未施肥耕地及天然林地为对照,分析了研究区不同退耕年限土壤理化性质的变化,主要取得以下结论:

(1) 退耕还林可有效改善土壤的结构。各样地土壤机械组成均以粉粒为主,与耕地相比,退耕 50 a 的样地粉粒含量下降了 17.87%,黏粒含量上升了 19.38%,在上层土壤中,退耕 20,25,35,50 a 的样地 >1 mm 粒径的团聚体百分含量较耕地分别增加了 5.75%,33.12%,35.02%和 78.48%,下层土壤中分别增加了 1.97%,13.37%,11.97%和 78.60%。

(2) 随退耕年限的增加,土壤容重显著降低。与对照耕地相比,退耕 20,25,35,50 a 的样地土壤容重分别降低了 2%,16%,5%和 19%,其中退耕 50 a 的土壤容重接近天然林地。退耕林地土壤水分特征曲线高于耕地,在低吸力阶段(0~100 kPa),土壤含水量随土壤水吸力的上升迅速下降,在高吸力阶段(100~800 kPa),土壤含水量随土壤水吸力的上升缓慢下降,土壤持水能力由大到小为天然林地>退耕 25 a>退耕 35 a>退耕 20 a>耕地>退耕 50 a。

(3) 退耕可显著提升土壤的养分。不同退耕年限样地土壤有机质及全氮含量由高到底依次为天然林地>退耕 50 a>退耕 25 a>退耕 35 a>退耕 20 a>耕地。对比耕地,上层土壤中退耕 20,25,35,50 a 的样地中的土壤有机质及全氮含量分别提高了 27%,134%,71%和 343%和 20%,76%,64%和 246%,下层土壤中分别提高了 7%,88%,53%和 422%和 12%,59%,35%和 201%,且上层含量高于下层,呈现出明显的表聚性。

[参 考 文 献]

[1] 王进,刘子琦,鲍恩侯,等.喀斯特石漠化区林草恢复对土壤团聚体及其有机碳含量的影响[J].水土保持学报,2019,33(6):249-256.
[2] Wang Li, Mu Yan, Zhang Qingfeng, et al. Effects of

vegetation restoration on soil physical properties in the wind-water erosion region of the Northern Loess Plateau of China[J]. Clean-Soil, Air, Water, 2012, 40(1): 7-15.

- [3] 赵勇钢,赵世伟,曹丽花,等.典型草原区退耕及封育草地土壤水分物理性质研究[J].水土保持通报,2007,27(6):41-44,115.
[4] 侯浩,张宋智,关晋宏,等.小陇山不同林龄锐齿栎林土壤有机碳和全氮积累特征[J].生态学报,2016,36(24): 8025-8033.
[5] 郭明明,王文龙,史倩华,等.黄土高原沟壑区退耕地土壤抗冲性及其与影响因素的关系[J].农业工程学报,2016,32(10):129-136.
[6] 董莉丽,郑粉莉.黄土丘陵沟壑区植被类型对土壤质量的影响[J].干旱区研究,2011,28(4):616-621.
[7] 何家理,马治虎,陈绪敖.秦巴山区退耕还林生态效益外显与经济效益内隐状况调查[J].水土保持通报,2012,32(4):251-254.
[8] 徐玉霞.陕南秦巴山区退耕还林工程综合效益评价[J].中国农学通报,2017,33(28):104-110.
[9] 张建肖.陕西秦巴山区生态补偿研究[D].陕西西安:西北大学,2009.
[10] 李国玲.秦巴山区退耕还林经济效益实证研究[D].上海海洋大学,2016.
[11] 陈杰,李文君,钟娇娇,等.陕西米仓山巴山冷杉天然林群落物种多样性及种群分布格局[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(1):69-78,89.
[12] 刘欢,李文君,陈杰,等.陕西米仓山自然保护区 6 种典型天然林群落的物种多样性[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(7):29-39.
[13] 刘欢.陕西米仓山国家级自然保护区种子植物资源研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2017.
[14] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
[15] 张杰,高鹏,孙会敏,等.鲁南山地典型林地土壤机械与土壤水分特征曲线的分形学特征[J].中国水土保持科学,2013,11(1):75-81.
[16] 耿韧,张光辉,洪大林,等.黄土高原耕地草地林地土壤团聚体稳定性沿降水梯度的变化特征[J].农业工程学报,2019,35(3):141-148.
[17] 于寒青,李勇,金发会,等.黄土高原林地恢复提高大于 0.25 mm 粒级水稳性团聚体在土壤增碳中的作用[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):876-883.
[18] 苏静,赵世伟.林地恢复对土壤团聚体分布及有机碳、全氮含量的影响[J].水土保持研究,2005,12(3): 44-46.
[19] 张晓霞,杨宗儒,查同刚,等.晋西黄土区退耕还林 22 年后林地土壤物理性质的变化[J].生态学报,2017,37(2):416-424.