

晋南典型丘陵沟壑区退耕还林16年后土壤物理性质变化

周佳佳*, 郝小玲, 吴洁, 张咪咪, 张粉果, 王永吉#

山西师范大学生命科学学院, 山西 临汾
Email: 827740699@qq.com, #wangyongji126@126.com

收稿日期: 2020年12月30日; 录用日期: 2021年2月15日; 发布日期: 2021年2月22日

摘要

退耕还林可以在一定程度上改善土壤的物理性质。本文选取晋南典型丘陵沟壑区退耕还林16年后形成的三种不同植被类型: 自然恢复山杨林(*Populus davidiana*)、油松刺槐(*Pinus tabulaeformis* Carriere × *Robinia pseudoacacia* L.)人工混交林、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)人工纯林, 并以玉米耕地作为对照, 采用野外调查与实验室分析相结合的方法对不同土层深度土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度进行对比分析。结果显示: 自然恢复林和两种人工林较耕地相比, 土壤容重显著变化分别发生在0~80 cm土层和0~60 cm土层($P < 0.05$)。与耕地相比, 自然恢复林、混交林、纯林的土壤容重分别平均增加33.96%、17.27%、12.94%; 变化程度最大的土层为20~40 cm。与耕地相比, 3种退耕林地的土壤总孔隙度在0~80 cm土层显著增加($P < 0.05$), 自然恢复林、混交林、纯林分别平均增加36.96%、14.02%、17.76%。变化程度最大的土层为20~40 cm。与耕地相比, 自然恢复林和两种人工林土壤毛管孔隙度在0~80 cm土层和0~60 cm土层显著增加($P < 0.05$)。自然恢复林、混交林、纯林分别平均增加41.70%、13.28%、12.76%。变化程度最大的土层在40~60 cm处。本研究表明退耕还林16年后的自然恢复山杨林和两种人工林都可以有效地改良土壤物理性质, 但是自然恢复林的影响程度更大。

关键词

丘陵沟壑区, 退耕还林, 土壤容重, 土壤总孔隙度, 土壤毛管孔隙度

Changes of Soil Physical Properties after Returning Farmland to Forest for 16 Years in Typical Hilly and Gully Regions of Southern Shanxi

Jiajia Zhou*, Xiaoling Hao, Jie Wu, Mimi Zhang, Fenguo Zhang, Yongji Wang#

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 周佳佳, 郝小玲, 吴洁, 张咪咪, 张粉果, 王永吉. 晋南典型丘陵沟壑区退耕还林 16 年后土壤物理性质变化[J]. 世界生态学, 2021, 10(1): 70-79. DOI: 10.12677/ije.2021.101007

College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen Shanxi
Email: 827740699@qq.com, #wangyongji126@126.com

Received: Dec. 30th, 2020; accepted: Feb. 15th, 2021; published: Feb. 22nd, 2021

Abstract

Returning farmland to forest can improve the physical properties of the soil to a certain extent. The purpose of this paper is to study the physical properties of the soil after returning farmland to forest for 16 years in typical hilly and gully areas of southern Shanxi. In this paper, three different vegetation types were formed after returning farmland to forest for 16 years in typical hilly and gully areas of southern Shanxi. They were natural restoration of *Populus davidiana* forest, artificial mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Robinia pseudoacacia*, and pure plantation of *Robinia pseudoacacia*, using corn arable land as a control and field survey. The method combined with laboratory analysis was used to compare and analyze soil bulk density, total soil porosity and soil capillary porosity at different soil depths. The results showed that: 1) Compared with cultivated land, the soil bulk density of the naturally restored forest and the two artificial forests changed significantly in 0~80 cm soil layer and 0~60 cm soil layer ($P < 0.05$). Compared with cultivated land, the soil bulk density of naturally restored forest, mixed forest and pure forest increased by 33.96%, 17.27% and 12.94%, respectively; the soil layer with the greatest degree of change was 20~40 cm. 2) The total soil porosity of the three kinds of converted farmland was significantly increased in the 0~80 cm soil layer compared with the cultivated land ($P < 0.05$), and the natural forest, mixed forest and pure forest increased by 36.96%, 14.02% and 17.76%. The soil layer with the greatest degree of change is 20~40 cm. 3) Compared with the two cultivated lands, the natural restoration forest significantly increased the porosity of soil capillaries in 0~80 cm soil layer and 0~60 cm soil layer ($P < 0.05$). Naturally restored forest, mixed forest, and pure forest increased by 41.70%, 13.28%, and 12.76%, respectively. The soil layer with the greatest degree of change was at 40~60 cm. This study showed that the natural restoration of *Populus davidiana* forest after returning farmland to forest for 16 years had the greatest impact on soil physical properties and could effectively improve soil physical properties.

Keywords

Hilly and Gully Area, Returning Farmland to Forest, Soil Bulk Density, Total Soil Porosity, Soil Capillary Porosity

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄土高原位于中国的中部偏北, 占地面积约 64 万平方千米, 是地球上分布比较集中的黄土区[1]。由于黄土高原特殊的地貌形态, 加之黄土质地比较疏松, 易受流水侵蚀, 地表植被受到了严重破坏, 土壤物理性质也遭到很大程度的退化[2]。黄土高原地区的雨季大多集中在七到八月份, 大量的降水对土地表面的冲刷加重了水土流失[3]。同时, 由于人类盲目地进行毁林开垦, 在一些陡坡地和沙化地实施耕种, 加剧了生态环境的恶化, 致使一系列自然灾害频频发生, 也使得人民群众的生产、生活及国家的生态安

全遭到了严重威胁[4] [5]。

为遏制环境继续恶化, 2002 年我国正式开启了退耕还林工程。2014 年我国制定一系列重大决策, 准备实施新一轮的退耕还林, 并且对于在坡耕地上种植农作物制定出更加严格的管控措施[6] [7]。为了保护和改善黄土高原地区的生态环境, 退耕还林将在一些容易发生水土流失的地方有计划地停止耕种, 尽可能地扩大植树造林的面积从而恢复森林植被[8]。退耕还林可以有效地控制水土流失和防止土壤退化, 可以增强土壤涵养水源的能力并且影响土壤表层物质的迁移, 从而导致土壤物理性质的改变[9] [10] [11]。土壤的容重、质地和孔隙、结构、水分、热容量等性质与土壤物理性质紧密相关[12] [13]。土壤物理性质在一定程度上可以反映土壤结构和土壤的水文状况, 也可以作为评价土壤质量的一项重要指标[14] [15]。不同的植被其根系分泌物和凋落物都存在差异, 但都可以有效改良土壤性质, 从而对植被的生长发育过程产生影响[16]。张晓霞等人的研究表明, 退耕还林可以有效地改善晋西黄土区土壤容重以及土壤孔隙度, 使水土流失得到一定缓解[17]。张恒硕等人对晋西黄土区退耕还林后的土壤物理性质进行了 23 年的定位观测, 研究发现随退耕年限的增加, 土壤物理性质都在不同程度得到改善, 刺槐侧柏混交林对土壤物理性质的改善最明显[18]。但是目前的研究大多针对土壤表层的理化性质, 对土壤表下层的研究报告相对较少, 对于不同植被类型退耕还林后如何影响土壤物理性质的研究不够深入[19]。

另外, 植被类型对土壤性质的影响具有区域差异性。之前尽管有黄土高原地区的相关研究报告, 但由于区域间地形、气候、土壤等生态因素的差异, 从而会导致出现不同的结果与规律, 因此在晋南地区开展此类研究, 不但能填补该区域此类研究空白, 也能比较区域间差异, 深化相关理论。本文选取晋南典型丘陵沟壑区, 对该地退耕还林 16 年后的土壤物理性质进行研究, 通过三种典型乔木林地的对比分析, 从土层深度和影响程度两方面去探究土壤物理性质的改变, 拟在为晋南典型丘陵沟壑区植被的恢复、水土流失严重地区的生态重建模式以及该区域的可持续发展提供一定的理论参考[20]。

2. 研究区概况

研究区位于山西省运城市平陆县圣人涧镇, 地理坐标: 111°26'E, 34°89'N, 属暖温带大陆性季风气候。年平均日照 2272 h, 年平均气温 13.8°C, 无霜期 238 d。该区极端温度超过 40°C, 1 月平均温度最低, 七月平均温度最高。该区年平均降雨量 600 mm 左右, 冬季多西北风, 其它季节多东南风。

平陆县地处黄土高原东部边缘, 是晋南典型的黄土丘陵沟壑区。全县地貌轮廓呈东西狭长、北高南低的扇形断面。境内水土流失严重, 平均每年流入黄河的泥沙量占全县土地总面积的 77.2%。自 2002 年实行退耕还林以来, 境内水土流失逐渐改善, 生态环境有所好转。退耕形成的林地主要有自然恢复的山杨林(*Populus davidiana*), 人工的刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、侧柏(*Platycladus orientalis* L.)、山杏灌木林地(*Prunus armniaca* L.)、桃树(*Prunus persica*)经济林地等纯林以及刺槐 × 侧柏, 油松 × 刺槐等混交林。该区农业资源丰富, 主要种植小麦、玉米和杂粮等。

3. 研究方法

3.1. 实验方法

2018 年 7 月下旬, 采用野外调查与实验室分析相结合的方法[21], 遵循典型性和代表性原则, 在试验区即山西省运城市平陆县圣人涧镇, 以玉米耕地作为对照, 选取坡向坡度海拔等立地条件相近的样地, 包括退耕还林 16 年后的自然恢复山杨林(natural recovery *Populus davidiana*) (NR)、油松 × 刺槐人工混交林(*Pinus tabuliformis* Carriere × *Robinia pseudoacacia* L. artificial mixed forest) (MF)、刺槐人工纯林(*Robinia pseudoacacia* L. artificial pure forest) (PF)。每种林型分别选取 3 块标准重复样地, 样地面积均为 20 m × 20 m, 共 12 块标准样地并对其进行基本的测树调查。其中海拔利用 GPS 检测, 坡度坡向通过地质罗盘仪测

定, 胸径的测量采用树木胸径尺, 树高利用勃鲁莱测高器测量, 郁闭度采用郁闭度测定器法。样地基本情况见表 1。在上述 12 块选好的实验样地中, 每处随机选取 3 个样点, 每个点分层采集 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 的土壤样品进行分析并重复三次[22] [23]。四种林型共取得 216 个分析土样和 648 个环刀样品, 在实验室对其进行测定与分析。

Table 1. Basic situation of the sample plot

表 1. 样地基本情况

序号	植被类型	海拔	坡度	坡向	平均胸径	平均树高	密度	郁闭度
1	NR1	663	18	NW43	8.44	7.2	1850	0.85
2	NR2	665	19	NW42	8.19	7.3	1846	0.82
3	NR3	664	18	NW43	8.26	7.5	1859	0.84
4	MF1	657	17	NW23	7.15 8.26	6.43	1204 720	0.87
5	MF2	657	18	NW23	7.05 8.41	6.72	1210 730	0.87
6	MF3	659	18	NW25	7.34 8.58	6.57	1219 750	0.88
7	PF1	676	17	NW41	9.13	7.78	1812	0.84
8	PF2	677	17	NW42	9.52	7.98	1817	0.83
9	PF3	677	18	NW41	9.34	7.85	1823	0.85
10	CK1	644	13	NW32	3.92	2.55	73500	0.87
11	CK2	645	13	NW31	3.87	2.46	73600	0.86
12	CK3	645	14	NW31	3.96	2.58	73400	0.85

注: NR: 自然恢复山杨林; MF: 油松 × 刺槐人工混交林; PF: 刺槐人工纯林; CK: 玉米耕地。

3.2. 数据测定与分析

采用环刀法对土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度进行测定[24]。用 Excel2017 软件和 Origin9.0 进行数据整理与作图, 采用 SPSS17.0 软件进行单因素方差分析, 用 Duncan's 法进行多重比较($P < 0.05$)。

4. 结果与分析

4.1. 不同土层土壤容重的变化

与玉米耕地相比, 三种不同植被类型退耕林地的土壤容重在不同土层发生不同的变化。玉米耕地的土壤容重在土层深度 20~40 cm 之间最大, 土壤容重整体随着土层的加深先增加后降低。而退耕 16 年后的自然恢复山杨林、油松刺槐混交林以及刺槐纯林的土壤容重随土层深度的增加逐渐增加(表 2)。

在 0~60 cm 土层中, 三种不同类型退耕林地的土壤容重与玉米耕地相比差异显著, 均低于玉米耕地的土壤容重, 自然恢复山杨林与两种人工林相比差异显著, 而两种人工林差异不显著。在 60~100 cm 的土层中, 自然恢复山杨林与混交林并无明显差异(表 2)。在 0~10 cm 土层中, 相对于耕地, 自然恢复林、混交林、纯林的土壤容重各减少了 41.60%、13.86%、8.02%; 在 10~20 cm 土层中, 三种植被类型的土壤容重各减少了 41.84%、15.60%、9.92%; 在 20~40 cm 土层中, 土壤容重各减少了 46.15%、23.07%、18.58%, 在该土层相对于玉米耕地三种不同植被类型的容重变化率均最大; 在 40~60 cm 土层中, 土壤容重各减少了 25.82%、16.55%、15.23%, 自然恢复林与两种人工林相比变化明显, 但两种人工林之间无显著差异; 在 60~80 cm 土层中, 土壤容重各减少了 14.38%、10.27%、8.90%, 与自然恢复林相比, 混交林的土壤容

重变化不明显, 纯林与玉米耕地的土壤容重均高于自然恢复林并且变化显著; 在 80~100 cm 土层中, 三种不同植被类型土壤容重都低于对照组, 但这四种林分之间无显著差异。

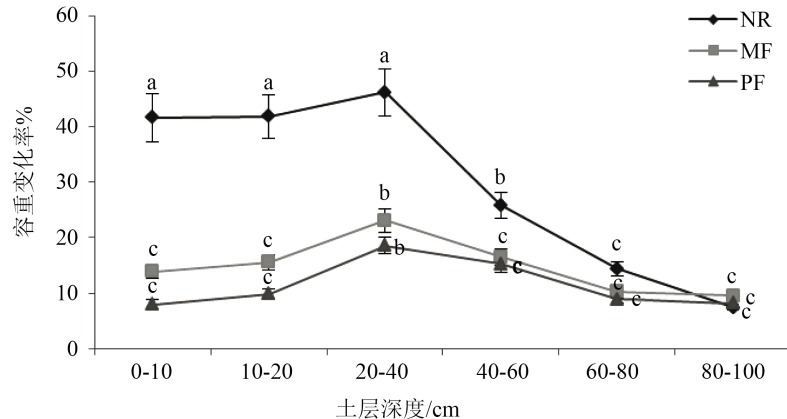
就变化程度而言, 自然恢复林的土壤容重在 20~40 cm 土层中变化最明显, 变化率高达 46.15%, 在 40~100 cm 土层中变化率逐渐降低, 容重变化率最小值达到 7.48%。与玉米耕地相比, 油松刺槐混交林的土壤容重变化率随着土层的加深先上升后下降, 由土壤上层的 13.86% 增加至 40 cm 处的 23.07%, 又降至 60 cm 处的 16.55%, 最小值为 9.52%。刺槐纯林相对于耕地的变化率在 0~40 cm 土层逐渐增加, 最大值达到 18.58%, 在 40 cm 土层之后变化率逐渐下降。整体来看, 自然恢复林对土壤容重的影响深度可达 80 cm, 混交林对土壤容重的影响深度可达 60 cm, 纯林对 20~60 cm 土层土壤容重影响显著(见图 1)。

Table 2. Changes in soil bulk density at different soil

表 2. 不同土层土壤容重变化表

土层深度/cm	土壤容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$			
	NR	MF	PF	CK
0~10	$0.80 \pm 0.02\text{c}$	$1.18 \pm 0.04\text{b}$	$1.26 \pm 0.03\text{b}$	$1.37 \pm 0.05\text{a}$
10~20	$0.82 \pm 0.03\text{c}$	$1.19 \pm 0.03\text{b}$	$1.27 \pm 0.02\text{b}$	$1.41 \pm 0.03\text{a}$
20~40	$0.84 \pm 0.05\text{c}$	$1.20 \pm 0.02\text{b}$	$1.27 \pm 0.03\text{b}$	$1.56 \pm 0.03\text{a}$
40~60	$1.12 \pm 0.02\text{c}$	$1.26 \pm 0.04\text{b}$	$1.28 \pm 0.03\text{b}$	$1.51 \pm 0.03\text{a}$
60~80	$1.25 \pm 0.04\text{b}$	$1.26 \pm 0.02\text{b}$	$1.33 \pm 0.04\text{a}$	$1.46 \pm 0.04\text{a}$
80~100	$1.36 \pm 0.03\text{a}$	$1.33 \pm 0.03\text{a}$	$1.35 \pm 0.02\text{a}$	$1.47 \pm 0.04\text{a}$

注: 同一土层不同字母代表不同植被类型土壤容重差异显著($P < 0.05$)。



注: 同一土层不同字母代表不同植被类型土壤容重变化率差异显著($P < 0.05$)。

Figure 1. Soil bulk density change rate at different soil

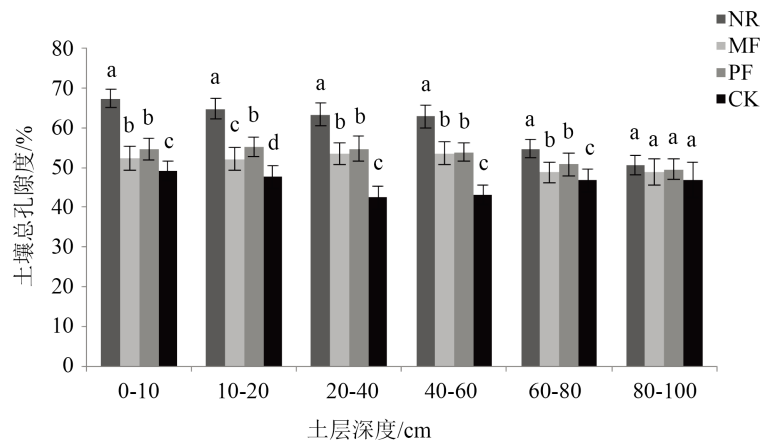
图 1. 不同土层土壤容重变化率

4.2. 不同土层土壤总孔隙度的变化

不同植被类型的退耕地地使土壤总孔隙度在垂直方向上较玉米耕地有明显变化。玉米耕地的土壤总孔隙度在整体上呈现出先降低后增加的趋势, 在 0~20 cm 土层中, 玉米耕地的土壤总孔隙度最大, 在 20~60 cm 处总孔隙度最小(图 2)。而退耕 16 年后的自然恢复山杨林、混交林、纯林的土壤总孔隙度随着土层的加深逐渐降低。

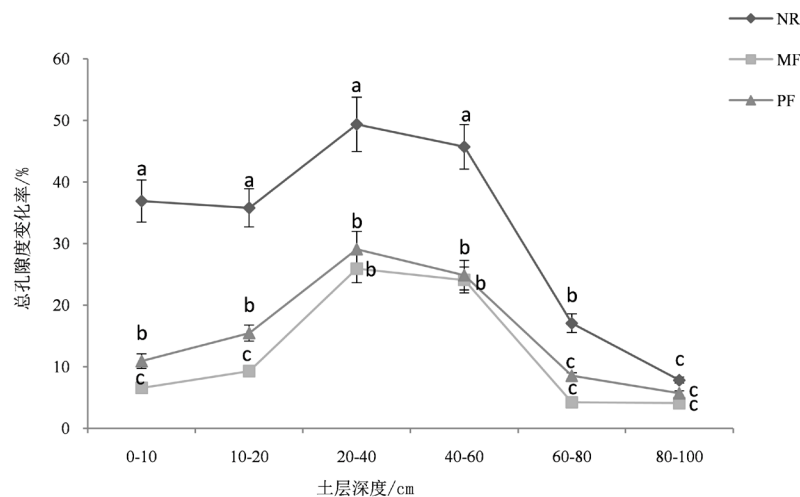
在 0~10 cm 土层中, 三种退耕地地与玉米耕地相比总孔隙度均有明显差异, 但两种人工林之间差异

不显著。相对于耕地,自然恢复林、混交林、纯林的土壤孔隙度变化率分别为 36.90%、6.58%、10.90%;在 10~20 cm 土层中,四种植被类型之间均差异显著,土壤总孔隙度 NR > PF > MF > CK。相对于耕地,退耕的三种林型的土壤总孔隙度分别增加了 35.79%、9.30%、15.46%;在 20~80 cm 土层中,三种退耕地与玉米耕地的土壤总孔隙度均差异显著,自然恢复林与两种人工林地土壤总孔隙度差异显著,两种人工林之间无显著差异。在 20~40 cm 土层中,相比于对照三种退耕林地的土壤总孔隙度分别增加了 49.35%、25.93%、29.09%,达到了各自土壤总孔隙度的最大变化率。在 40~60 cm 土层中,三种退耕地的土壤孔隙度分别增加了 45.70%、24.09%、24.85% (图 3)。在 60~80 cm 土层中,自然恢复林、混交林和纯林的土壤总孔隙度相对于玉米耕地分别增加了 17.06%、4.23%、8.52%。在 80~100 cm 土层中,相比于对照组,三种退耕地土壤总孔隙度变化均不太明显,平均变化率低于 10%。综上所述,相对于耕地,自然恢复林在 0~80 cm 土层的土壤孔隙度变化明显,两种人工林在 20~60 cm 土层的土壤孔隙度变化明显但低于自然恢复林(图 3)。



注: 同一土层不同字母代表不同植被类型土壤总孔隙度差异显著($P < 0.05$)。

Figure 2. Changes in total soil porosity at different soil
图 2. 不同土层土壤总孔隙度变化图



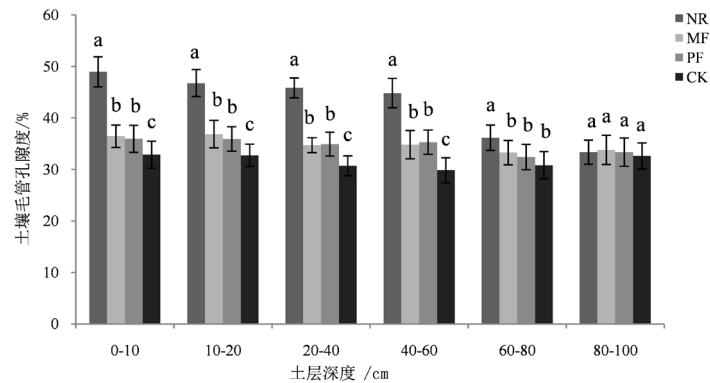
注: 同一土层不同字母代表不同植被类型土壤总孔隙度变化率差异显著($P < 0.05$)。

Figure 3. Change rate of total soil porosity at different soil
图 3. 不同土层土壤总孔隙度变化率

4.3. 不同土层土壤毛管孔隙度的变化

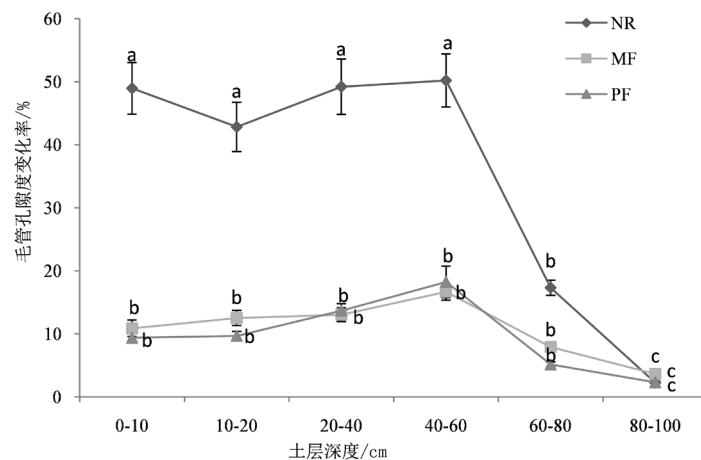
三种不同类型退耕林地的土壤毛管孔隙度随土层深度的增加都有所下降但幅度不大。在 0~60 cm 土层中，三种退耕林地与对照相比均有显著差异，自然恢复林的毛管孔隙度均高于其他三种植被类型且差异显著，但是混交林和纯林之间无明显差异。在 60~80 cm 土层中，自然恢复林与其他三种林地差异显著，而混交林、纯林与玉米耕地之间无显著差异。在 80~100 cm 土层中，四种林分之间均无显著差异(图 4)。

不同类型退耕林地的土壤毛管孔隙度在不同土层深度变化也不同。在 0~10 cm 土层中，相比对照自然恢复林、混交林和纯林的土壤毛管孔隙度分别增加了 48.95%、10.89%、9.40%；在 10~20 cm 土层中，三种退耕林地相比对照分别增加了 42.83%、12.51%、9.70%；在 20~40 cm 土层中，三种退耕林地相比对照分别增加了 49.21%、13.05%、13.70%；在 40~60 cm 土层中，三种植被类型的毛管孔隙度分别增加了 50.20%、16.68%、18.26%，均达到了土壤毛管孔隙度变化率的最大值；在 60~100 cm 土层中，三种植被类型的毛管孔隙度变化不明显，平均变化率小于 10% (图 5)。就变化率而言，在 0~60 cm 土层中，自然恢复林的毛管孔隙度相比耕地变化显著，最大可达到 50% 以上。两种人工林的毛管孔隙度变化率随土层深度增加呈现出先增加后降低的趋势，在 20~60 cm 土层中变化明显。



注：同一土层不同字母代表不同植被类型土壤毛管孔隙度差异显著($P < 0.05$)。

Figure 4. Changes in soil capillary porosity at different soil
图 4. 不同土层土壤毛管孔隙度变化图



注：同一土层不同字母代表不同植被类型毛管孔隙度变化率差异显著($P < 0.05$)。

Figure 5. Variation rate of soil capillary porosity at different soil
图 5. 不同土层土壤毛管孔隙度变化率

5. 讨论

土壤物理性质受地上植被类型的影响, 由于枯枝落叶的增加, 树木的根系活动, 地上与地下生物量的分配[25], 对微气候的影响[26], 固氮的能力[27], 土壤的水热状况以及人为干扰的减少, 退耕还林可以有效改良土壤理化性质[28]。其主要的原因在于退耕还林可以增加土壤有机质和土壤粘粒, 并对土壤结构、土壤水肥起到一定的改善作用, 这也反过来促进了地上植被的生长发育[29] [30]。土壤容重和土壤孔隙度可以反映土壤涵养水源的能力, 也能够作为评价土壤松紧程度的指标, 同时也受到土壤质地、人为干扰的影响[31]。

本文通过对晋南典型丘陵沟壑区退耕还林 16 年后的不同植被类型的土壤物理性质进行研究, 发现随退耕年限的增加, 土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度等物理性质均发生改变。三种植被类型的土壤容重随退耕年限的增加都明显减少, 土壤总孔隙度和毛管孔隙度都明显增加。不同林分的退耕地都表现出对土壤物理性质的改善作用。从影响程度来看, 自然恢复林可以明显改善土壤的物理性质, 两种人工林次之。自然恢复林对土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度的影响最大可达到 46.15%、49.35%、50.20%。油松刺槐混交林对土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度的影响最大可达到 23.07%、25.93%、16.68%。刺槐纯林对土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度的影响最大可达到 18.58%、29.09%、18.26%。在 0~60 cm 土层中, 自然恢复林与两种人工林以及玉米耕地的土壤物理性质差异显著; 两种人工林与玉米耕地的土壤物理性质差异显著, 但是两种人工林差异不显著。影响程度分别是自然恢复山杨林 > 人工林 > 玉米耕地。

邢菊香等人[23]通过对陕西省吴起县退耕还林后土壤理化性质的研究表明, 退耕还林可以有效改良土壤性质, 不同的植被类型其改善程度也不同, 这与本研究的结论一致; 彭文英对陕西安塞县退耕还林后的土壤进行研究, 结果发现刺槐林地对土壤改良作用比较明显, 与其他林地相比, 退耕 13 年的刺槐林地土壤养分含量较高, 对土壤物理性质有明显的改善。与耕地相比, 刺槐林地的土壤容重在退耕 13 年后减少了 13%, 孔隙度约增加了 8% [32]。这与本研究得出刺槐纯林容重较耕地最大减少 18.58%, 总孔隙度最大增加 29.09% 有一定差别; 张晓霞等人在晋西黄土区展开研究, 结果发现退耕 22 年后土壤物理性质得到改善, 土壤粘粒和土壤有机质的含量都增加。其中自然恢复林对土壤性质的影响深度可达 80 cm, 人工林对土壤性质的影响深度可达 60 cm, 不同的植被对土壤质量的影响明显不同[17]。这与本文得出的结论基本一致。由此可见, 随着退耕年限的增加, 不同的植被对土壤物理性质都有一定的改善。但是不同地区、不同林分的改善程度存在差异, 这可能与不同地区的地形、土壤质地、气候条件密切相关。由于不同林分的凋落物的输入以及树木根系微生物的活动, 形成比较稳定的团聚体, 从而进一步改善土壤的物理性质。本研究对将来研究典型丘陵沟壑区不同年限退耕还林对土壤物理性质的影响可以起到一定的参考作用。

6. 结论

晋南典型丘陵沟壑区退耕还林 16 年后的土壤容重、土壤总孔隙度、土壤毛管孔隙度等物理性质相对于玉米农田变化显著, 具体为:

1) 自然恢复山杨林和两种人工林相比玉米耕地土壤容重的变化深度主要分别发生在 0~80 cm 和 0~60 cm 土层中($P < 0.05$)。其中自然恢复山杨林土壤容重平均下降了 33.96%, 混交林和纯林土壤容重分别平均下降了 17.27% 和 12.94%。三种退耕地容重变化最大的土层深度是 20~40 cm 处。

2) 随着土层深度的变化, 三种退耕林地的总孔隙度也发生改变。与耕地相比, 自然恢复林对土壤总孔隙度的影响深度发生在 0~80 cm 土层中, 两种人工林对土壤总孔隙度的影响深度发生在 0~60 cm 土层中($P < 0.05$)。自然恢复山杨林土壤总孔隙度平均增加 36.96%, 混交林和纯林土壤总孔隙度分别平均增加

14.02%和 17.76%。三种退耕林地土壤总孔隙度变化最大的土层深度是 20~40 cm 处。

3) 自然恢复山杨林土壤毛管孔隙度影响深度可达 0~80 cm, 两种人工林土壤毛管孔隙度影响深度为 0~60 cm ($P < 0.05$)。相对于耕地, 自然恢复人工林、混交林、纯林的土壤毛管孔隙度分别平均增加了 41.70%、13.28%、12.76%。三种退耕林地土壤毛管孔隙度变化最大的深度为 40~60 cm 处。

综上所述, 随着退耕年限的增加, 三种不同类型的退耕林地都可以在一定程度上改善土壤的物理性质, 其中自然恢复山杨林对土壤物理性质的改善效果最明显。在不同地区, 不同植被类型的退耕林地对土壤物理性质的影响不同。因此在黄土高原丘陵沟壑地区生态恢复的实践当中, 应当因地制宜, 充分考虑当地的气候和土壤等生态要素, 采取人工林和自然林相结合的方式, 以达到有效改善土壤性质, 恢复植被的目的。本研究主要考虑了地上植被因素对土壤物理性质的影响, 而缺乏对地下生物因素的探讨。地上植被的不同, 会极大影响地下根系微生物的种类和数量, 从而对土壤理化性质产生影响。今后的研究当中, 应当在考虑地上环境和生物因素的基础上, 结合地下微生物因素, 从机理上更加深入系统地阐释生物因素对土壤物理性质的影响。

参考文献

- [1] 高健翎, 张建国, 朱莉莉, 等. 黄土丘陵沟壑区水土保持关键措施变化特征[J]. 水土保持通报, 2019, 39(3): 114-118.
- [2] 朱燕琴, 赵志斌, 齐广平. 黄土丘陵区植被类型和降雨对坡面侵蚀产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 9-16.
- [3] 郭宇, 王树森, 马迎梅, 等. 植被毯对内蒙古清水河县黄土丘陵沟壑区黄土边坡产流产沙量的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(6): 61-71.
- [4] 李裕元, 邵明安, 陈洪松, 等. 水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4306-4316.
- [5] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [6] 连颢, 黄峰. 伊洛河上游流域退耕还林/还草对蓝水绿水分配的影响[J]. 中国生态农业学报, 2019, 27(9): 1409-1420.
- [7] 王一超, 郝海广, 翟瑞雪, 等. 农户退耕还林生态补偿预期及其影响因素——以哈巴湖自然保护区和六盘山自然保护区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(8): 69-75.
- [8] Deng, L., Liu, G.B. and Shangguan, Z.P. (2014) Land-Use Conversion and Changing Soil Carbon Stocks in China's "Grain-for-Green" Program: A Synthesis. *Globe Change Biology*, **20**, 3544-3556. <https://doi.org/10.1111/gcb.12508>
- [9] 李建明, 王志刚, 王爱娟, 等. 退耕还林恢复年限对岩溶槽谷区石漠化土壤物理性质的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(1): 99-108.
- [10] 陈鹏, 郭建英, 董智, 等. 砒砂岩区不同退耕还林措施土壤颗粒及交换性能分布特征[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 43-50.
- [11] Wang, L., Mu, Y., Zhang, Q.F., *et al.* (2012) Effects of Vegetation Restoration on Soil Physical Properties in the Wind-Water Erosion Region of the Northern Loess Plateau of China. *CLEAN—Soil, Air, Water*, **40**, 7-15. <https://doi.org/10.1002/clean.201100367>
- [12] 王艳芳, 刘领, 悦飞雪, 等. 退耕还林工程对河南省森林地上碳储量的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(3): 507-514.
- [13] 李永宁, 王忠禹, 王兵, 等. 黄土丘陵区典型植被土壤物理性质差异及其对导水特性影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(6): 176-181.
- [14] Arshad, M.A., Lowery, B. and Grossman, B. (1996) Physical Tests for Monitoring Soil Quality. In: Doran, J.W. and Jones, A.J., Eds., *Methods for Assessing Soil Quality*, SSSA Special Publications, Vol. 49, Soil Science Society of America, Madison, 123-141. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c7>
- [15] Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., *et al.* (2001) Influence of Soil Properties on the Aggregation of Some Mediterranean Soils and the Use of Aggregate Size and Stability as Land Degradation Indicators. *Catena*, **44**, 47-67. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00176-4](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00176-4)

- [16] 刘欣, 彭道黎, 邱新彩. 华北落叶松不同林型土壤理化性质差异[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(4): 735-743.
- [17] 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.
- [18] 张恒硕, 查同刚, 张晓霞. 晋西黄土区退耕年限对土壤物理性质的影响[J]. 北京林业大学学报, 2020, 42(6): 123-133.
- [19] 李庆云, 余新晓, 信忠保, 等. 黄土高原典型流域不同土地利用类型土壤物理性质分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 106-114.
- [20] 闫焯琛, 赵廷宁, 张艳, 等. 不同植物恢复措施对采石矿废弃地土壤物理性质的改良效果及评价[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36(6): 1062-1068.
- [21] 侯宁宁, 苏晓琳, 杨钙仁, 等. 桉树造林的土壤物理性质及其水文效应[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 101-107.
- [22] 姚甜甜, 张鹏, 万丹, 等. 藏东南色季拉山迎风坡土壤物理性质垂直梯度差异性分析[J]. 北方园艺, 2019(24): 94-102.
- [23] 邢菊香, 郭建英, 赵杏花, 等. 黄土丘陵区退耕还林后土壤物理性质恢复特征的研究——以陕西省吴起县为例[J]. 内蒙古农业大学学报, 2010, 31(1): 41-46.
- [24] 李朝英, 郑路. 利用环刀法测定土壤水分精度的影响因素[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 118-123.
- [25] Cuevas, E., Brown, S. and Lugo, A.F. (1991) Above and Belowground Organic Matter Storage and Production in a Tropical Pine Plantation and a Paired Broadleaf Secondary Forest. *Plant Soil*, **135**, 257-268. <https://doi.org/10.1007/BF00010914>
- [26] Montagnini, F., Ramstad, K. and Sancho, F. (1993) Litter Fall, Litter Decomposition and the Use of Mulch of Four Indigenous Tree Species in the Atlantic Lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, **23**, 39-61. <https://doi.org/10.1007/BF00704850>
- [27] Roggy, J.C., Prevost, M.F., Gourbiere, F., et al. (1999) Leaf Natural ^{15}N Abundance and Total N Concentration as Potential Indicators of Plant N Nutrition in Legumes and Pioneer Species in a Rain Forest of French Guiana. *Oecologia*, **120**, 171-182. <https://doi.org/10.1007/s004420050846>
- [28] 庞学勇, 包维楷, 江元明, 等. 九寨沟和黄龙自然保护区原始林与次生林土壤物理性质比较[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(6): 768-773.
- [29] Li, X.G., Li, F.M., Zed, R., et al. (2007) Soil Physical Properties and Their Relations to Organic Carbon Pools as Affected by Land Use in an Alpine Pastureland. *Geoderma*, **139**, 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.01.006>
- [30] Zhao, H.L., Guo, Y.R., Zhou, R.L., et al. (2011) The Effects of Plantation Development on Biological Soil Crust and Topsoil Properties in a Desert in Northern China. *Geoderma*, **160**, 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.005>
- [31] 杨士凯, 周运超, 黄磊, 等. 杉木成熟林土壤容重空间变异特征[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(1): 30-38.
- [32] 彭文英, 张科利, 陈瑶, 等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 272-278.