

# 南水北调中线水源区退耕地土壤理化特性研究

宇苗子, 孙虎, 王继夏

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:**以南水北调水源区陕西省宁陕县寨沟小流域为例, 选择退耕还林区退耕 2、5、9、12 和 16 a 的 5 块样地以及作为对照的坡耕地, 对其土壤含水量、容重、孔隙度和有机质进行了采样测定。结果表明, 退耕 5、9、12、16 a 的土壤物理性状较坡耕地有明显改善。其中土壤含水量、孔隙度和有机质均表现为逐渐增加的趋势, 土壤容重则随着退耕年限的增加不断减小。而退耕 2 a 的土壤水分、物理状况与坡耕地相比没有明显改善。随土层深度的增加, 土壤含水量、孔隙度和有机质呈逐渐减少、土壤容重呈逐渐增加的趋势。说明通过退耕还林, 能够使坡地土壤肥力和保水、蓄水能力得到改良, 抗侵蚀能力得以增强, 但必须有较长的退耕恢复时间, 才可能有明显变化。

**关键词:** 南水北调中线; 水源区; 退耕地; 土壤物理性质

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0029-05

中图分类号: S152

## Soil Physicochemical Properties on Returned Farmlands in the Water Source Area of the South-to-North Water Diversion Project

YU Miao-zi, SUN Hu, WANG Ji-xia

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** Soil water content, bulk density, porosity, and organic matter on five abandoned farmlands (2, 5, 9, 12, and 16 years) are studied by contrasting with slope farmland in Zhaigou District of Ningshan County. Results show that soil physicochemical properties on four returned farmlands (5, 9, 12, and 16 years) are better than slope farmland. Soil water content, porosity, organic matter, and bulk density are improved with rehabilitation time, whereas soil physicochemical properties in the 2 year returned farmland do not change obviously. Soil water content, porosity, and organic matter are reduced with increased soil depth and however, bulk density is on the contrary. This suggests that soil fertility, water retaining capacity, storage capacity, and anti-erosion ability can be improved by returning farmland to forest, but it will not make significant changes in a short time.

**Keywords:** south-to-north water diversion project; returned farmland; soil physicochemical property

土壤含水量、容重、孔隙度、有机质等物理指标是植物生长和发育的必要环境因子, 并与土壤的持水、保水及渗水能力直接相关, 直接影响着土壤的通水性、透气性能, 反映土壤水分和热量状况<sup>[1-3]</sup>。因此, 土壤理化性质与地表植被的生长有着密切的关系。陕南地区长期以来大面积盲目毁林开荒、坡耕地耕种, 使局部区域森林植被受到一定程度的破坏, 降低了水源涵养能力, 土地严重退化, 土壤保水持水能力下降。尽快重建山区森林植被并充分发挥其水源涵养功能, 成为改善陕南地区水资源状况的重要途径之一。本研究选取陕西省宁陕县寨沟流域作为研究对象, 对不同退耕年限土地的土壤水分、土壤理化性质

状况进行研究, 了解植被恢复与土壤状况的关系, 评价植被恢复的效果, 为在宁陕县更好的进行植被建设提供理论依据。

### 1 研究区概况

试验区位于陕西省宁陕县寨沟流域, 属于汉江支流的长安河流域, 丹江口水库水源区。该地属于北亚热带山地湿润气候区。因地处山区, 气候的垂直变化和区域差异较大。平均日照数为 16 263 h, 日照百分率为 36.7%。无霜期达 216 d。该区平均年降水量 915.5 mm, 最高达 1 207.1 mm。土壤为普通黄棕壤

和粗骨性山地黄棕壤及部分水稻土,土层厚度分布不均,从坡面的 25 cm 左右到河道的数米不等。该流域内岩石主要为构成陡崖山岭的花岗岩类岩石,偶有结晶灰岩。全流域主要树种有 60 科 246 种,其中用材树 45 科 77 种,经济树 18 科 38 种,观赏树 9 科 31 种,针叶树 5 科 25 种,珍贵稀有树种 8 种。境内有多种国家级保护动物,如羚牛、朱鹮等。该地区土地资源较丰富,人均 1.09 hm<sup>2</sup>,但可耕地资源贫乏,农业人均耕地仅为 0.15 hm<sup>2</sup>。坡耕地面积为 6 266.67 hm<sup>2</sup>,占耕地总面积的 2/3 左右。国家实施退耕还林工程后,至 2008 年累计退耕还林 12 940 hm<sup>2</sup>。该区耕地土薄石多,水土流失严重,土壤贫瘠,土地退化严重,生产力低下,单产多在 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 以下。总人

口 151.34 万人,其中农业人口占 86%,由于位于山区,交通条件较差,经济发展缓慢,均为省级贫困县,农业人口人均年收入只有 982 元,远低于全省 1 596 元的平均水平<sup>[4]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样点选择

在研究区内选定立地条件相似的退耕 2 a、退耕 5 a、退耕 9 a、退耕 12 a、退耕 16 a 样地,同时设置相同立地条件的坡耕地作为对照。在坡耕地设置 5 m × 5 m 样方,另外 5 块退耕土地分别设置 10 m × 10 m 样方。同时调查各样地的基本情况,样地基本情况见表 1。

表 1 各样地基本情况

样地	土壤类型	坡向	坡度	平均盖度	主要植被
坡耕地	黄棕壤	半阳坡	29°	—	玉米( <i>Zea mays</i> )
退耕 2 a	粗骨性黄棕壤	阴坡	26°	55%	白茅( <i>Imperata cylindrica</i> ) + 小白酒草( <i>Conyza japonica</i> )
退耕 5 a	黄棕壤	阳坡	28°	80%	芥菜( <i>Brassica juncea</i> ) + 铁苋菜( <i>Acalypha australis</i> ) + 小白酒草( <i>Conyza japonica</i> )
退耕 9 a	黄棕壤	半阳坡	26°	78%	野艾蒿( <i>Artemisia lavandulaefolia</i> ) + 小白酒草( <i>Conyza japonica</i> ) + 猪毛蒿( <i>Artemisia scoparia</i> )
退耕 12 a	黄棕壤	半阳坡	28°	75%	白茅( <i>Imperata cylindrica</i> ) + 牛尾蒿( <i>Artemisia dubia</i> ) + 野艾蒿( <i>Artemisia lavandulaefolia</i> )
退耕 16 a	黄棕壤	半阳坡	30°	28% 林 + 75% 草	板栗( <i>Castanea mollissima</i> ) + 林下草本

### 2.2 测定方法

测定时间为 2008 年 9—10 月。土壤调查采用剖面法,在每块样方沿坡面由上到下选取 3 个点,每个点挖 1 个剖面,每个剖面分别按 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 和 50 cm; 用环刀、铝盒和土样袋取样。测定土壤含水量、容重及孔隙度时,每项指标均将 3 个点样品的结果取平均值。分析有机质含量时,将 3 个点样品混合后进行测定。

土壤含水量用烘干法测定,土壤容重用环刀法测定;土壤孔隙度是根据测得的土壤比重、容重经过计算求得,计算公式为:

$$P_t(\%) = (1 - r_s/d_s) \times 100$$

式中:  $P_t$  ——土壤总孔隙度(%);  $r_s$  ——土壤体积质量( $g/cm^3$ );  $d_s$  ——土壤密度( $g/cm^3$ )。土壤有机碳用外加热重铬酸钾氧化法测定<sup>[5]</sup>,计算公式:

$$X = [(V_0 - V)c \times 0.003 \times 1.724 \times 100] / m$$

式中:  $X$  ——土壤有机质含量(%);  $V_0$  ——空白滴定时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积(ml);  $V$  ——测定试样时消耗硫酸亚铁标准溶液的体积(ml);  $c$  ——硫

酸亚铁标准溶液的浓度(mol/L); 0.003 为 1/4 碳原子的摩尔质量数( $g/mol$ ); 1.724 为有机碳换算为有机质的系数;  $m$  ——烘干试样质量(g)。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤含水量

土壤含水量直接影响着作物生长,农田小气候以及土壤的机械性能<sup>[6-7]</sup>。各退耕地土壤(0—50 cm)含水量均值与坡耕地和退耕 2 a 地有显著差异( $P < 0.05$ )。其中增加幅度最大的是退耕 16 a 地,其土壤含水量均值为 20.26%,比坡耕地增加了 43.99%;其次为退耕 12 a 地,含水量均值为 18.54%,比坡耕地增加了 31.77%;退耕 9 a 的土壤含水量均值为 17.69%,比坡耕地增加了 25.68%;退耕 5 a 的土壤含水量均值为 15.88%,增加了 12.86%。退耕 2 a 的土壤类型为粗骨性黄棕壤,土壤颗粒粗,石块多,保水能力差,因此含水量均值最小,为 11.57%。

从图 1 可知,垂直剖面上,退耕 16, 12, 9 和 5 a 的水分含量均先减少,之后略有回升,坡耕地水分含量表

现为先增加后减少。这主要是雨水入渗、土壤水分向上蒸发和根系分布综合作用的结果。退耕2 a的土壤水分垂直变化不大,一方面是由于没有林冠层和枯枝落叶的截留和树木蒸腾的大量耗水,另一方面是由于其土壤砾石含量多,蓄水能力较差。在0—20 cm,各样地土壤含水量均值差异显著( $P < 0.05$ )。退耕16 a的土壤含水量最高,接下来依次是退耕12 a、退耕9 a、退耕5 a和坡耕地,退耕2 a的土壤含水量最低。在20—50 cm土层中,各样地土壤含水量均低于0—20 cm土层,且随着土壤深度的增加,各样地土壤含水量差异逐渐减小( $P > 0.05$ ),这是因为植被主要是通过提高土壤有机质含量,改善结构,降低土壤容重和增加土壤孔隙度等土壤物理特性对土壤的蓄水和持水性能产生作用。这种作用在0—20 cm土层表现明显,20 cm以下的土层受到的影响则比较微弱。

### 3.2 土壤容重

土壤容重是表征土壤物理性质的一个重要指标,综合反映了土壤颗粒和土壤孔隙的状况,容重小,表明土壤疏松多孔,土壤水分的渗透性和通气状况较好,容重大则表明土壤紧实板硬,透水透气性差,且土壤抗冲性也较差,土壤更容易遭受侵蚀<sup>[8]</sup>。退耕2 a地以及坡耕地的土壤(0—50 cm)容重均值与其他样地相比,差异极显著( $P < 0.01$ )。退耕2 a地比坡耕地容重均值高出10.11%。退耕5 a后,土壤容重开始有所改善,从 $1.293 \text{ g/cm}^3$ 降到 $1.080 \text{ g/cm}^3$ ,随着退耕年限的增加,土壤容重逐渐减小。与坡耕地相比,退耕5 a的土壤容重均值减少了19.79%;退耕9 a的土壤容重均值为 $1.079 \text{ g/cm}^3$ ,减少了19.89%;退

耕12 a的土壤容重均值为 $1.037 \text{ g/cm}^3$ ,减少了24.77%;退耕16 a的土壤容重均值为 $1.003 \text{ g/cm}^3$ ,减少了28.88%(表2)。

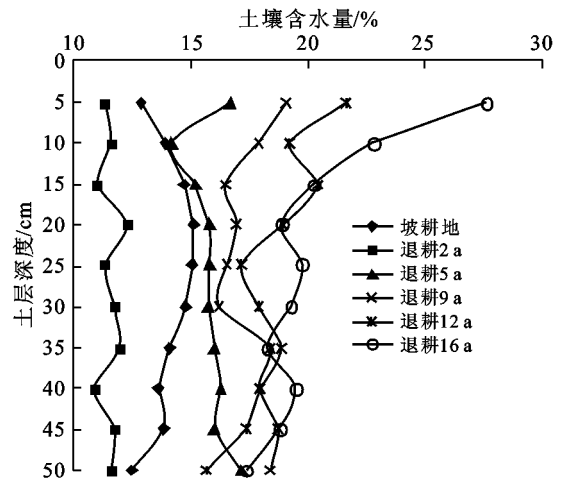


图1 不同退耕年限土壤水分垂直变化

在垂直剖面上,各样地的土壤容重随土层深度的增加而呈增大的趋势。在0—30 cm土层中,土壤容重的增加幅度比较小,而30—50 cm土层中,增加幅度则较大。这是由于土壤受到草根、树根等的影响,有机质和腐殖质一般都集中在土壤表层,随着土层的加深,其含量逐渐减少,土壤容重也就随之增加。另外,坡耕地的土壤容重在30—50 cm土层的增幅较其它样地更大,这是由于0—30 cm范围为耕作层,土壤较为疏松。而30 cm以下,由于淀积作用及较少人为干预,土壤容重便急剧增加。

表2 不同退耕年限土壤容重

土壤深度/cm	土壤容重/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )					
	坡耕地	退耕2 a	退耕5 a	退耕9 a	退耕12 a	退耕16 a
0—5	1.167	1.330	1.050	0.946	0.970	0.934
5—10	1.205	1.367	1.046	0.989	0.987	0.975
10—15	1.201	1.391	1.048	1.036	1.001	0.972
15—20	1.231	1.398	1.055	1.050	0.998	0.977
20—25	1.259	1.399	1.075	1.070	1.020	0.990
25—30	1.269	1.450	1.079	1.076	1.052	0.996
30—35	1.321	1.427	1.091	1.115	1.070	0.999
35—40	1.382	1.496	1.109	1.123	1.091	1.010
40—45	1.409	1.494	1.116	1.159	1.089	1.084
45—50	1.494	1.526	1.133	1.184	1.092	1.103

### 3.3 土壤孔隙度

土壤孔隙状况与土壤团聚体直径、土壤质地及土壤中有机质含量有关,影响土壤通气性、透水性和林

木根系生长,是土壤肥力的重要指标之一<sup>[9-10]</sup>。退耕5,9,12和16 a的4块样地,土壤(0—50 cm)孔隙度均值差异不显著( $P > 0.05$ ),但与退耕2 a地和坡耕

地相比,土壤孔隙状况差异明显( $P < 0.01$ )。由表 3 可知,孔隙度均值由高到低的顺序为:退耕 16 a > 退耕 12 a > 退耕 9 a > 退耕 5 a > 坡耕地 > 退耕 2 a。其中退耕 2 a 的土壤孔隙度均值比坡耕地减小了 10.72%。这是由于退耕初期,植被还未充分恢复,根系不是很发达,土壤团粒结构比较少。总体来看,实

施退耕后,土壤透气性增强,土壤物理性质得到改善。垂直剖面上,各样地表层的土壤孔隙度均高于土壤下层,并且随着土层深度的增加,孔隙度下降幅度略有增加。引起这一结果的原因一方面可能是土壤在不同深度的熟化程度不同,另一方面可能是植物的根系作用引起的。

表 3 不同退耕年限土壤孔隙度

土壤深度/cm	土壤孔隙度/%					
	坡耕地	退耕 2 a	退耕 5 a	退耕 9 a	退耕 12 a	退耕 16 a
0—5	55.45	50.08	59.30	61.40	61.94	63.74
5—10	54.19	48.86	59.44	61.30	61.37	61.77
10—15	54.31	48.06	59.37	59.77	60.91	61.87
15—20	53.33	47.82	59.13	59.29	61.02	61.73
20—25	52.39	47.80	58.49	58.64	60.30	61.29
25—30	52.08	46.11	58.33	58.46	59.25	61.08
30—35	50.35	46.85	57.95	57.16	58.63	60.97
35—40	48.34	44.59	57.35	56.89	57.95	60.63
40—45	47.45	44.66	57.14	55.70	58.00	58.68
45—50	44.64	43.60	56.58	54.89	57.52	58.35

### 3.4 土壤有机质

土壤有机质是鉴别土壤肥力的重要标志,是肥力形成的实质。它直接影响着土壤的理化性质和生物活性,是反映土壤肥力状况和供肥特性的决定性因素<sup>[11-13]</sup>。根据测试结果,退耕 5, 9, 12, 16 a 地的土壤(0—50 cm)有机质含量均值和坡耕地的差异达显著水平( $P < 0.05$ )。其中退耕 16 a 的土壤有机质含量均值为 3.81%,比坡耕地增加 104.03%;退耕 12 a 的土壤有机质含量均值为 3.24%,增加了 73.44%;退耕 9 a 的土壤有机质含量均值为 2.55%,增加了 36.38%;退耕 5 a 的土壤有机质含量均值为 2.23%,增加了 19.46%。这是由于林草根系发达,茎叶枯黄物和衰老退化的根系腐烂物可有效改善土壤的通气状况和有机质的含量。而退耕 2 a 地的植被覆盖度较低,因此有机质状况最差。有机质均值为 2.1%,和坡耕地相比,减小了 43.65%。

垂直剖面上,各样地土壤有机质均呈下降趋势,在 0—30 cm 下降幅度较大,之后便趋于稳定(图 2)。这是由于植被通过光合作用和碳循环活动向土壤中输送和固定碳素逐渐增大,尤其是土壤表层植被根系在 0—30 cm 土层的层聚,使 0—30 cm 土层土壤有机质含量明显大于与其它土层。在各样地中,坡耕地的土壤有机质变动比较平缓,这是由于坡耕地每年都要进行翻耕,使上下土层混合重新配比。

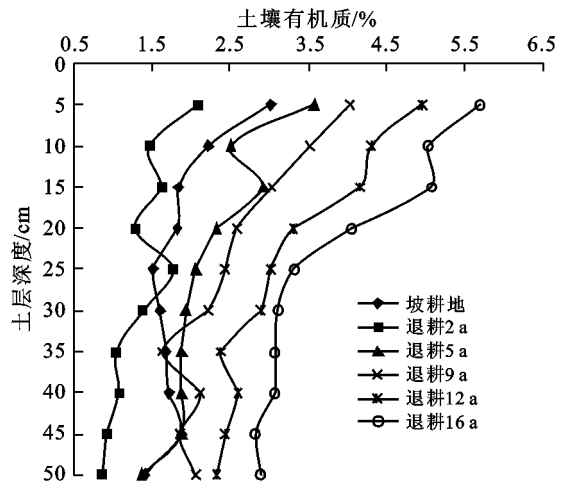


图 2 不同退耕年限土壤有机质变化

## 4 结论

(1) 不同退耕年限土地的土壤理化性质有明显区别,土壤含水量、孔隙度和有机质表现为:退耕 16 a > 退耕 12 a > 退耕 9 a > 退耕 5 a > 坡耕地 > 退耕 2 a。土壤容重表现为:退耕 2 a > 坡耕地 > 退耕 5 a > 退耕 9 a > 退耕 12 a > 退耕 16 a。这表明,退耕对土壤的改良作用在退耕 5 a 后才开始逐渐起效。退耕 2 a 内,土壤理化性质并没有明显的改善,由于失去了人类耕作活动的维护和干预,而自然植被还未大量生长,因此土壤的肥力状况略有降低。

(2) 垂直剖面上, 随土层深度的增加, 土壤孔隙度和有机质的变化较为稳定, 均表现为逐渐减少的趋势。土壤容重则逐渐增加, 与孔隙度的变化呈负相关。土壤含水量在垂直剖面上的变化较复杂, 这与降雨入渗和土壤水分向上蒸发作用有关。退耕后土地利用方式的改变, 引起土壤容重和机械组成的变化, 而且土壤水分的垂直变异结构及其分布格局也发生变化。这在一定程度上增加了土壤储水量, 土壤总体上朝着有利于水分保蓄和植被恢复的方向转变。

(3) 宁陕县实施退耕后, 寨沟流域的土壤容重、孔隙度、含水量、有机质均得到了较为明显的改善。且随着退耕时间的延长, 土壤孔隙状况、水分状况改善的幅度越来越大, 这说明了南水北调水源区退耕还林对土壤理化性质有明显改善作用。退耕后, 随着时间的延续, 植被迅速恢复, 养分不断积累, 逐渐向天然林草地演替, 因此, 建议适当加大该区对坡耕地的退耕力度。同时, 相应的生态补偿措施要进一步加强, 保持所取得的退耕还林效果。退耕 2a 自然演替形成的荒坡, 土壤理化性质变化不明显, 含水保水效果改善不大, 因此, 山区坡地土壤理化性质改良, 不但要退耕, 还必须要有较长的退耕恢复时间, 才可能有明显变化。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 赵小社, 毕玉芬, 孙涛, 等. 金沙江流域退耕还草对土壤物理性质的影响[ J ]. 云南农业大学学报, 2007, 22( 5 ): 726-730.
- [ 2 ] 韩永伟, 韩建国, 张蕴薇, 等. 利用年限对农牧交错带退耕还草地土壤物理性质的影响[ J ]. 生态环境, 2004, 13( 4 ): 626-629.
- [ 3 ] 王继夏, 孙虎, 李俊霖, 等. 秦岭中山区山地景观格局变化及驱动力分析[ J ]. 山地学报, 2008, 26( 5 ): 546-552.
- [ 4 ] 宁陕县地方志编纂委员会. 宁陕县志[ M ]. 西安: 陕西人民出版社, 1992: 57-61.
- [ 5 ] 霍亚贞, 李天杰. 土壤地理试验实习[ M ]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 5-33.
- [ 6 ] 吴钦孝. 森林保持水土机理及功能调控技术[ M ]. 北京: 科学出版社, 2005: 132-157.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] 韩永伟, 韩建国, 张蕴薇. 农牧交错带退耕还草对土壤物理性状的影响[ J ]. 草地学报, 2002, 10( 2 ): 100-105.
- [ 9 ] 石辉, 刘世荣. 森林土壤大孔隙特征及其生态水文学意义[ J ]. 山地学报, 2005, 23( 5 ): 533-539.
- [ 10 ] 高国雄, 周心澄, 史常青, 等. 北川河流域低位脑山区退耕还林的土壤效应[ J ]. 干旱区农业研究, 2008, 26( 5 ): 205-211.
- [ 11 ] 周永娟, 侯彦林, 李红英, 等. 吉林省玉米主产区土壤有机质和速效养分分布特征[ J ]. 土壤通报, 2008, 39( 5 ): 1038-1041.
- [ 12 ] 高超. 东祁连山不同退化程度高寒草甸草原土壤有机质特性及其对草地生产力的影响[ D ]. 甘肃: 甘肃农业大学草业学院, 2007.
- [ 13 ] 刘娜娜, 赵世伟, 王恒俊. 黄土丘陵沟壑区人工柠条林土壤水分物理性质变化研究[ J ]. 水土保持通报, 2006, 26( 3 ): 15-17.
- [ 11 ] 柴雯, 王根绪, 李元寿, 等. 长江源区不同植被覆盖下土壤水分对降水的响应[ J ]. 冰川冻土, 2008, 30( 2 ): 329-337.
- [ 12 ] 牛健植, 余新晓. 优先流问题研究及其科学意义[ J ]. 中国水土保持科学, 2005, 3( 3 ): 110-116.
- [ 13 ] 夏江宝, 杨吉华, 李红云. 不同外界条件下土壤入渗性能的研究[ J ]. 水土保持研究, 2004, 11( 2 ): 115-117.
- [ 14 ] 郑纪勇, 邵明安, 张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[ J ]. 水土保持学报, 2004, 18( 3 ): 53-56.
- [ 15 ] 吴发启, 赵西宁, 余雕. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[ J ]. 水土保持通报, 2003, 23( 1 ): 16-18.
- [ 16 ] 席海洋, 冯起, 程玉菲, 等. 额济纳绿洲土壤入渗特征与土壤状况的关系研究[ J ]. 冰川冻土, 2008, 30( 6 ): 976-982.
- [ 17 ] 解文艳, 樊贵盛. 土壤质地对土壤入渗能力的影响[ J ]. 太原理工大学学报, 2004, 35( 05 ): 537-540.
- [ 18 ] Bodman G B, Colman E A. Moisture and energy condition during downward entry of water into soil[ J ]. Soil Sci. Soc. AM. J., 1944, 8( 2 ): 166-182.

(上接第19页)