晋西黄土区不同退耕年限刺槐林对土壤水分和养分的影响

韩国忠[1]，于博威[2,3]，刘高焕[2]，刘庆生[2]，冯九梁[4]，赵忠贺[2,3]

（1.山西省水土保持科学研究所，山西 太原 030013；2.中国科学院 地理科学与资源研究所，资源与环境信息系统国家重点实验室，北京 100101；3.中国科学院大学，北京 100049；4.山西省水利厅水土保持局，山西 太原 030002）

摘　要：[目的] 探讨人工刺槐林植被恢复对土壤水分和养分的影响，为半干旱黄土丘陵区植被恢复与生态建设提供理论依据。[方法] 选择山西省黄河中游典型黄土丘陵沟壑区的人工刺槐林为研究对象，评估不同退耕年限刺槐林地土壤水分和养分特征。[结果] 刺槐林地能够有效改善土壤水分条件，尤其在造林初期，土壤有机质和全氮平均含量显著提高，且具有明显的表聚性；刺槐林地对浅层土壤水分和养分的改善作用较大，土壤水分在 40 cm 以上土层坑内平均水分比坑外提高了 3.97%，在 40 cm 以下土层仅提高了 2.74%；土壤养分在 20 cm 以上土层，坑内土壤有机质、全氮、全磷和全钾平均含量分别比坑外提高了 6.61%，6.14%，1.55%和 1.98%；在 20 cm 以下土层，对土壤全磷和全钾无明显改善作用。[结论] 刺槐林地不同程度地改善和提高了于浅层坑内土壤水分和养分状况。

关键词：黄土丘陵区；刺槐；土壤水分；土壤养分；等高大坑

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)05-0015-06　　**中图分类号**：S152.7，158.3

文献参数：韩国忠，于博威，刘高焕，等.晋西黄土区不同退耕年限刺槐林对土壤水分和养分的影响[J].水土保持通报，2018，38(5)：15-20. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.003. Han Guozhong, Yu Bowei, Liu Gaohuan, et al. Effects of *Rrobinia psedudoacia* vegetation restoration on soil moisture and nutrient in loess hilly region of Western Shanxi Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 15-20.

Effects of *Robinia Psedudoacia* Vegetation Restoration on Soil Moisture and Nutrient in Loess Hilly Region of Western Shanxi Province

HAN Guozhong[1], YU Bowei[2,3], LIU Gaohuan[2], LIU Qingsheng[2], FENG Jiuliang[4], ZHAO Zhonghe[2,3]

(1. *Institute of Soil and Water Conservation of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi* 030013, *China*; 2. *State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, *China*; 3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 4. *Soil and Water Conservation Bureau of Shanxi Water Conservation Department, Taiyuan, Shanxi* 030002, *China*)

Abstract: [Objective] To explore the effects of *Robinia psedudoacia* plantations on the soil moisture and nutrient characteristics, in order to provide theoretical basis for vegetation restoration and ecological reconstruction in semiarid loess hilly region. [Methods] Based on data collected from soil sampling in the field and laboratory measurement, the soil moisture and nutrient characteristics under different *R. psedudoacia* plantations with various ages were analyzed in the loess hilly region of western Shanxi Province. [Results] *R. psedudoacia* plantanations effectively improved soil moisture conditions, especially in the early stages of the planting. The average content of soil organic content and total nitrogen increased significantly, and showed an apparent surface aggregation. Surface soil moisture and nutrient conditions were better than that of the underlying soil layers after *R. psedudoacia* restoration. Soil moisture inside the pits above 40 cm was 3.97% higher than that outside the pits, and 2.74% higher in soil below 40 cm. Soil organic content, total

收稿日期：2017-11-21　　**修回日期**：2018-01-24

资助项目：中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室自主研究项目“黄土丘陵沟壑区综合实验基地建设”(08R8A010YA)

第一作者：韩国忠(1968—)，男(汉族)，山西省吕梁市人，本科，高级工程师，主要从事黄土高原生态修复与水土保持方面的研究。E-mail：sbssyz@163.com。

nitrogen, total phosphorus and total potassium inside the pits was increased by 6.61%, 6.14%, 1.55% and 1.98% respectively, than those outside the pit at 0—20 cm soil layer, while there were no significant improvements for the total phosphorus and the total potassium content below 20 cm soil layer. [Conclusion] *R. psedudoacia* plantanations has improved moisture and nutrients conditions in surface soil layers.

Keywords: loess hilly region; *Robinia psedudoacia*; soil moisture; soil nutrient; contour pit

土壤水是联系地下水、地表水与大气水之间相互转化的纽带,在植被恢复和生态重建过程中发挥着关键作用[1],尤其在干旱半干旱地区,生态环境脆弱,降水量少,蒸发量大,土壤水分严重缺乏,水分是影响植被生长和发育的主要限制因子[2-3]。土壤养分是土壤肥力的主要组分,是土地生产力的重要基础,对植被的恢复至关重要[4]。然而,在黄土丘陵区,由于气候干燥、降雨集中、土层深厚、土质疏松,极易导致土壤水分和养分的流失[5],造成土壤保水性差、养分含量低等生态环境问题的持续恶化。为保护水土资源,改善生态环境,人工植被恢复是主要的生态重建手段[6],具有增加雨水就地入渗,改良土壤条件,提高土地生产力等优势[7-8]。因此,探讨人工植被恢复下的土壤水分和养分变化状况,对黄土丘陵区退化生态系统的重建具有重要意义。

目前,已有一些研究者在黄土高原开展了人工植被恢复对土壤水分和养分的影响研究。梁海斌等[9]以不同林龄柠条林为研究对象,发现土壤水分含量总体表现为:撂荒地>10 a柠条林>20 a柠条林>35 a柠条林。王瑜等[10]选取人工油松林、山杏林和沙棘林为研究对象,发现人工油松林和山杏林土壤水分随土层深度的增加而减少,而人工沙棘林土壤水分随土层深度的增加而逐渐增加。杨磊等[11]通过构建土壤水分相对亏缺指数,进一步定量研究了人工植被恢复的土壤水分相对亏缺状况,发现柠条、油松和山杏林地土壤水分亏缺严重。于博威等[12]比较了不同退耕年限刺槐林大坑整地内外的土壤养分含量,发现植被恢复后土壤有机质、活性有机质和全钾含量分别比相邻坡面增加了1.99%,4.94%和3.93%。李萍等[13]研究表明人工油松林有利于土壤速效氮、磷、钾的积累,而对于全磷的影响不明显,并且对于土壤有机质和全氮的影响主要在40 cm以上土层。这些研究主要集中在不同植被类型下的土壤水分和养分的静态对比,而缺乏对典型黄土丘陵沟壑区不同退耕年限人工林等高大坑内外土壤水分和养分等生态效应的对比研究。基于此,本研究拟以黄土丘陵沟壑区的人工刺槐林为研究对象,通过坑外与坑内土壤水分和养分的对比,揭示不同退耕年限刺槐林土壤水分和养分的变化特征,以期对黄土丘陵区人工刺槐林的生态建设提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

解沟小流域(36°56′N,110°46′E)地处山西省吕梁山脉西麓的石楼县,是黄河中游水土流失十分严重的多砂粗砂区,小流域总面积0.49 km^2,沟谷密度2.32 km/km^2,海拔1 047~1 251 m,属于典型的半干旱黄土丘陵沟壑区。该区属于暖温带大陆性季风气候,多年平均降水量465 mm,降水量季节分布不均,主要集中在7—9月,且多为暴雨。小流域平均气温9.8 ℃,潜在蒸发量为1 850 mm,年均相对湿度57%,无霜期180~190 d。该小流域土壤属于黄土质灰褐性土,土质均一,土壤贫瘠,缺乏水分和养分。小流域内主要土地利用类型包括人工林地、撂荒地、天然草地和耕地。人工林以刺槐(*Robinia pseudoacacia*)为主,山杏(*Armeniaca sibirica*)、火炬树(*Rhus typhina*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等为辅,天然植被多见黄花蒿(*Artemisia annua*)、刺儿菜(*Cirsium setosum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等,主要农作物有玉米、谷子等。

1.2 整地描述与样地选择

为改善生态环境,近十年来,香港力行植林慈善基金会已在该区连续种植130 hm^{2}多人工生态林,造林树种主要是刺槐。主要采取的植林工程模式是:采用沿等高线大坑整地(长2 m,宽50 cm,深50 cm),“品”字形排列,大坑中心距3 m,行距1.5 m,每666.7 m^{2}约有150个坑。整地时先将表面杂草清除干净,将表层熟土翻到坑的上边,生土层翻起打垄,然后将稻米壳(每坑3 kg)和表层熟土混合回填入坑内,填土深40 cm,经雨季降水踏实后栽植苗木。栽苗完成后用松树皮覆盖表面,坑内覆盖厚度2~3 cm[14]。这种模式的特点是:沿等高线大坑整地,可以有效拦蓄降水;大坑内混入稻米壳,可增加土壤的透气性和有机质,并提高降水入渗率;栽植后苗木周围覆盖松树皮,可有效减少地表土壤水分蒸发[14]。由于这种独特的植树方法,其成活率平均在70%以上,远高于当地造林成活率,林木生长发育良好,有助于改善土壤条件、涵养水源。本研究在坡面尺度上,选取地形条件相对一致的退耕4,5,6 a刺槐林作为研究样地,各样地的基本特征见表1。

1.3　样点布设与土壤水分、养分的测定

土壤水分含量采用土钻—烘干法(12 h,105°),在各样地沿坡面设置 6 个样点,在各样点人工刺槐林大坑内与相邻的刺槐间坡面裸地在不同土壤深度(0—10,10—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm)用土钻采集土样,各土层 3 个重复。在 2016 年 8—10 月共进行 4 次测定,分别是 8 月 15 日,9 月 1 日,9 月 15 日和 10 月 15 日。每次测定两天内完成,测定期间无降雨发生。

表 1　晋西黄土区不同退耕年限样地基本特征

样地	R_4	R_5	R_6
林龄/a	4	5	6
树高/m	3.36±0.80	5.30±0.87	7.05±1.44
胸径/cm	2.45±1.00	5.37±1.43	6.73±2.00
盖度/%	85	75	60
坡度/(°)	16	15	16
土壤容重/(g·cm^{-3})	1.16±0.06	1.29±0.04	1.25±0.10
砂粒/%	34.00±0.07	36.00±0.09	28.00±0.05
粉粒/%	52.00±0.05	51.00±0.06	55.00±0.01
黏粒/%	14.00±0.04	13.00±0.04	17.00±0.04

注:R_4 为退耕 4 a 刺槐林;R_5 为退耕 5 a 刺槐林;R_6 为退耕 6 a 刺槐林。下同。土壤机械组成分级标准按美国农业部制分类:砂粒(2～0.05 mm)、粉粒(0.05～0.002 mm)、黏粒(<0.002 mm),并且表中数值为大坑内外 0—10 cm 土壤性质的平均含量。

土壤养分状况选择在各样地上、中、下坡位 3 个位置设置样点,于 2016 年 5 月中旬在各样点人工刺槐林大坑内外挖掘土壤剖面,采集样品分为 4 个土层(0—10,10—20,20—40,40—60 cm),各 3 个重复,取样完成后带回实验室进行化验与测定。选择的土壤养分状况指标包括:土壤有机质、土壤全氮、土壤全磷和土壤全钾。其中土壤有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法测定,土壤全氮采用半微量开氏法测定,土壤全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法测定,土壤全钾采用 NaOH 熔融—火焰光度法测定。

1.4　数据统计分析

采用描述性统计和方差分析等方法对不同退耕年限及不同土层土壤水分进行处理,相关数据采用平均值±标准差来表示,同一因素不同水平间差异显著性采用最小显著差数法(least significant difference, LSD)进行检验。采用配对 t 检验对大坑内外土壤水分和养分的差异显著性进行分析。本文显著性水平 $\alpha=0.05$。统计分析在 Excel 2010 和 SPSS 16.0 中完成。

2　结果与分析

2.1　土壤水分随退耕年限的变化特征

由表 2 和表 3 可知,坑内外土壤水分在各土层随退耕年限均呈先减少后增加的变化趋势,并且在 10—100 cm 增加量低于减少量,即土壤水分含量在 10—100 cm 依次为,退耕 4 a 刺槐林>退耕 6 a 刺槐林>退耕 5 a 刺槐林。经统计显著性检验,坑内外退耕 4 a 刺槐林土壤水分含量在 10—100 cm 显著高于退耕 5 a 刺槐林($p<0.05$),同时分别在 60—100 和 20—100 cm 显著高于退耕 6 a 刺槐林($p<0.05$)。从退耕 4 a 到退耕 5 a 刺槐林,坑外和坑内土壤水分减少量随土层深度的增加而增加,减少量最大的土层是 80—100 cm,分别减少了 4.56 和 5.16 g/g,减幅分别为 29.58%和 33.90%;除了 60—80 cm,其他土层坑内减少量均大于坑外。而退耕 5 a 刺槐林至退耕 6 a 刺槐林土壤水分增加量随土层无明显变化趋势,但增加量最大的土层也是 80—100 cm,坑外与坑内分别增加了 1.67 和 1.25 g/g,增幅分别为15.38%和 12.43%;除了 0—10 cm,其他土层坑内增加量均小于坑外。由此表明,坑内比坑外随退耕年限消耗更多土壤水分,而且较难恢复。此外,除了坑内退耕 4 a 刺槐林,同一退耕年限不同土层之间土壤水分含量差异显著($p<0.05$),坑外退耕 4 a 刺槐林土壤水分含量随土层深度的增加而增加,坑内外退耕 5 a 和退耕 6 a 刺槐林均随土层深度的增加而减少。

表 2　晋西黄土区坑外土壤水分随退耕年限的变化

土层深度/cm	R_4	R_5	R_6
0—10	13.60±1.06^{Ac}	13.56±1.21^{Aa}	14.51±0.41^{Aa}
10—20	14.26±1.08^{Abc}	12.57±0.84^{Bab}	14.17±0.72^{Aa}
20—40	14.79±1.12^{Aabc}	12.69±1.41^{Bab}	14.17±1.09^{ABa}
40—60	15.33±1.27^{Aab}	12.63±1.75^{Bab}	14.10±1.28^{ABa}
60—80	15.75±1.17^{Aa}	11.77±1.45^{Bbc}	13.44±1.57^{Bab}
80—100	15.43±1.11^{Aab}	10.86±1.15^{Cc}	12.53±1.66^{Bb}

注:不同大写字母表示同一土层不同退耕年限间差异显著,不同小写字母表示同一退耕年限不同土层间差异显著。下同。

表 3　晋西黄土区坑内土壤水分随退耕年限的变化

土层深度/cm	R_4	R_5	R_6
0—10	14.82±1.04^{Aa}	13.89±1.44^{Aa}	15.19±1.16^{Aa}
10—20	15.23±0.75^{Aa}	13.11±1.42^{Bab}	14.06±0.79^{ABab}
20—40	15.80±1.12^{Aa}	13.30±1.14^{Bab}	13.84±0.86^{Bb}
40—60	15.72±0.85^{Aa}	12.70±1.12^{Bab}	13.32±0.94^{Bbc}
60—80	15.80±0.78^{Aa}	11.85±1.21^{Bc}	12.52±1.12^{Bc}
80—100	15.22±1.03^{Aa}	10.06±1.44^{Bc}	11.31±1.18^{Bd}

2.2　不同退耕年限刺槐林坑内外土壤水分比较

由表 4 可知,在 0—10 cm 土层,坑内土壤水分含

量在不同退耕年限均高于坑外。与之相反,在 80—100 cm 土层,坑内土壤水分含量在不同退耕年限均低于坑外。在 10—80 cm 土层,随退耕年限坑内土壤水分含量先高于坑外而后逐渐低于坑外,转折点是在退耕 5 a 刺槐林。从坑内外土壤水分含量的差值来看,退耕 4 a 和 5 a 刺槐林在 0—40 cm 土层坑内土壤水分含量明显高于坑外。经检验,坑内土壤水分含量在退耕 4 a 刺槐林 0—40 cm 土层显著高于坑外($p<0.05$)。但是随着土层深度的增加,坑内与坑外土壤水分差值变小,在 80—100 cm 坑内水分低于坑外,转折点是在 80 cm 土层;而对于退耕 6 a 刺槐林,尽管转折点是在 10 cm,但在 10—40 cm 土层坑内土壤水分含量低于坑外的程度明显小于 40 cm 以下土层。表明刺槐植被恢复改善土壤水分状况最大的土层是在 0—40 cm,而在 40—100 cm 改善作用并不明显。

表 4 不同退耕年限刺槐林坑外与坑内土壤水分比较

土层深度/cm	R_4	R_5	R_6
0—10	b/a (1.23)	a/a (0.33)	a/a (0.67)
10—20	b/a (0.97)	a/a (0.54)	a/a (−0.12)
20—40	b/a (1.02)	a/a (0.61)	a/a (−0.33)
40—60	a/a (0.38)	a/a (0.06)	a/a (−0.78)
60—80	a/a (0.05)	a/a (0.08)	a/a (−0.91)
80—100	a/a (−0.20)	a/a (−0.80)	a/a (−1.22)

注:"/"两边小写字母表示坑外与坑内间差异显著性;a/a 表示坑内外无显著差异;a/b 表示坑外显著高于坑内;b/a 表示坑外显著低于坑内。括号内是坑内减去坑外的差值。下同。

2.3 土壤养分随退耕年限的变化特征

如表 5 和表 6 所示,坑内外土壤有机质含量在各退耕年限刺槐林均具有显著的表聚性($p<0.05$)。坑外土壤有机质平均含量依次为退耕 5 a 刺槐林>退耕 4 a 刺槐林>退耕 6 a 刺槐林,平均含量依次为 7.87,6.09,5.00 g/kg。而坑内土壤有机质平均含量随退耕年限依次减少,即退耕 4 a 刺槐林>退耕 5 a 刺槐林>退耕 6 a 刺槐林,平均含量依次为 7.48,7.27,5.51 g/kg。经检验,同一土层不同退耕年限之间土壤有机质含量存在显著差异($p<0.05$)。从土壤垂直剖面来看,不同退耕年限刺槐林有机质含量随土层深度的增加而减少,同时土壤有机质含量存在活跃层(0—10 cm)和渐变层(10—60 cm)之分。结果显示,坑内退耕 4 a 刺槐林更有利于表层有机质积累,而坑外退耕 5 a 刺槐林更有利于表层有机质积累。

坑内外土壤全氮平均含量均表现为退耕 5 a 刺槐林>退耕 6 a 刺槐林>退耕 4 a 刺槐林。但是,土壤全氮含量在不同退耕年限之间的差异与土层深度有关,例如,在坑外 10—20 cm,土壤全氮含量随退耕年限而增加。经检验,不同退耕年限之间只在坑外 40—60 cm 差异显著($p<0.05$),在其他土层差异不显著($p>0.05$)。此外,同一退耕年限不同土层之间土壤全氮含量差异显著($p<0.05$),总的来看,坑内外退耕 4 a 和 6 a 刺槐林土壤全氮含量均随土层深度的增加而减少,而退耕 5 a 刺槐林随土层深度的增加无明显变化趋势。

表 5 晋西黄土区刺槐林地坑外土壤养分随退耕年限的变化

土壤养分/(g·kg^{-1})	土层深度/cm	R_4	R_5	R_6
土壤有机质	0—10	8.75 ± 1.70^{ABa}	11.46 ± 3.29^{Aa}	6.11 ± 1.56^{Ba}
	10—20	5.67 ± 0.89^{Ab}	7.36 ± 1.72^{Aab}	4.94 ± 1.01^{Aa}
	20—40	4.80 ± 0.39^{Ab}	6.19 ± 2.92^{Ab}	4.94 ± 0.79^{Aa}
	40—60	5.16 ± 0.87^{Ab}	6.48 ± 1.95^{Ab}	3.99 ± 2.33^{Aa}
土壤全氮	0—10	0.63 ± 0.08^{Aa}	0.71 ± 0.19^{Aa}	0.68 ± 0.08^{Aa}
	10—20	0.39 ± 0.03^{Ab}	0.47 ± 0.20^{Aa}	0.55 ± 0.08^{Aab}
	20—40	0.36 ± 0.06^{Ab}	0.47 ± 0.22^{Aa}	0.41 ± 0.03^{Ac}
	40—60	0.36 ± 0.06^{Bb}	0.76 ± 0.23^{Aa}	0.43 ± 0.09^{Bbc}
土壤全磷	0—10	0.44 ± 0.10^{Aa}	0.42 ± 0.06^{Ab}	0.33 ± 0.11^{Aa}
	10—20	0.47 ± 0.06^{Aa}	0.50 ± 0.03^{Aab}	0.40 ± 0.10^{Aa}
	20—40	0.45 ± 0.05^{Aa}	0.43 ± 0.08^{Ab}	0.28 ± 0.11^{Aa}
	40—60	0.47 ± 0.02^{ABa}	0.65 ± 0.15^{Aa}	0.38 ± 0.08^{Ba}
土壤全钾	0—10	17.17 ± 0.75^{Aa}	16.67 ± 2.42^{Aa}	16.42 ± 0.75^{Aa}
	10—20	17.42 ± 1.15^{Aa}	17.17 ± 3.76^{Aa}	16.42 ± 0.75^{Aa}
	20—40	17.67 ± 1.15^{Aa}	17.17 ± 0.75^{Aa}	16.67 ± 1.15^{Aa}
	40—60	17.92 ± 1.30^{Aa}	22.68 ± 5.69^{Aa}	17.42 ± 1.15^{Aa}

坑外土壤全磷平均含量表现为退耕 5 a 刺槐林>退耕 4 a 刺槐林>退耕 6 a 刺槐林,而坑内表现为随退耕年限土壤全磷平均含量依次减少。经检验,不同退耕年限之间土壤全磷含量只在坑外 40—60 cm 呈显著性差异($p<0.05$),即退耕 5 a 刺槐林土壤全磷含量显著高于退耕 6 a 刺槐林。此外,各退耕年限土壤全磷含量在不同土层中变化较大,呈现出波动性,因此随土层变化规律并不明显。土壤全钾平均含量在坑内外随退耕年限的变化趋势与土壤全磷相同。即坑外表现为退耕 5 a 刺槐林>退耕 4 a 刺槐林>退耕 6 a 刺槐林,而坑内表现为退耕 4 a 刺槐林>退耕 5 a刺槐林>退耕 6 a 刺槐林。同一退耕年限坑外土壤全钾含量随土层深度的增加而增加,但坑内全钾含量变化较大,随土层变化规律不明显。

表 6　晋西黄土区刺槐林地坑内土壤养分随退耕年限的变化

土壤养分/(g·kg^{-1})	土层深度/cm	R_4	R_5	R_6
土壤有机质	0—10	12.30±2.10^{Aa}	9.77±0.58^{Aa}	6.11±2.11^{Ba}
	10—20	6.81±0.61^{Ab}	6.84±1.54^{Ab}	5.38±1.95^{Aa}
	20—40	5.56±0.71^{ABb}	6.99±0.91^{Ab}	4.43±1.21^{Ba}
	40—60	5.23±0.73^{Ab}	5.45±1.25^{Ab}	6.11±2.20^{Aa}
土壤全氮	0—10	0.84±0.17^{Aa}	0.55±0.24^{Aa}	0.59±0.10^{Aa}
	10—20	0.40±0.04^{Ab}	0.71±0.24^{Aa}	0.56±0.13^{Aa}
	20—40	0.41±0.12^{Ab}	0.48±0.07^{Aa}	0.55±0.16^{Aa}
	40—60	0.34±0.08^{Ab}	0.67±0.23^{Aa}	0.63±0.23^{Aa}
土壤全磷	0—10	0.50±0.07^{Aa}	0.43±0.21^{Aa}	0.26±0.10^{Aa}
	10—20	0.49±0.05^{Aa}	0.50±0.14^{Aa}	0.41±0.07^{Aa}
	20—40	0.48±0.05^{Aa}	0.57±0.06^{Aa}	0.26±0.08^{Ba}
	40—60	0.51±0.06^{Aa}	0.41±0.26^{Aa}	0.38±0.10^{Aa}
土壤全钾	0—10	17.17±0.75^{Aa}	17.92±0.75^{Aa}	16.17±1.15^{Aa}
	10—20	17.92±0.75^{Aa}	17.17±1.30^{Aa}	16.92±1.15^{Aa}
	20—40	17.42±1.15^{Aa}	17.67±0.43^{Aa}	16.17±0.87^{Aa}
	40—60	17.92±0.75^{Aa}	17.17±0.75^{ABa}	16.17±0.87^{Ba}

2.4　不同退耕年限刺槐林坑内外土壤养分比较

由表 7 可知,坑内平均土壤有机质和全氮含量分别比坑外增加了 6.80%和 11.54%,而坑外平均土壤全磷和全钾含量分别比坑内增加了 2.33%和2.45%。

坑内外土壤养分平均含量的差值随退耕年限有所不同。退耕 4 a 刺槐林坑内各土壤养分指标平均含量均高于坑外,尤其是土壤有机质平均含量,增幅达 22.67%;与之相反,在退耕 5 a 刺槐林,坑内各土壤养分指标平均含量均低于坑外,其中土壤有机质平均含量减幅最大,为 8.31%;在退耕 6 a 刺槐林,土壤有机质和全氮平均含量坑内高于坑外,而土壤全磷和全钾平均含量坑内低于坑外。

坑内外土壤养分平均含量在各土层之间同样存在差异。例如,土壤有机质平均含量在各土层坑内高于坑外,尤其是 0—10 cm;而土壤全氮平均含量在 0—10 cm 坑内低于坑外,在其他土层高于坑外;土壤全磷平均含量在 40—60 cm 坑内低于坑外,在其他土层高于坑内;土壤全钾平均含量在 0—20 cm 坑内高于坑外,在 20—60 cm 低于坑外。具体情况如表 7 所示。

表 7　不同退耕年限刺槐林坑外与坑内土壤养分比较

土壤养分/(g·kg^{-1})	土层深度/cm	R_4	R_5	R_6
土壤有机质	0—10	a/a (3.55)	a/a (−1.68)	a/a (0.00)
	10—20	a/a (1.14)	a/a (−0.51)	a/a (0.44)
	20—40	a/a (0.77)	a/a (0.81)	a/a (−0.51)
	40—60	a/a (0.07)	a/a (−1.03)	a/a (2.12)
土壤全氮	0—10	a/a (0.21)	a/a (−0.16)	a/a (−0.09)
	10—20	a/a (0.01)	a/a (0.23)	a/a (0.01)
	20—40	a/a (0.05)	a/a (0.01)	a/a (0.14)
	40—60	a/a (−0.02)	a/a (−0.09)	a/a (0.19)
土壤全磷	0—10	a/a (0.07)	a/a (0.01)	a/a (−0.06)
	10—20	a/a (0.02)	a/a (0.00)	a/a (0.01)
	20—40	a/a (0.04)	a/a (0.13)	a/a (−0.02)
	40—60	a/a (0.04)	a/a (−0.24)	a/a (0.00)
土壤全钾	0—10	a/a (0.00)	a/a (1.25)	a/a (−0.25)
	10—20	a/a (0.50)	a/a (0.00)	a/a (0.50)
	20—40	a/a (−0.25)	a/a (0.50)	a/a (−0.50)
	40—60	a/a (0.00)	a/a (−5.51)	a/b (−1.25)

3　讨论与结论

土壤水分是黄土丘陵区生态环境建设的主要制约因素。人工刺槐能有效增加地表覆盖,并通过根系

生长改善土壤通气状况和蓄水性能，增加土壤团聚性和含水量，在一定程度上改善水土流失现状[15-16]。本研究发现，造林初期大坑内的土壤水分平均含量高于坑外，如退耕 4 a 刺槐林坑内土壤水分平均含量比坑外提高了 3.87%，说明了人工刺槐林对土壤水分保持的有效性，这一点与诸多研究结果相一致[17-19]。但随着林木的生长，林地的植被截留量和蒸腾量都会增加，对土壤的补充量也随之减小，如退耕 5 a 刺槐林坑内土壤水分平均含量比坑外提高了 1.12%，而退耕 6 a 刺槐林坑内土壤水分低于坑外。

在植被恢复过程中，大量的枯枝落叶随土壤微生物的分解和雨水的淋洗转化为土壤养分进入土壤[20-21]。本研究通过大坑内外对比发现，人工刺槐林对土壤养分的影响主要体现在土壤有机质和全氮平均含量的提高，坑内平均含量分别高出坑外 6.81% 和 7.85%，但对土壤全磷和全钾平均含量的改善作用并不明显。

对比不同深度的土壤水分和养分状况，人工刺槐林对土壤水分改善作用最大的土层是在 0—40 cm，坑内平均水分比坑外提高了 3.97%，而在 40—100 cm 土层改善作用减弱，只提高了 2.74%，表明人工刺槐林主要改造土壤表层的结构，使土壤表层具有较好的保水性质，与前人的研究结果相同[22-23]。人工刺槐林对土壤养分改善作用最大的土层是在 0—20 cm，坑内土壤有机质、全氮、全磷和全钾平均含量分别比坑外提高了 6.61%，6.14%，1.55% 和 1.98%，而在 20—40 cm 土层对土壤全磷和全钾无明显改善作用；另外，土壤养分具有表聚性[24-25]，其中土壤有机质和全氮含量最为明显。

[参 考 文 献]

[1] 于洋，卫伟，陈利顶，等. 黄土丘陵区坡面整地和植被耦合下的土壤水分特征[J]. 生态学报，2016，36(11)：3441-3449.

[2] 傅伯杰，马克明，周华峰，等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响[J]. 科学通报，1998，43(22)：2444-2448.

[3] 李保国，任图生，张佳宝. 土壤物理学研究的现状、挑战与任务[J]. 土壤学报，2008，45(5)：810-816.

[4] Ouyang Wei, Xu Yiming, Hao Fanghua, et al. Effect of long-term agricultural cultivation and land use conversion on soil nutrient contents in the SanjiangPlain[J]. Catena, 2013，104(5)：243-250.

[5] 冯天骄，卫伟，陈利顶，等. 陇中黄土区坡面整地和植被类型对土壤化学性状的影响[J]. 生态学报，2016，36(11)：3216-3225.

[6] 冯天骄，卫伟，陈利顶，等. 黄土丘陵区小流域不同整地措施长期影响下的土壤水力学特性[J]. 环境科学，2017，(9)：1-20.

[7] 卫伟，余韵，贾福岩，杨磊，陈利顶. 微地形改造的生态环境效应研究进展. 生态学报，2013，33(20)：6462-6469.

[8] 连纲，郭旭东，傅伯杰，等. 黄土高原小流域土壤养分空间变异特征及预测[J]. 生态学报，2008，28(3)：946-954.

[9] 梁海斌，史建伟，牛俊杰，等. 晋西北黄土丘陵区不同林龄柠条地土壤水分变化特征研究[J]. 干旱区资源与环境，2014，28(6)：143-148.

[10] 王瑜，朱清科，赵维军，等. 陕北黄土区人工林地土壤水分的垂直变化规律[J]. 中国水土保持科学，2015，13(6)：54-60.

[11] 杨磊，卫伟，莫保儒，等. 半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺[J]. 生态学报，2011，31(11)：3060-3068.

[12] 于博威，刘高焕，刘庆生，等. 晋西黄土丘陵区不同退耕年限刺槐林土壤养分效应[J]. 水土保持学报，2016，30(4)：188-193.

[13] 李萍，朱清科，谢静，等. 半干旱黄土区水平阶整地人工油松林地土壤水分和养分状况[J]. 水土保持通报，2012，32(1)：60-65.

[14] 杨军. 香港力行植林慈善基金会石楼植林造水小记[J]. 山西水土保持科技，2015(2)：39-40.

[15] 刘毅，李世清，李生秀. 黄土高原不同类型土壤团聚体中氮库分布的研究[J]. 中国农业科学，2007，40(2)：304-313.

[16] 陈杰，刘文兆，张勋昌，等. 黄土高原沟壑区不同树种的水土保持效益及其适应性评价[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，2008，36(6)：97-104，112.

[17] 尤全刚，薛娴，彭飞，等. 高寒草甸草地退化对土壤水热性质的影响及其环境效应[J]. 中国沙漠，2015，35(5)：1183-1192.

[18] 吴煜禾，张洪江，王伟，等. 重庆四面山不同土地利用方式土壤水分特征曲线测定与评价[J]. 西南大学学报：自然科学版，2011，33(5)：102-108.

[19] 李小刚，杨治，谢恩波. 甘肃几种旱地土壤低吸力段持水性能的初步研究[J]. 土壤通报，1994，25(4)：155-157.

[20] 张社奇，王国栋，张蕾. 黄土高原刺槐林对土壤养分时空分布的影响[J]. 水土保持学报，2008，22(5)：91-95.

[21] Cui Baoshan, Zhao Hui, Li Xia, et al. Temporal and spatial distributions of soil nutrients in Hani terraced paddy fields, Southwestern China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2010，2：1032-1042.

[22] 武军，王克勤，华锦欣. 松华坝水源区等高反坡阶对坡耕地雨季土壤水分空间分布的影响[J]. 水土保持通报，2016，36(1)：57-60.

[23] 郑郁，张霞，辛向文，等. 陕北地区不同纬度带人工刺槐林土壤水分特征研究[J]. 水土保持研究，2013，20(4)：8-12.

[24] 许明祥，刘国彬. 黄土丘陵区刺槐人工林土壤养分特征及演变[J]. 植物营养与肥料学，2004，10(1)：40-46.

[25] 信忠保，余新晓，张满良，等. 黄土高原丘陵沟壑区不同土地利用的土壤养分特征[J]. 干旱区研究，2012，29(3)：379-384.