

子午岭地区植被演替过程中土壤养分及酶活性特征研究

吕春花^{1,2}, 郑粉莉^{1,2*}, 安韶山^{2,3}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 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: 选择植被自然恢复不同年限的阳坡梁坡地作为研究对象, 采用时空互代法研究子午岭地区植被恢复过程中土壤养分和酶活性的变化。结果表明, 植被恢复 140 a 内, 不同土层土壤有机质含量、全氮含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性和过氧化氢酶活性增加, 且表土层(0~20 cm)土壤养分含量和酶活性高于下层土壤(20~40 cm)。以裸露地为对照, 土壤 0~20 cm 土层, 有机质含量、全氮含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性和过氧化氢酶活性分别增加了 23.8%~534.9%、9.3%~300.0%、213.6%~521.5%、40.4%~286.5%、22.7%~232.2%和 3.2%~22.4%, 土壤速效磷含量呈现波动变化, 过氧化氢酶活性变化幅度比其他三种酶低。土壤有机质含量与全氮、速效磷含量密切相关; 土壤蔗糖酶与土壤有机质、全氮均为极显著的相关关系(0.930/0.918); 土壤脲酶活性与全氮含量相关系数最高(0.804); 土壤碱性磷酸酶活性与有机质、全氮含量都呈极显著相关(0.977/0.984); 土壤过氧化氢酶活性与全氮含量极显著相关, 相关系数达 0.996。

关键词: 植被恢复; 土壤养分; 土壤酶活性; 子午岭地区

中图分类号: S154.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0227-06

在千沟万壑的黄土高原地区, 植被恢复重建是改善土壤质量, 治理水土流失的重要措施之一。土壤是植被生长发育的基地, 土壤状况直接影响植被的生长发育; 植被在生长发育过程中通过根系分泌物和枯落物等改善土壤的水、热、气、肥等理化性质^[1]。土壤养分及酶活性作为土壤环境的一部分, 对植被恢复有着极其重要的作用。土壤酶活性对于土壤环境状况评价非常重要, 能够控制土壤养分循环进程的速率, 是土壤微生物及植被有效吸收利用养分的关键因子, 是土壤功能多样性有效的指示剂^[2~4]。自明清以来, 子午岭地区的森林曾遭到严重的破坏, 到清朝末的 1866 年以后, 因战乱和饥荒, 人口逃亡、迁移他地, 植被逐渐自然恢复, 因此该地区是研究植被自然恢复过程中土壤质量变化的理想场地。郑粉莉等^[5,6]通过不同降雨条件下林地和开垦地坡面土壤侵蚀量研究表明, 林地植被因素是影响土壤侵蚀的积极因子。目前, 有关植被恢复与土壤养分之间相互关系研究很多^[7~10], 取得了许多的成果。然而, 这些研究多是以土地不同利用方式及不同植被类型为基础, 对同一地形条件不同植被恢

复年限下的土壤养分及酶活性研究还不够深入和系统。本文对子午岭地区植被恢复不同阶段土壤酶活性及养分特征进行了研究, 旨在为黄土高原植被恢复与重建提供科学依据, 以期对指导当前退耕还林(草)起到指导作用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于子午岭林区内的陕西省富县任家台林场, 属梁状黄土丘陵沟壑区, 东经 109°11.901'~109°08.965', 北纬 36°05.391'~36°04.166', 年均气温 9℃, 年均降雨量 576.7 mm, 主要树种有山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis* koidz)、榆树(*U. pumila*)和杜梨(*Pyrus betulafolia*)等。林下灌草覆盖度 0.9 以上, 主要有绣线菊(*Spiraea*)、胡枝子(*Lespedeza*)、黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl)、山桃(*Prunus davidiana*)、酸刺(*Hippophae rhamnoides*)、四季青(*Folium Illicis Purpureae*)、铁杆蒿(*Artemisia*)等。土壤类型属于森林草原植被下发

收稿日期: 2008-10-25
基金项目: 国家基础研究发展计划(2007CB407201); 中国科学院西部行动计划(二期)项目(KZCX2-XB2-05)
作者简介: 吕春花(1981-), 女, 江苏大丰人, 博士研究生, 主要从事生态修复与环境效应评价研究。E-mail: lvchunhua9308@yahoo.com.cn。
通讯作者: 郑粉莉, E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn。
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

育的褐色土。自然植被恢复前,本区土壤已遭到强烈侵蚀,故土壤剖面发育程度不深。

1.2 样地选择和取样

通过多次走访、资料查证和野外考证,选择确定海拔、坡向、坡度相近,但植被恢复不同年限(1、5、10、20、41、49、140 年)的 7 块垛坡地为研究对象,并

以同一坡位上的裸露地为对照。样点基本概况如表 1 所示。

Z 字型采集 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤,多点混合后四分法获取样品,每个样地采 3 个土样。采集的土样风干后过 2 mm、1 mm 和 0.25 mm 筛,用于分析有机质、全氮、速效磷、酶活性。

表 1 子午岭样点概况
Table 1 Sampling site in the Ziwuling area

编号 No.	恢复年限 (a)	海拔 Elevation(m)	地理位置 Geographic position	坡向 Slop aspect	坡度 Slop degree(°)	主要植被组成 Main composition of vegetation
1	裸露地	1224	E109°08′55.3″ N36°05′26.9″	SW15°	20	
2	1	1233	E109°10.776′ N36°04.538′	SW	3~7	狗尾巴草,猪毛蒿,虫实
3	5	1155	E109°11.204′ N36°04.304′	SE10°	0~3	猪毛蒿,早熟禾,达乌里胡枝子苗
4	10	1272	E109°08′58.0″ N36°05′23.3″	SW	25	铁杆蒿,野菊花,苦菜
5	20	1155	E109°11.219′ N36°04.471′	SW30°	5~8	猪毛蒿,唐松草,苦菜,长叶胡枝子苗
6	41	1178	E109°11.697′ N36°04.171′	SE35°	3~7	铁杆蒿,白羊草,赖草,达乌里胡枝子,狼牙刺
7	49	1260	E109°11.891′ N36°04.457′	SE30°	2~4	白羊草,甘草,狼牙刺,黄刺玫,柠条,山杨
8	140	1278	E109°08.967′ N36°05.391′	SW15°	25	辽东栎、山杨、油松、虎榛子、苔草

1.3 分析方法

土壤有机质用重铬酸钾容量法,全氮含量采用半微量开氏法,速效磷含量采用碳酸氢钠浸提比色法;土壤过氧化氢酶用高锰酸钾滴定法,碱性磷酸酶用磷酸苯二钠比色法;脲酶用苯酚一次氯酸钠比色法,蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[11~13]。

2 结果与分析

2.1 植被恢复过程中土壤养分的动态变化

2.1.1 土壤有机质 从表 2 可看出,子午岭植被恢复过程中土壤有机质含量明显增加。随着植被的恢复,土壤的有机质含量不断增加;0~20 cm 土层,裸露地土壤有机质含量为 6.3 g/kg;恢复 1 a、5 a、10 a、20 a 草地土壤有机质含量分别为 7.8、9.6、17.1、16.5 g/kg;41 a 和 49 a 灌草群落表层有机质含量分别为 11.5 和 14.8 g/kg,较 10a 和 20a 草地略有降低;140a 辽东栎+山杨群落土壤表层有机质含量达到 40.0 g/kg,是裸露地的 6.4 倍。以裸露地为对照,0~20 cm 土层土壤有机质含量在植被恢复 140 a 过程中增加了 23.8%~534.9%,增幅大小依次为:140 a(534.9%)>10 a(171.4%)>20 a

(161.9%)>49 a(134.9%)>41 a(82.5%)>5 a(52.4%)>1 a(23.8%)。

植被恢复演替过程中,土壤有机质含量随深度增加降低,20~40 cm 土层土壤有机质含量平均为 0~20 cm 土层土壤有机质含量的 47.3%。但是总的看来,20~40 cm 土层土壤有机质含量随植被恢复年限增加有所提高,依次为:140 a(16.1 g/kg)>41 a(10.7 g/kg)>10 a(10.5 g/kg)>20 a(8.2 g/kg)>5 a(8.0 g/kg)>49 a(6.4 g/kg)>对照裸露地(4.6 g/kg)>1 a(4.0 g/kg),恢复 1 a 土壤有机质含量较裸露地对照下降了 13.0%;140 a 辽东栎+山杨群落有机质含量最高,是裸露地的 3.5 倍。

可见,乔木林地对土壤的培肥作用高于灌草群落和草地,恢复初期由于植被年生物量较少,枯落物也较少,因此枯落物分解补充的土壤养分少,土壤有机质含量较低,相对比较贫瘠。随着植被的演替,土壤有机质不断增加的原因是由于植被群落的演替发展,植被凋落物增加,土壤有机质增加,反过来又促进植物的生长和群落的发展。事实上,植被以枯落物和根系分泌的形式为土壤分解生物体提供了碳源和其它养分,土壤生物尤其是微生物,分解土壤有机

物质,稳定土壤结构,从而为植被生长发育释放养分的,这种作用随着植被的恢复、群落的演替而不断增强^[14]。由此看出,植被恢复与土壤质量是相互促进

表 2 植被恢复过程中土壤剖面上土壤养分状况
Table 2 Soil nutrients in soil profile during vegetation restoration

恢复年限 Restoration year(a)	有机质 O·M (g/kg)		全氮 Totale N (g/kg)		速效磷 Available P (mg/kg)	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
裸露地	6.3±0.14	4.6±0.00	0.54±0.01	0.39±0.01	1.18±0.12	0.00±0.01
1	7.8±0.07	4.0±0.00	0.59±0.01	0.32±0.00	6.43±0.10	0.04±0.04
5	9.6±0.21	8.0±0.00	0.69±0.01	0.63±0.01	2.00±0.28	0.46±0.07
10	17.1±0.21	10.5±0.07	1.10±0.01	0.72±0.01	1.04±0.30	0.42±0.10
20	16.5±0.42	8.2±0.07	1.14±0.01	0.62±0.01	1.41±0.35	0.20±0.04
41	11.5±0.14	10.7±0.07	0.85±0.01	0.81±0.01	0.86±0.28	0.78±0.11
49	14.8±0.07	6.4±0.14	1.00±0.03	0.51±0.04	0.72±0.11	0.00±0.04
140	40.0±1.17	16.1±0.00	2.16±0.01	1.02±0.03	5.46±0.14	2.44±0.11

2.1.2 土壤全氮 由表 2 可见,植被恢复可以增加土壤全氮含量。与裸露地相比,植被恢复后不同土层土壤全氮含量均呈现增加趋势。从土壤剖面来看,植被对 0~20 cm 土壤全氮含量影响略大于 20~40 cm。同一年限下,土壤全氮含量 0~20 cm 土层约为 20~40 cm 土层的两倍。

0~20 cm 土层,对照裸露地土壤全氮含量为 0.54 g/kg,随着植被恢复年限增加,土壤全氮含量呈上升趋势,增幅依次为:140 a(300.0%)>20 a(111.1%)>10 a(103.7%)>49 a(85.2%)>41 a(57.4%)>5 a(27.8%)>1 a(9.3%)。20~40 cm 土层,植被恢复 1 a 土壤全氮含量最低 0.32 g/kg,比裸露地降低了 24.0%,随植被恢复演替过程的进行,土壤全氮含量有所提高,140 a 辽东栎+山杨群落达最大值 1.02 g/kg,是裸露地的 2.43 倍。

子午岭地区植被恢复过程中土壤全氮含量不断提高,土壤氮主要取决生物量的积累和有机质的分解强度,因此土壤全氮含量的变化与土壤有机质的变化趋势基本一致。群落土壤含氮量随土层深度增加而降低,且对 20~40 cm 土层来说,土壤全氮含量差异并不如 0~20 cm 土层明显,主要是由于成土过程中养分表聚作用导致。

2.1.3 土壤速效磷 子午岭地区植被恢复不同阶段各土壤剖面土壤速效磷的含量分析结果表明(表 2),植被恢复不同年限及不同植被类型对土壤速效磷含量的影响不明显,速效磷含量呈现波动变化。0~20 cm 土层,裸露地土壤速效磷含量 1.18 mg/kg;植被恢复 1a 6.43 mg/kg 比裸露地高 4.4 倍,5 a、10 a、20 a 草地土壤速效磷含量分别为 2.00、1.04、1.41 mg/kg,平均比裸露地高出 25.7%;41 a 和 49 a

灌草群落土壤速效磷含量分别为 0.86 和 0.72 mg/kg,低于对照裸露地;140 a 辽东栎+山杨群落土壤速效磷含量为 5.46 mg/kg,是裸露地的 4.6 倍。从植被生活型来看,土壤表层速效磷含量乔木林地>草地>灌草混合地。20~40 cm 土层,对照裸露地土壤速效磷含量为零;1 a、5 a、10 a、20 a 草地土壤速效磷含量分别为 0.04、0.46、0.42、0.20 mg/kg;41 a 和 49 a 灌草群落土壤速效磷含量分别为 0.78 mg/kg 和 0;140 a 辽东栎+山杨群落土壤速效磷含量达 2.44 mg/kg。这些结果反映出子午岭植被恢复过程中土壤速效磷含量有所提高,但波动变化。

土壤速效磷含量的空间分布表现为 0~20 cm 土层高于 20~40 cm 土层。这主要由于土壤磷素迁移率很小,而该区属于降雨量较少的黄土高原地区,土壤磷素不易从土壤表层向下淋溶迁移。

2.2 植被恢复过程中土壤酶活性的变化

植被恢复使蔗糖酶活性有所提高(表 3),对照裸露地蔗糖酶活性最低,植被恢复 140 a 内,蔗糖酶活性增加幅度 0~20 cm 表层 213.6%~521.5%,20~40 cm 土层 19.2%~666.7%,且 0~20 cm 土层明显高于 20~40 cm 土层。蔗糖酶活性不论在表层 0~20 cm 或者下层 20~40 cm 都比较高。0~20 cm 土层,蔗糖酶活性 140 a>20 a>1 a>10 a>49 a>41 a>5 a>裸露地,且同一植被生活型下,恢复年限久的蔗糖酶活性也高。20~40 cm 土层,蔗糖酶活性 41 a>140 a>10 a>5 a>20 a>49 a>1 a>裸露地。

随着植被恢复年限的增加,土壤脲酶活性总体呈现增高而后缓慢下降趋势,0~20 cm 土层土壤脲

酶活性高于 20~40 cm 土层。裸露地土壤脲酶活性(表 3),0~20 cm 层 64.77 [NH₃-N mg/(kg·h)],20~40 cm 层 92.62。土壤脲酶活性植被恢复后 140 a 内 0~20 cm 土壤比裸露地增加 40.4%~286.5%,20~40 cm 土层增加 78.5%~250.5%。0~20 cm 土层脲酶活性为 20~40 cm 土层的 1.8 倍。0~20 cm 和 20~40 cm 土层,土壤脲酶活性最高点都不是出现在恢复年限最短的草地或者恢复时间最长的乔木林地,而是 41 a 灌草混合地,这说明灌木对脲酶活性提高的影响力高于乔木林,高于草

地。

子午岭林区土壤碱性磷酸酶活性随植被恢复年限增加呈上升趋势,且 0~20 cm 土层比 20~40 cm 土层平均高 1.1 倍(表 3)。对照裸露地土壤碱性磷酸酶活性,0~20 cm 土层为 47.68[酚 mg/(100g·h)],植被恢复后此层土壤碱性磷酸酶活性增加 22.7%~232.2%;20~40 cm 土层 18.40 [酚 mg/(100g·h)],植被恢复后此层土壤碱性磷酸酶活性增加 79.5%~322.1%。

表 3 植被恢复过程中土壤剖面上土壤酶活性
Table 3 Soil enzyme activities in soil profiles during vegetation restoration

恢复年限 Restoration year (a)	蔗糖酶 Invertase [0.1 N Na ₂ S ₂ O ₃ ml/(kg·h)]		过氧化氢酶 Catalase (0.1 N KMnO ₄ ml/g)		碱性磷酸酶 Alk-Phosphatase [酚 mg/(kg·h)]		脲酶 U rease [NH ₃ -N mg/(kg·h)]	
	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm	0~20 cm	20~40 cm
裸露地	58.13±1.60	16.25±2.18	15.26±0.12	14.80±0.37	47.68±0.64	18.40±1.27	64.77±5.00	38.59±2.31
1	182.29±0.00	19.38±0.97	15.74±0.20	14.58±0.22	64.23±0.00	6.94±0.00	94.22±3.27	38.59±3.78
5	127.29±1.05	67.50±1.21	16.26±0.03	15.82±0.09	58.50±4.33	33.67±0.00	90.94±2.31	77.85±5.67
10	167.50±1.05	71.67±0.00	16.32±0.21	14.88±0.11	93.50±4.97	49.58±1.60	166.20±15.11	81.13±4.63
20	186.88±3.13	62.71±0.75	16.74±0.15	15.20±0.24	91.59±0.73	40.04±1.68	221.82±18.22	117.12±9.45
41	127.50±3.19	124.58±0.74	16.68±0.19	16.04±0.24	83.55±1.00	77.64±0.76	161.80±17.70	135.25±12.77
49	165.00±2.09	38.75±1.21	16.14±0.27	14.80±0.16	91.42±2.30	33.01±2.48	152.95±9.39	73.30±6.26
140	361.25±0.60	122.08±1.59	18.68±0.03	14.94±0.27	158.36±1.14	72.39±0.38	219.33±16.75	68.87±8.85

由表 3 可见,土壤过氧化氢酶活性在土壤剖面上,0~20 cm 土层稳定上升趋势,20~40 cm 土层有所波动,且 0~20 cm 土层平均比 20~40 cm 土层高 8.9%。裸露地土壤过氧化氢酶活性 0~20 cm 土层 15.26 0.1 N KMnO₄ ml/g,20~40 cm 土层 14.80 0.1 N KMnO₄ ml/g。相比较于裸露地,植被恢复过程中,表层土壤过氧化氢酶活性增加 3.2%~22.4%,变化幅度不大;20~40 cm 土层,土壤过氧化氢酶活性并不是裸露地最低,随植被恢复也不是一直上升趋势。

植被恢复演替过程中,过氧化氢酶活性变化幅度比其他三种酶低,且 20~40 cm 层不稳定。这是由于随土壤层次的加深,土壤的熟化程度、肥力水平及土壤营养元素状况等不利于微生物的活动与繁殖,导致酶活性降低^[15]。

2.3 土壤性质之间关系

2.3.1 土壤酶活性与养分含量的关系 根据相关分析的结果(表 4),土壤有机质含量与全氮、速效磷含量等密切相关,同时与土壤几种酶活性关系非常密切,结合前人研究结果可以认为土壤中有有机质含量及其存在状况影响着土壤理化及生物学性质。土

壤有机质含量是土壤肥力的物质基础,土壤酶活性依赖于有机质的存在,它是酶复合体的组成成分,当有机质含量增加时,酶积极参与其转化分解过程,活性提高。土壤蔗糖酶与土壤有机质、全氮均为极显著的相关关系($r=0.930/0.918$)。说明蔗糖酶在土壤 C、N 转化过程中作用很大。土壤脲酶活性与全氮含量达相关系数最高(0.804),与有机质含量也达到显著相关。脲酶对土壤氮素循环,有重要作用。土壤碱性磷酸酶活性与有机质、全氮含量都呈极显著相关($r=0.977/0.984$),与速效磷含量无明显相关关系。无机磷酸盐降低土壤磷酸酶活性^[16],而碱性磷酸酶能促进有机磷化合物分解,对土壤磷素转化利用起作用。Naseby 等^[17]研究表明磷素循环中酶活性(酸性磷酸酶,碱性磷酸酶,磷酸二酯酶)与有效磷含量成负相关。土壤过氧化氢酶活性与全氮极显著相关,可能因为有机质与全氮存在着极显著的相关关系,相关系数达 0.996。说明子午岭地区过氧化氢酶活性与有机质含量高低有关。

2.3.2 土壤酶活性之间的关系 土壤酶活性之间也存在一定线性相关关系(表 4),脲酶与碱性磷酸酶活性显著相关表明土壤中氮素的转化与磷素的转

化是相互影响的。蔗糖酶与碱性磷酸酶、过氧化氢酶活性极显著,与脲酶显著相关关系表明,土壤中多糖的转化、有机磷转化与氮素循环之间关系密切并相互影响。土壤酶活性之间相互关系表明,土壤酶

在酶促土壤有机物质转化中不仅显示专性特征,同时也存在共性关系。酶的专性性质能反映土壤中与某些酶相关的有机化合物转化进程,而有共性关系酶的总体活性在一定程度上反映土壤肥力水平^[18]。

表 4 土壤养分及酶活性相关性

Table 4 Correlation matrix (r-values) between soil nutrients and enzyme activities

项目 Items	X(1)	X(2)	X(3)	X(4)	X(5)	X(6)	X(7)
X(1)	1	.996(**)	.410	.930(**)	.945(**)	.977(**)	.753(*)
X(2)		1	.363	.918(**)	.948(**)	.984(**)	.804(*)
X(3)			1	.673	.380	.377	.090
X(4)				1	.900(**)	.927(**)	.707(*)
X(5)					1	.940(**)	.789(*)
X(6)						1	.834(*)
X(7)							1

注: ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). X(i)(i=1~7)分别指有机质、全氮、速效磷、蔗糖酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶、脲酶。

3 结 论

1) 子午岭地区植被恢复过程中,土壤养分具有明显的表聚作用。植被恢复不同阶段土壤剖面养分均呈现明显的层次,表土层(0~20 cm)土壤养分含量和酶活性高于下层土壤(20~40 cm)。

2) 植被恢复对土壤养分和酶活性有明显影响,主要表现为植被恢复过程中,不同土层土壤有机质含量、全氮含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性和过氧化氢酶活性增加。植被自然恢复 140 a,以裸露地为对照,土壤 0~20 cm 土层,有机质含量、全氮含量、蔗糖酶活性、脲酶活性、碱性磷酸酶活性和过氧化氢酶活性分别增加了 23.8%~534.9%、9.3%~300.0%、213.6%~521.5%、40.4%~286.5%、22.7%~232.2%和 3.2%~22.4%。过氧化氢酶活性变化幅度比其他三种酶低。

3) 植被恢复不同年限及不同植被类型对土壤速效磷含量的影响不明显,植被恢复演替过程中,速效磷含量呈现波动变化。

4) 土壤有机质含量与全氮、速效磷含量等密切相关;土壤蔗糖酶与土壤有机质、全氮均为极显著的相关关系(0.930/0.918);土壤脲酶活性与全氮含量达相关系数最高(0.804),与有机质含量也达到显著相关;土壤碱性磷酸酶活性与有机质、全氮含量都呈极显著相关(0.977/0.984),与速效磷含量无明显相关关系;土壤过氧化氢酶活性与全氮极显著相关,可能因为有机质与全氮存在着极显著的相关关系,相关系数达 0.996。

参 考 文 献:

[1] 杨万勤,钟章成,陶建平.缙云山森林土壤速效 P 的分布特征及其与物种多样性的关系[J].生态学杂志,2001,20(4):24—27.

[2] Naseby D C, Lynch J M. Enzymes and microorganisms in the rhizosphere[C]. Burns R G, Dick R P. Enzymes in the Environment[A]. New York: Marcel Dekker, 2002:109—123.

[3] Bending G D, Turner M K, Jones J E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34:1073—1082.

[4] Gloria Rodriguez-Loinaz, Miren Onaindiaa, Ibone Amezagaa, et al. Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40:49—60.

[5] 唐克丽,张科利,郑粉莉,等.子午岭林区自然侵蚀和人为加速侵蚀剖析[J].中国科学院、水利部西北水土保持研究所集刊,1993,(17):17—28.

[6] Zheng Fenli. The effects of Vegetation Changes on Soil Erosion on the Loess Plateau[J]. Pedosphere, 2006, 16(5):420—427.

[7] 彭新华,张 斌,赵其国.红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响[J].生态学报,2003,23(10):76—83.

[8] 李恋卿,潘根兴,张旭辉.退化红壤植被恢复中表层土壤微团聚体极其有机碳的分布变化[J].土壤通报,2000,31(5):193—195.

[9] 安韶山,刘梦云,李璧成,等.宁南山区不同植被恢复措施的土壤养分效应研究[J].西北植物学报,2003,23(8):1429—1432.

[10] 谢宝平,牛德奎.华南严重侵蚀地植被恢复对土壤条件影响的研究[J].江西农业大学学报,2000,22(1):135—139.

[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:25—97.

[12] 周礼恺.土壤酶学[M].北京:科学出版社,1987:116—267.

[13] 许光辉,郑洪元,李凤珍,等.土壤微生物分析方法手册[M].

北京:农业出版社,1986;249—291.

[14]

Porazinska D L, Bardgett R D, Blaauw M B, et al. Relations at the aboveground-belowground interface: plants, soil bio- ta, and soil processes[J]. Ecological Monographs, 2003, 73: 377—395.

[15]

Lavahum M F E, Joergensen R G, Meyer B. Activities and biomass of soil microorganisms at different dept [J]. Biol Fertil Soils, 1996, 23;38—42.

[16]

Tabatabai M A. Soil enzymes [C]. Page A L, Miller R H, Keeney D R. Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties [A]. Agronomy Ser. 9, SSSA and ASA, Madison, WI, USA, 1982;903—947.

[17]

Naseby D C, Moenne-Loccoz Y, Powell J, et al. Soil enzyme activities in the rhizosphere of field-grown sugar beet inoculated with the biocontrol agent *Pseudomomas fluorescens* F113 [J]. Biology and Fertility of Soils, 1998, 27;39—43.

[18]

关松荫, 沈桂琴, 孟昭鹏, 等. 我国主要土壤剖面酶活性状况 [J]. 土壤学报, 1984, 21(4);368—381.

The characteristics of soil enzyme activities and nutrients during vegetation succession

LÜ Chun-hua^{1,2}, ZHENG Fen-li^{1,2}, AN Shao-shan^{2,3}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, shaanxi 712100, China)

Abstract: Taking research sites located at sunny slop with different years of natural vegetation restoration in Ziwuling area as a case study, dynamic changes of soil nutrient and soil enzyme activities following 140 years of vegetation restoration were analyzed. Results showed that after 140 years of vegetation restoration, soil organic matter(SOM), total N(TN), invertase, urease, alkaline phosphates and catalase activities obviously increased in both 0~20 cm and 20~40 cm layers of soil profile with an increase of the vegetation restoration year. Compared with corresponding bare land, SOM, TN, soil invertase, urease, alkaline phosphates and catalase activities in 0~20 cm layer of soil profile increased by 23.8%~534.9%、9.2%~300.0%, 213.6%~521.5%, 40.4%~286.5%, 22.7%~232.2% and 3.2%~22.4%, change trend of soil available P of soil profile was fluctuant, soil catalase activity change scop was lower than other three kinds of enzyme. There was remarkable correlation between SOM and TN, available P; soil invertase activity and SOM, TN assumed significant correlation(0.930 and 0.918); the correlation coefficient of soil urease activity and TN is the highest(0.804); there was also very significant correlation between soil alkaline phosphates activity and SOM, TN(0.977 and 0.984); soil catalase activity and TN also presented remarkable correlation, the correlation coefficient reached to 0.996.

Key words: vegetation restoration; soil nutrients; soil enzyme activities; Ziwuling area