

燕沟流域退耕地土壤有机碳、全氮和酶活性对植被恢复过程的响应

刘雨^{1,2}, 郑粉莉^{1,2}, 安韶山², 郭曼^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所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)

摘要: 本文以黄土高原丘陵区陕北延安燕沟流域为例, 研究了退耕地土壤有机碳、全氮和酶活性对植被恢复过程的响应。结果表明, 随植被恢复年限的增加, 植被盖度、多度和物种数均呈现先增加后减少然后又增加的趋势。同当年对照农地相比, 随着植被恢复年限的增加, 表层(0~20 cm)土壤有机碳、全氮、蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均明显增加, 过氧化氢酶活性随植被恢复年限的增加变化不明显。同对照农地相比, 表层土壤有机碳、全氮、蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性分别增加了 35%~184.6%、5.7%~157.4%、89.6%~566%、32.9%~331.2%和 0.18%~184.8%。表层土壤有机碳和脲酶活性对植被恢复的响应是在植被恢复初期(0~8年), 随植被恢复年限的增加而增加, 植被恢复 8~29 年期间, 随植被恢复年限的增加而减少, 而植被恢复 29 a 以后, 又随植被恢复年限的增加而增加。而表层土壤全氮、蔗糖酶和碱性磷酸酶活性对植被恢复的响应是在植被恢复初期(0~16年), 随植被恢复年限的增加而增加, 植被恢复 16~29 年期间, 随植被恢复年限的增加而减少, 植被恢复 29 a 以后, 又随植被恢复年限的增加而增加。表层土壤蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性与有机碳和全氮呈极显著的相关关系, 而表层土壤过氧化氢酶活性与有机碳和全氮相关性不明显。

关键词: 植被恢复; 退耕地; 土壤酶活性; 响应

中图分类号: S153.6⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2007)06-0220-07

退耕地植被恢复对遏制水土流失、提高土壤质量和改善生态环境有着极其重要作用。已有植被恢复对土壤质量的影响多集中在土壤理化性质研究方面^[1~3], 已有的研究表明, 植被恢复后, 土壤有机碳、全氮、有效氮和速效钾等养分含量随植被群落的演替呈先增加后减少再增加的趋势^[4,5]; 在植被恢复 0~5 a 期间土壤有机碳、全氮、有效氮和速效钾呈增加趋势, 随后在植被恢复 5~10 a 期间呈下降趋势, 而在植被恢复 15~25 a 期间又呈明显的增加趋势^[4]。植被恢复 45 a 的土壤(0~60 cm)水稳性团聚体含量比植被恢复 20 a 的水稳性团聚体含量增加 19.33%^[6]。但有关植被恢复对土壤酶活性影响的研究较少。土壤酶是土壤生态系统代谢的一类重要动力, 也是土壤质量的一个重要指标^[7~12]。因此, 阐明土壤酶活性对植被恢复的响应将有助于更深入理解植被恢复对土壤质量的影响。本文以位于黄土丘陵区森林草原带陕北延安燕沟流域为例, 采用空间代时间序列法和室内分析, 研究土壤有机碳、全氮和酶活性对植被恢复的响应, 以期对黄土高

原植被恢复与重建以及生态环境建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况^[13]

燕沟流域位于延安市南 3 km 处, 东经 109°20'~109°35', 北纬 36°20'~36°32', 属黄土高原丘陵沟壑区第Ⅱ副区, 流域面积 46.9 km²。流域内梁峁起伏, 沟壑纵横, 地形复杂, 土地类型多样。海拔 986~1425 m, 最大高差 439 m。本区气候处于暖温带半干旱区向半湿润区的过渡带, 年平均气温 9.2℃, 无霜期平均 163 d, 年平均降雨量 563.5 mm。日最大降雨量为 98.1 mm, 降水量的年际变化大且降水量季节分配不均匀。土壤以黄绵土为主, 占 90%以上。治理前侵蚀模数达到 6000~9000 t/(km²·a), 属于强度水土流失类型区。经过近几十年的治理, 水土流失治理面积占流域面积的 49.4%, 侵蚀模数为 581 t/(km²·a)。过去几十年水土流失治理和生态恢复过程中形成的植被恢复不同阶段的林地、灌

收稿日期: 2006-12-23

基金项目: 国家自然科学基金重点重点项目(90502007); 西北农林科技大学创新团队和拔尖人才支持计划

作者简介: 刘雨(1982—), 女, 陕西延安人, 在读硕士, 主要从事土壤质量评价研究。E-mail: liuyu_lyu@163.com。

通讯作者: 郑粉莉(1960—), 女, 陕西蓝田县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程、预报和土壤侵蚀环境效应评价。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn。

木地和草地,为研究植被恢复对土壤质量的影响提供了理想试验基地。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查与采样 通过植被群落调查、访问农户、查阅地契来确定植被恢复年限。根据不同植被恢复年限、地形部位和坡向,共选择了 7 个样地。所选 7 个样地范围为东西相距 1 168 m,南北相距 1 546 m。植被调查每个样点样方数 3~5 个,样方面积根据植被类型而定,草地为 1 m×1 m,灌木为 3 m×3 m,林地为 10 m×10 m,植被群落调查结果见表 1。采用倒 S 形随机采集 0~20 cm 土壤样品,并将同一样地多点采集的 0~20 cm 土壤样品充分混合,用四分法选取土壤样品 3 份、每份约 500 g 带

回实验室分析。采样时间为 2006 年 8 月。

1.2.2 样品测定方法 带回实验室的土壤经风干去除根系、枯落物、石块等,研磨过 0.25 mm 和 1 mm 筛,其中过 0.25 mm 筛的土样用于测定有机碳和全氮,过 1 mm 筛的土样用于测定蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性。土壤有机碳采用重铬酸钾容量法测定(外加热法)^[14],土壤全氮用半微量开氏法测定(K₂SO₄-CuSO₄-Se 蒸馏法)^[14],蔗糖酶用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[14],脲酶用茶酚一次氯酸钠比色法测定^[14],碱性磷酸酶用苯磷酸二钠比色法测定^[14],过氧化氢酶用 KMnO₄ 滴定法测定^[15];各测试项目重复 3 次。统计分析均采用 SPSS 软件完成(SPSS 13.0 for windows)。

表 1 样地基本情况
Table 1 The basic site description

样地 Sample	植被恢复年限 Vegetation restoration year (a)	海拔 Elevation (m)	地理位置 ψ(N), λ(E)	坡度(°) Steepness	坡向 Slope	植被群落 Vegetation community
S1	0	1267	36°30′51″ 109°32′22″	14	ES 51°	土豆
S2	4	1125	36°31′20″ 109°31′20″	20	ES 28°	狗尾草+猪毛蒿+虫实
S3	8	1224	36°31′19″ 109°31′40″	17	EN 31°	铁杆蒿+披针叶黄花
S4	16	1243	36°31′19″ 109°31′42″	14	EN 62°	铁杆蒿+长芒草+白羊草
S5	29	1232	36°31′18″ 109°31′40″	23	EN 31°	铁杆蒿+杠柳
S6	55	1235	36°31′29″ 109°31′22″	22	EN 17°	狼牙刺+杠柳
S7	100	1267	36°30′51″ 109°32′32″	15	ES 37°	杜梨林

注(Note):土豆 *Potato*;狗尾草 *Setaria viridis*;猪毛蒿 *Artemisia scoparia*;虫实 *Corispermum chinganicum* Iljin;铁杆蒿 *Artemisia gmelini*;披针叶黄花 *Thermopsis lanceolata*;长芒草 *Stipa bungeana*;白羊草 *Bothriochloa ischaemun*;杠柳 *Periploca sepium* Bunge;狼牙刺 *Sophora davidii*;杜梨 *Pyrus betulaeifolia*。

2 结果与讨论

2.1 退耕地植被恢复过程

退耕地的植被恢复,在没有外来干扰的条件下,是一个趋向于草地—灌木—林地自我修复的过程。野外植被调查表明(表 2),燕沟流域植被自然恢复过程中的群落演替规律为狗尾草+猪毛蒿+虫实(植被恢复 4 a)—铁杆蒿+披针叶黄花(植被恢复 8 a)—铁杆蒿+长芒草+白羊草(植被恢复 16 a)—铁杆蒿+杠柳(植被恢复 29 a)—狼牙刺+杠柳(植被恢复 55 a)。随着植被恢复年限的增加,植被盖度、多度和物种数均呈现先增加后减少然后又增加的趋势。植被恢复 4~16 a 间,植被盖度从 34%增加到 53.6%,多度从尚多(Cop1)增加到极多(Soc);植被恢复 16~55 a 间,植被盖度从 53.6%减少到 47.9%,多度从极多(Soc)减少到很多(Cop3);植被恢复 55 a 以后,植被盖度、多度又开始增加,植被盖

度从 47.9%增加到 65.6%,多度从很多(Cop3)增加到极多(Soc)。物种数在植被恢复 4~16 年间增加了 300%,在植被恢复 16~29 年间减少了 40%,在植被恢复 29 年以后又开始增加,物种数在植被恢复 100 年时比 29 年时增加了 110%。

2.2 土壤有机碳和全氮对植被恢复的响应

土壤有机碳不仅能增强土壤的保肥力和供肥能力,提高土壤养分的有效性,而且可促进团粒结构的形成,改善土壤的透水性、蓄水能力及通气性,增强土壤的缓冲性等。土壤全氮包括所有形式的有机和无机氮素,是标志土壤氮素总量和供应植物有效氮素的源和库,综合反映了土壤的氮素状况。从图 1 和图 2 可以看出,同当年对照农地相比,不同植被恢复年限下表层 0~20 cm 土壤有机碳和全氮均有所增加,土壤有机碳和全氮分别增加了 35%~184.6%和 5.7%~157.4%。

表 2 植被恢复过程中群落特征

Table 2 Community characteristics during vegetation restoration

样地 Sample	植被群落 Vegetation community	盖度 Coverage(%)	多度 Abundance	物种数 Amount of species
S2	狗尾草+猪毛蒿+虫实	34	Cop1	7
S3	铁杆蒿+披针叶黄花	48.6	Cop3	18
S4	铁杆蒿+长芒草+白羊草	53.6	Soc	28
S5	铁杆蒿+杠柳	51.7	Cop3	20
S6	狼牙刺+杠柳	47.9	Cop3	21
S7	杜梨林	65.6	Soc	42

注(Note): Soc, 极多; Cop3, 很多; Cop1, 尚多。

土壤有机碳和全氮对植被恢复的响应是在植被恢复初期,土壤有机碳和全氮含量随植被恢复年限的增加而增加;同当年对照农地相比,表层土壤有机碳含量在植被恢复 8 a 时增加了 41.4%,表层土壤全氮含量在植被恢复 16 a 时增加了 43.2%。土壤有机碳含量在植被恢复 8~29 a 期间随植被恢复年限的增加而减少,土壤全氮含量在植被恢复 16~29 a 期间随植被恢复年限的增加而减少;同当年对照农地相比,表层土壤有机碳和全氮含量在植被恢复 8~29 a 和 16~29 a 期间分别比植被恢复 8 a 和 16 a 平均减少了 11.2%和 22.4%。植被恢复 29 a 后,

土壤有机碳和全氮含量又随植被恢复年限的增加而增加。同当年对照农地相比,植被恢复 100 a 时表层土壤有机碳和全氮含量分别增加了 184.6%和 157.4%。造成这种现象的原因可能是因为养分积累与消耗之间存在一个动态平衡过程,随着耕作施肥活动的停止和植被恢复对土壤有机碳和全氮的消耗,使土壤有机碳和全氮含量有一个降低的过程。此后随着植被恢复和群落演替的进行,植被枯落物逐步增多,土壤剖面逐步发育,土壤有机碳和全氮含量又开始增加。

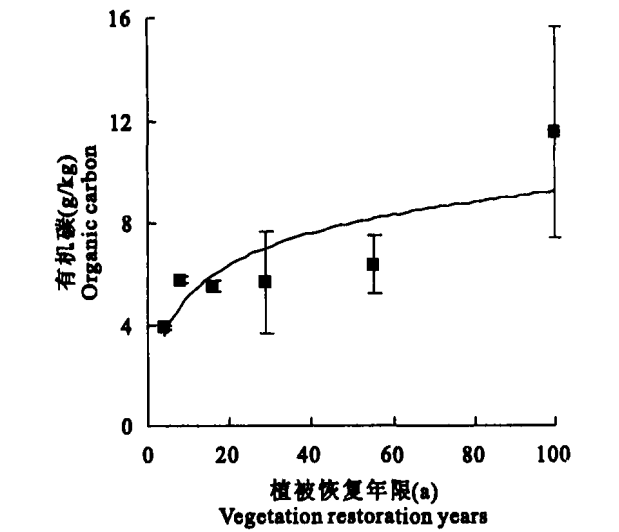


图 1 植被恢复与土壤有机碳

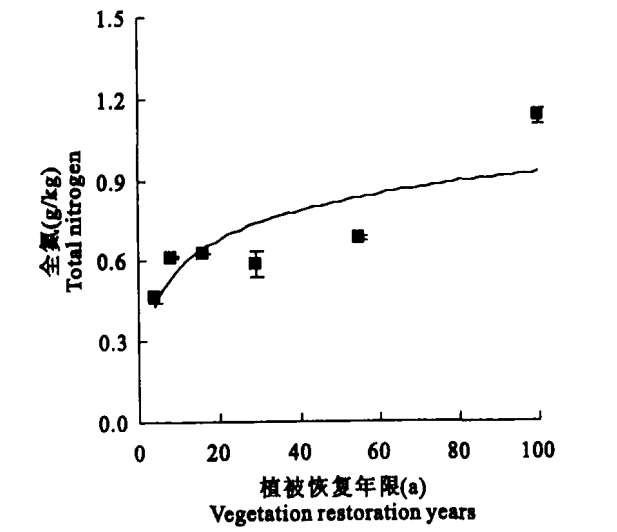


图 2 植被恢复与土壤全氮

Fig. 1 Vegetation restoration and soil organic carbon

Fig. 2 Vegetation restoration and soil total nitrogen

2.3 土壤酶活性对植被恢复的响应

从图 3~5 可以看出,同当年对照农地相比,不同植被恢复年限下表层 0~20 cm 土壤蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均有所增加,土壤蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性分别增加了 89.6%~566%、32.9%~331.2%和 0.18%~184.8%;而表层土壤过氧化氢酶活性随植被恢复年限的变化不明显(图

6)。
土壤脲酶活性对植被恢复的响应是在植被恢复初期(0~8 a)随植被恢复年限的增加而增加;同当年对照农地相比,表层土壤脲酶活性在植被恢复 8 a 时增加了 132.8%。植被恢复 8~29 a 期间,脲酶活性随植被恢复年限的增加而减少;同植被恢复 8 a 相比,表层土壤脲酶活性平均减少了 35.3%。植被

恢复 29 a 后,土壤脲酶活性又随植被恢复年限的增加而增加;同当年对照农地相比,表层脲酶活性在植被恢复 100 a 时增加了 331.2%。土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性对植被恢复的响应是在植被恢复初期(0~16 a)随植被恢复年限的增加而增加;同当年对照农地相比,表层土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性在植被恢复 16a 时分别增加了 281.6%和 97.5%。植被恢复 16~29 a 期间,表层土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性随植被恢复年限的增加而减少;同植被恢复 16 a 相比,表层土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性分别平均减少了 0.17%和 24%。植被恢复 29 a 后,土壤蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性又随植被恢复年限的增加而增加;同当年对照农地相比,表层土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性在植被恢复 100 a 时分别增

加了 566%和 184.8%。产生这种趋势的主要原因是植被恢复初期耕地施肥的影响以及植被群落明显增加,植被根系的增加和地表的枯枝落叶层增加了有机质和氮素含量,有充分的营养源支持微生物的活动,加之水热条件和通气状况好,使微生物生长旺盛,代谢活跃,呼吸强度加大而使土壤蔗糖酶、脲酶与碱性磷酸酶活性较当年对照农地有所增加。但当植被恢复到 8~29 a 期间,植被群落逐渐趋于稳定,枯枝落叶在表层的积累,使表层土壤温度降低,抑制了微生物的活动,从而导致了土壤酶活性随植被恢复年限的增加而降低。此后,地面植被逐渐形成良好的林、灌、草和地被层,使土壤物理性状有较大改善,尤其是土壤孔隙度和水稳性团粒结构增加,造成土壤酶活性又开始增加。

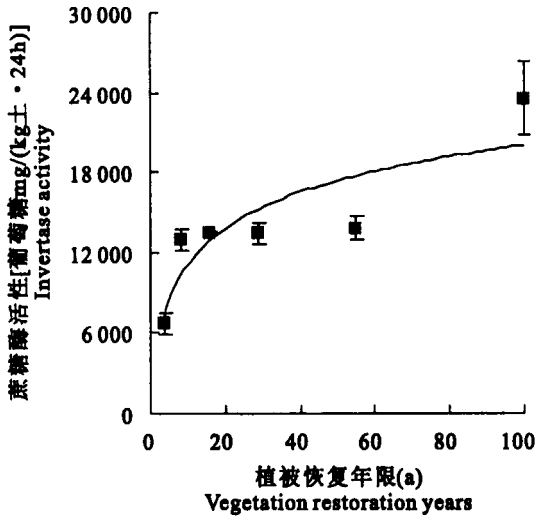


图 3 植被恢复与土壤蔗糖酶活性

Fig. 3 Vegetation restoration and soil ureade activity

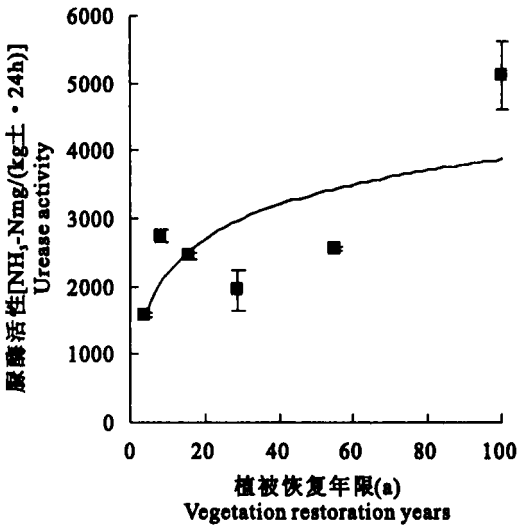


图 4 植被恢复与土壤脲酶活性

Fig. 4 Vegetation restoration and soil sucrose activity

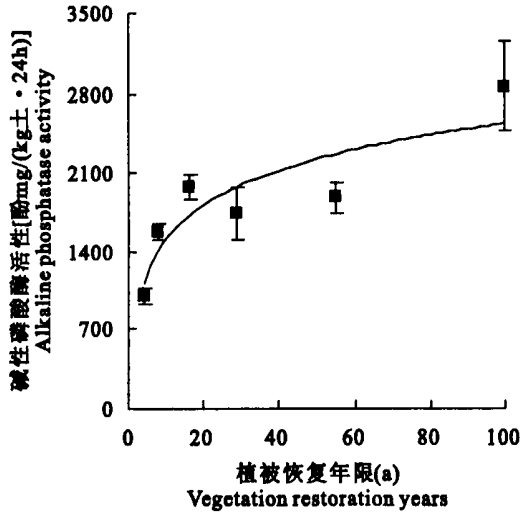


图 5 植被恢复与土壤碱性磷酸酶活性

Fig. 5 Vegetation restoration and soil alkaline activity

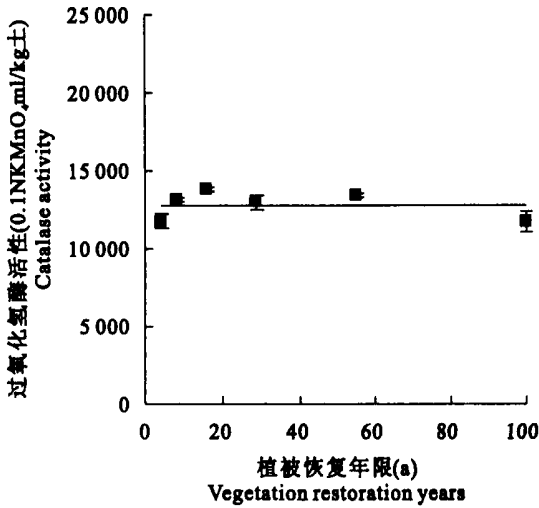


图 6 植被恢复与土壤过氧化氢酶活性

Fig. 6 Vegetation restoration and soil catalase activity

2.4 土壤酶活性与有机碳和土壤全 N 的关系分析

土壤酶活性与土壤有机碳和全氮相关分析结果表明,表层 0~20 cm 土壤蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶与土壤有机碳、全氮均呈极显著相关(表 3 和表 4),说明土壤有机碳、全氮对蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶

活性有重要的影响;但表层 0~20 cm 土壤过氧化氢酶活性与有机碳和全氮相关性不明显(表 3 和表 4),说明土壤有机碳和全氮对过氧化氢酶活性的影响较小。

表 3 土壤酶活性与土壤有机碳和全氮相关系数						
Table 3 Correlation coefficient between soil enzymatic activities and soil nutrients						
土壤因子 Factors	相关系数 <i>r</i> Correlation coefficient					
	有机碳 SOC	全氮 T·N	蔗糖酶 Invertase	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	过氧化氢酶 Catalase
有机碳 SOC	1.000					
全氮 T·N	0.996**	1.000				
蔗糖酶 Invertase	0.928**	0.943**	1.000			
脲酶 Urease	0.975**	0.985**	0.942**	1.000		
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.934**	0.949**	0.975**	0.927**	1.000	
过氧化氢酶 Catalase	0.068	0.126	0.421	0.179	0.359	1.000

注(Notes): * $P<0.05$; ** $P<0.01$.

表 4 土壤酶活性与土壤有机碳和全氮显著性检验						
Table 4 Test of significance between soil enzymatic activities and soil nutrients						
土壤因子 Factors	<i>F</i> 检验(<i>P</i>) <i>F</i> test					
	有机碳 SOC	全氮 T·N	蔗糖酶 Invertase	脲酶 Urease	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	过氧化氢酶 Catalase
有机碳 SOC	—					
全氮 T·N	0.000	—				
蔗糖酶 Invertase	0.003	0.001	—			
脲酶 Urease	0.000	0.000	0.001	—		
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	0.002	0.001	0.000	0.003	—	
过氧化氢酶 Catalase	0.885	0.788	0.347	0.701	0.429	—

3 结 论

1) 燕沟流域植被自然恢复过程中的群落演替规律为狗尾草+猪毛蒿+虫实(植被恢复 4 a)—铁杆蒿+披针叶黄花(植被恢复 8 a)—铁杆蒿+长芒草+白羊草(植被恢复 16 a)—铁杆蒿+杠柳(植被恢复 29 a)—狼牙刺+杠柳(植被恢复 55 a)。随着植被恢复年限的增加,植被盖度、多度和物种数均呈现先增加后减少然后又增加的趋势。

2) 植被恢复对 0~20 cm 表层土壤有机碳和全氮含量有明显的提高作用,同当年对照农地相比,随着植被恢复年限的增加,土壤有机碳和全氮含量均明显增加。表层 0~20 cm 土壤有机碳和全氮分别比当年对照农地增加了 35%~184.6%和 5.7%~157.4%。土壤有机碳和全氮对植被恢复的响应是在植被恢复初期(0~8 a),表层土壤有机碳随植被恢复年限的增加而增加,植被恢复 8~29 a 期间,随植被恢复年限的增加而减小,植被恢复 29 a 以后,

又随植被恢复年限的增加而增加;在植被恢复初期(0~16 a)表层土壤全氮随植被恢复年限的增加而增加,植被恢复 16~29 a 期间,随植被恢复年限的增加而减小,植被恢复 29 a 以后,又随植被恢复年限的增加而增加。

3) 植被恢复对表层 0~20 cm 土壤酶活性有明显的提高作用,同当年对照农地相比,随着植被恢复年限的增加,土壤蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性均明显增加。表层土壤蔗糖酶、脲酶和碱性磷酸酶活性分别增加了 89.6%~566%、32.9%~331.2%和 0.18%~184.8%,土壤酶活性的增加趋势为蔗糖酶>脲酶>碱性磷酸酶。土壤酶活性对植被恢复的响应是在植被恢复初期(0~8 a),表层土壤脲酶活性随植被恢复年限的增加而增加,植被恢复 8~29 a 期间,随植被恢复年限的增加而减小,植被恢复 29 a 以后,又随植被恢复年限的增加而增加;在植被恢复初期(0~16 a)表层土壤蔗糖酶和碱性磷酸酶活性随植被恢复年限的增加而增加,植被恢复 16~29 a 期间,随植被恢复年限的增加而减小,植被恢复 29 a 以后,又随植被恢复年限的增加而增加。

4) 土壤酶活性和土壤有机碳和、全氮相关分析表明,表层土壤蔗糖酶、脲酶、碱性磷酸酶活性与土壤有机碳和全氮均呈极显著相关;表层土壤过氧化氢酶活性与土壤有机碳和全氮相关性不明显。

参 考 文 献:

[1] Anna K, Bandick, Richard P. Dick. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, (31):1471-1479.
[2] 巩 杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(12):

2292-2296.
[3] 薛 蕊,刘国彬,戴全厚,等.不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响[J]. 自然资源学报,2007,22(1):20-27.
[4] 焦 峰,温仲明,焦菊英,等.黄土丘陵区退耕地土壤养分变异特征[J]. 植物营养与肥料学报,2006,11(6):724-730.
[5] 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.
[6] 马祥华,焦菊英,温仲明,等.黄土丘陵沟壑区退耕地植被恢复后土壤物理特性变化研究[J]. 水土保持研究,2005,12(1):17-21.
[7] 关松荫.土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1987.
[8] Johansson M, Stenberg B, Torstensson L. Microbiological and chemical changes in two arable soils after long-term sludge amendments[J]. Bio Fertil Soils, 1999,30:160-167.
[9] Zornoza R, Guerrero C, Mataix-Solera J, et al. Assessing air-drying and rewetting pre-treatment effect on some soil enzyme activities under Mediterranean conditions[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2006, (38):2125-2134.
[10] Roldán A, Salinas-García J R, Alguacil M M, et al. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions[J]. Science Direct Geoderma, 2005, (129):178-185.
[11] 张 锋,郑粉莉,安韶山,等.子午岭地区林地破坏加速侵蚀对土壤养分流失和微生物的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(6):826-833.
[12] 安韶山,黄懿梅,李璧成,等.云雾山自然保护区不同植物群落土壤酶活性特征研究[J]. 水土保持通报,2004,24(6):14-17.
[13] 田均良,梁一民,刘普灵,等.黄土高原丘陵区中尺度生态农业建设探索[M]. 郑州:黄河水利出版,2003.
[14] 许光辉.土壤微生物分析方法手册[M]. 北京:农业出版社,1986.
[15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985.

The responses of soil organic carbon, total nitrogen and enzymatic activity to vegetation restoration in abandoned lands in Yangou watershed

LIU Yu^{1,2}, ZHENG Fen-li^{1,2}, AN Shao-shan², GUO Man^{1,2}

1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Taking the Yangou watershed located at hilly-gully region of the Loess Plateau as an example, the responses of soil organic carbon, total nitrogen and enzymatic activity on abandoned lands to vegetation restoration were studied. The results showed that with an increase of vegetation restoration years, change tendency of vegetation coverage, vegetation abundance, and amount of species was increasing in the beginning of vegetation restoration (4~16 years), then decreasing (16~29 years or 16~55 years), and later increasing again (after 29 years or 55 years). Compared to cropland, topsoil (0~20 cm) organic carbon, total nitrogen, invertase activity, urease activity, and alkaline phosphatase activity significantly increased with an increase of vegetation restoration years, but change of soil catalase activity with an increase of vegetation restoration years was

not obvious. Compared to the cropland, topsoil organic carbon, total nitrogen, invertase activity, urease activity, and alkaline phosphatase activity increased by 35%~184.6%, 5.7%~157.4%, 89.6%~566%, 32.9%~331.2%, and 0.18%~184.8%, respectively. The responses of topsoil organic carbon and urease activity to vegetation restoration were that in the beginning of vegetation restoration (0~8 years), both of them increased with an increase of vegetation restoration years; during 8~29 years of vegetation restoration, both of them decreased with an increase of vegetation restoration years; after 29 years of vegetation restoration, both of them increased again with an increase of vegetation restoration years. The responses of topsoil total nitrogen, invertase activity, and alkaline phosphatase activity to vegetation restoration were that in the beginning stage of vegetation restoration (0~16 years), three of them increased with an increase of vegetation restoration years; during 16~29 years of vegetation restoration, three of them decreased with an increase of vegetation restoration years, and after 29 years of vegetation restoration, three of them increased again with an increase of vegetation restoration years. Topsoil invertase activity, urease activity, and alkaline phosphatase activity were significantly correlated with soil organic carbon and total nitrogen, but the relationship between topsoil catalase activity and soil organic carbon, and topsoil catalase activity and soil total nitrogen were not significant.

Keywords: Natural vegetation restoration; abandoned land; soil enzymatic activity; response

(上接第 188 页)

[10] Herrick J E. Soil organisms and rangeland soil hydrologic functions[A]. R T Meurisse. Soil organisms in Pacific Northwest forest and rangeland ecosystems—population functions and applications to management. General Tech. Rep. PNW—GTR—461 [C]. Pacific Northwest Res. Stn., USDA Forest Serv., Portland, OR. 1999. 91—100.

[11] F Belnap J, D A Gillette. Vulnerability of desert biological crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture and disturbance[J]. J. Arid Environ. 1998, 39, 133—142.

[12] 关松荫. 我国主要土壤剖面活性状况[J]. 土壤学报, 1984, 21 (4): 368—380.

[13] 袁志发, 孟德顺. 多元统计分析[M]. 杨凌: 天则出版社, 1993.

[14] 薛立, 陈红跃, 邝立刚, 等. 湿地松混交林地土壤养分、微生物和酶活性的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14 (1): 157—159.

[15] 张萍. 西双版纳次生林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究[J]. 生态学杂志, 1995, 14 (1): 21—26.

[16] 郑文教, 王良睦, 林鹏. 福建和溪亚热带雨林土壤酶活性的研究[J]. 生态学杂志, 1995, 14 (6): 16—20.

[17] Diamantidis G, Effosse A, Potier P, et al. Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum* [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2000, 32: 919—927.

Effect of biogas residues on soil enzyme activity of red Fuji apple orchards

XU Wei-na¹, QIU ling¹, YANG Bao-ping², NIE Jun-feng², WANG Jun-peng²

(1. The Northwest Station of Biogas Products and Equipment Quality Test Center of the Chinese Ministry of Agriculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Research Center for Agricultural in Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The soil enzyme activities were studied after biogas residues applied. The activity of 4 soil enzymes were measured at the ecotypic orchard station of Northwest A & F University, and the result showed that the activity of 4 chief soil enzymes varied, including urease, phosphatase, catalase and sucrase. Except sucrase, the activity of other soil enzymes of biogas residues in household biogas digester was greater than biogas residues in project biogas digester. The effect of urease and catalase activities of biogas residues in household digester on organic matter were significantly positive, the same as that of urease and catalase activities of biogas residues in project digester on organic matter. The results obtained through the correlation, path and principal component analysis showed that that soil urease, catalase and sucrase using biogas residues in household digester and soil sucrase using biogas residues in project digester could all be as a comprehensive index of soil fertility. Soil fertility could be evaluated objectively by principal component analysis.

Keywords: soil enzyme; fertilizer; soil nutrient; black soil