

陕北榆林地区沙漠化土壤理化性质、土壤酶活性及其与植物 C、N 的关系

王春杰, 朱志梅, 张仁慧, 杨梅焕

(西北大学 环境科学系, 陕西 西安 710127)

摘要: 用空间代替时间的方法采样, 对陕北榆林地区不同程度沙漠化土壤理化性质、土壤酶活性及其和植物有机 C、全 N 的关系进行了研究。结果表明, (1) 土壤理化性质随沙漠化过程变化呈现规律性的变化。随沙漠化加剧, 同一沙漠化梯度不同剖面的 pH 值随深度增加基本呈增加趋势。随沙漠化程度加剧, 土壤脲酶活性急剧降低, 随土壤剖面加深, 酶活性也呈现明显下降的趋势; 土壤过氧化氢酶活性在整个剖面较高, 并随剖面深入先降低后升高。(2) 相关性分析表明, 研究区土壤 pH 值与其它因子的相关性均不大, 除 pH 值外的其它各因子间存在着密切的相关性; 除植物和土壤 C/N、土壤容重与其它各指标存在负相关关系外, 其它指标间均存在正相关关系。

关键词: 沙漠化; 土壤理化性质; 土壤酶活性; 陕北榆林地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)05-0057-06

中图分类号: S153.6, Q948.11

Relations of Soil Physicochemical Properties and Soil Enzyme Activities with Plant C and N in Yulin Area of North Shaanxi Province

WANG Chun-jie, ZHU Zhi-mei, ZHANG Ren-hui, YANG Mei-huan

(Department of Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: Using the methodology of "the temporal for the spatial", this paper studies the relation of soil physicochemical properties and soil enzymatic activities with plant organic C and total N in different desert lands in Yulin Prefecture, North Shaanxi Province. Results showed that with the process of increasing desertification, soil physicochemical properties changed regularly. At the same time, soil pH value in different profiles at the same desertification degree increased with soil depth increasing and soil urease activity was reduced sharply although the variation of soil pH value was not so obvious. Soil catalase activity in the whole profile was relatively higher and it first decreased and then increased with profile depth increasing. Correlation analysis showed that in the study area, there was little relevance between soil pH value and other factors and a close correlation among all factors except soil pH value. Except plants and the soil C/N value, the correlation between soil bulk density and other indexes was negative and the correlation among other indicators was positive.

Keywords: desertification; soil physicochemical property; soil enzyme activity; Yulin Area of North Shaanxi Province

沙漠化是当前人类面临的重大环境问题之一, 对人民的生产生活和社会经济的发展造成了严重的危害。我国是世界上受沙漠化影响最严重的国家之一^[1], 有效地解决沙漠化问题, 实现脆弱生态系统的恢复与重建已迫在眉睫。生态系统脆弱带是沙漠化的前沿阵地, 因此是防止沙漠化的最关键部位。陕北

长城沿线区地处毛乌素风沙区向陕北黄土丘陵区的过渡地带, 随着人口的持续增加、煤炭等矿产资源开发力度加大、以及不合理的土地利用方式对生态环境压力的不断增强, 该地区土地沙漠化扩展迅速, 且退化程度不断加剧, 目前已发展成为我国北方农牧交错地区土地退化最典型和最严重的地区之一^[2]。

收稿日期: 2009-11-24

修回日期: 2010-04-02

资助项目: 国家自然科学基金“陕北沙漠化土壤驱动机制与植物的耐胁迫性研究”(30700648); 陕西省自然科学基金“陕北能化基地生态建设基础研究—沙漠化演变机制分析”(2006Z05); 陕西教育厅专项科研项目“陕北风沙草原区沙漠化土壤与植物耐胁迫驱动机制”(08JK442); 西北大学研究生创新项目“陕北毛乌素沙漠生态修复机理研究”(08YZZ27)

作者简介: 王春杰(1984—), 女(汉族), 山东省菏泽市人, 硕士, 主要从事环境污染控制与生态工程。E-mail: wchj20042007@126.com。

通信作者: 朱志梅(1972—), 女(汉族), 内蒙古包头市人, 博士, 副教授, 主要从事生态学研究。E-mail: zhuzhimei@nwu.edu.cn。

沙漠化的产生、发展过程首先表现为土壤—植物系统的退化,对沙漠化过程中土壤理化性质的变化^[3-10]、土壤酶活性特征^[11-13],国内外学者均做了相关研究。不同沙漠化阶段土壤与植物的关系研究也已很多^[14-19],但对自然状态下土壤理化性质、土壤酶活性以及与植物总有机 C、全 N 的相关性研究报道较少。本文对陕北长城沿线沙漠化过程中各土壤因子间以及土壤因子与土壤脲酶、过氧化氢酶、植物有机 C、全 N 的相关性进行分析,旨在探讨沙漠化过程中土壤与植物的内在关系,为沙漠化地区土壤—植被系统的修复提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于毛乌素沙地东南缘沙质草原地带沙漠化程度明显的区域,地处陕西榆林地区,辖神木县、榆阳区、横山县、靖边县和定边县 4 县 1 区,位于东经 107°15′—110°54′,北纬 36°49′—39°27′,海拔 1 015~1 400 m;以长城沿线为界,地貌上可分为北部风沙滩地,属温带半干旱和栗钙土干草原地带。南部为黄土丘陵沟壑区,是陕北黄土高原的北缘,属温带半干旱半湿润地带。

该区属温带半干旱大陆性季风气候,盛行西北风,年均温 7.6℃,年、日较差大,年均降雨量 250~

440 mm,降水少且多集中在 7—9 月,占全年降水的 60%~75%,雨量年际变化大,水资源匮乏;年平均无霜期 136~155 d。区内土壤主要为淡栗钙土、栗钙土,丘间低地主要为草甸土和风沙土等。植被主要以针茅(*Stipa capillata*),油蒿(*Artemisia ordosica*)等植物为主,沙生植被,草原、草甸、盐生植被,盐生草甸等群落类型均易见。

2 研究方法

2.1 样地的选择

本文在结合野外调查和图像资料的基础上将沙漠化过程分为 5 个阶段(表 1)。在神木县、横山县和靖边县具有明显沙漠化的区域各选取 3 个样地,每个样地基本包括 5 个沙漠化阶段,在每个阶段随机选取 3 个 1 m×1 m 的样方。

2.2 取样方法

在 2008 年和 2009 年 7 月中旬植物生长旺盛期采样。将在所选各区域以植被覆盖度与植物类型为依据确定沙漠化空间梯度(表 1)。在每个沙漠化阶段按照“随机”、“等量”和“多点混合”的原则^[20],选择原始的且植被长势好的样地布点采集植物样和土样,每个样地根据沙漠化梯度不同取 1 m×1 m 样方做生态学调查。

表 1 沙质草原不同沙漠化阶段群落类型和建群种

沙漠化梯度	植被覆盖度/ %	群落类型	建群种
iv 非沙漠化阶段	> 35	糙隐子草+ 针茅	针茅(<i>S. plareosa</i>)
①潜在沙漠化阶段	25~ 35	冰草+ 糙隐子草	糙隐子草(<i>C. squarrosa</i>)
②轻度沙漠化阶段	15~ 25	冷蒿+ 黄芪+ 胡枝子	冷蒿(<i>A. frigida</i>)
③中度沙漠化阶段	5~ 15	油蒿+ 杂草	油蒿(<i>A. ordosica</i>)
④重度沙漠化阶段	< 5	一年生植物	藜(<i>C. zlbun</i>)

(1) 植物样采集。样方内随机采集新鲜植物叶片(中部),分种,同种混合,然后清洗、烘干称重,最后用研钵磨碎过 100 目筛测定 C 和 N。

(2) 土样采集。分别在每个样地取一个土壤剖面,分 0—5, 5—10, 10—15, 15—20, 25—30 cm 这 5 层,测定土壤含水量、土壤容重并进行土壤颗粒组成分析。在每个样地重复取样 3 次,将土壤过 100 目筛测土壤有机 C、全 N 和土壤酶活性。

2.3 测定项目与方法

土壤颗粒组成采用比重计法^[21];土壤含水量和容重测定采用烘干称重法;土壤 pH 值的测定采用电位法(1 mol/L 的氯化钾溶液与土为 5:1)^[22];土壤和植物有机 C 测定采用 K₂Cr₂O₇ 容量法—外加热法^[21];土壤和植物全 N 测定采用凯氏定氮法^[21]。土

壤脲酶活性用靛酚蓝比色法^[23]测定,以每克土 24 h 产生的 NH₃-N 毫克数表示;过氧化氢酶活性用高锰酸钾滴定法^[23]测定,以每克土消耗 0.1 mol/L KMnO₄ 毫升数表示。

2.4 数据分析

综合 2008, 2009 年的测定数据,利用 Excel 和 SPSS16.0 软件对实验数据进行方差分析和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 不同沙漠化阶段土壤理化性质及相关性分析

3.1.1 不同沙漠化阶段土壤理化性质 研究区不同沙漠化过程中土壤理化性状变化如表 2 所示。可以看出,随研究区沙漠化程度增加,表层土壤含水量减少,土壤容重变异性不大。在 0—30 cm 土壤剖面中,表层

土壤含水量和容重偏低, 各沙漠化阶段随深度增加土壤含水量和容重均有增加趋势, 且沙漠化越严重区域随深度增加其含水量增长幅度越大; 随沙漠化梯度增大, 砂粒含量呈线性增加($y = 13.734x + 30.954$, $R^2 = 0.9874$, x : 沙漠化梯度, y : 土壤粒度含量), 黏粒含量呈指数性减少($y = 28.249e^{-0.6143x}$, $R^2 = 0.9929$, 同上), 粉粒含量也逐渐变小, 土壤逐渐以砂粒为主。

研究区不同沙漠化阶段土壤 pH 值变化于 8.10 ~ 8.71 之间, 属碱性土壤, 同一沙漠化阶段不同土层的 pH 值随深度增加基本呈增加趋势, 但变化不大; 沙漠化过程中, 土壤有机 C 和全 N 含量降低, 表层变化最大, 各阶段有机 C 和全 N 含量随土壤剖面深度增加而减少; 随沙漠化程度加剧, 土壤 C/N 整体呈增加趋势, 随深度增加呈先增加后降低趋势。

表 2 不同沙漠化阶段土壤因子的变化

土壤因子	土层深度	沙漠化梯度				
		iv	㊦	㊨	㊩	㊪
土壤含水量	0—5 cm	1.52	1.00	0.88	0.40	0.27
	5—10 cm	1.62	1.86	1.68	1.59	1.33
	10—15 cm	2.79	2.76	2.69	2.45	2.30
	15—20 cm	2.82	2.80	2.76	2.63	2.58
	20—25 cm	2.91	2.83	2.80	2.73	2.68
	25—30 cm	3.44	3.41	3.39	3.38	3.40
土壤容重	0—5 cm	1.13	1.18	1.25	1.31	1.38
	5—10 cm	1.22	1.29	1.37	1.45	1.54
	10—15 cm	1.26	1.33	1.42	1.50	1.59
	15—20 cm	1.37	1.35	1.38	1.55	1.64
	20—25 cm	1.38	1.46	1.54	1.62	1.69
	25—30 cm	1.55	1.60	1.65	1.68	1.70
土壤粒度	砂粒(1~ 0.05 mm) / %	43.56	57.32	74.85	88.32	96.73
	粉粒(0.05~ 0.002 mm) / %	39.72	35.09	21.04	9.09	1.95
	黏粒(< 0.002 mm) / %	16.72	7.59	4.11	2.59	1.33
土壤 pH 值	0—5 cm	8.42	8.35	8.10	8.26	8.50
	5—10 cm	8.51	8.31	8.15	8.20	8.53
	10—15 cm	8.54	8.34	8.18	8.33	8.59
	15—20 cm	8.60	8.38	8.23	8.35	8.67
	20—25 cm	8.65	8.43	8.26	8.36	8.70
	25—30 cm	8.62	8.42	8.33	8.40	8.71
土壤有机 C	0—5 cm	0.717	0.558	0.467	0.426	0.376
	5—10 cm	0.690	0.538	0.416	0.386	0.355
	10—15 cm	0.650	0.518	0.396	0.315	0.325
	15—20 cm	0.589	0.497	0.355	0.294	0.284
	20—25 cm	0.538	0.383	0.325	0.274	0.254
	25—30 cm	0.431	0.318	0.284	0.213	0.213
土壤全 N	0—5 cm	0.065	0.049	0.039	0.030	0.019
	5—10 cm	0.056	0.041	0.028	0.025	0.016
	10—15 cm	0.046	0.035	0.025	0.019	0.014
	15—20 cm	0.032	0.025	0.021	0.014	0.012
	20—25 cm	0.030	0.021	0.019	0.012	0.009
	25—30 cm	0.026	0.019	0.017	0.011	0.010
土壤 C/N	0—5 cm	11.03	11.39	11.97	14.20	19.79
	5—10 cm	12.32	13.12	14.86	15.44	22.19
	10—15 cm	14.13	14.80	15.84	16.58	23.21
	15—20 cm	15.10	17.89	16.90	21.00	23.67
	20—25 cm	17.93	18.24	17.11	22.83	28.22
	25—30 cm	16.58	16.74	16.71	19.36	21.30

3.1.2 土壤因子间相关性分析 沙漠化过程总是伴随着土壤因子的有规律变化,而沙漠化土壤各理化性质间也存在着密切的内在联系,如黏粒含量较多的土壤,其有机 C 和全 N 含量也相应较高;有机质含量较高的土壤其结构和物理性质也相对稳定^[19]。

用研究区每个土层的数据,对应做相关性分析发现,结果有差异且相关性规律不明显(表 3)。对不同土层的土壤因子求平均值,再做相关性分析发现相关性明显,且有一定的规律性:土壤 pH 值与其它土壤因子相关性不大($p > 0.05$);除土壤容重和 C/N 与其

它指标存在负相关关系外,其它指标间均存在正相关关系;土壤容重与黏粒含量、有机 C 含量和 C/N 均呈显著性相关($p < 0.05$),与土壤含水量、全 N 呈极显著相关($p < 0.01$),其中,土壤容重与含水量 2 者相关系数最大,达 0.994,取土壤容重作自变量,含水量作因变量,得 2 者的拟合曲线为: $y = -1.3924x^2 + 2.4505x + 1.7084$, $R^2 = 0.9931$;土壤含水量与有机 C、全 N 和 C/N 均呈显著性相关($p < 0.05$);土壤黏粒、有机 C 和全 N 这 3 者间互呈极显著正相关($p < 0.01$)。

表 3 不同沙漠化阶段土壤各因子间相关性分析

因子	pH 值	容重	含水量	黏粒含量	有机 C	全 N	C/N
土壤 pH 值	1.000						
容重	0.119	1.000					
含水量	-0.187	-0.994*	1.000				
黏粒含量	0.296	-0.881*	0.850	1.000			
有机 C	0.225	-0.936*	0.907*	0.985**	1.000		
全 N	0.066	-0.973**	0.956*	0.966**	0.986**	1.000	
C/N	0.477	0.922*	-0.943*	-0.691	-0.749	-0.845	1.000

注: * 表示显著水平为 0.05 时,相关显著($p < 0.05$); ** 表示显著水平为 0.01 时,相关极显著($p < 0.01$)。下同。

3.2 不同沙漠化阶段土壤酶活性及相关性分析

3.2.1 土壤脲酶、过氧化氢酶的活性 土壤酶是一类具有生物化学催化活性的特殊物质,参与土壤中许多重要的生物化学过程^[23],也是评价土壤肥力和土壤生态环境质量的重要生物学指标之一^[24-25]。其中脲酶能促进施入土壤中的尿素分解,产生的 NH_3 是高等植物的直接氮源,因此,可作为土壤肥力的指标之一。过氧化氢酶能使 H_2O_2 分解为 O_2 和 H_2O ,有效防止土壤代谢中产生的 H_2O_2 对生物体造成的毒害,其活性高低表征了土壤解毒能力的强弱。

由图 1 和图 2 可以看出,随沙漠化程度加剧,这 2 种酶活性均减弱,土壤脲酶活性在 ④~⑤ 级很低;从垂直分布特点来看,脲酶活性与其它土壤类型基本相似,随土层深度增加急剧减弱,iv 级梯度尤为明显。过氧化氢酶活性在整个剖面较高,随剖面深入先降低后升高,在 15—20 cm 土层转折。这是由于随沙漠化程度加剧和土层加深,土壤营养元素状况、熟化程度、肥力水平等不利于微生物活动与繁殖,从而导致酶活性降低。

3.2.2 土壤脲酶、过氧化氢酶的活性与土壤因子相关性分析 对研究区不同沙漠化阶段的土壤因子、土

壤脲酶、过氧化氢酶分别求平均值,然后做相关性分析,分析结果如表 4 所示。

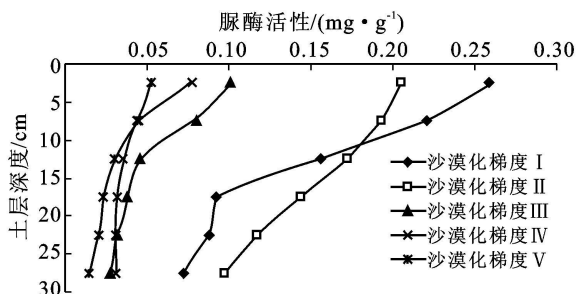


图 1 不同沙漠化阶段土壤脲酶活性的变化

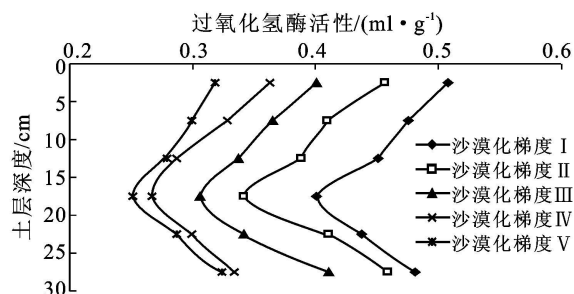


图 2 不同沙漠化阶段土壤过氧化氢酶活性的变化

表 4 不同沙漠化阶段土壤因子与土壤脲酶、过氧化氢酶活性相关性分析

变量	pH 值	容重	含水量	黏粒含量	有机 C	全 N	C/N
土壤脲酶	0.192	-0.925*	0.885*	0.899*	0.956*	0.934*	-0.726
土壤过氧化氢酶	0.056	-0.984**	0.969**	0.938*	0.981**	0.990**	-0.844

相关性数据显示,这2种土壤酶活性与pH值相关性很小,与土壤容重、C/N均呈负相关性,其中与土壤容重达显著水平,而与C/N未达到;土壤脲酶活性与土壤含水量、黏粒含量、有机C、全N均为显著的正相关关系,与有机C、全N相关系数很高(0.956, 0.934),说明土壤脲酶在土壤C、N转化过程中作用很大;土壤过氧化氢酶活性与土壤含水量、有机C、全N均呈极显著正相关,这与过氧化氢酶可使 H_2O_2 分解为 O_2 和 H_2O 的机理相吻合,可能由于有机C与全N极显著的相关性,过氧化氢酶活性不仅与有机C有关,受全N影响也较大。

3.3 不同沙漠化阶段植物有机C,全N,C/N变化及相关分析

相对不同植物的叶绿素、叶片含水量和质膜相对透性等生理指标而言,植物有机C,全N含量相对稳定,因此对不同沙漠化阶段植物有机C,全N,C/N进行分析(如表5)。由表5可知,随沙漠化程度加剧,植物有机C,全N含量降低,C/N呈增加趋势。对研究区不同沙漠化阶段植物有机C,全N,C/N与土壤酶、土壤因子做相关性分析,结果如表6所示。

表6 不同沙漠化阶段植物有机C含量,全N含量,C/N与土壤酶、土壤因子的相关性分析

变量	土壤脲酶	土壤过氧化氢酶	土壤因子						
			pH值	容重	含水量	黏粒含量	有机C含量	全N含量	C/N
植物有机C	0.932*	0.986**	-0.075	-0.995**	0.983**	0.912*	0.954*	0.986**	-0.910*
植物全N	0.875	0.950*	-0.007	-0.947*	0.931*	0.950*	0.951*	0.983**	-0.868
植物C/N	-0.914*	-0.932*	-0.148	0.906*	-0.868	-0.966**	-0.961**	-0.965**	0.772

4 结论

(1) 陕北榆林地区沙漠化演化过程伴随着土壤物理性状、养分含量和土壤酶活性的变化。土壤脲酶、过氧化氢酶活性对反映土壤肥力水平、指示土壤肥力的变化有重要意义。

(2) 沙漠化过程伴随着土壤因子的有规律变化。随沙漠化加剧,同一沙漠化梯度不同剖面的pH值随深度基本呈增加趋势;随沙漠化程度加剧和深度加深,土壤脲酶活性急剧降低;过氧化氢酶活随剖面深入先降低后升高,在15-20cm土层转折。

(3) 相关性分析表明,研究区土壤pH值与其它因子相关性均不大,除pH值外的其它各因子间存在着密切的相关性,除植物和土壤C/N、土壤容重与其它各指标存在负相关关系外,其它指标间均存在正相关关系。

(4) 土壤含水量与有机C、全N和C/N均呈显著性相关,土壤黏粒、有机C和全N这3者间呈极显

著正相关;土壤脲酶和过氧化氢酶活性均与土壤含水量、有机C、全N呈显著正相关性;植物有机C,C/N与2种酶相关性均达显著性水平,植物全N与过氧化氢酶活性呈显著性正相关,而与脲酶未达到显著性水平;(3)植物有机C,全N,C/N与土壤pH值相关性均很小,植物有机C与除pH值外的其它土壤因子相关性均达显著性水平;(4)植物全N与土壤容重、含水量、黏粒含量和有机C呈显著性相关($p < 0.05$),与土壤全N呈极显著正相关;(5)植物C/N与土壤容重呈显著正相关,与黏粒含量、有机C和全N达极显著负相关性。

表5 不同沙漠化阶段植物有机C,全N,C/N变化

沙漠化阶段	有机C%	全N%	C/N
iv	44.68±2.80	3.249±0.387	13.75±1.59
㉖	43.65±2.11	2.678±0.404	16.34±1.32
㉗	42.57±2.23	2.501±0.675	18.25±2.34
㉘	41.72±2.18	2.388±0.731	17.74±2.28
㉙	40.52±2.21	1.948±0.525	19.65±1.86

注:表中数据为平均值±标准差。

著正相关;土壤脲酶和过氧化氢酶活性均与土壤含水量、有机C,全N呈显著正相关性;植物有机C,C/N与2种酶相关性均达显著性水平,植物全N与过氧化氢酶活性呈显著性正相关,与脲酶未达到显著性水平。

土壤理化性质、土壤酶活性和植物有机C,全N都随沙漠化过程有不同程度的变化,有关不同沙漠化阶段土壤和植物演变的内在机理以及土壤替变阈值的研究至今较少,在该区的研究中将进一步探讨这些问题,以便运用到实际治沙工作中。

[参考文献]

- [1] 朱震达. 中国沙漠、沙漠化、荒漠化及其治理的对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 10-12.
- [2] 刘彦随, 倪绍祥, 查勇. 陕北风沙滩地区土地退化机理与治理对策[J]. 自然资源学报, 1997, 12(4): 357-362.
- [3] 刘颖茹, 杨持, 朱志梅, 等. 我国北方草原沙漠化过程中土壤碳、氮变化规律研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1064-1066.

- [4] 朱志梅, 杨持, 曹明明, 等. 多伦草原土壤理化性质在沙漠化过程中的变化[J]. 水土保持通报, 2007, 27(1): 1-5.
- [5] 苏永中, 赵哈林, 文海燕. 退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 5-8.
- [6] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 不同强度放牧后自然恢复的沙质草地土壤性状特征[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 333-338.
- [7] Su Y Z, Zhao H L. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification[J]. Geoderma, 2004, 122(1): 43-49.
- [8] 徐丽恒, 王继和, 李毅, 等. 腾格里沙漠南缘沙漠化逆转过程中的土壤物理性质变化特征[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 690-695.
- [9] Zhou R L, Li Y Q. Desertification effects on C and N content of sandy soils under grassland in Horqin, northern China[J]. Geoderma, 2008, 145(3-4): 370-375.
- [10] Wang G P, Zhai Z L, Liu J S. Forms and profile distribution of soil phosphorus in four wetlands across gradients of sand desertification in Northeast China[J]. Geoderma, 2008, 145(1/ 2): 50-59.
- [11] 白春明, 贺学礼, 山宝琴, 等. 漠境沙打旺根围 AM 真菌与土壤酶活性的关系[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(1): 84-90.
- [12] 王锐, 常庆瑞, 孙权, 等. 黄土高原植被恢复过程中土壤酶活性特征研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(25): 11005-11007.
- [13] 胡亚林, 曾德慧, 范志平, 等. 半干旱区沙质退化草地造林对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2391-2397.
- [14] 杨晓晖, 张克斌, 侯瑞萍, 等. 半干旱沙地封育草场的植被变化及其土壤因子间的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3212-3219.
- [15] 冯伟, 张万军, 冯学赞. 接坝农牧交错区沙化地生态恢复过程中土壤因子与植被特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 130-224.
- [16] Yang X H, Zhang K B, Hou R P, et al. Vegetation variations under different exclusion measures and their correlation to soil factors[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3212-3219.
- [17] 郝占庆, 郭水良. 长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2000-2008.
- [18] 朱志梅, 杨持, 曹明明, 等. 草原沙漠化过程中土壤因素分析及其植物的生理响应[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 48-57.
- [19] Zhu Z M, Yang C. Searches on stress resistant types of the plants during the grassland sandy desertification process [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(6): 1093-1100.
- [20] 吕英华, 秦双月. 测土与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 25-27.
- [21] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 2 版. 北京: 农业出版社, 1986: 31-52.
- [22] P. F. 劳[美]. 土壤物理化学[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 23-27.
- [23] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 1-13.
- [24] Iker M, Roberto P. Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters [J]. Enzyme and Microbial Technology, 2006, 40: 100-106.
- [25] Nannipieri P, Kandeler E, Ruggiero P. Enzyme activities and microbiological and biochemical process in soil [C] // Burns R G, Dick R P. Enzymes in the environment: Activity, ecology and applications. N Y: Marcel Dekker, Inc, 2002: 1-33.