

# 辽西北地区风力侵蚀过程分析

郑帅, 李德明, 郭成久, 宁睿

(沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866)

**摘要:**辽西北地区土壤沙漠化形成的主要原因是土壤风蚀,为了定量评价辽西北沙化土壤在风力作用下的侵蚀状况,研究采用埋钎法,观测风速与土壤剥蚀深度及堆积厚度的关系。研究得出固定沙丘和流动沙丘的土壤剥蚀深度均随着风速的加大而增加;流动沙丘和固定沙丘,随着风速的加大,背风坡的坡中与坡脚的土壤堆积厚度均有不同程度的增加,而由于风力的剥蚀作用,坡顶的堆积厚度与风速呈负相关;一年内观测到的流动沙丘,半流动沙丘,固定沙丘的平均风蚀强度分别为 167.9,57.8,4.2 mm/d。

**关键词:**风蚀; 堆积厚度; 剥蚀深度; 风蚀强度

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)04-0138-05

## Analysis of Wind Erosion in Northwest Area of Liaoning Province

ZHENG Shuai, LI Deming, GUO Chengjiu, NING Rui

(College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China)

**Abstract:** The main reason for formation of soil desertification in northwestern Liaoning is the wind erosion. With respect to quantitative evaluation the Liaoning Northwest sandy soil under the action of wind, this study adopted embedded brazing method to observe the relationship between wind speed and soil erosion depth and stack depth. Soil erosion depth of fixed dunes and mobile dune increased with the increase of flow velocity; mobile dune and fixed dune, as the wind speed increased, the accumulation thickness increased in the middle and toe of soil leeward slope at different degrees, due to wind erosion action, the accumulated thickness at the top was negatively related to wind speed; the average intensities of wind erosion of the mobile dune, semi mobile dune, fixed sand dunes, were 167.9 mm/day, 57.8 mm/day, 4.2 mm/day, respectively, within one observed year.

**Keywords:** wind erosion; accumulation thickness; erosion thickness; wind erosion intensity

风蚀沙化是指干旱、半干旱和某些半湿润区,在多风的沙质地表条件下,由于人为强烈活动破坏了当地脆弱的生态平衡,从而造成地表以风沙活动为主要标志的土地退化<sup>[1-2]</sup>。风蚀沙化使这些区域的生物和经济生产潜力减少,甚至基本丧失<sup>[3]</sup>。在我国,由强烈风力侵蚀所造成的灾害事件主要表现在以下方面:强烈的土壤侵蚀直接导致土地荒漠化发展;中国风蚀荒漠化土地平均扩展速度在 20 世纪 50 年代至 70 年代中期为每年 1 560 km<sup>2</sup>,70 年代中期至 80 年代中期增至每年 2 100 km<sup>2</sup>,至 90 年代中期已达到每年 2 460 km<sup>2</sup>,约相当于一个中等县的面积<sup>[4-6]</sup>。辽西北沙化区是辽宁省内陆沙地,地处辽宁省西北部,与内

蒙古自治区相邻,属科尔沁沙漠区域的南缘。辽宁是我国土地沙漠化危害比较严重的省份之一,现有沙化土地面积为 54.96 万 hm<sup>2</sup>,具有明显沙化趋势的土地 60.66 万 hm<sup>2</sup>,占全省土地总面积的 7.94%<sup>[7]</sup>。概括来讲辽宁境内的沙漠化土地大致分三种,分别是辽河、大凌河冲击形成的法库县、新民市等沿河沙地;以兴城市、大洼县为代表的沿海沙地和以彰武县、康平县、北票市为代表的辽北内陆沙地,其中辽宁省西北部内陆沙地属其中发展速度最快、规模最为宏大,危害性也最为严重的一块<sup>[8-9]</sup>。辽宁省西北部沙化土地占全省沙化和荒漠化土地的比重为 95.4%,主要分布在与内蒙古科尔沁沙地接壤的西北部地区(包括彰

武、康平、昌图、法库、北票、建平、黑山、义县、新民等)。针对辽西北地区土壤沙化严重这一特点,本文对沙地风力侵蚀的形式、类型和侵蚀强度展开观测分析,研究辽西北地区沙地土壤风力侵蚀的基本规律,为沙地土壤风力侵蚀防治措施和沙漠化土地生态修复与土地综合利用提供科学依据。

## 1 试验方法

为了定量评价辽西北沙化土壤在风力作用下的侵蚀状况,本项研究采用埋钎法,“地貌类型”系列分流动(半流动)沙丘和固定沙丘2组,每组3次重复。按照地貌类型:流动沙丘(半流动)沙丘和固定沙丘,选择试验地。在4—5月大于起沙风速的天气进行风蚀观测。在每种试验地上,均匀的设置30个观测点,采取插钎法,测试风蚀深度或积沙厚度。在观测场地内按1 m×1 m的间距将钢钎插入地面,每根钢钎长50 cm,地面以上保留30 cm左右,每根钢钎都必须按顺序编号,并绘制钢钎在观测样地内的分布图,布设钢钎的同时用钢尺沿钢钎测量顶部到地面的距离,并按编号记录。监测每次大风天气造成的风蚀量,需在刮风前后对观测场地内的每根钢钎进行测量,记录钢钎顶部到地面的距离。监测一定时期内的风蚀量或风蚀量的动态变化,则需每隔一段时间对钢钎顶部到地面的距离进行一次测量,测量间隔可根据大风发生的频率确定。大风频率高,监测的间隔可以相对短一些,大风的频率低,监测的间隔可以相对长一些,一般的间隔为15~30 d。为了防止因踩踏钢钎周围而造成测量误差,观测时观测人员的脚应该离开钢钎一定距离,需要大于30 cm。观测风速与土壤剥蚀深度及堆积深度的关系。

## 2 试验区简介

试验区选择在辽宁省西北部沙地最具典型性的彰武县阿尔乡镇。彰武县阿尔乡镇东、西、北三面与内蒙古科左后旗相邻,地处科尔沁沙地南缘,东西宽度达到2 600 m,南北长度达到2 450 m,面积为293 hm<sup>2</sup>。彰武县属于辽宁省西北部风沙干旱区,处于科尔沁沙地的东南部,位于东经121°53′—122°59′,北纬42°7′—45°51′,海拔57.6 m~313.4 m。全县总土地面积36.14万hm<sup>2</sup>,其中沙地8.47万hm<sup>2</sup>,占23.4%,是辽宁省的重点风沙区,也是辽宁省沙漠化最严重的地区。据调查,试验区沙地土质在辽西北地区具备代表性和典型性。试验区沙地根据地貌特点、地形情况可分为四种类型,即流动及半流动沙丘、固定沙丘、平缓沙地和丘间洼地<sup>[10-11]</sup>。流动及半流动沙

丘占试验区面积的18.9%,固定沙丘和平缓沙地占69.1%,丘间洼地占12.0%。沙地类型划分见表1。

表1 沙地土壤类型特征

沙地类型	沙丘起伏	植物覆	土壤黏粒	有机质
	高度/m	盖度/%	含量/%	含量/%
流动半流动沙丘	5~25	10~50	≤6.0	0.03~0.064
固定沙丘	3~20	50~80	6.0~7.3	0.047~0.23
平缓沙地	2~5	65~85	7.4~9.5	0.135~0.5
丘间洼地	1~2	0~95	9.6~11.3	0.425~0.95

据调查,彰武北部沙地植被属于蒙古植物区系西辽河小区,共有维管束植物89科338属564种<sup>[12]</sup>。其中天然植物501种,引种造林树木29种,园林树木31种,绿肥牧草3种。菊科种类达到68种,为主要的天然植物,其次是禾本科45种,豆科44种,再次是蔷薇科34种,莎草科29种<sup>[13]</sup>。代表性植物有色木(*Acer mono*)、山里红(*Crataegus Pinnatifida*)、家榆(*Ulmus Pumila*)、大果榆(*Ulmusmacrocarpa*)、山杏(*Armeniaca Sibirica*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、小黄柳(*Salix gordejueii*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、中华隐子草(*Cleistogenes chinensis*)等。同时还分布着华北植物区系常见的一些种,如小叶朴(*Celtis Bungeana*)、花曲柳(*Flaxinus rhynchophylla*)。

试验区沙地土质主要为风沙土,其次是草甸土、草炭土和水稻土。其中风沙土最多,占试区面积的89.4%,草甸土占8.74%,草炭土和水稻土仅占0.86%<sup>[13]</sup>。风沙土又分为固定风沙土、半固定风沙土和流动风沙土三种亚类。由于极早的得到了开发和利用,土壤表层风蚀和积沙现象很普遍,土壤性质受风蚀强度与积沙层厚度影响很大。

风沙土中的机械颗粒以中细沙粒为主,占比达94.74%,物理性黏粒含量较低,为5.26%,土壤贫瘠,有机质仅为0.064%~1.294%,pH值约为7.0。各类型风沙土的机械组成和养分含量分别见表2—3。

## 3 风力侵蚀的形式及类型

辽西北地区土壤沙漠化形成的主要原因是土壤风蚀,其侵蚀的主要营力是风。如果可以掌握沙地土壤风力侵蚀的形式及类型,对于防治土壤沙漠化有着极其重要意义。通过对试验区内土壤风蚀的观测和调查,初步了解辽西北地区风力侵蚀形式及类型。

### 3.1 风力侵蚀的形式

通过观察分析,辽西北沙地土壤风蚀的形式主要有悬移、跃移和表层蠕移。在观测过程中发现,风沙运动中大多为跃移的形式。在气流搬运的砂粒总量中,跃移质约占3/4,蠕移质约占1/4,悬移质的数量极少。

表2 风沙土机械组成

土壤类型	土层深度/cm	土壤粒径组成/mm				
		1.0~0.5	0.5~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	≤0.01
固定风沙土	0—27	1.56	48.1	28.23	13.1	9.20
	27—68	0.90	63.23	13.79	10.0	12.20
	68—108	0.85	43.28	21.56	16.0	18.20
	108—158	0.98	59.68	17.07	9.2	13.20
	>158	0.87	89.89	1.93	2.0	5.20
半固定风沙土	0—10	0.43	63.42	15.86	13.0	7.20
	10—81	0.27	60.74	22.69	10.0	6.20
	>81	0.33	75.95	9.66	9.0	5.20
流动风沙土	0—100	0.43	83.91	9.46	1.0	6.20

表3 风沙土养分含量

土壤类型	土层深度/cm	养分因子						
		全 N/%	全 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /%	全 K <sub>2</sub> O/%	有机质/%	Ca <sup>2+</sup> /%	Mg <sup>2+</sup> /%	pH 值
固定风沙土	0—27	0.0296	0.0220	2.3534	0.3823	0.0017	0.0005	7.11
	27—68	0.0332	0.0270	3.2364	0.5430	0.0008	0.0010	7.18
	68—108	0.0412	0.0305	2.3064	0.7493	0.0015	0.0010	7.06
	108—158	0.0224	0.0245	2.3114	0.2038	0.0024	0.0010	7.06
	>158	0.0040	0.0087	3.0323	微量	0.0016	0.0014	7.32
半固定风沙土	0—10	0.0335	0.0219	3.6331	0.4093	0.0008	0.0010	7.13
	10—82	0.0207	0.0167	3.6294	0.1763	0.0012	0.0007	7.19
	>82	0.0112	0.0120	3.4384	0.0	0.0008	0.0010	7.32
流动风沙土	0—100	0.0096	0.0142	3.357	0.0541	0.0024	0.0005	7.30

### 3.2 风力侵蚀的类型

依据风和风沙对地表物质的侵蚀作用方式不同,风蚀可以分为吹蚀和磨蚀两种类型。而根据沙丘被侵蚀的状态不同,风蚀可分为剥蚀与堆积两种类型。

据观测,一次刮风过程,平均风速 6.8 m/s,最大风速 12.8 m/s,持续时间 6 h,沙丘迎风面最大剥蚀量达到 831 mm。沙丘背风面的最大堆积厚度可以达到 1.3 m。由于剥蚀和堆积现象的交替发生,促使

沙丘流动。据观测,该地区流动沙丘的最大移动速度为 4~15 m/a,平均速度为 1.2~5.1 m/a。

### 3.3 试验区风速与风向特征

为了摸清试验区的风速、风向和风蚀特征,试验人员于 2008—2012 年对试验区进行了五年完整的风速、风向观测,并进行了整理分析,数据详见表 4。大风主要出现在 3 月,4 月,5 月份,4 月份平均风速最大。因此,春季是风蚀最为严重的时期,详见图 1。

表4 试验区大风天数出现频率统计

风的等级	四级风 (5.5~7.9 m/s)	五级风 (8.0~10.7 m/s)	六级风 (10.8~13.8 m/s)	七级风 (13.9~17.1 m/s)	八级风 (17.2~20.7 m/s)	八级风以上 (>20.8 m/s)
年均出现天数/d	57.5	34.3	5.6	4.0	3.8	0.5

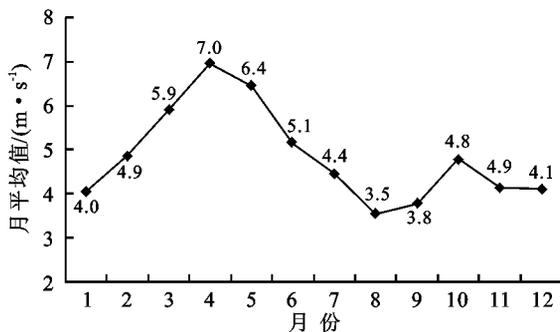


图1 试验区观测期月平均风速变化

## 4 风力侵蚀过程观测

### 4.1 风速与剥蚀深度的关系

通过测量流动沙丘和固定沙丘迎风坡坡脚、坡中、坡顶的土壤剥蚀深度,建立风速与剥蚀深度的变化曲线,分别见图 2,图 3。

从风速与沙丘迎风坡各部位土壤剥蚀深度的变化曲线可以看出,无论是流动沙丘还是固定沙丘,各部位的土壤剥蚀深度均随着风速的加大而增加,呈明

显的正相关。流动沙丘三个部位的剥蚀深度由小到大的排序为坡脚、坡顶和坡中。通过对坡顶和坡中剥蚀深度的对比分析中可以看出,在沙丘的迎风坡中部,坡面不仅受到风力的直接“吹蚀”,而且风力遇到坡面的阻挡,形成了一股能量很大的上升力,使之产生风沙流,对地表物质进行冲击,即称为“磨蚀”。通过“吹蚀”和“磨蚀”的共同作用,使得坡面中部的剥蚀深度高于坡顶和坡脚。

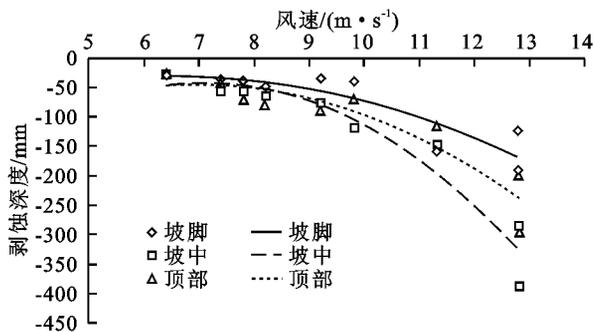


图2 风速与流动沙丘迎风坡各部位剥蚀深度变化

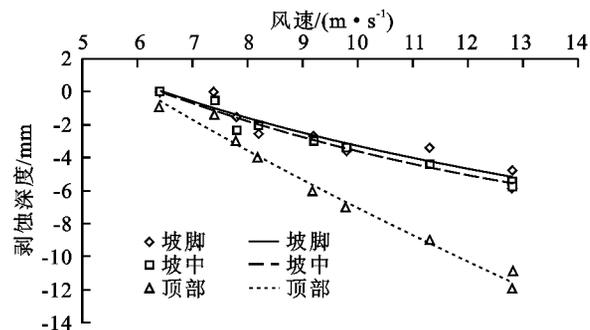


图3 风速与固定沙丘迎风坡各部位剥蚀深度变化曲线

从风速与固定沙丘各部位土壤剥蚀深度关系曲线可以看出,固定沙丘坡顶的剥蚀深度明显高于坡脚和坡中。这是因为固定沙丘坡脚和坡中的植被覆盖度高于坡顶,抗“吹蚀”和“磨蚀”作用较坡顶强。

#### 4.2 风速与堆积厚度的关系

试验同时也对沙丘背风坡各部位土壤堆积厚度进行了观测,通过观测流动沙丘和固定沙丘背风坡坡脚、坡中、坡顶的土壤堆积厚度,建立风速与堆积厚度的变化曲线,分别见图4,图5。

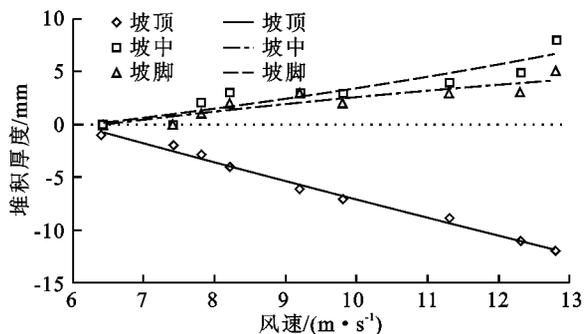


图4 风速与流动沙丘背风坡各部位堆积厚度变化

从风速与沙丘背风坡各部位土壤堆积厚度的变化曲线可以看出,无论是流动沙丘还是固定沙丘,随着风速的加大,背风坡的坡中与坡脚的土壤堆积厚度均有不同程度的增加,呈显著的正相关,而由于受到风力的剥蚀影响,坡顶的堆积厚度与风速呈负相关。

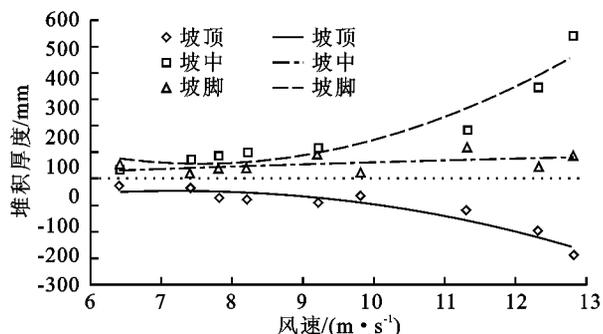


图5 风速与固定沙丘背风坡各部位堆积厚度变化

流动沙丘坡顶部最终不会产生堆积,背风坡坡中的堆积厚度较坡脚有显著增加。通过对坡中和坡脚堆积厚度的对比分析可以发现,在沙丘背风坡的坡中部至坡底部,由于气流的回旋作用,使得风速骤然下降,悬浮的沙粒逐渐停留在坡中位置,因此形成坡面中部土壤堆积厚度高于坡脚。

通过分析风速与固定沙丘背风坡土壤堆积厚度变化曲线可以得出,固定沙丘的坡顶部最终不会形成堆积,而背风坡中的堆积厚度要高于坡脚。这是由于固定沙丘坡中的植被覆盖相较坡顶有明显优势,可以对沙粒起到良好的“拦蓄”作用,大部分沙粒留在坡中部,只有少部分堆积于坡脚。

#### 4.3 沙丘的风蚀强度

流动沙丘的土壤为流动的风沙土,植被覆盖度小于20%,沙面极不稳定,流动性相对较强。经观测:4—5月份,平均风速为6.64 m/s,最大风速为11.39 m/s时,流动沙丘的丘顶、丘中和丘底风蚀强度分别为186.9,273.8,43.1 mm/d,平均为167.9 mm/d。

半流动沙丘的植被覆盖度在20%~45%之间,地表稳定状况也较差,虽然能减低部分地表风速,但土壤风蚀强度依然较高。当平均风速为6.64 m/s,最大风速为11.39 m/s时,半流动沙丘的丘顶、丘中和丘底风蚀强度分别为115.7,28.6,29.1 mm/d,平均为57.8 mm/d。

固定沙丘由于植被盖度在50%以上,植物根系发达,地表稳定状况较好,可以有效的减低地表风速,土壤抗风蚀能力强,风蚀强度低。当平均风速为6.64 m/s,最大风速为11.39 m/s时,固定沙丘的丘顶、丘中和丘底风蚀强度分别为3.8,0.5,8.3 mm/d,平均为4.2 mm/d。

## 5 结论

(1) 辽西北地区风力侵蚀的形式主要为跃移和

表层蠕移,在气流搬运的砂粒总量中,跃移质约占3/4,蠕移质约占1/4,悬移质的数量极少。风力侵蚀的类型有吹蚀、磨蚀及剥蚀和堆积。

(2) 无论是流动沙丘还是固定沙丘,沙丘迎风坡各部位的土壤剥蚀深度均随着风速的加大而增加,呈明显的正相关。流动沙丘三个部位的剥蚀深度由小到大的排序为坡脚、坡顶和坡中,固定沙丘坡顶的剥蚀深度明显高于坡脚和坡中。

(3) 无论是流动沙丘还是固定沙丘,随着风速的加大,背风坡的坡中与坡脚的土壤堆积厚度均有不同程度的增加,呈显著的正相关,而坡顶的堆积厚度与风速呈负相关。

(4) 一年内观测到的流动沙丘,半流动沙丘,固定沙丘的平均风蚀强度分别为167.9,57.8,4.2 mm/d。

#### 参考文献:

- [1] 唐灿,孟晖.河西走廊地区土地荒漠化问题分析[J].中国地质灾害与防治学报,1999,10(4):47-55.
- [2] 国家计委,国家科委.中国二十一世纪议程[M].北京:中国环境科学出版社,1994.
- [3] 王敏.论辽西北部风蚀沙化已有防治措施的利弊[J].

防护林科技,2012(3):63-64,86.

- [4] 吴波.我国荒漠化现状,动态与成因[J].林业科学研究,2001,14(2):195-202.
- [5] 赵正华.固沙用新材料及野外固沙综合技术研究[D].兰州:兰州大学,2006.
- [6] 范俊玉.政治学视阈中的生态环境治理研究[D].江苏苏州:苏州大学,2010.
- [7] 董胜君,白雪峰,付青山.辽宁西北部地区土地沙漠化成因及防治对策[J].沈阳农业大学学报:社会科学版,2006,8(1):61-63.
- [8] 李智慧,姜延辉.灌木草场培育技术在辽北沙地治理中的应用[J].吉林水利,2007(S):87-88,91.
- [9] 李春龙,刁占峰,张素芬.辽西北沙漠化土地生态修复技术研究[J].水土保持应用技术,2009(6):40-41.
- [10] 杨树军,张学利.辽宁省西北部土地沙漠化的成因,现状及治理对策[J].防护林科技,2005(1):71-73.
- [11] 闫向阳.辽宁省彰武县阿尔乡围封沙地土壤动物生态研究[J].辽宁大学学报:自然科学版,2012,39(2):127-130.
- [12] 徐丕海.沙丘地区高速公路绿化设计研究[J].北方交通,2011(2):39-41.
- [13] 白佳希.风积沙地区彰武至阿尔乡高速公路绿化设计[J].沈阳农业大学学报:社会科学版,2011,13(3):361-364.

(上接第137页)

#### 参考文献:

- [1] 于天一,逢焕成,唐海明,等.不同母质类型水稻土酶活性及其与理化性质的关系[J].土壤学报,2013,50(5):1043-1047.
- [2] 王杰,李刚,修伟明,等.氮素和水分对贝加尔针茅草原土壤酶活性和微生物量碳氮的影响[J].农业资源与环境学报,2014,31(3):237-245.
- [3] 苏洁琼,李新荣,鲍婧婷.施氮对荒漠化草原土壤理化性质及酶活性的影响[J].应用生态学报,2014,25(3):664-670.
- [4] 舒蛟靖,陈奇伯,王艳霞,等.华山松人工林土壤酶活性与理化因子的通径分析[J].东北林业大学学报,2014,42(9):88-93.
- [5] 吴永铃,王兵,戴伟,等.杉木人工林土壤酶活性与土壤性质的通径分析[J].北京林业大学学报,2012,34(2):78-83.
- [6] 吴雪,贡璐,冉启洋,等.阿拉尔垦区土壤理化因子与酶活性的通径分析[J].水土保持研究,2013,20(3):48-54.
- [7] 安韶山,黄懿梅,郑粉莉.黄土丘陵区草地土壤脲酶活性特征及其与土壤性质的关系[J].草地学报,2005,13(3):233-237.
- [8] 魏丹,杨谦,迟凤琴.东北黑土区土壤资源现状与存在问题[J].黑龙江农业科学,2006(6):69-72.
- [9] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:科学技术出版

社,1987.

- [10] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1977.
- [11] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass[J]. Soil Biology & Biochemistry,1987,19(6):703-707.
- [12] Liu J, Sui Y, Yu Z, Shi Y, Chu H, Jin J, Liu X, Wang G. High throughput sequencing analysis of biogeographical distribution of bacterial communities in the black soils of northeast China[J]. Soil Biology & Biochemistry,2014,70(11):113-122.
- [13] 冉启洋,吕光辉,魏雪峰,等.艾比湖自然保护区土壤酶活性及理化性质[J].干旱区研究,2014,31(4):715-722.
- [14] 张雪梅,吕光辉,杨晓东,等.农田耕作对土壤酶活性及土壤理化性质的影响[J].干旱区资源与环境,2011,25(12):177-182.
- [15] 李秀玲,吕光辉,何雪芬.连作年限对土壤理化性质及酶活性的影响[J].干旱区资源与环境,2012,26(9):93-97.
- [16] 田幼华,谢辉,吕光辉.艾比湖湿地典型群落土壤酶分布规律初探[J].干旱区资源与环境,2010,24(9):173-178.
- [17] 刘晓星,吕光辉,杨晓东,等.艾比湖流域5种土壤类型的酶活性和理化性质[J].干旱区研究,2012,29(4):579-585.