

毛乌素沙地光伏电站3种植物措施生长发育 状况及其生态功能比较

苑森朋¹, 张振师², 党廷辉^{3,4}, 杨延哲⁴, 袁方³, 卜崇峰^{3,4}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国电建集团 西北勘测设计研究院有限公司, 西安 710065;
3. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 4. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以毛乌素沙地光伏电站为研究对象,通过观测项目区外围及光伏电板下3种人工植被的生长状况、土壤水分变化及土壤蚀积深度变化指标,分析了在光伏电站不同区位3种植被的生长发育状况及其生态功能。结果表明:(1)景天三七适合在项目区外围生长,狼尾草适合在光伏电板下生长;(2)3月和10月,光伏电板下各小区土壤含水率均低于项目区外围,6月光伏电板下除了狼尾草种植区外均高于项目区外围;(3)项目区外围景天三七的风蚀防治效果最好,年土壤蚀积深度显著低于其他两个小区($p < 0.05$);光伏电板下,植被休眠期景天三七的风蚀防治效果最好,而植被生长期狼尾草的防治效果最好,但各小区的年土壤蚀积深度差异不显著($p > 0.05$)。由此可知,光伏电板下应栽植狼尾草,项目区外围应栽植景天三七。

关键词:毛乌素沙地;光伏电站;生长状况;风蚀防治;土壤含水率

中图分类号:S157.2; S152.7

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0235-05

Comparative Study of Growth Status of Three Plant Measures and Its Ecological Functions in Photovoltaic Power Station of Mu Us Sandy Land

YUAN Senpeng¹, ZHANG Zhenshi², DANG Tinghui^{3,4},
YANG Yanzhe⁴, YUAN Fang³, BU Chongfeng^{3,4}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling,
Shaanxi 712100, China; 2. Powerchina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an 710065,
China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100,
China; 4. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The photovoltaic power station in Mu Us Sandy Land was selected as the site. The vegetation growth condition, soil water content change and soil erosion and deposition depth variation outside the project area and under the solar panel were and observed to discuss the growth status of three plant measures and its ecological functions. The results were as follows. (1) *Sedum aizoon* L. grew better outside the project area, and *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng. grew better under the solar panel. (2) The soil water content under the solar panel was lower than that of outside the project area in March and October. The soil water content under the solar panel was higher than that of outside the project area except *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng. growing area in June. (3) The annual wind erosion of *Sedum aizoon* L. control effect was best outside the project area, and its soil erosion and deposition depth of one year were significantly lower than those in the other two vegetation growing areas ($p < 0.05$). The wind erosion control effect of *Sedum aizoon* L. was best in the vegetation dormant period and the wind erosion control effect of *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng. was best in the vegetation growing period under the solar panel, but its soil erosion and deposition depth of one year under the solar panel were no significant difference ($p > 0.05$). It can be seen that we should plant *Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng. under the solar panel, and plant *Sedum aizoon* L. outside the station area.

Keywords: Mu Us Sandy Land; photovoltaic power station; plant measures; wind erosion control; soil water content

我国光照丰富,光伏发电作为一种可再生、无污染的绿色能源在我国得到了快速发展^[1]。但在西北风沙区,光伏电站建设过程中会扰动地表、破坏植被,使其原有的生态功能消失殆尽,从而引发严重的风蚀,对光伏电站的运营维护造成很大威胁。因此,光伏电站建成后,植被的恢复重建以及其生态功能的发挥,成为一个亟待解决的问题。

西北风沙区干旱少雨,植被生长发育困难。光伏电站受光伏电板的遮挡作用,光伏电板下和项目区外围在土壤含水量、光照和温度等方面差异显著,形成了不同的小气候类型,对植被的生长发育产生深刻影响^[2-3]。植物措施作为一种经济有效的防治土壤风蚀手段,能有效地保护地表免受土壤风蚀的影响^[4-5]。但目前,针对生产建设项目生态修复的研究多集中在水蚀的防治^[6-8],有关生态恢复对光伏电站项目风蚀防治的研究还鲜有报道^[9-10]。

本文选择毛乌素沙地典型光伏电站为研究对象,通过对项目区外围及光伏电板下景天三七、狼尾草及自然恢复植被3种人工植物措施的植被生长状况、土壤含水率及土壤蚀积深度指标的观测,分析在光伏电站不同区位3种植物措施的生长发育状况及其生态功能,为光伏电站施工迹地的生态恢复和风蚀防治提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省神木县大保当镇西北部10 km的光伏电站,地理坐标为北纬38°38',东经110°18',地处我国毛乌素沙地边缘,属神木县风沙草滩区,海拔1 224 m。该区属于典型的半干旱区,年平均气温8.9℃,年平均降雨量437.9 mm,年日照时数为2 782.5 h,全年盛行西北风,年均风速2.2 m/s,年最大冻土深度为100 cm,主要土壤为风沙土和黄绵土。主要植被有沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙柳(*Salix cheilophila*)、白草(*Pennisetum centrasiacicum*),还零星分布着沙竹(*Phyllostachys propinqua*)、狗尾草(*Setaria viridis* (L.) Beauv.)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、踏榔(*Hedysarum fruticosum*)及一些生物结皮。

1.2 人工栽植植被简介

(1) 景天三七(*Sedum aizoon* L.)为景天科景天属多年生草本,植株高30~80 cm。茎直立,不分枝,单生或数茎丛生。喜阳,稍耐荫,耐寒耐旱,耐盐碱,生命力很强。适合裸露地、保护地栽培,以选择排水良好的沙质肥沃中性土壤最佳,一般土壤也能生长良好。可采用扦插和分株两种播种方法,采用扦插播种

时,定植密度为行距25 cm,穴距15 cm,每穴2~3株。一次定植,可连续收获20 a新鲜茎叶。

(2) 狼尾草[*Pennisetum alopecuroides* (L.) Spreng.]属多年生草本植物,秆直立,丛生,株高30~120 cm。喜光照充足的生长环境,耐旱、耐湿,亦能耐半荫,且抗寒性强,抗倒伏,无病虫害发生,适合温暖、湿润的气候条件^[11]。春季栽植,用老熟茎秆或分株苗按行距60 cm,株距30~40 cm定植,生育日数130 d。

1.3 试验小区布设

试验共分为6个小区,分别为光伏电站项目区外围和光伏电板下的景天三七种植区、狼尾草种植区和自然植被恢复区(图1—2),项目区外围3个小区的大小为17 m×14 m,光伏电板下为18 m×3 m。

试验布设共分为平整土地、布设沙障、栽植植被和养护4个阶段。平整土地在2014年8月上旬进行,主要工作是去除各试验小区的地表植被,使土地恢复到裸沙状态。8月中旬布设1 m×1 m的麦草方格沙障,为植物生长提供初期的保护,其中项目区外围布设方向与主风向(西北)垂直,光伏电板下为东西、南北走向。8月底栽植植被,景天三七采用移栽的栽植方式,密度为16株/m²,排列方式为行列式;狼尾草以1.5×10⁻³ kg/m²的密度进行撒播,由于秋季生长时间较短,长势欠佳,2015年4月初通过移栽对其进行了补植,排列方式为随机排列;自然植被恢复区只布设麦草方格沙障,封闭管理,禁止人为扰动,观测自然植被的恢复情况。植被栽植后立即进行灌水养护,灌水量以保证植被根系层土壤湿润为准,之后每3 d灌1次,共灌水4次。

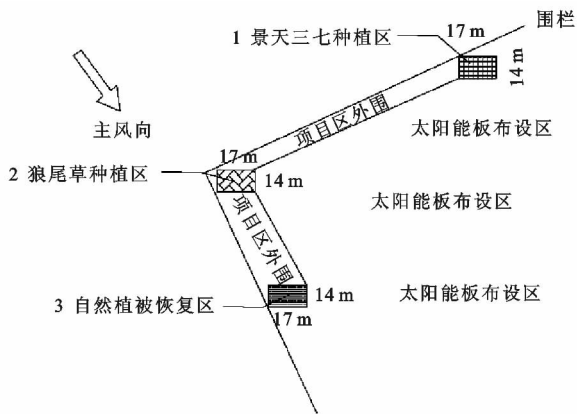


图1 项目区外围布设

1.4 观测指标与方法

1.4.1 植被生长状况 从植被发芽返青开始,定期对不同小区的植被生长状况做调查,测量指标包括植被高度、密度和盖度。其中植被高度采用直尺测量,密度采用1 m²样方法,盖度采用相机从1.5 m高度垂直拍摄各小区照片,在auto CAD 2007中测算各部

分面积从而求出植被盖度,每个小区均做 5 次重复,测取了 2015 年 5 月 1 日、5 月 20 日及 6 月 10 日 3 次植被生长状况数据。

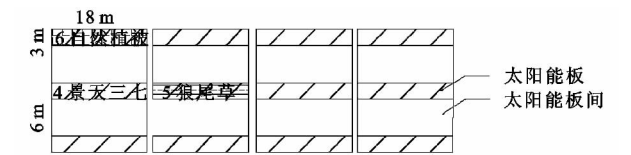


图 2 光伏电板下布设

1.4.2 土壤含水率 采用五点取样法,取每个小区地表 10 cm 深的土样装入铝盒,用烘干法测其土壤含水率,测取了 2015 年 3 月 23 日、6 月 5 日及 10 月 19 日 3 次试验数据。

1.4.3 土壤蚀积深度 土壤蚀积深度指一段时间内土壤因侵蚀造成的表面高度变化值(mm)。

土壤蚀积深度的测量采用测钎法:按 1 m×1 m 的间隔布设测钎(钢板尺,长 600 mm,),地下埋深 400 mm,地上外露 200 mm,项目区外围每组布设 6 根测钎,光伏电板下每组布设 3 根测钎,每个试验小区做 3 组重复,均匀分布在各试验小区。定期观测、记录每一根测钎距地面的高度,以测钎原始高与每次观测高的差值表示观测期间的土壤蚀积深度,“+”代表发生堆积,土壤表面高度升高;“-”代表发生侵蚀,土壤表面高度降低,取平均值表示各小区的平均蚀积深度^[12-13]。分别在 2014 年 10 月 13 日、2015 年 3 月 21 日、2015 年 4 月 11 日、2015 年 5 月 20 日、2015 年 7 月 2 日、2015 年 9 月 6 日、2015 年 10 月 13 日读取了各个小区测钎值。

月土壤蚀积深度 = $\frac{\text{土壤蚀积深度}}{\text{测量时间间隔}} \times 30$

式中:月土壤蚀积深度为按 30 d 计算的当月土壤深度蚀积(mm);土壤蚀积深度为测量时间间隔内土壤深度变化(mm);测量时间间隔为从开始测量到结束

所用的时间(d)。

1.5 数据分析

运用 Excel 2014,auto CAD 2007 及 SPSS 19.0 软件进行相关数据处理及绘图。

2 结果与分析

2.1 植被生长状况对比

毛乌素沙地春季气温回暖较晚,2015 年 3 月份鲜有植被返青。项目区不同植被的返青时间略有差异:3 月 29 日,项目区外围景天三七发芽生长;4 月 5 日,项目区外围狼尾草发芽生长;4 月 12 日,光伏电板下景天三七及狼尾草发芽生长。说明项目区外围植被返青开始时间略早于光伏电板下,可能是由于光伏电板下受到遮挡,阳光不能直射,温度较低,植被返青时间推迟。

项目区外围和光伏电板下不同植被的生长状况差异明显(表 1)。6 月 10 日项目区外围景天三七种植区的高度和总盖度分别比光伏电板下高 5.7 cm,5.2%,项目区外围狼尾草种植区的高度、总盖度和密度分别比光伏电板下低 7 cm,0.4%,2.6 株/m²,项目区外围各个小区均有自然植被生长,而光伏电板下基本无自然植被生长。说明景天三七更适合在项目区外围生长,狼尾草更适合在光伏电板下生长,光伏电板下的缺水遮荫环境不利于自然植被恢复。可能是由于植物生长地段的小地形(海拔、坡度、坡向)对其生长影响明显^[14],太阳能光伏电板的存在造成了光伏电站各个区位光照、温度、降水、风速及侵蚀等方面的显著差异:项目区外围受太阳能板的影响最小,气候类型与周围自然环境相差不大;光伏电板下由于太阳能板的遮阴挡雨,改变风场的作用,形成了阴暗、缺水,蒸发少的小气候类型。

表 1 植被生长状况调查

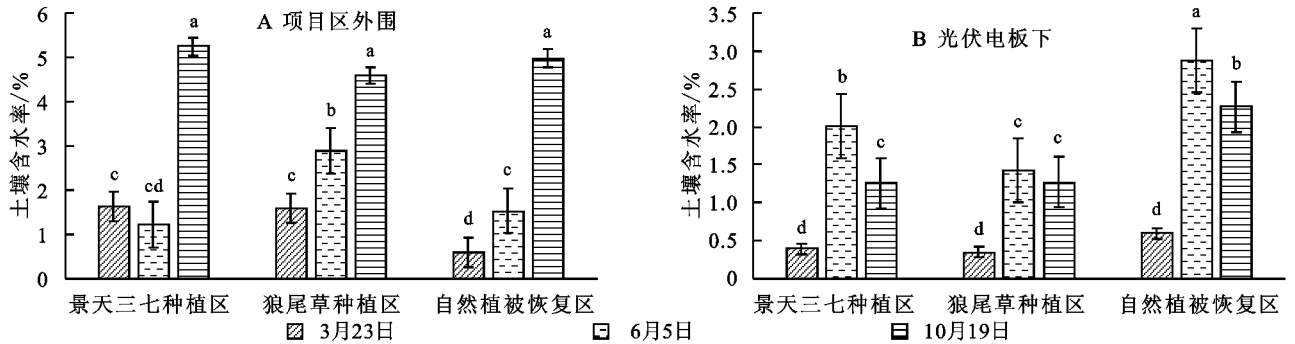
区域	植被种植区	物种	5 月 1 日			5 月 20 日			6 月 10 日		
			高度/cm	密度/ (株·m ⁻²)	总盖度/ %	高度/cm	密度/ (株·m ⁻²)	总盖度/ %	高度/cm	密度/ (株·m ⁻²)	总盖度/ %
项目区外围	景天三七种植区	景天三七	5.35	16	3.1	9.8	16	7.6	12.8	16	9.9
		沙蓬	0	0		3	3		14.6	4	
	狼尾草种植区	狼尾草	6.6	17.6	0.5	9.1	24	1.7	9.2	33.2	2.8
		沙蓬	0	0		3	4		5	31.9	
光伏电板下	自然植被恢复区	沙蓬	0	0	0	3.1	18	0	4.2	19	2.0
	景天三七种植区	景天三七	4.3	9.4	0.6	6.7	9.4	2.4	7.1	9.4	4.7
		沙蓬	0	0		3	3		4	3	
	狼尾草种植区	狼尾草	8.9	5.8	0.6	9.4	24.7	0.9	16.2	35.8	3.2
		沙蓬	0	0		3	3		5	4	
		沙蓬	0	0	0	3	3	0.5	5	5	0.8
	自然植被恢复区	沙蓬	0	0							

2.2 土壤含水率变化对比

不同植被生长时期项目区外围和光伏电板下土壤含水率变化各不相同,且项目区外围土壤含水率明显高于光伏电板下(图3)。项目区外围(图3A)景天三七种植区、狼尾草种植区及自然植被恢复区在植被生长初期(3月)的土壤含水率分别比光伏电板下(图3B)高1.22%,1.25%,0.01%,植被生长中期(6月)项目区外围3个小区的土壤含水率分别比光伏电板下低0.8%, -1.46%,1.33%,植被生长末期(10月)项目区外围3个小区的土壤含水率分别比光伏电板下高3.98%,3.3%,2.72%。植被生长初期和末期项目区外围土壤含水率均高于光伏电板下,而植被生长中期除了狼尾草种植区外光伏电板下均高于项目区外围。这可能是由于3—6月份降水较少,项目区外围受植被较快生长与阳光直射的影响,水分消耗较快;6—9月份降水较多,由于太阳能

板的遮挡,板下土壤水分难以得到有效补充。

项目区外围(图3A)植被生长中期景天三七种植区、狼尾草种植区和自然植被恢复区的土壤含水率分别比植被生长初期提高了一0.41%,1.28%,0.94%,植被生长末期比植被生长中期提高了4.03%,1.7%,3.44%;光伏电板下(图3B)植被生长中期3个小区的土壤含水率分别比植被生长初期提高了1.61%,1.07%,2.28%,植被生长末期比植被生长中期降低了0.75%,0.14%,0.61%,说明从3月到10月项目区外围土壤含水率一直增大,而光伏电板下先增大后减小。这可能是由于光伏电站的建设干扰了自然降水的下落过程,造成了降水的再分配:光伏电板的遮挡,导致光伏电板下常年无降水,只能靠周边及地下土壤水分的渗透补充,项目区外围自然降水的分配过程基本不受影响。



注:图中不同小写字母表示各处理间差异显著($p < 0.05$)。

图3 土壤含水率变化

2.3 月土壤蚀积深度变化

项目区外围和光伏电板下各小区月土壤蚀积深度变化各有差异(图4)。项目区外围的景天三七种植区、狼尾草种植区和自然植被恢复区的月土壤蚀积深度在植被休眠期(2014年10月—2015年3月)分别为-1.3, -2.4, -2.0 mm,在植被生长期(2015年3月—2015年10月)分别为0.8, -1.1, -1.4 mm。4—5月土壤蚀积变化最快,3个小区的月土壤蚀积深度分别为-3.7, -11.8, -12.2 mm。项目区外围景天三七的月土壤蚀积深度在3个小区中始终是最低的,说明其风蚀防治效果最好。

光伏电板下3种植被区的月土壤蚀积深度,在植被休眠期分别为-0.9, -2.0, -2.0 mm,景天三七最低;植被生长期分别为-1.3, -1.0, -1.8 mm,狼尾草最低;其中3—6月,土壤蚀积变化较快,3个小区月土壤蚀积深度分别为-4.0, -1.3, -4.6 mm,说明在光伏电板下植被休眠期景天三七的风蚀防治效果最好,植被生长期狼尾草的风蚀防治效果最好。

光伏电板下风蚀最严重的月份为3—6月份,而

项目区外围为4—5月份,可能与项目区外围土壤含水率较高有关。光伏电板下景天三七和狼尾草在休眠期与生长期的风蚀防治效果存在明显差别,植被休眠期景天三七的风蚀防治效果优于狼尾草,可能与狼尾草栽植后生长期较短,在冬季生物量较低有关;而植被生长期狼尾草的风蚀防治效果优于景天三七,可能与狼尾草的须根系对沙粒的固结作用好于景天三七的直根系有关。

2.4 年土壤蚀积深度对比

项目区外围及光伏电板下各小区的年土壤蚀积深度各不相同(图5)。项目区外围景天三七种植区的年土壤蚀积深度最小,为-1.4 mm,狼尾草种植区和自然植被恢复区为-20.5, -20.3 mm,分别为景天三七种植区的14.6, 14.5倍,与景天三七种植区差异显著($p < 0.05$);光伏电板下景天三七种植区、狼尾草种植区和自然植被恢复区的年土壤蚀积深度分别为-13.8, -17.8, -22.8 mm,差异不显著($p > 0.05$)。上述结果表明,项目区外围和光伏电板下景天三七的风蚀防治效果均最好,且在项目区外围更加显著。

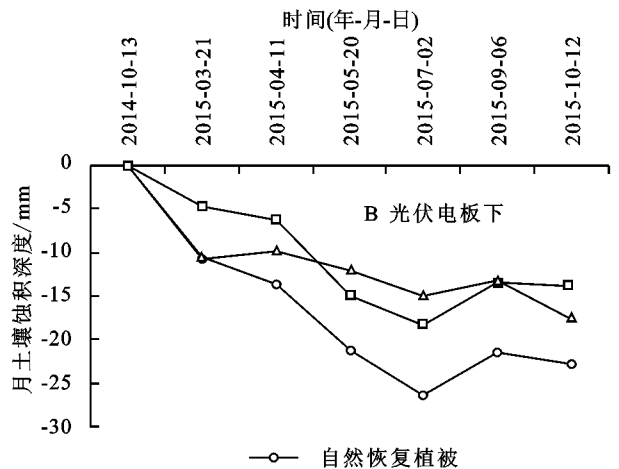
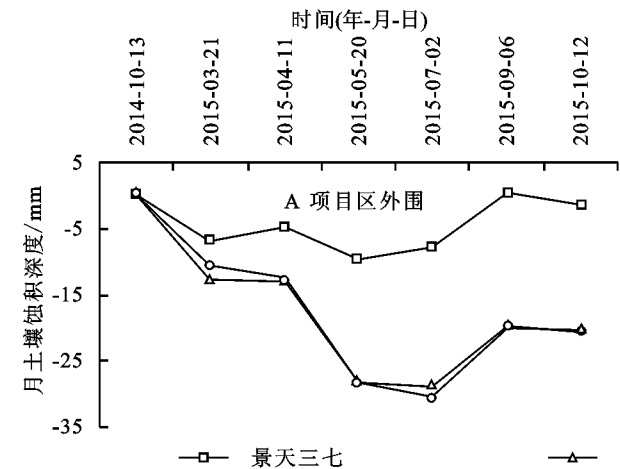
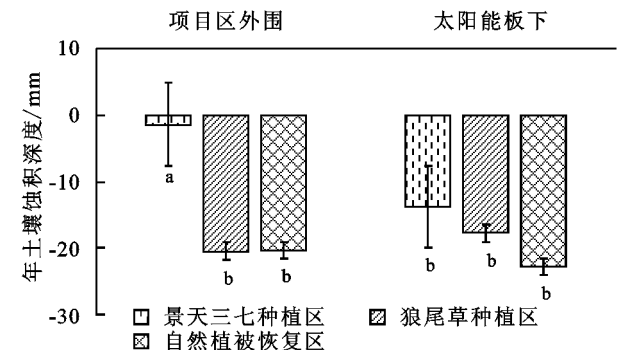


图 4 土壤侵蚀深度变化



注:不同小写字母表示各处理间差异显著($p<0.05$)。

图 5 年土壤侵蚀深度

3 结论

(1) 项目区外围植被返青时间略早于光伏电板下,景天三七更适合在项目区外围生长,狼尾草更适合在光伏电板下生长,光伏电板下的缺水遮阴环境不利于自然植被恢复。

(2) 植被生长初期(3 月)和末期(10 月)项目区外围土壤含水率均高于光伏电板下,而植被生长中期(6 月)除了狼尾草种植区外光伏电板下均高于项目区外围。从 3 月到 10 月项目区外围土壤含水率一直增大,而光伏电板下先增大后减小。

(3) 项目区外围景天三七全年的风蚀防治效果均最好,光伏电板下植被休眠期景天三七的风蚀防治效果最好,植被生长期狼尾草的风蚀防治效果最好。

(4) 项目区外围景天三七种植区年土壤侵蚀深度最低,且与其他两个小区差异显著($p<0.05$),光伏电板下 3 个小区年土壤侵蚀深度差异不显著($p>0.05$)。因此,项目区外围应栽植景天三七,光伏电板下应栽植狼尾草。

参考文献:

[1] 李春鹏,张廷元,周封. 太阳能光伏发电综述[J]. 电工材料,2006(3):45-48.

[2] 孙艳萍,张晓萍,徐金鹏,等. 黄土高原水蚀风蚀交错带植被覆盖时空演变分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(2):143-150.

[3] 王建国,樊军,王全九,等. 黄土高原水蚀风蚀交错区植被地上生物量及其影响因素[J]. 应用生态学报,2011,22(3):556-564.

[4] Li X R, Ma F Y, Xiao H L, et al. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China[J]. Journal of Arid Environments, 2004,57(1):1-16.

[5] 李昂,高天鹏,张鸣,等. 西北风蚀区植被覆盖对土壤风蚀动态的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(6):120-123.

[6] 蒋光毅,汪三树,郭宏忠,等. 重庆市生产建设项目弃渣场水土保持型生态修复模式[J]. 亚热带水土保持,2015(1):61-64.

[7] 陈梓玄,李占斌,李鹏. 陕北府谷新田煤矿开发建设项目生态修复效益动态评价[J]. 水土保持研究,2011,18(2):21-25.

[8] 林学瑞,张茨林. 开发建设项目水土保持生态修复技术体系构建探讨:以华南地区为例[J]. 环境,2010(S2):8-11.

[9] 杜鹏飞,刘孝盈,宁堆虎. 生产建设项目用地土壤风蚀量监测方法与预报模型分析[J]. 中国水土保持科学,2013,11(1):117-122.

[10] 袁方,张振师,卜崇峰,等. 毛乌素沙地光伏电站项目区风速流场及风蚀防治措施[J]. 中国沙漠,2016,36(2):287-294.

[11] 张怀山. 中型狼尾草种质特性及遗传多样性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2014.

[12] 刘刚,李红丽,董智,等. 黄河故道风沙区牧草控制风蚀效果的研究[J]. 中国草地学报,2007,29(1):61-65.

[13] 黄高花,沈冰,张翼,等. 西气东输管线(陕西西段)工程对风蚀影响的监测评价[J]. 水土保持通报,2005,25(4):34-37.

[14] 王建国,樊军,王全九,等. 黄土高原水蚀风蚀交错区植被地上生物量及其影响因素[J]. 应用生态学报,2011,22(3):556-564.