

光伏电站建设对土壤和植被的影响

王涛¹, 王得祥¹, 郭廷栋¹, 张岗岗¹, 赵世雄², 牛怀诚², 卢舜瑜², 林虎²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 靖边县新能源产业园区筹建处, 陕西 靖边 718500)

摘要:为了探究光伏电站建设对植被、土壤的影响,通过样地调查和试验分析对靖边县光伏电站内光伏板未遮阴(NS)、遮阴(S)及电站周边区域(SA)的土壤理化性质、植被种类、 α 物种多样性和地上生物量进行了分析比较。结果表明:相对于SA,光伏电站内(NS,S)土壤含水量、有机质、速效磷、速效钾、植物种类、物种 Patrick 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数、地上生物量鲜重和干重均增加,土壤 pH 和电导率降低,S 区域容重增加,NS 降低;电站内相对于 S 区域,NS 的土壤含水量、pH、电导率、养分、 α 物种多样性和地上生物量均增加,容重降低。综合来看,在干旱半干旱区域,光伏电站建设对土壤、植被生态系统的促进作用优于所带来的负面影响。

关键词:环境评价;土壤理化性质;物种多样性;生物量;光伏电站

中图分类号:S153;Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)03-0090-05

The Impact of Photovoltaic Power Construction on Soil and Vegetation

WANG Tao¹, WANG Dexiang¹, GUO Tingdong¹, ZHANG Ganggang¹,

ZHAO Shixiong², NIU Huaicheng², LU Shunyu², LIN Hu²

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. New Energy Industrial Park Preparatory Office of Jingbian County, Jingbian, Shaanxi 718500, China)

Abstract: Based on experiment conducted in the sites unprocessed(NS), shaded by solar panels(S) and the surrounding(SA) in photovoltaic power in Jingbian County, soil physicochemical properties, plant species, α species diversity and aboveground biomass were analyzed and compared through investigation of sample plot and experimental analysis to explore the impact of photovoltaic power construction on vegetation and soil. The results shows that the soil moisture contents, organic matter, available phosphorus and potassium, plant species, α species diversity and fresh and dry weight of aboveground biomass in the area of photovoltaic power plant construction increased and soil pH and electrical conductivity were lower compared with those in the area of SA. Soil bulk density in S increased, soil bulk densities were lower in NS and SA. The soil moisture, pH, nutrient, α species diversity and aboveground biomass increased, and soil bulk density was lower in NS compared with these in S of photovoltaic power plant construction. According to the above results, in arid and semi-arid regions, the positive impact of photovoltaic power construction on soil and vegetation ecosystem outweighs the negative impact.

Keywords: environmental assessment; soil physicochemical properties; species diversity; biomass; photovoltaic power

近年来,我国光伏产业在国际市场拉动和国内政策支持的双重作用下,实现了加速发展^[1]。根据欧洲光伏行业协会(EPIA)公布的 2013 年全球光伏产业统计数据,其中我国新增光伏装机容量 11.3 GW,累计装机容量达 18.1 GW,占全球总装机容量的 13.2%。地面大型并网式光伏电站建设需要进行土地平整、土石

方开挖、电缆布设等一系列工程,土层扰动和光伏板遮阴都可能对土壤、植被造成一定的影响。许申来等^[2]认为工程建设一般会对区域土壤、植被、物种多样性、生态环境造成一定的影响,工程施工部门、环境保护部门高度重视工程建设带来的影响,并且要求施工完成后必须进行必要的地貌、土壤和植被恢复。目前光伏

电站的环境评价主要集中在工程建设期和运营期产生的废弃物、噪音和大气污染,以及工程建设对物种多样性、区域水土流失等方面的定性描述,对于土壤理化性质、物种多样性和生物量的定量研究较少。土壤是人类和大部分生物赖以生存的自然资源,也是地球生态环境的重要组成部分,植被生长与土壤系统密切相关^[3]。植被对于水土保持、防风固沙、调节气候起着重要的作用。本研究区位于干旱半干旱区毛乌素沙漠南缘,植被稀少,土壤侵蚀严重,生态环境脆弱。近年来大规模的光伏电站建设促进了地方社会经济的发展,但由于电站建设对当地生态环境影响不清晰,对植被、土壤的影响程度不确定,对物种多样性和区域生态环境影响不明确等一系列问题制约了电站发展。因此很有必要开展光伏电站建设对植被、土壤的影响研究。本研究能丰富光伏电站环境影响评价的内容,同时对于政府、业务主管部门制定政策和能源建设企业提供决策,对周边区域光伏电站建设土地类型选择、土地变更、土地补偿等问题都具有一定的参考价值。

1 研究区概况

研究区位于陕西省榆林市靖边县杨桥畔镇九里滩村太阳能光伏产业园区内(东经 108°55′8″—108°56′4″,北纬 37°36′50″—37°37′4″,海拔 1 305~1 319 m)。气候属于半干旱内陆性季风气候,四季变化明显,气温日较差大。年平均气温 7.8℃,极端最高温度 36.4℃,极端最低温度 -28.5℃,1 月平均气温 -8.5℃,7 月平均气温 22.2℃;年平均降水量 395.4 mm,四季分布不均,夏秋较多,春冬较少;≥10℃的植物生长有效积温为 2 800℃,平均无霜期 130 d。多年平均日照时数 2 753.7 h,采用气候学方法推算的多年平均太阳辐射量为 5143.01 MJ/m²,太阳能资源比较丰富。研究区植被稀少、低矮,主要以耐盐碱植被为主。植被类型有干草原、沙生植被和低温草甸,代表植物有芨芨草(*Achnatherum splendens*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、芦苇(*Phragmites australis*)、苦苣菜(*Sonchus brachyotus*)、黄蒿(*Artemisia annua*)、沙蒿(*Artemisia arenaria*)等。土壤类型主要为绵沙土。

陕西太阳能光伏发电有限公司装机容量 20 MW,占地面积约 4.67 hm²,工程施工期 2010 年 8—12 月,包括土地平整、地基开挖、支架安装、电缆布设、厂房建设等工程。电站光伏板采用单晶硅(1580 mm×808 mm×35 mm)和多晶硅(1680 mm×992 mm×35 mm),按照 2 行 16 列排布为一个方阵,每 169 个方阵为 1MW,方阵倾斜角 35°,间距 5 m。光伏板底端距地面约 0.5 m。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

根据工程的实际特点,于 2014 年秋季选择电站内光伏板未遮阴(NS)、遮阴(S)和电站周边区域(SA)3 种未受干扰、地形平坦、其他自然条件基本一致的区域作为研究对象,每个区域设置典型样地 1 个,每个样地选取 5 块 1 m×1 m 的样方进行植物种类、盖度、密度和地上生物量调查;同时在每个样地中选取 5 个具有代表性的样点挖取土壤剖面,每个剖面按 0—20,20—40,40—60 cm 分层采集土样,每个样地各样点同层土壤混合均匀后采用四分法取样,带回实验室内风干以备土壤分析。

2.2 数据测定

草本生物量调查采用收获法,采样后立即在百分之一天平上测定生物量鲜重,后放置于 80℃恒温烘箱烘干 24 h 至恒重,测定生物量干重。土壤样品处理及分析方法采用常规分析方法^[4-5]。容重采用环刀法测定;有机质采用重铬酸钾—浓硫酸油浴法;pH 采用 2.5:1 的水土比—酸度计法测定;电导率采用水土比 5:1 的提取液—电导率仪法测定;速效磷采用碳酸氢钠、钼锑抗比色法测定;速效钾采用醋酸铵浸提—火焰光度计法测定。

2.3 数据分析

植物群落的 α 多样性能够反映群落中物种丰富度和个体在各物种中分布的均匀程度^[6],本研究采用应用较多的物种 Patrick 丰富度指数(R),Shannon-Wiener 多样性指数(H),Pielou 均匀度指数(E)和 Simpson 优势度指数(D)进行分析。数据的显著性检验采用 SPSS 17.0。

草本重要值=(相对频度+相对密度+相对盖度)/3

(1)

$R=S$

(2)

$H=-\sum(P_i \ln P_i)$

(3)

$E=H/\ln S$

(4)

$D=1-\sum P_i^2$

(5)

式中:S——每个样方的物种总数; P_i ——第*i*个物种的重要值占样方物种重要值之和的比率; N ——样方中全部种的个体数^[7]。

3 结果与分析

3.1 光伏电站建设对土壤理化性质的影响

由表 1 可知,3 个区域同层土壤含水量的高低顺序均是 NS>S>SA,SA 最低,在 0—20 cm 土层 SA 与 NS,S 间差异显著($p<0.05$),其他土层无显著差异

($p>0.05$);S 区域含水量居中,NS 最高,两者在 0—60 cm 各层均没有显著性差异($p>0.05$)。就不同土层来说,NS,S 和 SA 的含水量均随土层的加深而增加,其中表层(0—20 cm)NS 和 S 区域土壤含水量相对于 SA 分别增加了 34% 和 30%,20—40 cm 层分别增加了 12% 和 11%,40—60 cm 层分别增加了 8% 和 4%。结果表明光伏电站建设可能增加土壤含水量。

3 种区域土壤容重在 0—20 cm 层的高低顺序是 $S>SA>NS$,20—40 cm 和 40—60 cm 层顺序是 $S>NS>SA$,并且在 0—60 cm 各层间差异均不显著($p>0.05$)。就不同土层来说,3 种区域的容重均随土层的加深而降低,在 0—60 cm 层 S 区域的土壤容重均大于 NS 和 SA。表明光伏板的遮盖作用可能增加了土壤容重。

3 种区域土壤 pH 在 0—60 cm 的高低顺序均为 $SA>NS>S$,但各层均未达到显著性差异($p>0.05$)。就不同土层来说,NS 和 SA 的 pH 随土层的加深而降低,S 的 pH 随土层的加深反而升高,但都小于 NS 和 SA。表明光伏板的遮盖作用可能降低了土壤 pH。

在 0—20 cm 层 NS,S 和 SA 的土壤电导率顺序是 $SA>NS>S$,S,NS 与 SA 间达到显著差异($p<0.05$);20—40 cm 和 40—60 cm 土层电导率顺序是 $NS>SA>S$,其中 20—40 cm NS 和 S,SA 达到了显

著差异($p<0.05$),40—60 cm 差异不显著($p>0.05$)。就不同土层来说,NS,S 在 0—60 cm 土层变化不明显,SA 随土层深度增加而降低,但 S 区域电导率均低于 NS 和 SA。表明光伏板的遮挡作用可能降低了土壤盐分含量。

在 0—20 cm 层土壤有机质含量为 $NS>S>SA$ 。相对于 SA,NS 和 S 区域土壤有机质分别增加了 0.1 g/kg 和 0.05 g/kg,但差异不显著($p>0.05$)。20—40 cm 层土壤有机质为 $NS>SA>S$,40—60 cm 层为 $SA>NS>S$,20—40 cm 和 40—60 cm 层土壤有机质含量均未达到显著差异($p>0.05$)。就不同土层来说,3 种区域土壤有机质含量均随土层深度增加而降低。

0—20 cm 和 20—40 cm 土层速效磷含量是 $NS>S>SA$,40—60 cm 速效磷含量是 $S>NS>SA$ 。在 0—60 cm 各层 3 种区域速效磷含量均未达到显著性差异($p>0.05$)。就不同土层来说,NS 和 SA 区域土壤速效磷含量随土层深度的增加而降低,S 区域土壤速效磷含量呈现波动性变化。

0—20 cm 和 20—40 cm 土层速效钾含量是 $NS>S>SA$,40—60 cm 速效钾含量是 $S>NS>SA$ 。在 0—60 cm 各层 3 个区域速效钾含量均未达到显著性差异($p>0.05$)。就不同土层来说,NS,S 和 SA 的速效钾含量均随土层深度增加而降低。

表 1 光伏电站建设对土壤理化性质的影响

测定指标	取样深度/cm	未遮阴	遮阴	电站周边区域
含水量/%	0—20	20.13±0.64a	19.57±0.81a	15.00±1.90b
	20—40	20.56±0.76a	20.46±0.58a	18.41±1.31a
	40—60	21.32±0.44a	20.54±0.55a	19.74±1.40a
容重/(g·cm ⁻³)	0—20	1.61±0.01a	1.65±0.02a	1.62±0.02a
	20—40	1.60±0.02a	1.61±0.02a	1.57±0.02a
	40—60	1.57±0.04a	1.59±0.01a	1.55±0.01a
pH	0—20	9.50±0.10a	8.98±0.24a	9.62±0.57a
	20—40	9.41±0.11a	9.05±0.19a	9.44±0.51a
	40—60	9.23±0.14a	9.19±0.19a	9.28±0.27a
电导率/(μS·cm ⁻¹)	0—20	325.86±50.31b	194.14±30.90b	495.50±6.50a
	20—40	346.70±43.07a	182.29±15.71b	341.50±12.50a
	40—60	330.29±45.36a	210.00±12.75a	230.00±7.00a
有机质/(g·kg ⁻¹)	0—20	2.25±0.13a	2.20±0.28a	2.15±0.12a
	20—40	1.88±0.11a	1.59±0.11a	1.86±0.05a
	40—60	1.49±0.11a	1.34±0.12a	1.62±0.06a
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	0—20	4.85±0.38a	4.15±0.53a	3.30±0.32a
	20—40	4.32±0.41a	4.30±0.65a	2.61±0.90a
	40—60	4.04±0.49a	4.16±0.36a	2.52±0.84a
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	0—20	84.11±13.65a	83.78±17.51a	65.50±22.53a
	20—40	71.22±7.61a	68.44±9.35a	42.75±2.87a
	40—60	58.56±5.31a	59.78±8.74a	42.75±2.87a

注:多重比较用于不同类型样地同层之间的比较,同行中不同小写字母表示差异显著($p<0.05$);下表同。

3.2 光伏电站建设对植被的影响

3.2.1 光伏电站建设对植物科属种数的影响 在所

调查的 15 个样方中记录有草本、灌木和乔木幼苗的科、属和物种总数,统计结果见表 2。其中 NS 区域共

统计 7 科 13 属 17 种,S 区域 5 科 11 属 16 种,SA 区域 4 科 6 属 7 种。表 3 列出来了 3 个区域各种的重要值,其中 NS 区域优势种有芨芨草、长叶碱毛茛 (*Halerpestes ruthenica*) 等;S 区域优势种有芨芨草、披碱草(*Elymus dahuricus*) 等;SA 区域优势种有芨芨草、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、虎尾草 (*Chloris virgata*) 等。由此可见芨芨草为 3 个区域

的共有优势种,其在 SA 中占的优势度最高,在 NS 中占的优势度最低。

表 2 光伏电站建设对植物科属种数的影响

区域	科	属	种
未遮阴	7	13	17
遮阴	5	11	16
电站周边区域	4	6	7

表 3 光伏电站建设对植物物种组成及其重要值的影响

植物名称	拉丁名	重要值		
		未遮阴(NS)	遮阴(S)	电站周边区域(SA)
黄花蒿	<i>Artemisia annua</i>	3.597		
赖草	<i>Leymus secalinus</i>	6.142		
苦苣菜	<i>Sonchus oleraceus</i>	5.079	6.069	
蕺菜	<i>Houttuynia cordata</i>	2.106	2.219	
艾草	<i>Artemisia argyi</i>	1.648		
硬质早熟禾	<i>Poa sphondylodes</i>	1.646	2.072	
灰绿藜	<i>Chenopodium glaucum</i>	1.373	3.858	
画眉草	<i>Eragrostis pilosa</i>	2.373	2.334	
万年蒿	<i>Artemisia sacrorum</i>	1.966	2.422	
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i>	5.017	2.684	4.332
芨芨草	<i>Achnatherum splendens</i>	35.753	41.665	60.431
芦苇	<i>Phragmites australis</i>	4.065	7.167	
长叶碱毛茛	<i>Halerpestes ruthenica</i>	16.228	5.170	6.216
湿地蒿	<i>Artemisia tournefortiana</i>	7.659		
蒲公英	<i>Taraxacum mongolicum</i>	1.373	2.159	11.264
狭叶米口袋	<i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	1.465		3.392
茵陈蒿	<i>Artemisia capillaries</i>	2.510	1.676	3.537
杨树	<i>Populus L.</i>		4.291	
柳树	<i>Salix babylonica L.</i>		1.750	
沙柳	<i>Salix cheilophila</i>		1.925	
披碱草	<i>Elymus dahuricus</i>		12.539	
虎尾草	<i>Chloris virgata</i>			10.828

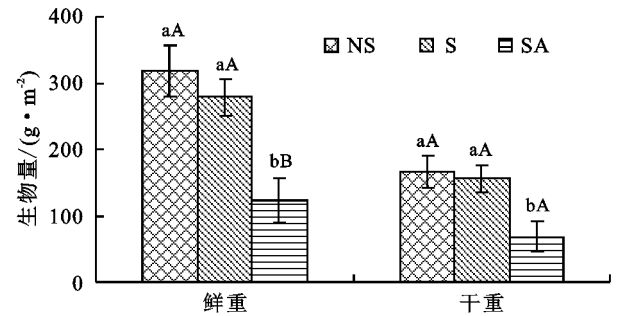
3.2.2 光伏电站建设对植物 α 多样性的影响 对 4 种能较好反映群落多样性水平的指数进行分析(表 4),可知物种 Patrick 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和优势度指数均为 NS>S>SA。相对于 SA,NS 和 S 区域的 Shannon-Wiener 多样性指数分别增加了 68%和 60%;Pielou 均匀度指数分别增加了 15%和 12%,Simpson 优势度指数分别增加了 37%和 32%。

表 4 光伏电站建设对物种多样性的影响

区域	丰富度指数	香农—维纳指数	均匀度指数	优势度指数
未遮阴	17	2.237	0.790	0.825
遮阴	16	2.136	0.770	0.792
电站周边区域	7	1.333	0.685	0.602

3.2.3 光伏电站建设对植被生物量的影响 由图 1 可知,生物量鲜重和干重的变化趋势一致,均为 NS>S

>SA。NS,S 和 SA 的生物量鲜重达到了极显著差异 ($p<0.01$),NS,S 和 SA 的生物量干重达到了显著差异($p<0.05$)。相对于 SA,NS 区域生物量鲜重增加了 195.96 g/m²,S 增加了 156.77 g/m²,分别增加了 161%和 128%;NS 的生物量干重增加了 99.64 g/m²,S 增加了 87.05 g/m²,分别增加了 144%和 127%。



注:图中柱形上方不同小写字母表示处理间差异显著($p<0.05$),不同大写字母表示处理间差异极显著($p<0.01$)。

图 1 光伏电站建设对植物地上生物量的影响

4 结论和讨论

光伏电站建设后,相对于SA,NS和S区域土壤含水量、有机质、速效磷和速效钾含量增加,pH和电导率降低,其中S区域土壤容重增加,NS降低。在电站内,相对于S区域,NS的土壤含水量、pH、电导率、0—40 cm速效磷和速效钾含量均增加;容重和40—60 cm速效磷和速效钾降低。由于NS,S区域植被高度和盖度均大于SA,植被的遮阴作用能有效降低地表水分蒸发,提高土壤保水、蓄水能力。同时光伏板的遮挡作用降低了电站内风速,提高了空气湿度,也在一定程度上阻碍了水分蒸发,对电站内来说,由于S区域光伏板的遮阴地面得不到雨水补给,因此含水量低于NS。根据“盐随水来,盐随水走”的原理,土壤蒸发量减少有利于降低土壤表层盐分积累^[8],加之植物根系从土壤中吸水,变土壤蒸发为植物蒸腾,形成了盐分随水分向地表聚集的又一屏障^[9],因此NS,S区域土壤pH和电导率均低于SA,对电站内来说,S区域光伏板的遮挡作用进一步降低了土壤水分蒸发,使得pH和电导率低于NS区域。由于电站内植被生物量大,植被枯落物和死亡根系经微生物分解释放到土壤中的有机质含量高于SA。光伏板的遮阴能有效降低土壤pH和电导率,但地面终年得不到雨水补给,导致土壤水分的入渗量和蒸发量都比较小,水分上下流通不畅,不利于水分通道的形成,可能导致土壤容重增加。贾树海等^[10]认为土壤容重对草地退化具有敏感性,可以作为草地退化的数量指标,光伏板长时间遮阴可能会造成光伏板下草地退化,致使土壤变得紧实,土壤通气性、渗透性和蓄水能力均受到不良影响,但目前这种影响还没有达到显著性水平。

光伏电站建设后,植物种类、Patrick丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数、Simpson优势度指数、生物量鲜重和干重均表现为NS>S>SA。王长庭等^[11]认为土壤性状改变(土壤养分、土壤容重、土壤含水量等)能引起植被组成、物种多样性变化;Gentry^[12]认为随着土壤肥沃程度的增加,群落的物种多样性也逐渐增加;杨树等^[13]认为土壤性状的改良与物种多样性的增加可能存在相互促进作用。电站内土壤理化性质的改善可能使得耐盐植物的竞争优势受到抑制,为其他物种的入侵和种群扩张创造了条件,同时光伏板遮阴作用为更多耐荫性植物生长提供了可能,从而增加了物种丰富度、均匀度和优势度。王

长庭等^[11]认为土壤中养分含量的高低直接影响着群落生产力,土壤养分越丰富,群落生产力越高。电站内土壤养分增加为植被生长提供了保障,因此植被地上生物量显著高于电站周边区域。

土壤是植物生长的基质,其理化特性决定着植物群落类型的分布,同时植物群落又反作用于土壤,改善其生境条件,使群落得以发展,植被与土壤的良性循环有助于生态环境的持续健康发展。光伏电站建设不会对土壤、植被造成大的影响,并且在一定程度上有利于土壤理化性质的改良和物种多样性、生物量增加,但光伏电站建设对土壤理化性质和物种多样性、生物量之间的关系和影响机理有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 张丹.我国光伏产品进出口现状、制约因素及对策建议[J].中国经贸导刊,2013,30(21):48-50.
- [2] 许申来,陈利顶,陈忱,等.管道工程建设对沿线地区农业土壤养分的影响:以西气东输冀宁联络线为例[J].农业环境科学学报,2008,27(2):627-635.
- [3] 董广辉,武志杰,陈利军,等.生态农业对土壤质量变化的响应[J].农业系统科学与综合研究,2001,17(3):190-192.
- [4] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [5] 贺瑶琴.土壤学与土壤理化分析[M].乌鲁木齐:科技卫生出版社,1995.
- [6] 王辉,贺康宁,胡兴波,等.高寒区不同树种配置对林下植被物种多样性的影响[J].水土保持研究,2012,19(3):147-150.
- [7] 马克平.生物群落多样性的测度方法:I. α 多样性的测度方法(上)[J].生物多样性,1994(3):162-168.
- [8] 王玉辉,何兴元,周广胜.放牧强度对羊草草原的影响[J].草地学报,2002,10(1):45-49.
- [9] 俞仁培,陈德明.我国盐渍土资源及其开发利用[J].土壤通报,1999,30(4):158-159.
- [10] 贾树海,崔学明,李绍良,等.牧压梯度上土壤理化性质的变化[C]//西北高原生物研究所.草原生态系统研究(第5集).北京:科学出版社,1997.
- [11] 王长庭,龙瑞军,王根绪,等.高寒草甸群落地表植被特征与土壤理化性状、土壤微生物之间的相关性研究[J].草业学报,2010,19(6):25-34.
- [12] Gentry A H. Endemism in tropical versus temperate plant communities[C]//Soule M E. Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 1986.
- [13] 杨树,温雨金,刘鸿雁.内蒙古中部地区退耕还林还草后植被与土壤性状的变化[J].水土保持研究,2006,13(4):143-145,149.