阜新露天矿排土场边坡植物多样性与生产力特征

王 凯, 刘 锋, 祝 畅, 王道涵, 宋子岭
(辽宁工程技术大学 环境科学与工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要:[目的] 以阜新露天矿排土场边坡为对象,分析坡向、坡位和恢复年限对植物多样性和生产力的影响,探讨二者的关系。[方法] 采用植物群落多样性测度方法分析植物多样性、均匀度和丰富度,用烘干法测量植物生产力,并运用相关分析法分析植物多样性与生产力的关系。[结果] 排土场阴坡坡下植物多样性和均匀度最高,而阳坡在坡上最高;随着恢复年限增加,阴坡植物多样性逐渐下降,而阳坡表现出增加趋势。排土场阴坡地上植被、枯落物和地上总生物量的最大值在坡上,而阳坡在坡中最大;阴坡的枯落物和地上总生物量显著大于阳坡($p<0.05$)。排土场阴坡地上植被、枯落物和地上总生物量均与 Shannon—Wiener 多样性指数呈显著负相关($p<0.05$),而其他多样性指标与生产力之间无显著相关关系($p>0.05$)。[结论] 坡位和坡向是影响阜新露天矿排土场边坡生态恢复过程中植物多样性和生产力的重要因子,应根据不同生境特性,采取不同恢复措施,才能完成生态恢复。

关键词: 生态恢复; 排土场; 坡向; 坡位; 生物量
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2015)01-0338-06 **中图分类号**: Q948
DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.061

Plant Diversity and Productivity on Dump Slopes of Fuxin Opencast Coalmines

WANG Kai, LIU Feng, ZHU Chang, WANG Daohan, SONG Ziling
(*College of Resource and Environment Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin, Liaoning* 123000, *China*)

Abstract: [Objective] To investigate the effects of different slope aspect, slope position and difference succession stages on species diversity and productivity of vegetation in dump slopes of opencast coalmine in Fuxin City, Liaoning Province. [Methods] The plant diversity, evenness and richness indices were calculated. The plant productivity was measured by drying method. The relationship between diversity index and biomass was explored by correlation analysis. [Results] For shady slopes, the plant diversity and evenness was higher at the lower part of slopes while they were higher at the upper parts of sunny slopes. With the succession, the plant diversity gradually declined on the shady slopes, while it increased on the sunny slopes. The aboveground vegetation, litter, and aboveground total biomass were greatest at the upper part of shady slope and at the middle part of sunny slope, respectively. The litter and aboveground total biomass were significantly greater on the shady slope than those on the sunny slope($p<0.05$). Shannon—Wiener diversity index was significantly correlated with productivity(aboveground vegetation, litter, and aboveground total biomass, $p<0.05$). However, we did not find any significant relationship between productivity and other plant diversity indexes($p>0.05$). [Conclusions] Vegetation succession and restoration processes of coalmine dumps in Fuxin City might depended on slope aspect and slope position. When vegetation reclamation was carried out for coalmine dumps, the differences in the characteristics of habitats should be considered.

Keywords: ecological restoration; dumps; slope aspect; slope position; biomass

阜新露天矿开采已有百年历史,在煤炭开采过程中,排出大量的废弃物,包括不同地层岩土、煤矸石和尾矿等,经人为运输堆积形成排土场。矿区共有排土场(矸石山)240 余座,占地面积 2 894 hm^2,总堆积量为 1.20×10^9 m^3。排土场是一种巨型人工松散堆垫体,侵占大量土地,污染土壤、地下水和空气,破坏自然景观和植物群落,导致生态系统退化,影响生态环境的可持续发展;其边坡水土流失严重,土壤退化,稳定性差,易发生山体滑坡,诱发地质灾害[1-3]。因此对排土场边坡进行生态恢复已迫在眉睫。

植物多样性是维持群落稳定性和影响养分循环的重要因子[4],生产力是生态系统功能状况的具体体

收稿日期:2014-01-06 修回日期:2014-01-27
资助项目:国家自然科学基金项目"基于绿色度的露天煤矿生态环境恢复与开采一体化技术"(51474119)
第一作者:王凯(1981—),男(汉族),黑龙江省齐齐哈尔市人,博士,讲师,主要从事水土保持与生态恢复研究。E-mail:wangkai_2005@hotmail.com。

现[5],二者均是衡量生态恢复程度的重要指标[6]。不同坡向和坡位的植被生长状况、生物量、水土保持效果具有明显差异,是影响边坡植被多样性的主要因素[7-8]。以往对于边坡植物多样性的研究报道多集中于公路和铁路[9],而对于污染更严重、稳定性更差的排土场边坡研究报道较少。

本研究以阜新海州露天矿排土场边坡为对象,分析边坡自然恢复过程中坡向和坡位对群落植物多样性和生产力的影响,并探讨植物多样性与生产力的关系,为了解排土场边坡植被演替规律以及进行生态恢复提供理论依据。

1　研究地区概况

研究区位于海州露天矿排土场,地处辽宁省阜新市(121°38′33″E,41°57′16″N),属于温带半干旱大陆性季风气候区。年均降水量 539 mm,蒸发量 1 800 mm,年平均气温 7～10 ℃,平均相对湿度 50%～60%。地带性土壤主要为淋溶褐色土和褐土性土,排土场基质除地带性土壤外,还夹杂着大量不同地层的粉沙岩、砾岩、煤页岩等岩石成分以及采煤废弃物。排土场边坡土层厚度较薄,在 5～20 cm 之间,土壤容重为1.27～1.57 g/cm,pH 值为 7.06～7.42,有机质含量为 6.7～9.5 mg/g,速效 N 为 5.6～12.3 mg/kg,速效 P 为 12.9～19.6 mg/kg;土壤颗粒分布为<0.05 mm 占 3.7%±0.5%,0.05～0.1 mm 占 6.8%±0.6%,0.1～0.25 mm 占 37.9%±1.5%,0.25～0.5 mm 占 15.8%±2.0%和>0.5 mm 占 16.7%±2.6%。植被属华北与蒙古植物区系的过渡地带,分布着较为旱生的草本和灌木。

根据辽宁省矿务局资料记载和实地勘查,选择 2 个坡面相对的自然恢复 3,5 和 10 a 的阴坡及 5 和 10 a 的阳坡(阳坡植被演替缓慢,在 5 a 以内植被变化较小)为研究对象,坡向采用手持罗盘仪测得,阴坡朝向为 NE24°,阳坡朝向为 SW22°;坡度均在 35°左右,坡长约 60 m(坡长与坡度为排土场堆积的常见状态)。排土场附近无高大山脉遮光,均为自然光照水平。将每个边坡按坡位不同划分成坡上、坡中、坡下 3 个样地,共计 15 个样地。各样地植物群落基本特征见表 1。

表 1　排土场边坡样地植物群落特征

坡向	恢复年限/a	坡位	主要植物
阴坡	3	坡上	狗尾草(*Setaira viridis*)、白蒿(*Artemisia anethoides*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、兴安胡枝子(*Lespedeza davurica*)、抱茎苦荬菜(*Ixeridium sonchifolium*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、小蓟(*Cirsium setosum*)、黄蒿(*Artemisia scoparia*)
		坡中	茵陈蒿、狗尾草、铁杆蒿、阿尔泰狗娃花、细叶胡枝子(*Lespedeza hedysaroides*)、兴安胡枝子、萝藦(*Metaplexis japonica*)、小蓟、鸦葱(*Scorzonera austriaca*)、猪毛菜(*Salsola collina*)
		坡下	铁杆蒿、茵陈蒿、狗尾草、细叶胡枝子、兴安胡枝子、抱茎苦荬菜、榆树(*Ulmus pumila*)、阿尔泰狗娃花
	5	坡上	铁杆蒿、草木犀(*Melilotus officinalis*)、狗尾草、兴安胡枝子、抱茎苦荬菜、榆树、打碗花(*Calystegin-hederacea*)、苍耳(*Xanthium sibiricum*)
		坡中	铁杆蒿、白蒿、狗尾草、萝藦、阿尔泰狗娃花、草木犀、蒲公英(*Taraxacum officnala*)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)、山苦荬(*Ixeris denticulata*)
		坡下	铁杆蒿、狗尾草、白蒿、细叶胡枝子、抱茎苦荬菜、茵陈蒿、阿尔泰狗娃花、蒲公英
	10	坡上	铁杆蒿、榆树、萝藦、狗尾草
		坡中	铁杆蒿、兴安胡枝子、狗尾草、榆树
		坡下	狗尾草、铁杆蒿、细叶胡枝子、白蒿、榆树、草木犀、阿尔泰狗娃花
阳坡	5	坡上	蒺藜(*Tribulus terrestris*)、旱稗(*Echinoc hloahispidula*)、狗尾草、白蒿、茵陈蒿、萝藦、猪毛菜
		坡中	狗尾草、旱稗、早熟禾(*Poa annua*)、茵陈蒿、萝藦、贡蒿(*Carum carvi*)、山苦荬
		坡下	狗尾草、蒺藜、白蒿、抱茎苦荬菜、反枝苋(*Amaranthus retroflexus*)、藜(*Chenopodium album*)
	10	坡上	狗尾草、草木犀、茵陈蒿、榆树、白蒿、萝藦、蒺藜
		坡中	贡蒿、狗尾草、萝藦、猪毛菜、榆树、草木犀、双蕊兰(*Diplandrorchis sinica*)
		坡下	白蒿、狗尾草、草木犀、榆树、萝藦、苍耳(*Xanthium sibiricum*)、山苦荬

2　研究方法

2.1　野外调查与实验室分析

在该地区植物群落生长达到高峰期时间内(2012 年 7—8 月)进行群落调查,每个样地设置 3 个 20 m×20 m 的大样方,由于样地内无高大乔木,在每个大样方内随机取 3 个 5 m×5 m 样方调查乔木幼苗和灌木,在每个灌木样方内随机设置 1 个 1 m×1 m 小样

方调查草本植物。记录每个样方内的植物种类、数量、高度和盖度，同时将小样方内的植物地上部分全部剪割下来，并收集小样方内地表枯落物，带回实验室放入80 ℃烘箱中烘干24 h后称重，计算样方内植物地上部分生物量、枯落物生物量和地上总生物量。

2.2 数据处理

根据马克平等[10-11]描述的植物群落多样性测度方法，选择以下指标进行测度：

(1) 植物群落多样性指数：

$$\text{Shannon—Wiener}=-\sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Simpson}=1-\sum P_i^2$$

(2) 植物群落均匀度指数：

$$\text{Pielou}=(-\sum P_i \ln P_i)/\ln S$$

$$\text{Alatalo}=[(\sum P_i^2)^{-1}-1]/[\exp(-\sum P_i \ln P_i-1)]$$

(3) 植物群落丰富度指数：

$$\text{Margalef}=(S-1)/\ln N$$

$$\text{Patrick}=S$$

式中：S——样方内植物种数；N——物种的总个体数；$P_i=N_i/N$，其中 N_i——样方中第 i 种物种的个体数。

以植物群落多样性(Shannon—Wiener多样性指数、Simpson多样性指数、Pielou均匀度指数、Alatalo均匀度指数、Margalef丰富度指数和Patrick丰富度指数)和生产力(地上植被、枯落物和地上总生物量)指标作为自变量，坡位、坡向和恢复年限为变量，进行三因素方差分析(Three-way ANOVA)，分析坡位、坡向和恢复年限及其交互作用对各多样性和生产力指标的影响；对于不同坡位、坡向和不同恢复年限的植物多样性和生产力指标间的差异采用Duncan检验方法进行多重比较。同时分别对阴坡和阳坡各植物群落多样性指标与生产力的关系进行相关分析，若某样方的多样性或生物量指标出现异常数据，采用其他样方的平均值代替，所有数据均运用SPSS 16.0统计分析。

3 结果与分析

3.1 排土场边坡植物多样性特征

3.1.1 坡位、坡向和恢复年限对排土场边坡植物多样性的影响 坡位对排土场边坡植物的多样性(Shannon—Wiener和Simpson多样性指数)影响不显著($p>0.05$)，而坡位与坡向、坡位与恢复年限及坡向与恢复年限间具有显著的交互作用($p<0.05$)(表2)。

表2 坡位、坡向和恢复年限对排土场边坡植物多样性和生产力影响的方差分析

因素	Shannon—Wiener多样性指数	Simpson多样性指数	Pielou均匀度指数	Alatalo均匀度指数	Margalef丰富度指数	Patrick丰富度指数	地上植被生物量	枯落物生物量	地上总生物量
坡位	0.813	0.550	0.457	0.111	0.007**	0.097	<0.001***	<0.001***	<0.001***
坡向	<0.001***	0.197	<0.001***	<0.001***	<0.001***	0.007**	<0.001***	<0.001***	<0.001***
年限	<0.001***	0.008**	<0.001***	0.006**	0.023*	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
坡位×坡向	<0.001***	<0.001***	<0.001***	0.004**	0.113	0.002**	<0.001***	<0.001***	<0.001***
坡位×年限	0.029*	0.016**	0.020*	<0.001***	0.005**	0.024*	<0.001***	0.002**	<0.001***
坡向×年限	<0.001***	<0.001***	0.296	0.685	<0.001***	<0.001***	0.880	<0.001***	0.001**
坡位×坡向×年限	0.409	0.001**	0.047*	<0.001***	0.390	0.682	0.016*	0.681	0.001**

注：*表示方差分析的显著性为 $p<0.05$；**表示方差分析的显著性为 $p<0.01$；***表示方差分析的显著性为 $p<0.001$。

排土场阴坡Shannon—Wiener多样性指数从坡上到坡下表现为逐渐降低的规律，而阳坡表现出增加趋势；恢复5和10 a阴坡的坡下Shannon—Wiener多样性指数显著大于阳坡($p<0.05$)，而恢复10 a阴坡的坡上显著小于阳坡($p<0.05$)；随着恢复年限增加，阴坡Shannon—Wiener多样性指数表现出逐渐下降的规律，而阳坡表现出增加趋势(表3)。恢复3和5 a阴坡Simpson多样性指数的最大值出现在坡下，而阳坡的最大值在坡上；恢复10 a阴坡的坡上Simpson多样性指数显著小于恢复3和5 a($p<0.05$)，而恢复10 a阳坡的坡下显著大于恢复5 a($p<0.05$)(表3)。

3.1.2 坡位、坡向和恢复年限对排土场边坡植物均匀度的影响 坡位对排土场边坡植物Pielou和Alatalo均匀度指数的影响不显著($p>0.05$)，而坡向、恢复年限、坡位×坡向、坡位×恢复年限对边坡植物均匀度具有显著影响($p<0.05$)(表2)。排土场阴坡Pielou均匀度指数从坡上到坡下表现为逐渐增加的规律，而阳坡的坡上显著大于坡下($p<0.05$)；恢复5和10 a阴坡的坡中和坡下Pielou均匀度指数显著大于阳坡($p<0.05$)；随着恢复年限增加，阴坡坡上Pielou均匀度指数逐渐增加，坡中和坡下先降低后增加，而恢复10 a阳坡的坡下显著大于恢复5 a($p<0.05$)(表3)。恢复3,5和10 a阴坡Alatalo均匀度指数的最大值分别在坡下、坡上和坡中，而恢复5和10 a阳坡最大值

分别在坡上和坡下;恢复 5 a 阴坡坡上和恢复 10 a 阴坡坡下 Alatalo 均匀度指数显著大于阳坡($p<0.05$);随着恢复年限增加,阴坡坡下、阳坡坡上和坡中 Alatalo 均匀度指数逐渐下降(表 3)。

3.1.3　坡位、坡向和恢复年限对排土场边坡植物丰富度的影响　坡向、恢复年限、坡位×恢复年限和坡向×恢复年限对排土场边坡植物 Margalef 和 Patrick 丰富度指数显著影响($p<0.05$)(表 2)。恢复 3 和5 a 的排土场阴坡 Margalef 丰富度指数最大值在坡中,恢复 10 a 阴坡的最大值在坡下,而恢复 5 和 10 a 阳坡的最大值分别在坡上和坡中;恢复 5 a 阴坡的坡上、坡中和坡下 Margalef 丰富度指数显著大于阳坡($p<0.05$),而恢复 10 a 阴坡和阳坡间无显著差异($p>0.05$);随着恢复年限增长,阴坡 Margalef 丰富度指数表现出先增加后减少的趋势,而阳坡表现出增加趋势(表 3)。恢复 3 和 5 a 阴坡 Patrick 丰富度指数最大值在坡中,恢复 10 a 阴坡的最大值在坡下,而恢复 10 a 阳坡的 3 个坡位相等;恢复 5 a 阴坡的坡中和坡下 Patrick 丰富度指数显著大于阳坡($p<0.05$),而恢复 10 a 阴坡的坡上和坡中显著小于阳坡($p<0.05$);阴坡 Patrick 丰富度指数随着恢复年限增加而逐渐降低,而阳坡变化不大(表 3)。

表 3　排土场边坡植物多样性指数

坡向	恢复年限/a	坡位	Shannon—Wiener 多样性指数	Simpson 多样性指数	Pielou 均匀度指数	Alatalo 均匀度指数	Margalef 丰富度指数	Patrick 丰富度指数
阴坡	3	坡上	1.05±0.03c	0.49±0.01c	0.59±0.02c	0.52±0.01c	1.09±0.09a	9±0.9a
		坡中	1.35±0.03b	0.64±0.01b	0.67±0.03b	0.63±0.01b	1.40±0.08a	10±0.7a
		坡下	1.53±0.07a	0.73±0.03a	0.86±0.01a	0.78±0.05a	1.10±0.10a	8±0.3a
	5	坡上	1.05±0.09a	0.54±0.10a	0.62±0.07a	0.73±0.19a	1.38±0.03a	8±0.6a
		坡中	1.10±0.12a	0.54±0.05a	0.61±0.03a	0.61±0.01a	1.42±0.13a	9±0.3a
		坡下	1.25±0.03a	0.64±0.02a	0.70±0.02a	0.72±0.03a	1.16±0.04a	8±0.6a
	10	坡上	0.80±0.06b	0.39±0.03b	0.73±0.05a	0.53±0.02b	0.80±0.04a	4±0.3b
		坡中	0.95±0.03b	0.55±0.02a	0.77±0.03a	0.78±0.02a	0.85±0.07a	4±0.3b
		坡下	1.20±0.06a	0.45±0.01b	0.80±0.01a	0.37±0.05c	1.04±0.10a	7±0.3a
阳坡	5	坡上	0.90±0.03a	0.66±0.02a	0.51±0.02a	1.32±0.04a	0.95±0.01a	7±0.6a
		坡中	0.70±0.12a	0.41±0.11b	0.43±0.07a	0.73±0.16b	0.81±0.01a	7±0.3a
		坡下	0.35±0.06b	0.22±0.01b	0.25±0.01b	0.66±0.03b	0.56±0.10b	6±0.3a
	10	坡上	1.15±0.05a	0.60±0.01a	0.64±0.02a	0.71±0.05a	0.98±0.05a	7±0.7a
		坡中	0.90±0.03b	0.51±0.02b	0.51±0.03b	0.71±0.05a	1.02±0.10a	7±0.3a
		坡下	0.90±0.08b	0.54±0.02b	0.53±0.01b	0.81±0.05a	0.91±0.10a	7±0.6a

注:数据为平均值±标准误;不同字母表示相同恢复年限不同坡位间差异显著($p<0.05$)。下同。

3.2　排土场边坡植物生产力特征

坡位、坡向和恢复年限对排土场边坡地上植被、枯落物和地上总生物量均具有显著影响($p<0.001$)(表 2)。恢复 3 a 阴坡地上植被生物量在坡上、坡中和坡下间无显著差异($p>0.05$),而恢复 5 和 10 a 阴坡的坡上显著高于坡中和坡下($p<0.05$);阴坡坡上枯落物和地上总生物量显著大于坡中和坡下($p<0.05$)。阳坡地上植被和地上总生物量在坡上、坡中和坡下间差异不显著($p>0.05$),而枯落物生物量在坡中显著高于坡下($p<0.05$)。阴坡枯落物和地上总生物量显著高于阳坡($p<0.05$),恢复 10 a 阴坡地上植被生物量显著大于阳坡($p<0.05$)。随着恢复年限增长,阴坡坡中和坡下地上植被和总生物量显著增加($p<0.05$),恢复 10 a 阳坡枯落物生物量显著大于 5 a ($p<0.05$)(表 4)。

表 4　排土场边坡植物生产力

坡向	恢复年限/a	坡位	地上植被生物量/g	枯落物生物量/g	地上总生物量/g
阴坡	3	坡上	101±5a	230±2a	331±7a
		坡中	73±9a	129±12b	201±3b
		坡下	92±12a	139±18b	231±13b
	5	坡上	390±22a	312±9a	702±16a
		坡中	174±12b	126±4b	300±13b
		坡下	145±23b	161±3b	306±23b
	10	坡上	364±3a	295±6a	659±6a
		坡中	216±4b	180±3b	396±4b
		坡下	255±18b	128±16b	383±7b
阳坡	5	坡上	169±11a	20±2b	189±17a
		坡中	176±17a	37±4a	213±13a
		坡下	172±18a	18±2b	190±20a
	10	坡上	181±15a	89±8ab	270±16a
		坡中	185±5a	111±12a	296±11a
		坡下	164±24a	57±10b	221±14a

2.3 排土场边坡植物群落多样性与生产力的关系

排土场阴坡植物群落多样性(多样性指数、均匀度指数和丰富度指数)与群落生产力(地上植被、枯落物和地上总生物量)之间大部分呈负相关关系,但只有 Shannon—Wiener 多样性指数表现出显著性($p<0.05$)。阳坡植物群落 Shannon—Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数和 Patrick 丰富度指数均与地上植被、枯落物生物量和地上总生物量呈正相关关系,但相关性均不显著($p>0.05$)(表 5)。

表 5 排土场边坡群落多样性与生产力的关系

坡位	群落生产力	Shannon—Wiener 多样性指数	Simpson 多样性指数	Pielou 均匀度指数	Alatalo 均匀度指数	Margalef 丰富度指数	Patrick 丰富度指数
阴坡	地上植被生物量	−0.679*	−0.651	−0.046	−0.148	−0.247	−0.582
	枯落物生物量	−0.669*	−0.503	−0.340	0.036	−0.237	−0.378
	地上总生物量	−0.723*	−0.636	−0.171	−0.082	−0.261	−0.539
阳坡	地上植被生物量	0.258	0.003	0.230	−0.441	0.323	0.158
	枯落物生物量	0.637	0.350	0.628	−0.422	0.686	0.482
	地上总生物量	0.598	0.304	0.585	−0.444	0.651	0.445

注:* 表示相关性达到显著水平($p<0.05$)。

4 讨论与结论

4.1 排土场边坡植物多样性的影响因素

植物多样性是群落物种多样性的基础,其能够改善土壤结构,提高肥力,增强土壤动物和微生物活性[12],从而促进整个群落结构与功能的恢复与重建[13]。Esther 等[8]研究发现坡位是影响边坡植物多样性的重要因子,而本研究发现,坡位对排土场边坡植物多样性无显著影响($p>0.05$)(表 2)。这可能由于排土场自然恢复时间较短(10 a 以内),不同坡位间土壤性状差异不大。而坡位与坡向间具有显著交互作用($p<0.05$),阴坡坡下植物多样性和均匀度最高,而阳坡的最大值在坡上,这可能由于阴坡坡下土壤水分含量较高,为植物定居、生长及繁殖提供了较好的立地条件;而阳坡土壤水分含量较低,立地条件较差,主要分布着耐旱喜光的植物,如蒺藜、旱稗等,其存活和生长主要受光照和温度影响,阳坡坡上无其他树木遮光,光照更充足,植物数量较多,分布较均匀;这与王倩等[9]的研究结果一致。

此外,排土场边坡的坡向与恢复年限对植物多样性具有显著交互作用($p<0.05$),阴坡植物多样性随着恢复年限逐渐下降,而阳坡表现为增加趋势,这主要由于演替初期,阳坡立地条件较差,只能有少量耐旱的 1 a 生植物在这里定居存活,这些植物枯萎死亡后具有一定的遮阴和蓄水功能,逐渐为新生植物提供了相对适宜的生境;植被群落类型从 1 a 生植物逐步过渡到多年生植物,植物多样性增加。而排土场阴坡,在演替初期土壤含水量较高,立地条件较好,植物分布数量较多;随着边坡演替,土壤养分和水分资源消耗较多,且边坡土壤保水保肥能力差,枯落物保存较少且分解缓慢,养分无法得到补充,导致物种开始竞争,植物多样性下降。

4.2 排土场边坡植物生产力的影响因素

生产力是植物群落功能的综合指标[5],其随着环境发生变化,能够衡量群落的健康程度[14]。本研究发现排土场阴坡的地上植被、枯落物和地上总生物量的最大值出现在坡上,而阳坡在坡中最大。这可能与坡位的具体微环境和水土流失程度有关[15],排土场阴坡坡上水土流失较为严重,铁杆蒿占据优势地位,植株高达 60～80 cm,呈半木质化状态,即使枯萎后仍能留在原地几年之久,所以生物量较高;而坡中和坡下大部分为草本植物,即使数量较多,但总体生物量较低。排土场阳坡坡上的水分和养分有向下流失的趋势,坡中枯落物生物量显著高于坡下($p<0.05$),具有一定的截留、保水和遮光功能,坡中更利于植物生长和繁殖[9],所以生产力较高。

4.3 排土场边坡植物群落多样性与生产力的关系

植物多样性与生产力的关系一直是生态学研究的热点问题,其表现形式通常有 3 种:线性关系、单峰关系和不相关形式[16-18],但由于观测时间和空间尺度不同,至今仍未得出一致模式。本研究结果发现排土场阴坡的地上植被、枯落物和地上总生物量均与 Shannon—Wiener 多样性指数呈显著负相关($p<0.05$)。这可能由于演替初期阴坡立地条件较好,植物种类和数量较多,植被枯萎死亡后仍留在原地,覆盖地表;而阴坡光照和温度不足,枯落物无法腐烂分解,转化为养分,同时枯落物覆盖阻止了其他植物种子在这里定居和生长,所以群落植物种类逐渐减少。

然而,这些枯落物具有截留和蓄水功能,促进了铁杆蒿的旺盛生长,生物量增加。本研究中其他多样性指标与生产力之间未发现显著相关关系,由于排土场边坡植物群落处于演替早期阶段,对于中、后期植物群落多样性与生产力关系还有待进一步研究。

致谢:本文在写作过程中得到中国科学院植物研究所陈全胜副研究员的帮助,在此表示感谢。

[参 考 文 献]

[1] Cheng Jianlong, Zhaohua Lu. Natural vegetation recovery on waste dump in opencast coalmine area[J]. Journal of Forestry Research, 2005,16(1):55-57.

[2] Jackson S T, Hobbs R J. Ecological restoration in the light of ecological history[J]. Science, 2009,325(5940):567.

[3] Suding K N, Hobbs R J. Threshold models in restoration and conservation: A developing framework[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2009,24(5):271-279.

[4] 牛星,蒙仲举,高永,等. 伊敏露天煤矿排土场自然恢复植被群落特征研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):215-221.

[5] Naeem S. Ecosystem consequences of biodiversity loss: The evolution of a paradigm[J]. Ecology, 2002,83(6):1537-1552.

[6] Ruiz-Jaen M C, Mitchell Aide T. Restoration success: how is it being measured?[J]. Restoration Ecology, 2005,13(3):569-577.

[7] 裴娟,艾应伟,刘浩,等. 坡面和坡向对遂渝铁路岩石边坡创面人工土壤植被恢复的影响[J]. 水土保持通报,2009,29(2):197-201.

[8] Bochet E, García-Fayos P. Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain[J]. Restoration Ecology, 2004,12(2):166-174.

[9] 王倩,艾应伟,裴娟,等. 遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征[J]. 生态学报,2010,30(24):6892-6900.

[10] 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,1994,2(3):162-168.

[11] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法(Ⅰ):α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.

[12] 邹蜜,罗庆华,辜彬,等. 生境因子对岩质边坡生态恢复过程中植被多样性的影响[J]. 生态学杂志,2013,32(1):7-14.

[13] 任海,彭少麟,陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学[J]. 生态学报,2004,24(8):1756-1764.

[14] 张宏锋,李卫红,陈亚鹏. 生态系统健康评价研究方法与进展[J]. 干旱区研究,2003,20(4):330-335.

[15] 区余端,苏志尧,李镇魁,等. 地形因子对粤北山地森林不同生长型地表植物分布格局的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1107-1113.

[16] Tilman D, Wedin D, Knops J. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems[J]. Nature, 1996,379(6567):718-720.

[17] Guo Q, Berry W L. Species richness and biomass: dissection of the hump-shaped relationships[J]. Ecology, 1998,79(7):2555-2559.

[18] 张全国,张大勇. 生物多样性与生态系统功能:进展与争论[J]. 生物多样性,2002,10(1):49-60.

(上接第 326 页)

[3] 张长春,高泽崇,李昕,等. 河北省农村宅基地退出模式类型划分与选择[J]. 江苏农业科学,2013,41(4):393-394.

[4] 张长春,高泽崇,于秋玲,等. 河北省农村宅基地面积问题与对策分析[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):421-422.

[5] 鲍金星. 重庆市土地开发整理工程分区及其工程模式研究[D]. 重庆:西南大学,2007.

[6] Wang Changjiang, Wang Qian, Zhao Jie, et al. The site-selection system for land consolidation project based on GIS and computational intelligence[M]// Applied Informatics and Communication Berlin Heidelberg: Springer, 2011,227:195-203.

[7] 倪九派,李萍,魏朝富,等. 基于 AHP 和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J]. 农业工程学报,2009,25(5):202-209.