

DOI:10.11937/bfyy.201706039

# 黔北发电厂周边林地植物群落结构及土壤碳、氮、磷分布特征

黄先飞<sup>1</sup>, 张习敏<sup>2</sup>, 敖国富<sup>3</sup>, 秦樊鑫<sup>1</sup>, 张珍明<sup>4</sup>

(1. 贵州师范大学 贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵州 贵阳 550001; 2. 贵州师范大学 生命科学院, 贵州 贵阳 550001; 3. 安顺学院 农学院, 贵州 贵阳 561000; 4. 贵州省生物研究所, 贵州 贵阳 550009)

**摘要:**为探索山区火电厂对周边林地植物群落及土壤碳、氮、磷的影响,调查了贵州省黔北火电厂周边7个样方乔木层和灌木层的物种群落情况,并研究了所在样方林中、林缘与林外耕地表层土壤中全氮、碱解氮及有机质情况。结果表明:研究区域自然林地乔木树种主要以马尾松、侧柏、柳杉、喜树、青冈为主;灌木主要以悬钩子、荚蒾、野花椒、崖豆藤、火棘等为主;草本植物则主要以肾蕨、茅草、蒿类植物为主。黔北发电厂周边林地土壤肥力水平较高,土壤全氮、碱解氮及有机质土壤肥力等级均为I级,全磷是土壤养分的主要限制因子。土壤碳、氮、磷及其化学计量特征之间表现为不同的相关性,全氮与全磷具有相反的同源相关性。林地土壤中全氮、碱解氮及有机质主要受到坡度、土壤质地、植物群落结构与补给的影响。

**关键词:**燃煤电厂;植物群落结构;生态;土壤养分

**中图分类号:**S 731.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0164-08

火力发电厂的建设对国民经济的发展具有十分重要的意义,同时对周围生态环境造成破坏,尤其是周边林地的植被群落不断破坏,产生的废渣导致土壤养分不断流失<sup>[1]</sup>。修建发电厂时,因其人为干扰较大,瞬间移走了富含养分的表层土壤和种子等植物潜在繁殖体,迅速成为土壤质量退化的发源地,迫使天然林地发生带状退化<sup>[2]</sup>。以此同时,火力发电厂在发电时,也对周边的环境造成了一定的影响,其中主要包括粉煤灰与废水<sup>[3]</sup>。火力发电厂的粉煤灰通常是经水力加压后,用管道输送到排灰场的。因此,粉煤灰中的部分污染物质必然会溶解于水中,由于排灰场废水除了表面蒸发和排入地面水系外,尚有部分渗入地下,进而对周围的土壤造成污染<sup>[4]</sup>。

土壤是植物生长所需基本元素氮和磷的主要来

源,氮磷变化和分布对植物的生长发育起着重要的作用<sup>[5]</sup>。由于人为活动和自然界元素供应往往受限,所以其成为生态系统生产力的主要限制元素<sup>[6]</sup>。贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂(简称黔北发电厂),是国家为确保“西电东送”战略顺利实施而开工建设的国家重点工程,属于特大型坑口火力发电厂。长期以来,电厂周边植被生态系统发生显著变化,同时,其林下土壤中碳、氮、磷等生源要素的生物地球化学过程受到严重影响<sup>[7]</sup>。目前,我国学者已对植物碳、氮、磷生态化学计量学特征等做了较多研究<sup>[8-9]</sup>,但对因电厂干扰对植物群落及土壤碳、氮、磷分布的影响研究较少,为此该试验对黔北电厂周边林地植物群落结构及表层土壤碳、氮、磷分布特征进行研究,以期为新厂区环境规划、林地培育、生态建设与生长活动缓冲区划分等提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

黔北发电厂位于贵州省毕节地区金沙县,东经105°47′~106°44′,北纬27°07′~27°46′。全县总面积2 524 km<sup>2</sup>,占贵州省总面积的1.43%,毕节市总面积的9.4%。境内地势西南高,东北低,最高海拔

**第一作者简介:**黄先飞(1983-),男,博士研究生,助理研究员,研究方向为环境科学。E-mail:hxfswjs@gznu.edu.cn.

**责任作者:**张珍明(1986-),男,博士研究生,高级工程师,现主要从事土壤化学与环境等研究工作。E-mail:zhang6653579@163.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(21407031)。

**收稿日期:**2016-12-12

1 427 m,最低海拔 457 m。年平均气温 18 ℃,年日照 1 098 h,无霜期 313 d,年均降水量 865.9 mm。该研究主要集中在黔北电厂周围(图 1),小地形为宽峡谷形。常年风向以东风为主,东北风、西风与西北风

次之。2014 年,该区域东风、东北风、西风、西北风、北风、东南风、西南风与南风分别为 108、68、63、52、37、25、11、3 d。因而,从风向上看,火电厂引起的污染将主要集中在西面,西南、东面与东南面次之。

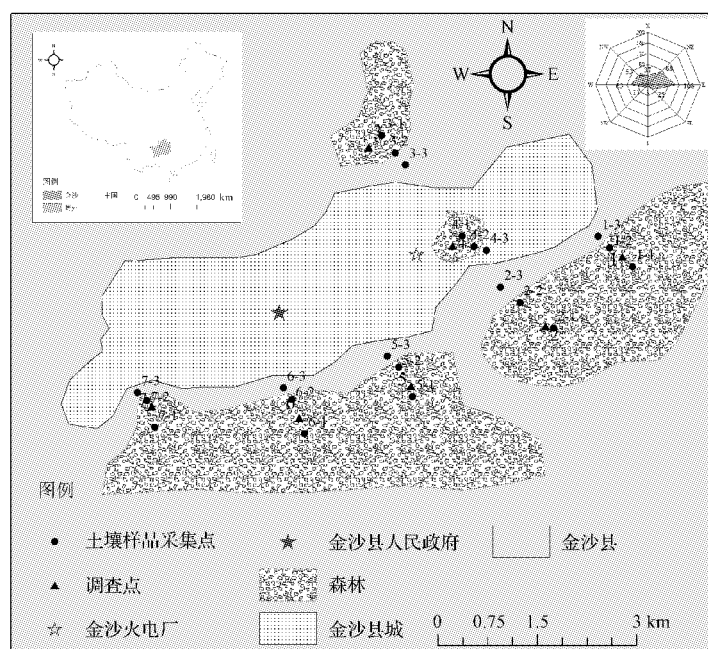


图 1 研究区样方设置分布

Fig. 1 Distribution of sample sites

## 1.2 试验方法

基于黔北电厂周边地形、林地分布情况及课题组前期对该电厂周边耕地土壤中重金属污染的研究结果,2015 年 8 月在电厂周边共设置了 7 个样方,乔木层的样方大小为 10 m×10 m,灌木层的样方大小为 5 m×5 m,样方信息见表 1。

乔木层估算密闭度,记录乔木物种、株数、株高、

胸径(现场记录胸周长,于实验室换算胸径)。灌木层粗略测量估算物种平均高及盖度<sup>[10]</sup>。分别在样方所在林地中部、林地边缘及林地外的耕地进行了表层(0~10 cm)土壤样品采集,大约 1 kg,运回实验室后除杂,室温晾干,过 2 mm 筛用于 pH 测定,过 0.145 mm 筛用于有机质、全氮、全磷、碱解氮含量

测定。

表 1

样方基础信息

Table 1

General information of different investigated quadrats

样方编号 Quadrat number	地形 Terrain	小生境 Niche	坡度 Slope degree/(°)	坡向 Slope direction	坡位 Slope position	土壤颜色 Soil color	质地 Texture	海拔 Altitude/m	人为活动强度 Human activity intensity
1#	坡地	土面	31	北	坡中部	黄色	壤土	976	弱
2#	坡地	土面	44	北	坡中部	棕黄色	壤土	975	弱
3#	坡地	石土面	57	东	坡上部	褐色	砂土	999	弱
4#	平地	土面	0	/	/	棕黄色	壤土	899	强
5#	坡地	石土面	34	西南	坡上部	黄色	壤土	1 002	弱
6#	坡地	土面	20	西南	坡上部	黄色	壤土	1 053	无
7#	坡地	土面	14	东北	坡下部	褐色	砂土	939	强

## 1.3 项目测定

1.3.1 土壤养分 土壤有机质含量采用高温外加热重铬酸钾氧化—容量法测定,土壤全氮含量采用凯氏定氮法测定,土壤碱解氮含量采用碱解扩散法

测定,土壤全磷含量采用酸溶—钼锑抗比色法测定。以上测定方法参见《土壤农业化分析方法》<sup>[11]</sup>。试验所用试剂皆属优级纯、二次去离子水,每 10 个样品加 1 个空白样,以保证试验的精准性和试剂及容器

的清洁程度,每批样随机设定 40% 的平行样本数,平行样品间的相对偏差控制在限定范围内。

1.3.2 土壤养分评价方法 按照全国第二次土壤普查养分分级标准(表 2),对黔北发电厂周边林地土壤养分含量进行丰缺水平评价<sup>[12]</sup>。

表 2

全国第二次土壤普查养分分级标准

Table 2

Grading criteria of soil nutrients for the second soil survey in the national

级别	有机质	全氮	全磷	碱解氮	备注
Level	Organic carbon/(g · kg <sup>-1</sup> )	Total nitrogen/(g · kg <sup>-1</sup> )	Total phosphorus/(g · kg <sup>-1</sup> )	Alkali-hydrolyzable nitrogen/(mg · kg <sup>-1</sup> )	Remarks
I	>40	>2	>1	>150	极丰富
II	30~40	1.5~2.0	0.8~1.0	120~150	丰富
III	20~30	1.0~1.5	0.6~0.8	90~120	最适宜
IV	10~20	0.75~1.0	0.4~0.6	60~90	适宜
V	6~10	0.5~0.75	0.2~0.4	30~60	缺乏
VI	<6	<0.5	<0.2	<30	极缺乏

## 2 结果与分析

### 2.1 植物群落结构研究

在 7 个样方中,4 号样方为人工雪松林且海拔最低,其余 6 个样方皆分布于自然林地中,黔北发电厂周边林地植物群落结构调查结果如表 3、4 所示。调查过程中按乔木层和灌木层进行调查,在 7 个样方中共调研了乔木层树种 10 种,灌木层物种 11 种。乔木层自然林树种主要为枫香(*Liquidambar formosana* Hance)、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.),白杨(*Populus tomentosa* Carrière)、侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco)、柳杉(*Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr)、喜树(*Camptotheca acuminata* Decne)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*

### 1.4 数据分析

数据首先按统计学的方法,剔除异常值,把分布于平均值±3 倍标准差之外的异常数值去除,然后用 Excel 2003 软件统计整理,对各指标数据结果汇总绘制成总数据表,用 SPSS 16.0 软件进行相关性分析。

(Thunb.) Oerst),尾尖叶桉(*Eurya acuminata* DC.)则存在零星分布。4 号人工林地雪松(*Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don)较为密集,林地密闭度高,2 株乔木龙爪槐(*Sophora japonica* Linn. var. *japonica* f. *pendula* Hort.)应为自然生长树种。1 号样方密闭度较高,达到了 93%,优势树种为枫香,灌木层零星分布着青冈与油桐(*Vernicia fordii* (Hemsl.) Airy Shaw),草本层仅零星分布着肾蕨(*Nephrolepis auriculata* (L.) Trimen)与贯众(*Cyrtomium fortunei* J. Sm.)。2 号样方密闭度达 78%,优势树种为马尾松,灌木层物种主要为油茶(*Camellia oleifera* Abel.)与草本层物种肾蕨相间分布,二者盖度达 70%以上。3 号样方密闭度为 62%,喜树为优势树种。5 号样

表 3

黔北发电厂周边林地乔木层植物群落概况

Table 3

Plant community survey of tree layer in the forest of the power plant

样方编号 Quadrat number	植物类型 Plant type	拉丁文名称 Latin name	株数 Plant number	密闭度 Sealing degree	平均株高 Average plant height/m	平均胸径 Average diameter of breast height/cm
1#	枫香	<i>Liquidambar formosana</i> Hance	6	93	9.90	22.48
	白杨	<i>Populus tomentosa</i> Carrière	1		18.40	22.93
	尾尖叶桉	<i>Eurya acuminata</i> DC.	1		13.50	17.90
2#	马尾松	<i>Pinus massoniana</i> Lamb.	14	78	16.29	17.80
	尾尖叶桉	<i>Eurya acuminata</i> DC.	4		6.13	8.61
	青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst	1		8.20	6.78
3#	白杨	<i>Populus tomentosa</i> Carr	2	62	7.40	9.10
	侧柏	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	6		3.80	5.50
	柳杉	<i>Cryptomeria fortunei</i> Hooibrenk ex Otto et Dietr	7		4.00	6.10
	喜树	<i>Camptotheca acuminata</i> Decne	17		6.70	7.40
4#	雪松	<i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don	22	90	9.20	12.50
	龙爪槐	<i>Sophora japonica</i> Linn. var. <i>japonica</i> f. <i>pendula</i> Hort.	1		4.20	12.50
5#	马尾松	<i>Pinus massoniana</i> Lamb.	4	20	13.40	39.10
6#	马尾松	<i>Pinus massoniana</i> Lamb.	4	55	15.70	33.90
	枫香	<i>Liquidambar formosana</i> Hance	1		11.90	10.60
	青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst	37		4.80	7.50
7#	侧柏	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco	31	34	3.30	3.70

表 4

黔北发电厂周边林地灌木层植物群落概况

Table 4

Plant community of shrub layer in the surrounding forest land of power plant

样方编号 Quadrat number	植物类型 Plant type	拉丁文名称 Latin name	盖度 Coverage/ %	平均株高 Average plant height/m
1 #	青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst.	3	0.91
	油桐	<i>Vernicia fordii</i> (Hemsl.) Airy Shaw	3	0.86
2 #	油茶	<i>Camellia oleifera</i> Abel.	12	0.68
3 #	悬钩子	<i>Rubus corchorifolius</i> L. f.	2	0.49
	荚蒾	<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb.	5	0.15
4 #	野花椒	<i>Zanthoxylum simulans</i> Hance.	3.0	1.16
	棕榈	<i>Trachycarpus fortunei</i> (Hook.) H. Wendl.	4.0	0.93
5 #	青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst.	32.0	0.93
	构树	<i>Broussonetia papyrifera</i> (Linn.) L'Hér. ex Vent.	5.6	1.47
	香花崖豆藤	<i>Millettia dielsiana</i> Harms	3.2	0.30
	毛桐	<i>Mallotus barbatus</i> (Wall. ex Baill.) Muell.-Arg.	5.8	0.30
6 #	无	—	—	—
	火棘	<i>Pyracantha fortuneana</i> (Maxim.) Li		
7 #	荚蒾	<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb.	7.0	1.19
	小叶女贞	<i>Ligustrum quihoui</i> Carr.	12	1.43

方乔木层仅有 4 株马尾松(另有 2 株马尾松因已死亡故未进行记录),该样方灌木层与草本层长势较好,二者盖度和在 80%以上。6 号样方海拔最高,接近坡顶,为青冈林地,零星分布马尾松,由于青冈树分布密集,灌木层物种分布较少,但草本层肾蕨长势较好,盖度达 28%。7 号样方主要为侧柏林,灌木层有荚蒾(*Viburnum dilatatum* Thunb.)、火棘(*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li)与小叶女贞(*Ligustrum quihoui* Carr.),该样方乔木层树种(侧柏)个体数较多,但个体高度不大,林分密闭度不高。草本层茅草(*Imperata cylindrica* Linn. Beauv.)长势较好,零星分布着野烟(*Lobelia seguinii* Levl. et Vant.)与青蒿(*Artemisia carvifolia* Buch.-Ham. ex Roxb.)等植物。

## 2.2 碳、氮、磷营养元素情况

由表 5 可以看出,所有样方的表层土壤 pH 皆在 7 左右,但林地土壤皆偏弱碱性,而林外耕地土壤则偏弱酸性,从平均值看,从林中到林外具有降低的趋势。但无论林中、林边还是林外,变异度非常低(变异系数 $\leq 2\%$ )。林中表层土壤全氮含量在  $1.32\sim 2.62\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,变异系数为 23.79%。林边表层土壤全氮含量在  $0.58\sim 2.95\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,变异系数为 42.90%。林外耕地土全氮含量在  $0.76\sim 1.98\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,变异系数为 36.94%。显然林地表层土壤全氮含量高于林外耕地表层土全氮含量,同时从林中至林外表层土壤全氮含量变异系数具有增大趋势。土壤水解氮在 3 号样方为  $78.08\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,远小于其它样方土壤水解氮。从平均值看,土壤水解氮呈现林中>林外>林边的规律。样方间差异性相对其它指标较小,林中、林边与林外变异系数皆小于 35%。

林中表层土总磷含量皆大于  $0.353\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,变异系数为 14.65%,林边与林外耕地表层土总磷含量差异性较大,变异系数分别达到了 59.55%和 54.52%。3 号样方林中土壤有机碳显著地低于其它样方林中土壤有机碳,仅为  $13.92\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,而其余样方林中土壤有机碳含量皆大于  $40\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。林外表层土壤有机碳含量变异度最大,变异系数达 116.06%。除 2、3 号样方外,土壤有机碳基本表现为林中大于林边与林外。林外耕地表层土壤有机碳含量少且变异度大。

## 2.3 土壤肥力评价

由表 6 可知,根据黔北发电厂周边林地土壤养分含量状况,结合第二次土壤普查土壤养分分级标准(表 1),参照土壤肥力指标分级标准,对黔北发电厂周边林地的土壤肥力水平进行划分。总的来看,林中土壤肥力水平较高,土壤全氮、碱解氮及有机质肥力等级均为 I 级,林中全氮、碱解氮及有机质肥力水平为极丰富;林边土壤全氮和碱解氮土壤肥力等级均为 II 级,土壤有机质肥力水平为 III 级;林外土壤碱解氮的土壤肥力等级均为 II 级,土壤全氮和土壤有机质土壤肥力水平为 III 级,而全磷含量较低,除 6 号林边样方为 II 级别,其它样方都为 V、IV,土壤全磷是研究区域的养分限制因子。从林中、林边及林外各样方土壤肥力等级来看,肥力水平变化差异较大,其中 1 号样方林边、5 号和 6 号林外土壤有机质肥力水平为缺乏。整体来说,黔北发电厂周边林地土壤肥力优良,大部分处于丰富水平。尽管黔北发电厂周边林地土壤肥力水平均是优良水平,但应加强发电厂对周边林地土壤影响的研究,采取相应的管理措施<sup>[13]</sup>。

表 5 表层土壤样品中 pH 与土壤主要养分特征

Table 5 Characteristics of pH and main nutrient in surface soil samples

研究区域 Study area	pH	全氮 Total nitrogen /(g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen /(mg · kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total phosphorus /(g · kg <sup>-1</sup> )	有机碳 Organic carbon /(g · kg <sup>-1</sup> )	C/N	C/P	N/P
1#林中	7.15	2.62	151.47	0.38	43.15	16.47	113.55	6.89
2#林中	7.45	2.47	134.50	0.50	63.16	25.57	126.32	4.94
3#林中	7.14	1.74	78.08	0.48	13.92	8.00	29.00	3.63
4#林中	7.06	1.44	77.23	0.42	53.17	36.92	126.60	3.43
5#林中	7.32	1.32	152.93	0.40	54.64	41.39	136.60	3.30
6#林中	7.15	2.39	192.83	0.51	87.07	36.43	170.73	4.69
7#林中	7.06	2.45	192.08	0.37	42.61	17.39	115.16	6.62
平均值	7.21	2.17	150.32	0.44	50.76	24.21	115.36	4.93
变异系数/%	2.00	23.79	28.27	14.65	48.01	52.76		
1#林边	7.12	0.58	102.25	0.30	9.96	17.17	33.20	1.93
2#林边	7.22	2.95	135.12	0.50	29.43	9.98	58.86	5.90
3#林边	7.15	1.75	110.86	0.51	15.60	8.91	30.59	3.43
4#林边	7.11	1.56	106.22	0.40	48.65	31.18	121.63	3.90
5#林边	7.18	1.52	116.37	0.25	19.64	12.92	78.56	6.08
6#林边	7.01	2.16	123.18	0.82	48.00	22.22	58.54	2.63
7#林边	7.10	1.95	177.97	0.11	18.15	9.31	165.00	17.73
平均值	7.13	1.82	127.63	0.42	23.46	13.42	55.86	4.33
变异系数/%	1.02	42.90	21.21	59.88	57.96	39.55		
1#林外	6.83	1.91	209.37	0.29	13.73	7.19	47.34	6.59
2#林外	6.57	1.21	119.48	0.35	77.63	64.16	221.80	3.46
3#林外	6.59	1.24	102.39	0.35	11.76	9.48	33.60	3.54
4#林外	6.51	1.07	97.24	0.33	13.22	12.36	40.06	3.24
5#林外	6.75	0.97	113.56	0.15	7.62	7.86	50.80	6.47
6#林外	6.66	0.76	94.61	0.05	9.91	13.04	198.20	15.20
7#林外	6.85	1.98	135.81	0.47	18.54	9.36	39.45	4.21
平均值	6.71	1.35	129.20	0.28	23.20	18.52	82.86	4.82
变异系数/%	1.79	36.94	32.33	54.52	116.06	121.27		

表 6 黔北发电厂周边林地土壤肥力评价

Table 6 Evaluation on soil fertility of forest land in power plant

研究区域 Study area	样方编号 Quadrat number	全氮 Total nitrogen	碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	全磷 Total phosphorus	有机质 Organic matter
林中	1#林中	I	I	V	I
	2#林中	I	II	IV	I
	3#林中	II	IV	IV	IV
	4#林中	III	IV	IV	I
	5#林中	III	I	IV	I
	6#林中	I	I	IV	I
	7#林中	I	I	V	I
	平均值	I	I	IV	I
林边	1#林边	IV	III	V	V
	2#林边	I	III	IV	III
	3#林边	II	III	IV	IV
	4#林边	II	III	IV	I
	5#林边	II	III	V	IV
	6#林边	I	II	II	I
	7#林边	II	I	VI	IV
	平均值	II	II	IV	III
林外	1#林外	II	I	V	IV
	2#林外	III	III	V	I
	3#林外	III	III	V	IV
	4#林外	III	III	V	IV
	5#林外	IV	III	VI	V
	6#林外	IV	III	VI	V
	7#林外	II	II	IV	IV
	平均值	III	II	V	III

### 3 讨论

#### 3.1 森林群落结构

研究区域为宽槽谷形地貌,主要风向为东风,东北风、西风与北风次之。根据前期对黔北发电厂周边耕地土壤重金属污染的调查,黔北发电厂对周边环境的污染主要集中在西北面,西面次之,然后是西南面,课题组初步认为黔北发电厂对周边环境的污染主要受风向与地形两大因素。东北风虽然较多,但受到南面山脉的阻隔,形成反射作用,故而西北区域受到的污染反而大于西南区域。

该研究中 1、2、3 号样方受人类活动干扰较弱,且不受牛羊等牲畜干扰。乔木层林分密闭度相对较高,且树种多样性与长势皆良好。由于这些样方分布于电厂东南面与西北面,受电厂的污染应当较小。4 号样方为人工林地,雪松排列整齐密集,乔木层林分密闭度极高,达 90%以上,由于该样方处于城中,人类活动强度非常高,灌木层仅有零星分布。由于人类足迹的践踏,草本层几乎为零。5 号样方地处南面山脉岔口处,东北风吹过,受到山脉岔口处阻碍与反射,转向形成西南风。5 号样方面对西南,受到影响较为严重。山下居民(山脉南面)证实,虽然与黔北发电厂有大山阻隔,但明显能感到了空气气味在电厂建成运营前后的变化。如前所述,样方内 2 株马尾松已经死亡,而且样方外有 7 株马尾松死亡,多株处于病态。但 5 号样方灌木长势良好,特别是青冈,盖度高达 32%。6 号样方皆处于山脉南面,地处山中上部,接近坡顶,高大乔木较少,有马尾松 4 株,但青冈株树较多,长势良好。7 号样方位于山脉北面,海拔在所调研样方中较低,自然林地中最接近金沙县城。基于地形与风向,是受电厂污染较为严重区域之一。该样方无阔叶乔木树种,侧柏、灌木及茅草类长势良好。

#### 3.2 土壤碳氮养分状况

所有样方中,3 号样方土壤中全氮、碱解氮与有机质含量皆最低。结合生物群落状况与样方情况,研究组认为该现象的发生,主要受 4 个因素影响。

1)坡度:3 号林地坡度达到 57°,降雨时,土层对溶解性元素与溶解性有机质的保持力较弱,营养元素与有机质流失较为严重。如 1 号与 2 号样方地理背景极为相似,但 2 号样方坡度大于 1 号,2 号样方全氮、碱解氮皆小于 1 号样方,但 2 号样方有机质却大于 1 号样方,这可能还与其它因素相关。2)土壤质地:3 号样方与 7 号样方土壤皆为砂土,7 号样方表层土全氮、碱解氮较高,但有机质含量却较低。3)群落结构:3 号林地中群落结构最为完整,乔木层、灌木层与草本层长势皆好。生物生长对营养物质与元素的摄取也是影响土壤物质的主要因素之一。5 号样方,全氮虽然偏低,但碱解氮却偏高。土壤水解性氮能反映土壤近期内氮素供应情况,包括无机态氮(铵态氮、硝态氮)及易水解的有机态氮(氨基酸、酰胺和易水解蛋白质)。初步推测,该地区土壤氮素总量是不贫乏的,能够满足林地生长需求。4)补给:主要是林地因枯枝落叶经土壤分解者的降解向土壤的输入。如 5 号样方,虽然乔木层受电厂的影响,有萎缩的现象,但灌木层与草本层长势良好,因灌木层与草本层的输入是可观的。综合分析,林地表层土物质全氮、碱解氮与有机质含量的高低,主要受坡度、土壤质地、群落结构与补给的综合作用的结果。林边与林外表层土碱解氮都相对稳定,进一步证明该地区土壤氮素总量是不贫乏的,能够满足林地生长需求。即表层土碱解氮的含量主要取决于土壤微环境与植物生长的需要。

#### 3.3 土壤中碳、氮、磷的相关性分析

对黔北电厂周边林地土壤碳、氮、磷及其化学计量特征之间的相关性进行分析(表 7),可知,土壤中 C 含量与 C/N 呈显著正相关;N 含量与 P 含量呈显著正相关;P 含量与 C/P 和 N/P 呈极显著负相关,C/P 与 N/P 呈显著正相关;说明全氮与全磷具有相反的同源相关性,即土壤全氮含量随全磷含量的增高而降低。影响土壤中 C/N、C/P、N/P 比值的因素有很多,电厂的建设加剧了人为活动对土壤干扰,由于电厂煤灰中的营养物质以可溶形式淋失到土壤下

表 7

土壤中碳、氮、磷相关性分析

Table 7

Correlation analysis of carbon,nitrogen and phosphorus in soil

	C	N	P	C/N	C/P	N/P
C	1					
N	0.31	1				
P	0.23	-0.79*	1			
C/N	0.79**	-0.32	0.42	1		
C/P	-0.32	0.27	-0.76**	0.62	1	
N/P	-0.03	-0.05	-0.84**	-0.26	0.69**	1

注: \*\* 表示相关统计量检验达到显著水平( $P < 0.01$ ); \* 表示相关统计量检验达到显著水平( $P < 0.05$ )。

Note: \*\* means correlation is significant ( $P < 0.01$ ); \* means correlation is significant ( $P < 0.05$ ).

层同时增加了土壤碳、氮、磷含量的影响<sup>[14]</sup>,导致C/P、N/P、C/N比值差异较大。以此同时,土壤C/P、N/P、C/N比也受区域水热条件和成土作用特征影响较大,由于气候、地貌、植被、母岩、年代、土壤动物等土壤形成因子和人类活动的协调影响<sup>[15]</sup>,土壤碳氮磷总量变化很大,使得土壤的空间变异性较大。从而影响土壤与生物的形成,二者间的相互作用可对土壤养分的分布产生影响<sup>[16]</sup>。

#### 4 结论

该研究结果表明,黔北发电厂周边群落分布不同,其中乔木层树种 10 种,其中优势树种为枫香、马尾松、喜树,不同乔木林密闭度为 34~93,平均胸径为 3.7~39.1 cm,平均株高为 3.3~18.4 m。灌木层物种 11 种,盖度 3%~32%,平均株高为 0.30~1.47 m。黔北发电厂周边林地土壤肥力水平较高,土壤全氮、碱解氮及有机质土壤肥力等级均为 I 级,林中全氮、碱解氮及有机质肥力水平为极丰富,而全磷含量较低,全磷是土壤养分的主要限制因子。土壤碳、氮、磷及其化学计量特征之间的相关性表现为,土壤中 C 含量与 C/N 呈显著正相关;N 含量与 P 含量呈显著正相关;P 含量与 C/P 和 N/P 呈极显著负相关,C/P 与 N/P 呈显著正相关。

#### 参考文献

- [1] 王友保,张莉,刘登义.灰渣场土壤酶活性与植被和土壤化学性质的关系[J].应用生态学报,2003,14(1):110-112.
- [2] 陈德放,李其萍,王凤玲,等.火力发电厂的排灰场对土壤及浅层地下水的影响研究[J].中国环境监测,1997,13(3):33-36.

- [3] 田秀君,李进,李志军,等.火力发电厂废水处理的现状与展望[J].环境污染治理技术与设备,2005,6(3):1-4.
- [4] 陈德放.火力发电厂灰场对土壤及浅层地下水的影响研究[J].能源研究与信息,2001,17(2):106-112.
- [5] 王友保,张莉,刘登义.火力发电厂灰渣场地理化性质对植物生长的影响[J].农村生态环境,2002,18(4):27-30.
- [6] 王仕,王家琴,陆家环,等.贵州省金沙县土壤养分空间变异性研究[J].农业与技术,2012,32(9):191-192.
- [7] 高三平,李俊祥,徐明策,等.天童常绿阔叶林不同演替阶段常见种叶片 N、P 化学计量学特征[J].生态学报,2007,27(3):947-952.
- [8] 任书杰,于贵瑞,陶波,等.中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究[J].环境科学,2007,28(12):2665-2673.
- [9] 张丽霞,白永飞,韩兴国.内蒙古典型草原生态系统中 N 素添加对羊草和黄囊苔草 N、P 化学计量学特征的影响[J].植物学报,2004,46(3):259-270.
- [10] 郭正刚,刘慧霞,王根绪,等.人类工程对青藏高原北部草地群落 β 多样性的影响[J].生态学报,2004,24(2):384-388.
- [11] 南京农业大学.土壤农化分析[M].北京:农业出版社,1986.
- [12] 张珍明,黄冬福,张家春,等.梵净山冷杉与珙桐产地土壤碳、氮、磷分布特征[J].北方园艺,2016(6):163-168.
- [13] 维明伟,毛亮,李倩倩.青藏高原筑路取土迹地恢复植物群落与土壤的碳氮磷化学计量特征研究[J].生态学报,2015,35(23):7832-7841.
- [14] 张珍明,林绍霞,张清海,等.不同土地利用方式下草海高原湿地土壤碳、氮、磷分布特征[J].水土保持学报,2013,27(6):200-206.
- [15] 张珍明,贺红早,张家春,等.接种外生菌根菌对无籽刺梨生长和碳、氮、磷分布的影响[J].北方园艺,2016(4):151-154.
- [16] 李亚红,周箴,赵小芳,等.天津大港发电厂附近海域浮游植物群落结构及与环境因子的相关性[J].安全与环境学报,2015(5):367-373.

## Phytocoenose and Soil Nutrient Around Coal-Fired Power Plant in Mountainous Area

HUANG Xianfei<sup>1</sup>, ZHANG Ximin<sup>2</sup>, AO Guofu<sup>3</sup>, QIN Fanxin<sup>1</sup>, ZHANG Zhenming<sup>4</sup>

(1. Guizhou Provincial Key Laboratory of Information System of Mountainous Areas and Protection of Ecological Environment, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001; 2. College of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001; 3. College of Agriculture, Anshun University, Guiyang, Guizhou 561000; 4. Guizhou Institute of Biology, Guiyang, Guizhou 550009)

**Abstract:** The effect of coal-fired plant on organic matter, nitrogen and phosphorus in forest soils in mountainous areas, plant community structure in seven forestry survey plots around the Jinsha coal-fired plant were investigated. Organic carbon, total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen and total phosphorus in surface soil samples collected at centre, edge and outside of forest alnds were analyzed as well. The results showed that the dominant tree species in study region were *Pinus massoniana*, *Platycladus orientalis*, *Cryptomeria fortunei*, *Cedrus deodara*, and *Cyclobalanopsis glauca*. Primary shrubby species were *Rubus corchorifolius*, *Viburnum* Linn., *Zanthoxylum simulans*, *Millettia nitida*, and *Pyracantha fortuneana*. Herbaceous plants were *Nephrolepis cordifolia*, *Imperata cylindrica* and *Acroptilon repens*. The soil fertility level was higher in the surrounding forest soils of power plant. The level of soil total nitrogen, soil phosphorus and organic matter met

# 不同炭化条件对黑沙蒿生物炭保水性能的影响

姚俊卿<sup>1,2,3,4</sup>, 侯建伟<sup>1,2,3,4</sup>, 索全义<sup>5</sup>, 段玉<sup>1,2,3,4</sup>, 张君<sup>1,2,3,4</sup>, 景宇鹏<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 内蒙古农牧业科学院 资源环境与检测技术研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 内蒙古旱作农业重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010031; 3. 农业部内蒙古耕地保育科学观测实验站, 内蒙古 呼和浩特 011705; 4. 农业部武川农业环境科学观测实验站, 内蒙古 呼和浩特 011705; 5. 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:**生物炭具有丰富的孔隙结构和巨大的比表面积, 是一种良好的保水材料。为探究沙蒿生物炭保水效果对炭化条件的响应, 设置不同的炭化温度、炭化时间和升温速率 3 个炭化条件, 对沙蒿进行无氧炭化, 研究各种生物炭的吸水和保水效果。结果表明: 生物炭和沙蒿的吸水率均较高, 分别为  $4\,246.6 \sim 4\,803.3\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $5\,340.3\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ;  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  的生物炭在去离子水中的保水能力相对较强, 其拟合曲线的决定系数为  $0.963\,4 \sim 0.986\,2$ , 且炭化  $60\text{ min}$  时最大, 为  $0.986\,2$ , 沙蒿最小, 为  $0.938\,1$ ; 在沙土中的蒸发速率分别为自然沙的  $0.955 \sim 0.996$  倍和  $0.996$  倍,  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  炭化  $60\text{ min}$  时最小, 炭化  $5\text{ min}$  时最大。而升温速率在生物炭的吸水和保水效果中不起决定作用。因此, 生物炭的保水性能主要取决于炭化温度和时间, 其吸水和保水性能不具有致性, 而在去离子水和沙土中的保水性能具有一致性;  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  炭化  $60\text{ min}$  的生物炭是提高沙土保水性能的最优选择。

**关键词:**沙蒿; 生物炭; 炭化条件; 吸水率; 保水性能

**中图分类号:**S 152.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)06-0171-06

土壤孔隙的连通性及分布决定着土壤的持水性, 此外, 土壤有机质、土壤结构特征和粒径等也对其有显著影响<sup>[1]</sup>。生物炭因自身巨大的比表面积, 施入土壤后同样也增加了土壤的比表面积, 从而提高了土壤的持水力, 对土壤微生物群落的繁衍及土壤整体的吸附能力都有利, 导致土壤的保水性能得

以提高<sup>[2]</sup>。TRYON<sup>[3]</sup>研究表明, 不同质地的土壤有效水对生物炭的响应差异巨大。认为生物炭可显著提高沙土的有效水(约增加  $18\%$ ), 不会显著影响壤土的有效水, 而降低了黏质土壤的有效水。生物炭对土壤持水性能的影响因土壤质地和生物炭类型等因素的不同而有差异<sup>[4-5]</sup>, 也是目前研究中比较集中的内容。

生物炭的特性由原料和制备条件所决定。目前, 研究制备生物炭的原料主要包括阔叶树、牧草、树皮、作物残余物(如稻草、坚果壳和稻壳)、柳枝梭、有机废物(如酒糟、甘蔗渣、橄榄废物、鸡粪、牛粪、剩余污泥和纸浆)等<sup>[6]</sup>, 而对沙地特殊生境下的沙蒿作为制取生物炭材料的研究和对不同制备条件下生物炭的保水效果的研究较少。该研究以沙蒿为试验材

**第一作者简介:**姚俊卿(1958-), 男, 农艺师, 现主要从事育种和耕作栽培等研究工作。E-mail: yaojunqing2012@163.com.

**责任作者:**侯建伟(1986-), 男, 博士, 助理研究员, 现主要从事植物营养与施肥等研究工作。E-mail: hjw19860627@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31260502); 公益性行业(农业)科研专项资助项目(201503120)。

**收稿日期:**2016-12-05

the grade I level, and the main limiting factor of soil nutrients was total phosphorus. Different correlations were observed among soil carbon, nitrogen, phosphorus and their stoichiometric characteristics, and there was an opposite relationship between the total nitrogen and total phosphorus. Soil total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen and organic matter contents were mainly influenced by slope gradient, soil texture, plant community structure and exogenous input.

**Keywords:** coal-fired power; plant community structure; ecology; soil nutrients