

新疆煤田灭火区植被恢复无土基质配比试验研究

——以乌鲁木齐松树头煤矿为例

于洋¹, 郭树芳¹, 师庆东^{1,2*}, 蔡忠勇³, 魏军³, 陈龙³ (1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆绿洲生态教育部重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 3. 新疆煤炭灭火工程局, 新疆乌鲁木齐 830046)

摘要 以乌鲁木齐松树头煤矿为研究对象, 采用无土基质配比方法, 针对研究区土壤特点, 选取选用粘合剂(A)、保水剂(B)、复合肥(C)和秸秆(D)为试验因素, 进行无交互作用的正交试验, 并对结果进行极差、方差分析影响。结果表明, 粘合剂对植物高度、盖度均有显著影响, 复合肥对植物盖度有极显著影响, 同时也是生物量指标的主要影响因子。各因素主次顺序为 C(复合肥) > B(保水剂) > A(粘合剂) > D(秸秆)。基质最优配比为 A₂B₁C₁D₁, 即当粘合剂用量为 16 g/m², 保水剂为 5 g/m², 复合肥为 30 g/m², 秸秆为 90 g/m² 时, 可获得最佳的植被恢复效果。

关键词 无土基质; 正交试验; 植被恢复; 煤田灭火区; 干旱区

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)24-10092-03

Experimental Study on Vegetation Restoration Soilless Matrix in Xinjiang Coal Field Fire-fighting Area——Taking Urumqi Songshutou Coal as an Example

YU Yang et al (College of Resources and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

Abstract With Songshutou coal field in Urumqi as the study object, using soilless matrix ratio method, selecting bonding agent(A), water retaining agent(B), compound fertilizer(C) and straw (D) as test factors, orthogonal test without interaction was conducted, and the range and variance analysis were carried out based on the result. The results showed that bonding agent had significant effects on plant height and cover degree, while compound fertilizer had extremely significant effects on plant cover degree. The order of factors was C (compound fertilizer) > B (water retaining agent) > A (bonding agent) > D (straw). The optimum matrix scheme was A₂B₁C₁D₁, that is, the optimal vegetation restoration effect can be obtained under the conditions of bonding agent 16 g/m², water retaining agent 5 g/m², compound fertilizer 30 g/m², and straw 90 g/m².

Key words Soilless matrix; Orthogonal test; Vegetation restoration; Field fire-fighting area; Arid area

新疆是煤炭资源分布大省, 煤田火灾也非常严重。2009年完成的新疆第三次火区普查结果显示, 新疆还有 49 处煤田火灾区, 面积达 992 万 m²^[1], 多数火区已呈荒漠化和半荒漠化的状态^[2], 造成了大面积土地资源浪费和生态环境的恶化。煤火燃烧造成的大气污染及动植物栖息地的破坏, 对新疆自然、社会和经济系统均造成了严重的危害。多年来, 新疆对煤田火区的研究主要集中在自燃机理、自燃条件、火区探测技术以及防灭火技术等方面, 对火区环境效应研究多限于定性分析^[3-8]。由于对生态修复技术了解和应用得较少, 火灾治理后, 黄土覆盖层常常受到雨水的冲刷, 从而降低了灭火效果。

植物恢复是生态恢复中常用的方法, 也是改善灭火区生态环境现状的关键方法。但由于灭火区煤火燃烧, 土壤有机质下降, 而灭火后覆盖土多为生土, 多石块, 植物很难生长, 因此, 基质优化配置成为提高植被修复效率的有效途径。对于植被种植基质的配置大多是由经验确定的推荐值, 对基质配比研究较少^[7,9-10]。郭树芳等通过正交试验对乌鲁木齐煤田火区混土条件下的基质配比进行了优化, 得到了适应当地的最优配比^[5]。但混土基质添加的腐殖土就近取自植被覆盖区, 对环境扰动较大, 尤其是大规模种植, 往往会造成二次

生态破坏。相对于混土基质改良方案, 无土基质改良具有成本低、操作简单、不造成二次生态破坏等优点。笔者以乌鲁木齐松树头煤矿为研究对象, 就如何优化无土基质配比进行了研究, 以期为灭火区的生态修复工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于乌鲁木齐市南郊水西沟乡松树头灭火区, 地理坐标为 87°25'47" ~ 87°26'30" E, 43°19'26" ~ 43°20' N。研究区位于天山北坡中段, 高度差约 50 m, 高程 2 392 ~ 2 548 m, 地形坡度平均为 10°。研究区属大陆性干旱气候, 区域全年最低气温出现在 1 ~ 2 月, 月均气温 -15.95 ~ 9.59 °C。全年最高气温出现在 7 ~ 8 月, 月均气温 23.1 ~ 25.8 °C, 昼夜温差 10 °C 以上。风速较弱, 一般为 1.57 ~ 3.49 m/s。相对湿度为 42.02% ~ 65.75%。火区表层土为灭火后覆盖的生土, 土质疏松, 多石块, 养分低下, 受水蚀作用明显, 多有冲沟, 植被很难生长, 其土壤特点在新疆煤矿灭火区是有一定的代表性。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计。 采用正交试验法, 针对研究区土壤养分低下、易冲淋的特点, 选取粘合剂(A)、保水剂(B)、复合肥(C)和秸秆(D)作为试验因素(考虑到不破坏周边环境, 未选择周边草甸草原的腐殖土作为基质, 从而选择了无混土的基质配比), 各因素设置 3 个水平, 选用 L₉(3⁴) 正交表安排无交互作用的正交试验(表 1), 样方大小 1 m × 1 m。由北京金元易生态工程技术中心提供旱宝贝粘合剂 PAM - A30 及保水剂 3005KCE, 复合肥由新疆农科院土壤肥料研究所与新疆新型肥料研究中心研制, 肥力参数为 N + P₂O₅ + K₂O ≥ 30%, 含

基金项目 新疆维吾尔自治区科技计划项目(201033122)。

作者简介 于洋(1987 -), 男, 新疆呼图壁人, 硕士研究生, 研究方向: 干旱区生态修复, E-mail: yyhs1314@126.com。* 通讯作者, 教授, 硕士生导师, 从事景观生态学以及生态修复方面的研究, E-mail: shiqingdong@126.com。

收稿日期 2013-07-17

3%~4% 硫酸锌、硫酸锰、硼砂等微量元素。

表 1 乌鲁木齐松树头煤田灭火区无土营养基质配比正交试验方案 g/m^2

水平	因素			
	粘合剂 A	保水剂 B	复合肥 C	秸秆 D
1	6	5	30	90
2	16	15	50	120
3	26	25	70	160

1.2.2 试验过程及样方调查方法。

1.2.2.1 基质配比与铺设。先将除粘合剂外的材料混合,加水并搅拌,然后加入粘合剂,搅拌 10 min,直至形成均匀泥浆状后进行人工铺设,铺设厚度均匀,表面平整。

1.2.2.2 植被生长指标调查。选取密度、盖度和高度作为植被生长指标,对每个样方的密度、盖度和高度进行调查^[11]。密度:对一定面积样方内植被的个体数记数,通常测量面积为 50~100 cm^2 。高度:在样方中随机取 10 株植物个体,用尺抽样度量法量取个体高度,然后取平均值。盖度:在样方中放置测量架,计数样方中植物在每个方格中所占的比例,统计每格观测值后,用百分数表示样方盖度值。

1.2.2.3 生物量测定^[9,12]。地下生物量的测定采用土钻法,取样后用水冲洗去除杂质,烘干后称重。地上生物量的测定采用全割法,先贴地面用剪刀剪取样方(1 m×1 m)中所有植物的地上部分,装入塑料袋密封,在室内称鲜重;然后将植物倒入托盘,混合均匀,全部称重后置于烘箱,在 60~80 $^{\circ}C$ 下烘至恒重,记录数据后计算样方地上生物量,单位为 g/m^2 。总生物量为地上干重和地下干重之和。

2 结果与分析

2.1 植被生长指标极差分析 采用极差分析法对数据进行处理, K_i ($i=1,2,3$) 代表在第 i 个水平时所对应的指标之和; \bar{k}_i 为 K_i 的平均值。指标以较大为优,选取使各因子的 K_1 、 K_2 、 K_3 或 \bar{k}_1 、 \bar{k}_2 、 \bar{k}_3 为最大,即为直观最优配比。 R 为极差。对植被密度、高度、盖度及生物量进行极差分析,筛选各指标的较优组合以及各因素对指标的影响(表 2~4)。经极差分析得出,密度最优水平配比为 $A_1B_1C_1D_2$, $R_A=44$, $R_B=40$, $R_C=45$, $R_D=31$, 各因素影响的主次顺序为 C (复合肥) $> A$ (粘合剂) $> B$ (保水剂) $> D$ (秸秆); 高度最优水平配比为 $A_3B_1C_1D_3$, $R_A=2.32$, $R_B=0.46$, $R_C=1.32$, $R_D=1.23$, 各因素影响的主次顺序为 $A > C > D > B$ 。盖度最优水平配比为 $A_1B_1C_1D_1$, $R_A=7.40$, $R_B=6.07$, $R_C=9.53$, $R_D=0.93$, 各因素影响的主次顺序为 $C > A > B > D$ 。地上鲜重最优水平配比为 $A_2B_1C_1D_1$, $R_A=17.34$, $R_B=15.06$, $R_C=16.86$, $R_D=11.55$, 各因素影响的主次顺序为 $A > C > B > D$ 。地上干重最优水平配比为 $A_2B_1C_1D_1$, $R_A=4.79$, $R_B=3.83$, $R_C=5.25$, $R_D=2.82$, 各因素影响的主次顺序为 $C > A > B > D$ 。对地下干重而言,最优水平配比为 $A_2B_1C_1D_1$, $R_A=4.88$, $R_B=4.05$, $R_C=6.51$, $R_D=4.41$, 各因素影响的主次顺序为 $C > A > D > B$ 。

2.2 植物高度和盖度的方差分析 对高度和盖度进行方差

分析,分析因素对指标影响的显著性(表 5 和 6)。表 5 表明,因素 A(粘合剂)对植物高度影响极显著,对其他指标影响不显著。因素 A 对植物盖度影响显著,因素 C(复合肥)对盖度影响极显著,对其他指标影响不显著。各因素对指标影响的结果均与极差分析一致。

表 2 植物的高度和盖度极差分析

项目	高度				盖度			
	A	B	C	D	A	B	C	D
K_1	14.39	19.54	20.95	16.52	53.80	50.40	53.80	43.60
K_2	20.94	18.97	18.74	19.95	42.40	45.20	48.80	43.40
K_3	21.35	18.17	16.99	20.21	31.60	32.20	25.20	40.80
\bar{k}_1	4.80	6.51	6.98	5.51	17.93	16.80	17.93	14.53
\bar{k}_2	6.98	6.32	6.25	6.65	14.13	15.07	16.27	14.47
\bar{k}_3	7.12	6.06	5.66	6.74	10.53	10.73	8.40	13.60
R	2.32	0.46	1.32	1.23	7.40	6.07	9.53	0.93

表 3 地下干重和密度极差分析

项目	地下干重				密度			
	A	B	C	D	A	B	C	D
K_1	21.37	23.82	28.88	27.18	379	379	366	264
K_2	24.26	19.75	17.00	13.94	300	287	328	356
K_3	9.62	11.68	9.36	14.12	246	259	231	305
\bar{k}_1	7.12	7.94	9.63	9.06	126	126	122	88
\bar{k}_2	8.09	6.58	5.67	4.65	100	96	109	119
\bar{k}_3	3.21	3.89	3.12	4.71	82	86	77	102
R	4.88	4.05	6.51	4.41	44	40	45	31

表 4 地上鲜重和地上干重极差分析

项目	地上鲜重				地上干重			
	A	B	C	D	A	B	C	D
K_1	70.13	84.77	91.89	79.77	20.03	24.07	26.99	22.49
K_2	83.51	60.76	51.92	60.24	23.84	16.66	15.09	16.79
K_3	31.49	39.59	41.31	45.12	9.45	12.58	11.23	14.04
\bar{k}_1	23.38	28.26	30.63	26.59	6.68	8.02	9.00	7.50
\bar{k}_2	27.84	20.25	17.31	20.08	7.95	5.55	5.03	5.60
\bar{k}_3	10.50	13.20	13.77	15.04	3.15	4.19	3.74	4.68
R	17.34	15.06	16.86	11.55	4.79	3.83	5.25	2.82

表 5 植物高度的方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	均方和	F 值	显著性	临界值
因素 A	32.19	2	16.09	11.69	极显著	$F_{0.05}=3.55$ $F_{0.01}=6.01$
因素 B	0.81	2	0.40	0.29	不显著	
因素 C	6.17	2	3.08	2.24	不显著	
因素 D	7.41	2	3.70	2.69	不显著	
误差	24.78	18	1.38			
总和	71.35	26				

表 6 植物盖度的方差分析

方差来源	偏差平方和	自由度	均方和	F 值	显著性	临界值
因素 A	410.80	2	205.40	4.55	显著	$3.23 < F_{0.05} < 3.32$ $5.18 < F_{0.01} < 5.39$
因素 B	292.93	2	146.47	3.25	不显著	
因素 C	777.73	2	388.87	8.62	极显著	
因素 D	8.13	2	4.07	0.09	不显著	
误差	1 623.60	36	45.10			
总和	3 113.20	44				

2.3 排队评分法确定最优配比 就密度指标而言,密度越大越好,1号试验密度平均值最大,排在第一,给10.0分;9号试验最小,排在最后,给1.0分(表7)。对其他试验各指标得分,按其与该指标优秀值的差异,依比例分别打分,将每个指标的得分相加,得到每个试验的综合评分(表7)。最后,对评分结果进行极差分析(表8)。由表7可知,2号试验综合评分最高,为56.5分。由极差分析(表8)可知,因素影响的主次顺序为C(复合肥)>B(保水剂)>A(粘合剂)>D(秸秆),最优配比为 $A_2B_1C_1D_1$ 。

表7 无土营养基质配比试验排队评分结果

样方编号	密度	高度	盖度	地上鲜重	地上干重	地下干重	综合评分
1	10.0	2.6	7.2	4.9	4.5	3.1	32.3
2	9.1	7.7	9.8	10.0	10.0	10.0	56.5
3	7.7	9.0	7.0	2.3	2.5	2.3	30.8
4	7.7	1.0	10.0	5.3	5.0	6.3	35.4
5	4.2	7.1	4.2	3.3	3.2	2.9	24.9
6	7.7	10.0	7.3	4.2	4.1	3.8	37.0
7	9.1	4.6	8.3	4.3	4.9	4.5	35.8
8	7.3	7.6	6.2	3.6	3.7	2.8	31.2
9	1.0	4.1	1.0	1.0	1.0	1.0	9.1

表8 无土营养基质配比试验排队评分极差分析

项目	A	B	C	D
\bar{K}_1	103.44	119.63	129.34	101.06
K_2	112.65	97.26	97.40	100.54
K_3	76.97	76.16	66.32	91.46
\bar{k}_1	34.48	39.88	43.11	33.69
\bar{k}_2	37.55	32.42	32.47	33.51
\bar{k}_3	25.66	25.39	22.11	30.49
R	11.89	14.49	21.01	3.20

2.4 混土、无土基质配比方法植被恢复效果对比 该试验基于郭树芳等^[5]的混土试验,试验区与时段基本一致。通过两种试验的对比,来比较混土与无土这两种基质配比方法是比较客观的。取混土与无土基质配比的最佳方案进行对比,无土基质在土壤营养改良效果与部分植被长势指标上较混土基质都有较大差距(表9)。尤其生物量指标两者地上鲜重相差4倍,地上干重相差近10倍,密度、高度与盖度相差不明显。说明两种方法在植被成活率方面相差不大,但植株健壮程度差异明显,混土植被的生长状态明显好于无土植被。这可能是由于混土基质采用羊粪与腐殖土(其他基质成分与该试验相同),基质有机质含量远远高于无土基质,造成两种方法在基质营养结构方面有很大差距。虽然混土基质方案在植被长势方面较无土基质方案有较大优势。但实施过程中需要大量腐殖土,势必对取土区环境造成较大扰动,按铺设厚度20cm计算,平均 1 m^2 需挖取土区 0.5 m^2 面积

上40cm内的表土。如大规模施工,费用很高,且产生的生态影响对取土区是灾难性的。而无土基质方案则不存在上述问题,如能在该研究最佳基质配比基础上,就如何进一步改良土壤营养结构问题进行研究,克服无土条件下植被长势较弱的问题,对煤田灭火区贫瘠土壤条件下的植被恢复工作将具有重要意义。

表9 两种基质配比方法植被恢复效果比较

方案	地上鲜重 g/m ²	地上干重 g/m ²	地下干重 g/m ²	盖度 %	密度 株/m ²	高度 cm
混土	217.94	85.68	113.4	33.6	123	6.52
无土	51.61	14.69	16.3	20.8	128	7.09

3 结论

(1) 适应于试验区植被恢复的基质最优配比为 $A_2B_1C_1D_1$,即粘合剂用量为 16 g/m^2 ,保水剂为 5 g/m^2 ,复合肥为 30 g/m^2 ,麦秆为 90 g/m^2 时,可获得最佳的植被恢复效果。

(2) 基质各因素影响的主次顺序为C(复合肥)>B(保水剂)>A(粘合剂)>D(秸秆),其中复合肥对密度、盖度、地上干重与地下干重均影响显著,粘合剂对高度与地上鲜重有显著影响;其他因素对植被生长指标影响均不显著。

(3) 基质营养水平与保水持肥能力是影响植被恢复效果的主要因素,火区生态修复中的基质配比工作应着重考虑显著因子。对植被生长指标无显著影响的因素,可根据降低成本与工作量的原则,选择任意水平或以当地材料替代。

参考文献

- [1] FINKEMAN R H. Potential Health impacts of burning coal beds and waste banks[J]. Int J of Coal Geol, 2004, 59(1/2): 19-24.
- [2] YEBOAH GYASI-AGYEL. Erosion risk assessment of controlled burning of grasses established on steep slopes[J]. Journal of Hydrology, 2006, 317: 276-290.
- [3] KIM A G. Greenhouse gases generated in underground coal-mine fires [C]//STRACHER G B. Geology of Coal Fires: Case Studies from Around the World. Boulder: The Geological Society of America, 2007: 1-14.
- [4] SKACHER G B, TAYLOR T P. Coal fires burning out of control around the world: Thermodynamic recipe for environmental catastrophe [J]. Int J of Coal Geol, 2004, 59(1): 7-17.
- [5] 郭树芳, 安文明, 张文俊, 等. 乌鲁木齐煤田灭火区混土种植基质配比试验研究[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(2): 80-85.
- [6] 胡社荣, 蒋大成, 李泽光, 等. 煤田煤矿区火灾与环境效应及其防治对策[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 12(1): 21-23.
- [7] 李若愚, 侯明明, 卿华, 等. 矿山废弃地生态恢复研究进展[J]. 矿产保护与利用, 2007(1): 50-54.
- [8] 卢海宁. 保水剂在草坪中的应用研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005: 20-24.
- [9] 王志宏, 李爱国. 矿山废弃地生态恢复基质改良研究[J]. 中国矿业, 2005, 14(3): 22-23, 27.
- [10] 赵默涵. 矿山废弃地土壤基质改良研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(12): 128-131.
- [11] 齐德香. 新疆煤田火灾的危害及其防治[J]. 中国煤炭, 2005, 31(6): 34-36.
- [12] 师尚礼. 草地工作技术指南[M]. 北京: 金盾出版社, 2009: 577-581, 612-623.