

# 废弃矿山挂网喷播土壤理化性质动态变化

司志国<sup>1,2</sup>, 王晓琴<sup>3</sup>, 王维<sup>1</sup>, 俞元春<sup>1</sup>, 李亚丽<sup>4</sup>, 郭同斌<sup>4</sup>, 梁波<sup>4</sup>

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 河南职业技术学院, 河南 郑州 450046;

3. 江西省资溪县林业局, 江西 资溪 335300; 4. 徐州市林业技术指导站, 江苏 徐州 221000)

**摘要:**对徐州市王山废弃矿山挂网喷播前后土壤理化性质动态变化进行了分析。结果表明:挂网喷播后,土壤水土流失量降低,抗蚀性明显提高,土壤总孔隙度和田间持水量增加,土壤密度和 pH 值降低,土壤养分含量及综合肥力指数明显提高。

**关键词:**废弃矿山;挂网喷播;土壤理化性质;效果评价

**中图分类号:**S 152.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2011)16-0177-04

矿山开采是一种对生态环境造成重大破坏和土地资源浪费的土地利用类型,它给地表留下了巨大伤疤,严重影响周围生态环境及景观美学,并降低了土壤质量<sup>[1]</sup>。因此,对废弃矿山实施生态治理,尽快恢复其土壤肥力及地表应有的植被和景观,对地区生态环境建设具有重要意义<sup>[2]</sup>。挂网喷播是一种较好的废弃矿山植被恢复技术,但对挂网喷播植被修复后的效果评价鲜有报道。该文以徐州市王山废弃矿山挂网喷播植被修复为例,对植被恢复前后土壤理化性质动态变化进行了分析,旨在为废弃矿山生态环境治理及生态效益评价提供理论依据,为植被恢复技术研究提供科技支撑。

**第一作者简介:**司志国(1978-),男,博士,现主要从事城市绿地土壤研究工作。E-mail:s197726@eyou.com。

**责任作者:**俞元春(1961-),男,教授,博士生导师,现主要从事森林土壤研究工作。E-mail:yeyu@njfu.com.cn。

**基金项目:**江苏省林业三项工程资助项目(lysx[2007]12)。

**收稿日期:**2011-05-20

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区位于徐州市的王山废弃矿山(116°22'~118°40'E, 33°43'~34°58'N),属暖温带季风气候区,年均气温 14℃,年降水量 800~930 mm,该区属著名的古战场,由于长期缺乏统一规划,多处被开山取石,山体、植被严重破坏,直接影响了徐州市的城市生态环境。于 2008 年 4 月,采取挂网喷播,对破坏的山体进行植被恢复<sup>[3]</sup>。

### 1.2 试验材料

分别于 2008 年 2 月(挂网喷播前)、2009 年 4 月(挂网喷播后 1 a)、2010 年 4 月(挂网喷播后 2 a)采样,因护坡复绿工程为人工种植,样地面积统一设为 10 m×10 m。在不同施工区域分不同坡位(上、中、下)各设样地 3 块,每个样地 S 型取 4 个剖面,0~20 cm 层取土样,带回实验室分析测定。

### 1.3 试验方法

土壤密度、孔隙度、含水量采用环刀法测定,全氮

## Quantitative Characteristics of Soil Microorganisms in a Ragweed Habitat

SUN Gang, FANG Yan, LIU Qian, WANG Zhun

(College of Life Science, Changchun Normal University, Changchun, Jilin 130032)

**Abstract:** Ragweed is a worldwide vicious weed, which causes huge loss in agriculture, husbandry, and landscape. In this paper, the quantitative characteristics of soil microorganisms in a ragweed habitat were studied. The results showed that the peak of soil microorganism total number appeared in August, the peaks of soil actinomycetes, bacteria, and fungi appeared in July, August, and September, respectively. In August and September, the numbers of soil bacteria, fungi, and actinomycetes in ragweed plots were lower than those in control plot, indicating the restrictive effects of ragweed on soil microorganism number. The restrictive effect of *Ambrosia trifida* was bigger than that of *A. artemisiifolia*. The restrictive effects of ragweed on microorganisms could provide evidence for development of new medicine and green pesticide.

**Key words:** ragweed habitat; soil microorganism; quantitative characteristic; seasonal change

采用凯氏定氮法,土壤抗蚀性采用静水崩解法测定,全磷采用氢氧化钠碱熔钼锑抗比色法,全钾采用氢氧化钠碱熔-火焰光度计法,速效磷采用双酸浸提-钼锑抗比色法,速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度计法,有机质采用重铬酸钾氧化-外加热法,pH 采用电位法<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤物理性质动态变化

2.1.1 土壤密度 土壤密度的大小受土壤质地、有机质、结构性等土壤性质的影响。土壤压实和板结导致土壤密度增大,孔隙度减小,不利于土壤通气、有效水分的储存和植物根系的生长<sup>[5]</sup>。对挂网喷播地区土壤密度分析(表1)表明,挂网喷播前、喷播1 a后、喷播2 a后土壤密度平均值分别为1.55、1.37、1.22 g/cm<sup>3</sup>。多重比较结果显示,挂网喷前后土壤密度存在显著差异,挂网喷播2 a后土壤密度显著降低。

2.1.2 土壤总孔隙度 土壤总孔隙度是土壤孔隙占土壤总体积的百分比,反映了土壤孔隙状况和松紧程度。

表1 挂网喷播前后土壤物理性质变化(平均值±标准差)

时 间	土壤密度/g·cm <sup>-3</sup>	土壤总孔隙度/%	田间持水量/%
喷播前	1.55±0.25a	40.25±2.70a	22.50±3.51a
喷播1 a后	1.37±0.15b	49.16±3.26b	26.84±3.57b
喷播2 a后	1.22±0.09c	52.51±3.37b	27.52±2.51b

注:同一列,不同小写字母代表差异显著( $P<0.05$ )。

以上分析结果表明,挂网喷播提高了土壤有机质含量,降低了土壤密度,促进土质疏松,并具有优良的保水保肥性能;根系生长过程中,对土体的挤压及根系的脱落物、分泌物也促进了土壤团聚结构的形成;密集的草本植物根系死亡后在土壤中留下许多孔道,改善了土壤的透水透气性;土体中庞大密集的植物根系发挥了良好的保土、蓄水功能。

### 2.2 土壤侵蚀强度与抗蚀性动态变化

2.2.1 计算方法 土壤侵蚀强度(t/km<sup>2</sup>)=年土壤侵蚀量/水土流失面积;沟面化(%)=被测区侵蚀沟面积/被测区面积×100%;水稳指数(K)=( $\sum p_i k_i + p_i$ )/A( $i=1,2,3,\dots,10$ )。式中: $p_i$ —第*i*分钟分散的土粒数量; $p_j$ —10 min内未分散土粒数; $k_i$ —校正系数;取用的土粒总数。

2.2.2 土壤侵蚀与抗蚀性动态分析 试验分析表明(表2,图2),喷播前、喷播后1 a、喷播后2 a的水土流失强度分别为61 371、42 446、31 172 t/km<sup>2</sup>,比喷播前分别降低了31%、49%。喷播前、喷播后1 a、喷播后2 a的沟面比分别为29.14%、20.53%、14.47%,比喷播前分别降低了8.61%、14.67%;挂网喷播后水土流

表2 土壤侵蚀(沟蚀)强度与抗蚀性

时 间	调查面积/m <sup>2</sup>	侵蚀沟数量/条	侵蚀强度/t·km <sup>-2</sup>	沟面比/%	K 值
喷播前	3 000	23	61 371	29.14	0.06
喷播1 a后	3 000	16	42 446	20.53	0.47
喷播2 a后	3 000	12	31 172	14.47	0.69

一般粗砂土孔隙度约33%~35%,大孔隙较多。粘质土孔隙度约为45%~60%,小孔隙多。壤土的孔隙度约有55%~65%,大、小孔隙比例基本相当<sup>[6]</sup>。结果表明(表1),挂网喷播前、喷播1 a后、喷播2 a后土壤总孔隙度平均值分别为40.25%、49.16%、52.51%。多重比较结果显示,挂网喷播前与喷播1 a后、喷播2 a后土壤总孔隙度存在显著差异,喷播2 a后土壤总孔隙度明显提高,但喷播1 a后与喷播2 a后没有显著差异。

2.1.3 土壤田间持水量 土壤田间持水量是土壤所能保持的最高土壤含水量,是每种土壤都具有的特性常数,也是对植物有效的最高土壤含水量<sup>[7]</sup>。研究表明(表1),挂网喷播前、喷播1 a后、喷播2 a后土壤田间持水量平均值分别为22.50%、26.84%、27.52%。多重比较结果显示,挂网喷播前与喷播1 a后、喷播2 a后土壤田间持水量存在显著差异,挂网喷播后2 a土壤田间持水量明显提高,但喷播1 a后与喷播2 a后没有显著差异。

失强度及沟面比大大降低,主要原因在于:(1)裸露岩石坡面因没有植被覆盖,容易被水和风侵蚀,极易造成水土流失;(2)挂网喷播后提高了植被覆盖度,同时增加了土壤有机质,改善了土壤结构,增加了透水性,水土流失量和沟面比较小;(3)植被的覆盖也可以保护土壤团聚体免遭降雨的破坏,减弱雨滴击溅侵蚀,减少地表径流所造成的水土流失<sup>[8-9]</sup>。土壤的抗蚀性是指土壤抵抗径流及其分散和悬浮的能力,土壤愈粘重,腐殖质含量愈多,土壤团聚体和团粒结构愈稳定,水稳性愈大,抗蚀性愈强。土壤抗蚀性用水稳性指数(K)表示,K值愈大,则侵蚀愈弱<sup>[10]</sup>。从表2及图2可以看出,在未进行挂网喷播的裸露岩石坡面,其K值为0.06,土壤颗粒在不到2 min的时间内全部被分散,保水保肥能力很差。挂网喷播1、2 a后的K值分别为0.47、0.69,K值大幅度提高,喷播后1 a、喷播后2 a较喷播前分别提高了683%、1 050%。主要原因在于挂网喷播后增加了土壤有机质,土壤的水稳性指数增加,大大增加了土壤的抗侵蚀能力,土壤的保水保肥能力得到了较好的改善。

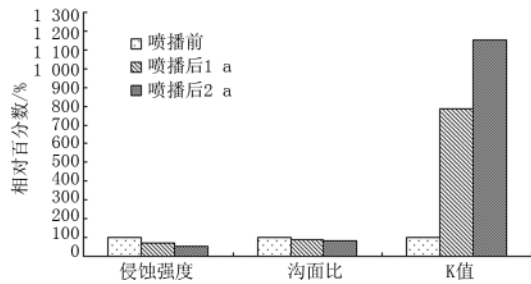


图2 土壤侵蚀及K值动态变化(以喷播前100%计算)

### 2.3 土壤养分动态变化

根据对挂网喷播前后土壤养分含量分析表明(表3),挂网喷播后土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾变化显著。其中有机质喷播前、喷播1 a后、喷播2 a后分别为9.39、15.50、21.30 g/kg。多重比较结果显示,挂网喷播前与喷播1 a后、喷播2 a后土壤有机质存在显著差异,挂网喷播2 a后土壤有机质明显提高。喷播前、喷播1 a后、喷播2 a后的全氮分别为0.39、0.67、1.04 g/kg。多重比较结果显示,挂网喷播前与喷播1 a

表3 挂网喷播前后土壤养分含量变化(平均值±标准差)

养分指标	喷播前	喷播后1 a	喷播后2 a
有机质/g·kg <sup>-1</sup>	9.39±1.61a	15.50±0.94b	21.30±0.87c
全氮/g·kg <sup>-1</sup>	0.39±0.18a	0.67±0.32b	1.04±0.56c
全磷/g·kg <sup>-1</sup>	0.59±0.09a	0.60±0.22a	0.62±0.33a
全钾/g·kg <sup>-1</sup>	19.74±3.34a	19.94±4.67a	20.97±3.67a
速效磷/mg·kg <sup>-1</sup>	4.21±1.20a	9.36±2.43b	11.55±3.87c
速效钾/mg·kg <sup>-1</sup>	96.64±17.45a	125.52±22.70b	226.41±33.65c
pH值	8.34±0.08a	8.30±0.78a	8.23±1.34a

注:同一行内不同小写字母代表差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.4 土壤肥力综合指数

2.4.1 土壤肥力指标的选取 土壤肥力综合评价应尽量多地考虑与肥力有关的土壤性状<sup>[11]</sup>。参照全国第二次土壤普查项目和分析项目,主要选择的指标有:土壤密度、有机质、全氮、速效磷、速效钾、pH值等。

2.4.2 土壤肥力指标的标准化处理 为了消除指标之间的量纲差别,首先对各指标进行标准化处理,指标的标准化方法见参考文献<sup>[11-13]</sup>。

当指标测定值属于“极差”级时,即  $C_i \leq X_a$ 。

$P_i = C_i / X_a, (P_i \leq 1) \dots\dots\dots (1)$ ;

当指标的测定值属于“差”级时,即  $X_a < C_i \leq X_c$ ;

$P_i = 1 + (C_i - X_a) / (X_c - X_a), (1 < P_i \leq 2) \dots\dots\dots (2)$ ;

当指标的测定值属于“中等”级时,即  $X_c < C_i \leq X_p$ ;

$P_i = 2 + (C_i - X_c) / (X_p - X_c), (2 < P_i < 3) \dots\dots\dots (3)$ ;

当指标的测定值属于“良好”级时,即  $C_i > X_p$ ;

$P_i = 3$ ;以上各式中, $P_i$ 称为分肥力系数; $C_i$ 为指标的测定值; $X$ 为指标分级标准(表4),其中  $X_a$ 、 $X_c$  和  $X_p$  分别为“差”级、“中等”级和“良好”级分级标准。

后、喷播2 a后土壤全氮存在显著差异,挂网喷播2 a后土壤全氮含量明显提高。速效磷由喷播前的4.21 mg/kg提高到了喷播2 a后的11.55 mg/kg,上升较快。速效钾由喷播前96.64 mg/kg提高到了喷播2 a后的226.40 mg/kg。多重比较结果显示,挂网喷播前后速效磷和速效钾均存在显著差异。主要原因在于挂网喷播后,在土壤表层积累了大量草本枯枝落叶和根系残体,迅速增加了土壤有机质含量,使土壤养分状况得到了很大改善。

同时,从表3也可以看出,挂网喷播后土壤全磷和全钾没有明显变化,全磷由喷播前的0.59 g/kg提高到了喷播2 a后的0.62 g/kg,全钾含量由喷播前的19.74 g/kg提高到了喷播2 a后的20.97 g/kg。多重比较结果显示,挂网喷播前后全磷和全钾含量没有显著差异,主要原因在于土壤中的全磷和全钾主要存在于土壤母质中<sup>[6]</sup>,通过短时间的植被恢复很难大幅度提高。经过测定,土壤pH值均偏碱性,但有逐步降低的趋势,多重比较结果显示,挂网喷播前后不存在显著差异。

表4 土壤各指标的分级标准值

土壤属性	$X_a$	$X_c$	$X_p$
土壤密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.45	1.35	1.25
有机质/g·kg <sup>-1</sup>	10.00	20.00	30.00
速效磷/mg·kg <sup>-1</sup>	50.00	100.00	200.00
速效钾/mg·kg <sup>-1</sup>	3.00	5.00	10.00
全氮/g·kg <sup>-1</sup>	0.50	0.75	1.00
pH(<7.0)	4.50	5.50	6.50
pH(>7.0)	9.00	8.00	7.00

注:数据来自全国第2次土壤普查。

2.4.3 综合肥力指数评价方法 土壤肥力综合评价方法有多种,主要包括加和法、平均值法、加权平均法等,这里采用改进的内梅罗综合指数法进行综合评价<sup>[14]</sup>。公式如下:

$$P = \sqrt{\frac{(P_i \text{ 平均})^2 + (P_i \text{ 最小})^2}{2}} \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right),$$

式中  $Q$  为土壤综合肥力系数, $P_i$ 平均为各分肥力系数的平均值, $P_i$ 最小为各分肥力系数中最小值, $n$ 为参评指标数。采用  $P_i$ 最小代替原内梅罗公式中的  $P_i$ 最大是为了突出土壤肥力的限制性因子。根据  $Q$  值定量评价土壤肥力: $Q \geq 2.0$  优,2.0~1.5 良,1.5~1.0 中,<1.0 差。式中用  $P_i$ 最小代替了原内梅罗综合指数法中

$P_i$  最大,突出了土壤中最差属性对土壤肥力的影响,能够反映植物生长的最小因子律;另外增加修正项 $(n-1)/n$ 提高了评价的可信度,即参与评价的土壤属性越多, $(n-1)/n$  值越大,可信度越高。根据土壤综合肥力评价结果(表5),挂网喷播前  $Q$  值为 0.90( $Q < 1.0$ ),土壤肥力较低,属于差级;挂网喷播后土壤综合肥力逐步提高,喷播后 1 a,  $Q$  值提高到了 1.50,达到了中等水

表 5

挂网喷播前后土壤肥力综合指数

时 间	土壤密度	有机质	全氮	速效磷	速效钾	pH 值	$Q$
喷 播 前	3	0.94	0.78	1.61	1.93	2.34	0.90
喷播后 1 a	3	1.25	1.68	2.86	2.26	2.30	1.50
喷播后 2 a	3	1.83	3.00	3.00	3.00	2.23	1.90

### 3 结论与讨论

通过对挂网喷播前后土壤物理性质变化及动态变化分析表明,土壤密度下降,土壤总孔隙度和田间持水量提高,侵蚀强度明显减低,抗蚀性显著增强,主要原因在于挂网喷播后,提高了土壤有机质,改善了土壤结构。

通过对养分状况分析表明,挂网喷播后速效磷、速效钾、有机质、全氮增幅比较明显,主要原因在于有机质增加,土壤密度减小,促进了好气性微生物的活动,加速了有机质分解,释放出了更多的速效养分。全钾、全磷变化较小,全磷、全钾含量和土壤母质有很大关系,难以在短时间内提高。另外, pH 值出现降低的趋势。

通过以上分析表明,挂网喷播不但改善了环境和自然景观,也改善了土壤的理化性质,为植物丰富度的持续提高打下了基础。因此,挂网喷播是一种较理想的废弃矿山植被恢复技术。

#### 参考文献

- [1] 张毅川,乔丽芳,陈亮明,等.废弃地的景观与生态恢复研究[J].环境科学研究,2005,18(1):17-21.
- [2] 陆勇,刘晓宇,陆炳炎,等.江阴市花山废弃采石场生态复绿效果研究[J].西南林学院学报,2010,30(4):16-20.

平;喷播后 2 a,  $Q$  值提高到了 1.9,达到了优良标准。主要原因在于挂网喷播后,一方面土壤有机质含量大大提高,积累了大量的土壤养分;另一方面根系的脱落物、分泌物促进了土壤团聚体形成,改善了土壤结构。同时土体中庞大密集的植物根系发挥了良好的保土、蓄水功能,减少了表层土壤的流失。

- [3] 关湘雯,张海平.徐州水利志[M].徐州:中国矿业大学出版社,2004.
- [4] 水力电力部农林水利水土保持司.水土保持实验规范[M].北京:水力电力出版社,1988.
- [5] Bullock P, Gregory P J. Soils in the Urban Environment[M]. Boston: Wiley-Blackwell, 1991.
- [6] 谢德林.土壤肥料学[M].北京:中国林业出版社,2004.
- [7] Hillel. 土壤物理学概论[M].尉庆丰,译.西安:陕西人民出版社,1988:196-197.
- [8] Carroll C, Merton L, Burger P. Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines[J]. Australian journal of soil research, 2000, 38(2): 313-328.
- [9] Carroll C, Tucker A. Effects of pasture cover on soil erosion and water quality on central queenland coal mine rehabilitation[J]. Tropical grasslands, 2000, 34: 254-262.
- [10] 王礼先.水土保持学[M].北京:中国林业出版社,2001.
- [11] 阎文杰,吴启堂.一个定量综合评价土壤肥力的方法初探[J].土壤通报,1994,25(6):245-247.
- [12] 王志明.关于城市化土壤侵蚀等级划分综合评判模型的探讨[J].水土保持研究,1998,5(2):131-135.
- [13] 邓南荣,吴志峰,刘平,等.城市园林绿化用地土壤肥力诊断与综合评价[J].土壤与环境,2000,9(4):287-289.
- [14] 吕晓男,陆允甫,王人潮.土壤肥力综合评价初步[J].浙江农业大学学报(农业与生命科学版),1999,25(4):378-382.

## Dynamic of Soil Physical and Chemical Properties in Abandoned Mines after Linked Network Spraying

SI Zhi-guo<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-qin<sup>3</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, YU Yuan-chun<sup>1</sup>, LI Ya-li<sup>4</sup>, GUO Tong-bin<sup>4</sup>, LIANG Bo<sup>4</sup>

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 2. Henan Vocational and Technical College, Zhengzhou, Henan 450046; 3. Forestry Bureau of Zixi County, Zixi, Jiangxi 335300; 4. Xuzhou Forest Station, Xuzhou, Jiangsu 221009)

**Abstract:** In this paper, the dynamics of soil physical and chemical properties in abandoned mines after linking network spraying in Xuzhou city were studied. The results showed that linked network spraying reduced the amount of soil erosion, improved the anti-erosion of the soil, increased the porosity and field capacity, decreased soil bulk density and pH, increased soil nutrient content and soil fertility multiple index.

**Key words:** abandoned mines; linked network spraying; soil physical and chemical properties; ecological assessment