



移动扫码阅读

吴大为,铁原旭,严子循,等.草原矿区重构土壤特征对植被生长状况的影响研究[J].能源环境保护,2022,36(3):69-77.

WU Dawei,TIE Yuanxu,YAN Zixun,et al. Influence of reconstruted soil characteristics on vegetation growth in grassland mining area[J]. Energy Environmental Protection,2022,36(3):69-77.

草原矿区重构土壤特征对植被生长状况的影响研究

吴大为¹,铁原旭¹,严子循¹,胡阅川¹,宋子康¹,曹银贵^{1,2,*}

(1.中国地质大学(北京)土地科学技术学院,北京 100083;

2.自然资源部土地整治重点实验室,北京 100035)

摘要:为了明确草原矿区植被长势最佳的重构土壤特征,以内蒙古北电胜利矿区一号露天煤矿为研究区,设置了不同的土壤重构方式和熟化方式,选取土壤容重、有机质含量、全氮含量、有效磷含量、速效钾含量、田间持水量及pH等参数建立土壤综合肥力评价体系,采用GIS和地统计学相结合的方法,确定生物量和综合肥力指数的空间变异特征和分布格局。结果表明:土壤肥力指数最优的土壤重构方式为表层50 cm的岩土剥离物、煤矸石、粉煤灰的混合物,配比为3:4:3,下部为采矿剥离物自然堆积体,而熟化方式对土壤肥力的影响较小;植被生长状况水平较优的土壤重构方式为表层为50 cm的岩土剥离物、煤矸石、粉煤灰的混合物,配比为3:4:3,熟化方式为当年翻耕处理并种植苜蓿,年底将苜蓿翻压至土中并重新种植一年苜蓿。

关键词:草原矿区;重构土壤;熟化方式;植被长势;肥力评价;插值分析

中图分类号:X825

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)03-0069-09

Influence of reconstruted soil characteristics on vegetation growth in grassland mining area

WU Dawei¹,TIE Yuanxu¹,YAN Zixun¹,HU Yuechuan¹,SONG Zikang¹,CAO Yingui^{1,2,*}

(1.School of Land Science and Technology,China University of Geosciences,Beijing 100083;

2.Key Lab of Land Consolidation,Ministry of Natural Resources,Beijing 100035)

Abstract: In order to clarify the optimal reconstruted soil characteristics for vegetation growth in grassland mining areas, No.1 open-pit coal mine in Shengli Mining District of Beidian, Inner Mongolia was taken as the study area. Different methods of soil reconstruction and maturation were set up. Then soil bulk density, organic matter content, total nitrogen content, available phosphorus content, available potassium content, field water holding capacity and pH value were selected to establish a comprehensive soil fertility evaluation system. The spatial variability characteristics and distribution pattern of biomass and comprehensive fertility index were determined by the combination of GIS and geographical statistics. The results show that the soil fertility index will be the best when the soil reconstruction method is that the mixture ratio of rock and soil stripped material, coal gangue and fly ash in the surface layer of 50 cm is 3:4:3, and the lower part is the natural accumulation of mining stripping. The maturation method has little effect on the soil fertility. The vegetation grows best when the soil reconstruction method is that the mixture ratio of soil stripped material, coal gangue and fly ash in the surface layer of 50 cm is 3:4:3, and the maturation method is that plow and plant alfalfa in that year, turn alfalfa into soil and plant alfalfa again by the end of the year.

收稿日期:2022-03-16;责任编辑:蒋雯婷

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0501105-2)

第一作者简介:吴大为(2001-),男,江苏扬州人,本科生,研究方向为土地整治工程。E-mail:wudawei2001@126.com

通讯作者简介:曹银贵(1982-),男,湖南常德人,博士,教授,博士生导师,主要从事国土空间修复与土地利用管理研究。

E-mail:caoyingui1982@126.com

Key Words: Grassland mining area; Reconstructed soil; Maturation method; Vegetation growth; Fertility evaluation; Interpolation analysis

0 引 言

露天开采是许多国家进行煤矿开采的重要方法,其产量占比一般在 50%以上,有的国家甚至超过 90%^[1]。煤炭资源的大规模开采,给局部地区带来众多生态环境和社会问题^[2]。煤矿区土地复垦最早在德国和美国受到重视,自 20 世纪 20 年代开始德国就在煤矿废弃地上种植树木以恢复植被和保护环境,美国则在《矿山租赁法》中对保护土地和自然环境提出明确要求^[3],可见国外对煤矿开采地的土地复垦和土壤重构研究起步较早。我国露天煤矿可开采量占总储量的 10%~15%^[4],远低于美国、澳大利亚等国家,但露天开采量稳步提升,2016 年开采量达到了 21.1%,2017 年虽降至 15.0%,但此后逐步提升。露天煤矿的开采在为国民经济做出贡献的同时,也对矿区生态环境造成了巨大影响,主要包括占用和破坏大量土地、破坏生态环境,矿坑疏干地下水造成地下水水位下降、破坏水利平衡等影响^[5-6]。

在表土稀缺矿区的土地复垦过程中,土壤重构问题最不容易解决^[7]。土壤重构作为国内外土地复垦研究的重点问题,我国有过类似方面的研究。荣颖^[8]等人研究了不同重构土壤材料对比对土壤改良的影响,发现了风沙土、红黏土、煤矸石、玉米秸秆及腐殖酸材料的最佳配比;周杨^[9]等人对不同重构方式下矿区土壤持水性的差异性进行了研究,这为以煤矸石、保水剂以及矿区表土为复配材料配制容重适宜、持水性良好的重构土壤提供理论指导;王金满^[10]等人对于黄土区露天煤矿排土场重构土壤颗粒组成的多重分形特征的研究,为黄土区露天煤矿排土场土地复垦以及重构土壤质量的量化提供理论依据。综上,国内对重构土壤材料配比及其单一理化性质的研究较丰富,但对于重构土壤肥力特征以及植物生物量的研究较少。

根据《内蒙古自治区矿山环境治理实施方案》,由于矿山长期过度开发,形成了大量矿坑并严重破坏草原森林,因此,需要以生态优先、绿色发展为导向,加强统筹、科学规划,筑牢我国北方重要生态安全屏障和祖国北疆万里绿色长城。

研究区位于内蒙古锡林浩特,是我国北方重

要的生态屏障,但是近 20 年来,矿产资源的大量开采对锡林浩特草原景观造成了严重影响,使区域碳平衡遭到严重破坏^[11]。露天矿产资源开采需要大面积剥离表层土壤,这严重破坏了草原植被的生长环境^[12]。煤炭资源开采引起的草场退化、植物多样性锐减等生态问题,经过长期累积和空间外扩,对矿区及周边地区的生态环境产生严重负面影响^[13-15]。对不同土壤重构方式进行实验可以因地制宜的探究出恢复矿区损毁地最好的土壤重构方式,土壤重构是以恢复工矿区破坏土地的土壤或植被重建为目的,采取适当的重构技术工艺,重新构造一个适宜的土壤剖面 and 土壤肥力因素,在较短的时间内恢复和提高重构土壤的生产力,并改善重构土壤的环境质量的活动^[7]。重构土壤对矿区生态修复和植被长势起到基础性促进作用,长势良好的植被又促进矿区绿色低碳发展,构成了重构土壤-植被-低碳的良性链接,因此,矿区生态修复的重点是以重构土壤为基础的研究。

本文对内蒙古胜利矿区废弃矿坑修复后的重构土壤特性进行研究,以模糊数学加乘原则计算土壤肥力指数,采用 GIS 和地统计学相结合的方法,确定生物量和综合肥力指数的空间变异特征和分布格局,用以研究不同熟化方式和不同重构方式的土壤对植被生长状况的影响,以促进绿色低碳发展。总体来说,本研究旨在进行合理的实验研究探究出内蒙古胜利矿区最合适的重构土壤方案,使得植被长势最优。

1 研究区概况

北电胜利矿区一号露天煤矿地处内蒙古高原东北部,深居内陆,位于内蒙古锡林郭勒盟锡林浩特市西北部伊利勒特苏木境内,胜利煤田的西南部,南距锡林浩特市 6 km,跨详查、精查两个勘探区,地理位置为 43°57'~44°14'N,115°30'~116°26'E,地表东西长 6.84 km,南北宽 5.43 km,含煤面积 37.14 km²,地质储量 1 934.43 t,可开采的地质储量 1 854.79 t,平均剥离率为 2.59 m³/t,研究区概况如图 1 所示。整个矿区地势较平坦,属温带半干旱大陆性季风气候区,年均气温 1.7℃,年降水量 294.74 mm,年平均蒸发量为 1 794.64 mm,

属于典型草原地带性植被类型区。目前,此矿区土壤类型主要由栗钙土、草甸栗钙土、草甸土等组成,该部分土壤有机质含量较高,土壤肥力较好;部分地段由于草场退化形成沙化、砾石化栗钙土,土壤有机质含量降低,土壤肥力差,植被覆盖率低,形成强烈侵蚀的生态脆弱草原区,对环境改变

较为敏感。矿区内排土场重构土壤区在 2019 年进行了有效的土地复垦与植被重建,经考察后发现该地区自然植物组成主要有克氏针茅、大针茅、糙隐子草、冷蒿、羊草、洽草、冰草、锦鸡儿等草本植物,故人工复垦与植被重建先锋植被选为紫花苜蓿。

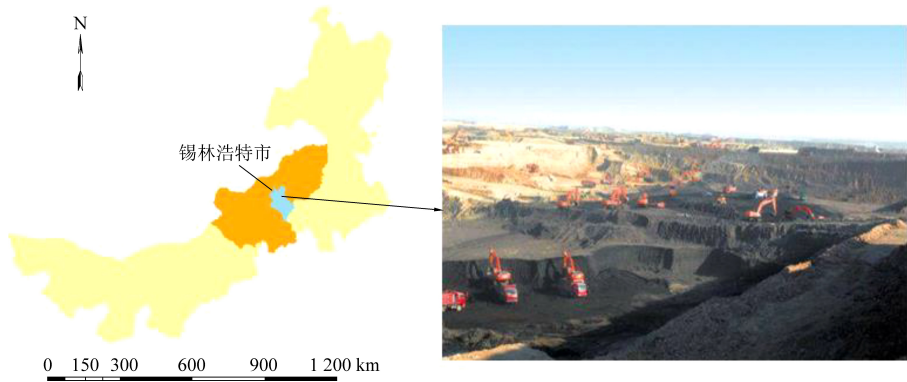


图 1 研究区概况图
Fig.1 Overview of the study area

2 材料与方

内排土场采用了 3 种不同的重构方式重构土壤:第一种为表层为 50 cm 的岩土剥离物,下面全部为采矿剥离物自然堆积体;第二种为表层为 50 cm 的岩土剥离物、煤矸石的混合物,配比为 2 : 3,下面全部为采矿剥离物自然堆积体;第三种为表层为 50 cm 的岩土剥离物、煤矸石、粉煤灰的混合物,配比为 3 : 4 : 3,下面全部为采矿剥离物自然堆积体。每种重构方式构成一个小田块,3 种不同重构方式形成的三个小田块构成一个大田块,共计 8 个大田块,目前种植的 4 个大田块。

2.1 样品采集与处理方法

2019 年 8 月对当年复垦后的内排土场复垦区

进行了样地调查和取样。在内排土场 8 个大田块中选取了田块一、二、三、四采集土壤样本。每个大田块的土壤熟化方式不同,大田块一:15 d 翻耕一次,翻耕处理一年并植苜蓿,年底将苜蓿翻压至土里,再重新种植一年苜蓿;大田块二:30 d 翻耕一次,翻耕处理一年并种植苜蓿,年底将苜蓿压至土里,再重新种植一年苜蓿;大田块三:60 d 翻耕一次,翻耕处理一年并种植苜蓿,年底将苜蓿压至土里,再重新种植一年苜蓿;大田块四:当年翻耕处理,并种植苜蓿,年底将苜蓿翻压至土里,再重新种植一年苜蓿。为了使样地中被选定的各样点代表不同的植被恢复水平,在取样的地块内对各样点的植被生长状况进行了定性的分级,同时考虑到不同的重构地块内植被恢复的整体水平具有

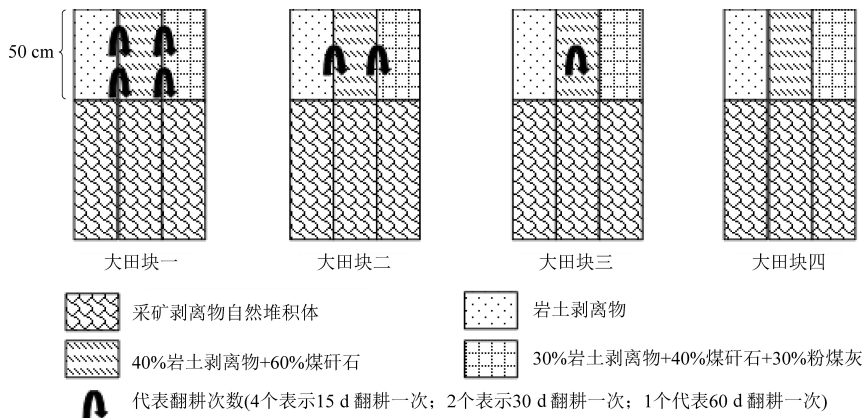


图 2 田块的土壤重构方案纵截面图及熟化处理方式
Fig.2 Longitudinal section of soil reconstruction scheme and maturation methods of field

差异性,实际的定性分级是在 3 个不同的重构地块内分别进行的,因此本次样点的选定能够代表样地内不同的植被恢复水平。在每个小田块内基于样线法在代表性地块上分别设置 12 个样点,植被恢复水平根据植被的生长状况由优至劣定义为 1、2、3、4 四个等级,每个等级下设置 3 个土样样点,采样深度 20 cm,将 3 个样点采集到的土样混合。植被恢复水平根据植被的生物量来判断,生物量越大代表植被生长状况越好。

2.2 数据测定

相关文献指出,为了更快更好的提高土地质量,恢复土地生态功能,建议对复垦土地中的容重、田间持水量、有机质、全氮和碳氮比实施动态监测,以便及时根据土壤中的养分含量调整措施,提高土壤肥力,使矿区土地资源得到合理保护^[16]。因此,本文选取以下 7 个因素研究重构土壤的各项特征,同时在一定程度上也能反映重构土壤的质量水平。

土壤田间持水量采用烘干法测定,计算公式见式(1):

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \tag{1}$$

式(1)中: X 为田间持水量,%; m_1 为湿土样质量,g; m_2 为干土样质量,g。

土壤有机质含量采用滴定法测定,计算公式见式(2):

$$m = c \frac{(v_0 - v) \times 0.003 \times 10\,724 \times 1.1}{Me} \times 100\% \tag{2}$$

式(2)中: m 为有机质含量,%; c 为硫酸亚铁消耗摩尔浓度,mol/L; v_0 为空白实验消耗的硫酸亚铁溶液的体积,mL; v 为滴定待测土样消耗的硫酸亚铁的体积,mL; M 为风干样重,g; e 为水分系数;0.003 为 1/4 mmol 碳的克数;10 724 为由土壤有机碳换算成有机质的换算系数;1.1 为校正系数(用此法氧化率为 90%)。

土壤容重采用环刀法测,计算公式见式(3):

$$r = \frac{m_3}{v(1 + \theta_m)} \tag{3}$$

式(3)中: r 为土壤容重,g/cm³; m_3 为环刀内湿样质量; v 为环刀容积,一般为 100 cm³; θ_m 为样品含水量(质量含水量),%。

2.3 数据处理

在 SPSS 19.0 软件中完成土壤肥力指标和土

壤综合肥力指数描述统计分析和 Pearson 相关性分析。在 arcgis10.6 的地统计分析模块(geostatistical analyst)中完成克里金(kriging)空间插值图。在 imageJ 中完成对植物生物量面积占比的测定。

3 结果与分析

3.1 土壤质量评价体系构建及分析

3.1.1 土壤质量评价体系构建

评价因素的选取遵循主导因素原则、差异性原则、稳定性原则、敏感性原则,采用定量和定性相结合的方法^[17],依此,选取了土壤容重、有机质、全氮、有效磷、速效钾、土壤含水率及 pH 作为评价因子。使用 SPSS 分析软件得出各肥力指标之间的相关系数,采用相关系数法确定各个肥力指标的权重。计算各项肥力指标之间的相关系数,获得某一肥力指标与其他肥力指标相关系数的平均值,将该平均值与所有肥力指标相关系数平均值总和的比值作为该肥力指标的权重,评价指标的权重计算公式如式(4)和式(5)所示。

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{i=1}^6 |\bar{r}_i|}{6} \tag{4}$$

$$w_i = \frac{\bar{r}_i}{\sum_{i=1}^7 \bar{r}_i} \tag{5}$$

式中, $\bar{r}_i$ 表示某一指标相关系数平均值; $|\bar{r}_i|$ 表示第 i 指标与其他 5 个指标相关系数的绝对值; w_i 为该指标的权重。

根据矿区排土场的实际情况,采用 S 型隶属函数式,如式(6)^[18],计算隶属度值。参考全国第二次土壤普查的养分分级标准^[19](如表 1)和土壤含水率和干旱程度分级标准^[20](如表 2)中推荐的土壤质量指标隶属度函数的阈值范围,以各项指标的 5 级标准平均值和 2 级标准平均值作为函数的转折点 x_1 和 x_2 (取值如表 3)计算容重、含水率、有机质、全氮、有效磷、速效钾的隶属度。另外,本研究用经验法^[21]计算 pH 值的隶属度,如表 4。

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq x_1 \\ 0.9 \frac{(x - x_1)}{x_2 - x_1} & x_1 < x < x_2 \\ 1 & x \geq x_2 \end{cases} \tag{6}$$

表 1 第二次土壤普查分级标准
Table 1 Classification standard of the second soil survey

容重(BD)/ (g·cm ⁻³)	有机质(SOM)/ (g·kg ⁻¹)	全氮(TN)/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷(AP)/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾(AK)/ (mg·kg ⁻¹)	pH	等级
<1.00	>40	>2.00	>40	>200	>8.5(碱性)	1
1.00~1.25	30~40	1.50~2.00	20~40	150~200	7.5~8.5(弱碱性)	2
1.25~1.35	20~30	1.00~1.50	10~20	100~150	6.5~7.5(中性)	3
1.35~1.45	10~20	0.75~1.00	5~10	50~100	5.5~6.5(弱酸性)	4
1.45~1.55	6~10	0.50~0.75	3~5	30~50	4.5~5.5(酸性)	5
>1.55	<6	<0.50	<3	<30	<4.5(强酸性)	6

表 2 土壤含水率和干旱程度分级标准表
Table 2 Classification standard of soil moisture
content and drought degree

干旱程度	土壤含水率(SWC)/%
偏湿	>20
适宜	15~20
轻旱	12~15
中旱	≈8
重旱	≤5

表 3 隶属度曲线转折点取值
Table 3 Values of turning point of membership curve

评价 指标	BD/ (g· cm ⁻³)	SOM/ (g· kg ⁻¹)	TN/ (mg· kg ⁻¹)	AP/ (mg· kg ⁻¹)	AK/ (mg· kg ⁻¹)	SWC/ %
x_1	1.500	8	0.625	4	40	8.0
x_2	1.125	35	1.750	30	175	17.5

表 4 pH 的隶属度值
Table 4 Membership values of pH

pH	<6.5	6.5~ 7.0	7.0~ 7.5	7.5~ 8.0	8.00~ 8.25	8.25~ 8.50	>8.5
隶属度	0.5	1.0	0.9	0.7	0.5	0.2	0.1

以模糊数学中的加乘原则为原理,利用前面求得的各土壤质量指标的权重及隶属度值,计算土壤综合肥力指数 $IFI^{[22]}$,计算式如式(7):

$$IFI = \sum_{i=1}^n (F_i \times W_i) \tag{7}$$

式(7)中, F_i 为第*i*项评价指标的隶属度值。 IFI 取值范围在0~1之间,且 IFI 的数值越接近于1,表明土壤肥力越高,即该区域土壤质量越好。土壤综合质量分级标准如表5所示。

3.1.2 土壤肥力指数分析

对实验田不同重构方式以及熟化方式的土壤肥力指数进行统计分析(如表6),结果表明:各个

表 5 IFI 值与土壤质量对照标准
Table 5 Comparison standard between the IFI value
and soil quality

	IFI	>0.8	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
土壤质量等级	1	2	3	4	5	
土壤质量评价	极好	较好	一般	较差	极差	

田块的变异系数在 15.6%~42.9%之间,均属于中等变异;试验田的土壤肥力指数在 0.149 4 到 0.806 5 之间,均值为 0.488 3;不同熟化方式下,大田块三的土壤肥力指数均值最高,但与其余熟化方式无显著性差异;不同重构方式下,重构方式三的土壤肥力指数均值最高,显著高于重构方式一,与重构方式二无显著性差异(如图3)。

在不考虑熟化措施条件下,第三种土壤重构方式土壤肥力指数显著高于其余两种土壤重构方式的土壤肥力指数,因为第三种土壤重构方式中添加了粉煤灰,根据王娟等人对粉煤灰在土壤改良方面应用的综述可知,粉煤灰可以改善土体结构,降低容重,增加土壤含水量^[23],同时粉煤灰中含有硅及微量的钙、镁等植物生长所需的元素^[24],故以粉煤灰作为重构土壤的材料不仅可以改善植物根系周围的物理环境,也为植物提供了一定的养分,改善了其生长的化学环境,其余两种土壤重构方式中没有添加粉煤灰。该试验田重构土壤各项肥力指标偏低,这是因为新重建土壤的性质不充分,持水能力低,导致其物理性质恶化和侵蚀,各项肥力指标较差,但第二种土壤重构方式和第三种土壤重构方式中都添加有煤矸石,根据资料可知当地土壤本身 pH 在 7.5~8.5 之间^[25],而胜利矿区产煤以低硫煤为主,其废弃煤矸石呈酸性,重构土壤中添加酸性煤矸石能降低土壤 pH,使得 pH 这项土壤肥力指标指标处于较优范围。此外,经过不同熟化措施处理的土壤肥力远

表 6 土壤肥力指数描述性统计
Table 6 Descriptive statistics of soil fertility index

项目	样点数	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数/%
田块一	36	0.149 4	0.779 5	0.467 0	0.183 8	39.35
田块二	36	0.151 8	0.793 5	0.474 3	0.203 4	42.90
田块三	36	0.182 0	0.794 9	0.510 3	0.196 1	38.44
田块四	36	0.153 9	0.806 5	0.501 8	0.186 8	37.22
重构一	48	0.149 4	0.385 9	0.260 1	0.053 8	20.68
重构二	48	0.188 3	0.806 5	0.588 3	0.138 7	23.58
重构三	48	0.427 0	0.793 5	0.616 6	0.096 2	15.60

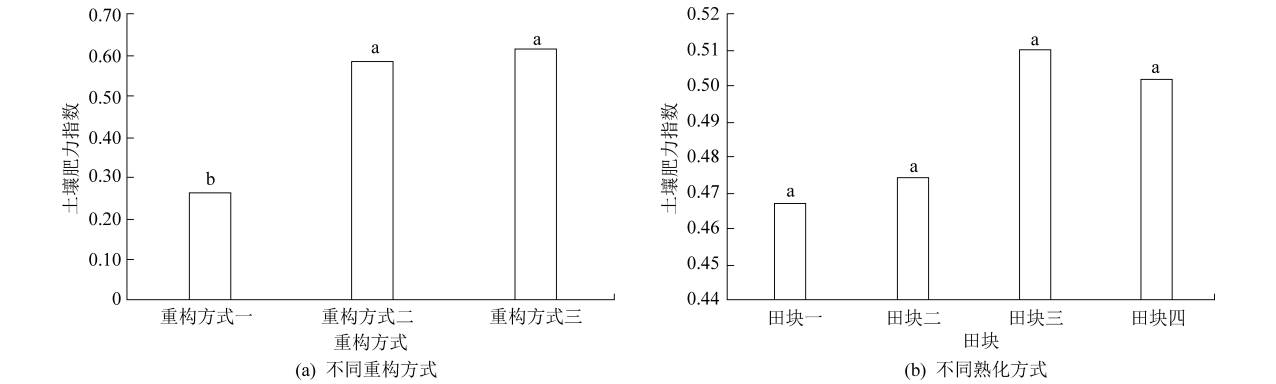


图 3 土壤肥力指数显著性图

Fig.3 Significance maps of soil fertility index

低于不同重构方式处理的土壤肥力,其主要由土壤含水量和土壤容重的变化引起,反映出重构方式对土壤含水量具有重要影响,也表明重构方式对土壤肥力的影响更显著。大田块三土壤肥力指数最高,但与其余田块土壤肥力指数并无显著性差异,因此熟化措施对于土壤肥力影响较小。

3.2 植物生物量空间结构特征分析

通过数据的克里金空间插值,得到了植物生物量的最大值为 148 g。根据最大值将生物量分为四个等级,0~37 g 为差,38~74 g 为普通,75~111 g 为良好,112~148 g 为优秀。

3.2.1 不同重构方式下生物量的空间分布特征分析

如图 4 所示,在大田块一中,重构方式一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 70.3%,重构方式二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 50.1%,重构方式三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 33%。

在大田块二中,重构方式一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 40%,重构方式二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总

面积的 13.2%,重构方式三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 12.6%。

在大田块三中,重构方式一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 43.5%,重构方式二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 32.7%,重构方式三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 23.5%。

在大田块四中,重构方式一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 59.5%,重构方式二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 79.2%,重构方式三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 100%。

根据上述描述可知,当熟化方式相同时,田块的重构方式为一和三时均能使苜蓿生物量水平达到普通及以上,而重构方式二中的苜蓿生长状况较差。这是因为重构方式一中的岩土剥离物物理性质虽然与当地的表土物理性质非常接近,但田块一、二、三均翻耕次数较多,这三个田块重构土壤的物理性质差异不显著,因此这三者反映出的植被生物量没有参考价值;重构方式三中煤矸石本身颗粒大,有机质含量较高。根据王琼、孙海

容、张宇航等研究发现^[26-28],煤矸石能够降低盐碱土壤的 pH,与其它材料混合能有效降低试验区土壤的碱性,使得 pH 控制在 6.5~7.5 之间,此范

围是苜蓿生长的合适范围。粉煤灰粒级大,具有亲水性^[29],但养分状况较差;三者混合后可以有效改善土壤结构,提高土壤养分。

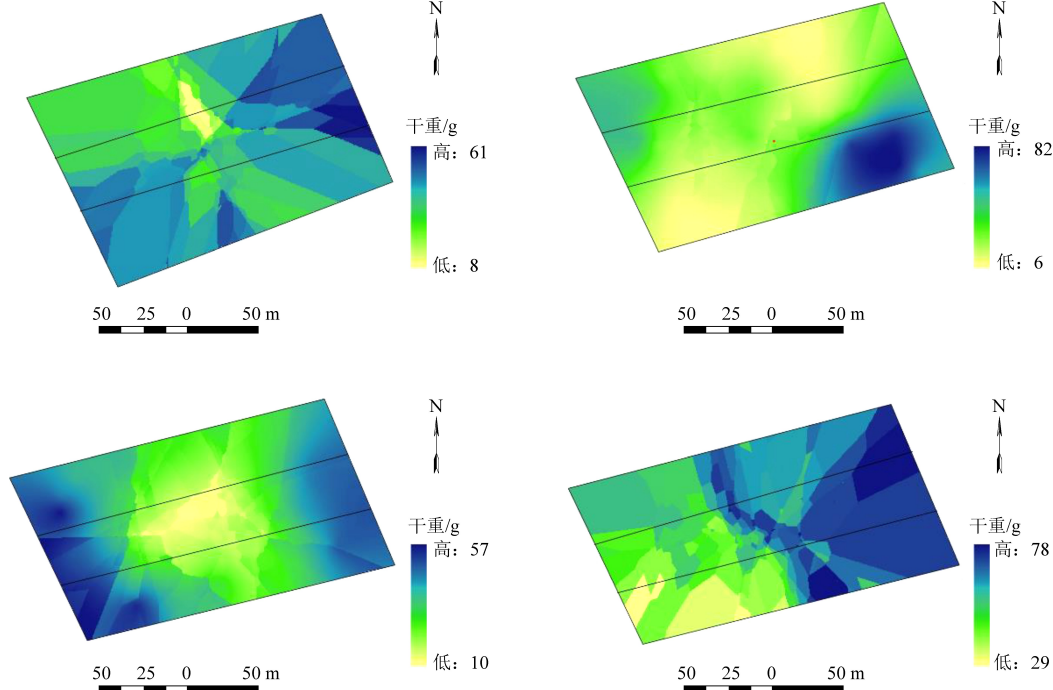


图 4 不同重构方式生物量分布图

Fig.4 Biomass distribution diagrams of different reconstruction methods

3.2.2 不同熟化措施下生物量的空间分布特征分析

如图 5 所示,在重构方式一中,大田块一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 51.2%,大田块二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 58.5%,大田块三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 42.5%,大田块四中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 56.9%。

在重构方式二中,大田块一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 29.3%,大田块二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 20.8%,大田块三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 57.1%,大田块四中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 77.8%。

在重构方式三中,大田块一中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 31%,大田块二中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 43.8%,大田块三中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 59%,大田块四中植被生物量大于 37 g 的面积约占小田块总面积的 99.1%。

根据上述描述可知,当土壤重构方式相同时,

大田块四相较于其它三个田块的植被生物量水平高。因为大田块四翻耕次数一年一次,相较于其它田块少,使得土壤的孔隙度较小,根据赵宏胜^[30]等人的研究可知,荒漠草原区草本生物量大小与土壤孔隙度呈负向相关性,即土壤孔隙度越小,草本生物量越大;而在试验区较为干旱的情况下,翻耕次数较多的熟化方式会使得下层湿润土壤被翻至上层,水分蒸发,土壤含水量降低,影响植被生长状况,导致生物量较小。根据曹良元等人研究,较少的耕作次数能增厚有效耕作层,减少对土壤的扰动,促进大团聚体的形成,改善土壤结构和理化性质,提高土壤耕层中养分含量以保障农作物生长发育养分供求,提高土壤肥力^[31-33]。

3.3 植物生物量与土壤肥力指数的空间耦合特征分析

实验田根据不同土壤重构方式和熟化方式分为 12 个小田块,如图 6 中可以看出,植被生物量较高的区域集中在田块 4-3 的东北部、田块 1-3 的东北部和田块 2-1 的东南部,田块 4-3 的生物量较高。土壤肥力指数较高的区域集中在田块 4-2、4-3 的中部,其中田块 4-3 的土壤肥力指数最高。

根据上述描述可知在土壤肥力指数最高的田

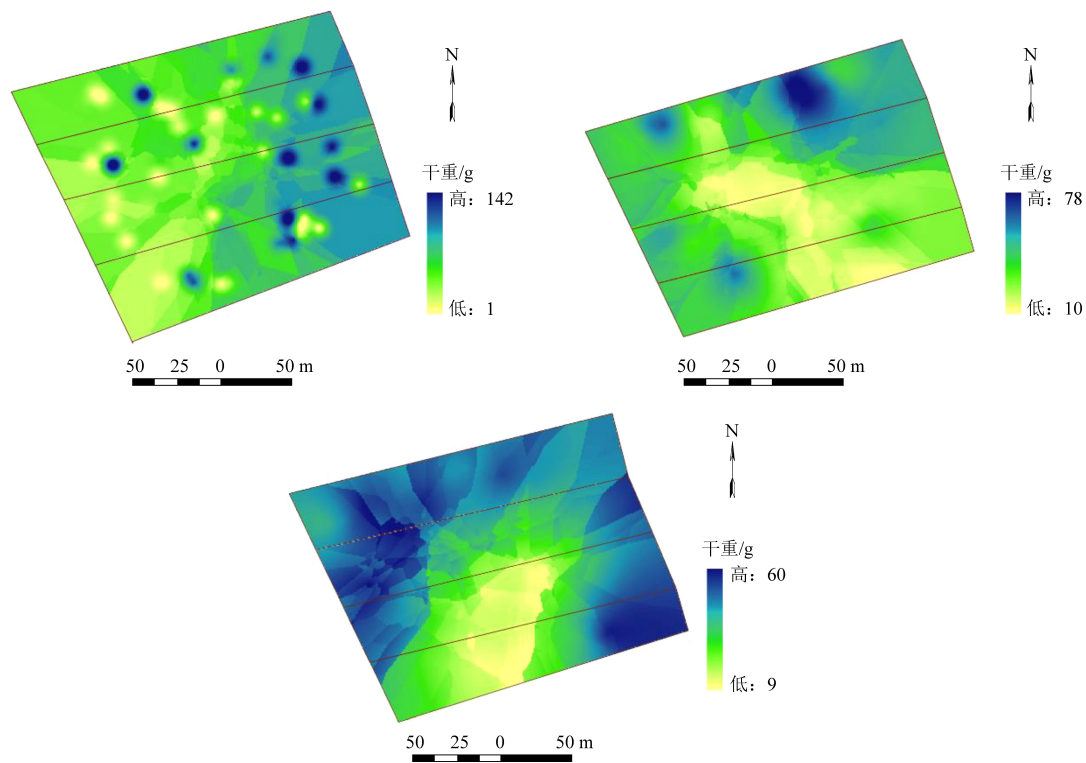


图 5 不同熟化方式生物量分布图

Fig.5 Biomass distribution diagrams of different maturation methods

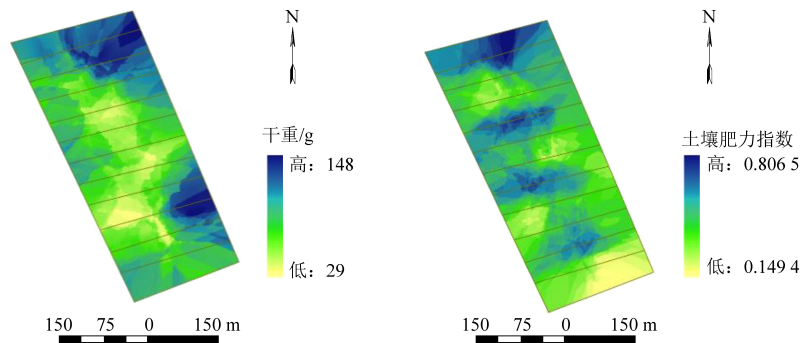


图 6 试验田植物生物量及土壤肥力指数分布图

Fig.6 Distribution maps of plant biomass and soil fertility index in the experimental fields

块 4-3 中,植被的生物量水平也最高,土壤肥力与植被长势呈正相关。在其余的田块中,土壤肥力较高的区域的植被生物量水平并不高,因为根据《全国第二次土壤普查分级标准》,容重越低,等级越高,致其隶属度高,而翻耕次数多的熟化方式虽然会使土壤容重变低,但重构土壤的团粒结构遭到破坏,并且干旱区多次翻耕也会导致土壤水分的流失,不利于植物生长,因此,实验结果表现出来翻耕次数较少的田块植被生物量水平较高。

4 结 论

本文通过模糊数学方法,兼顾各项肥力指标,

定量确定了实验地的土壤肥力指数,用以反映土壤肥力;利用地统计学克里金方法,进行了植被干重以及土壤肥力指数的空间特性分析,最终得到了内蒙古胜利矿区最合适的重构土壤方案。结论如下:

(1)熟化方式对于重构土壤本身肥力影响较小。当重构土壤方式为表层为 50 cm 的岩土剥离物、煤矸石、粉煤灰的混合物,配比为 3 : 4 : 3,下面全部为采矿剥离物自然堆积体时,土壤的肥力指数较高;建议在该类草原地带矿区优先选择此重构配比方式重构土壤,以更好促进当地生态修复与生物固碳。

(2)当土壤重构方式为表层为 50 cm 的岩土剥离物、煤矸石、粉煤灰的混合物,配比为 3 : 4 : 3,熟化方式为当年翻耕处理,并种植苜蓿,年底将苜蓿翻压至土里,再重新种植一年苜蓿时,植被生物量水平高,长势状况较优,适合植被的生长。

参考文献

- [1] 王莉, 张和生. 国内外矿区土地复垦研究进展 [J]. 水土保持研究, 2013, 20 (1): 294-300.
- [2] 孙琦, 白中科, 曹银贵, 等. 特大型露天煤矿土地损毁生态风险评价 [J]. 农业工程学报, 2015, 31 (17): 278-288.
- [3] 杜建平, 邵景安, 谭少军, 等. 煤矿区土地复垦研究: 前景与进展 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2018, 35 (1): 131-140.
- [4] 宋晓波. 中国适宜露天开采的煤炭资源分布及其评价研究 [J]. 煤炭工程, 2015, 47 (12): 124-126+129.
- [5] 屠世浩, 陈宜先. 探讨绿色开采技术保护矿区生态环境 [J]. 能源环境保护, 2003, 17 (4): 10-13.
- [6] 乔宁. 现代露天煤矿绿色开采技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2012, 2 (15): 42.
- [7] 胡振琪, 魏忠义, 秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法 [J]. 土壤, 2005, 37 (1): 5.
- [8] 荣颖, 王淳, 孙光林, 等. 不同重构土壤材料配比的土壤改良和苜蓿生长效应研究 [J/OL]. 金属矿山: 1-12. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1055.TD.20211111.1446.002.html>.
- [9] 周杨, 杨永刚. 不同重构方式下古交典型矿区土壤持水性差异研究 [J/OL]. 山西大学学报 (自然科学版): 1-11. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/14.1105.N.20210701.0918.003.html>.
- [10] 王金满, 张萌, 白中科, 等. 黄土区露天煤矿排土场重构土壤颗粒组成的多重分形特征 [J]. 农业工程学报, 2014, 30 (4): 230-238.
- [11] Ahirwal J, Maiti S K. Assessment of soil properties of different land uses generated due to surface coal mining activities in tropical Sal (*Shorea robusta*) forest, India [J]. Catena, 2016, 140: 155-163.
- [12] 张晓德, 刘桂香, 王梦圆, 等. 开矿对锡林浩特市草原景观的影响 [J]. 中国草地学报, 2018, 40 (3): 102-109.
- [13] 王平, 王金满, 秦倩, 等. 黄土区采煤塌陷对土壤水力特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2016, 30 (3): 297-304.
- [14] Malaviya S, Munsri M, Oinam G, et al. Landscape approach for quantifying land use land cover change (1972-2006) and habitat diversity in a mining area in Central India (Bokaro, Jharkhand) [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2010, 170 (1-4): 215-229.
- [15] 房阿曼. 内蒙古东部干旱半干旱草原矿区生态累积效应研究 [D]. 徐州: 中国矿业大学, 2020: 1.
- [16] 张耿杰, 白中科, 张川, 等. 平朔矿区典型样地表层土壤理化性质变化研究 [J]. 湖北农业科学, 2015, 54 (17): 4168-4172.
- [17] 傅伯杰. 土地可持续利用评价的指标体系与方法 [J]. 自然资源学报, 1997, 12 (2): 7.
- [18] 王远鹏, 黄晶, 柳开楼, 等. 东北典型县域稻田土壤肥力评价及其空间变异 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (2): 256-266.
- [19] 王亚国, 李衡, 郭培明, 等. 陕西武功县猕猴桃园土壤养分调查与评价 [J]. 土壤, 2019, 51 (6): 1100-1105.
- [20] 李静. 埋藏土壤环境对文物的影响分析研究 [D]. 西安: 长安大学, 2018: 89.
- [21] 莫爱, 周耀治, 杨建军, 等. 山地煤矿开采对土壤理化性质的影响 [J]. 水土保持学报, 2015, 29 (1): 86-89.
- [22] 李雯雯, 吴荣涛. 基于层次分析法的伊川县耕地地力评价 [J]. 河南农业大学学报, 2013, 47 (2): 216-221.
- [23] 王娟, 熊又升, 张志毅, 等. 粉煤灰在土壤改良和污染治理中研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (30): 14811-14813.
- [24] 沈昊男. 对不同堆存条件粉煤灰的氮磷吸附特征研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2015: 13.
- [25] 崔志祥, 樊润威, 李守阴, 等. 内蒙古栗钙土的主要特性及其合理利用 [J]. 干旱区资源与环境, 1990 (3): 25-30.
- [26] 王琼, 张强, 王斌, 等. 高硫煤矸石对苏打盐化土的改良效果研究 [J]. 中国农学通报, 2017, 33 (36): 119-123.
- [27] 海容, 赵爱东. 利用高硫煤矸石改良土壤的探讨 [J]. 煤炭加工与综合利用, 1999 (3): 3.
- [28] 张宇航, 宋子岭, 孔涛, 等. 煤矸石对盐碱土壤理化性质的改良效果 [J]. 生态环境学报, 2021, 30 (1): 195-204.
- [29] 杨剑虹, 车福才, 王定勇, 等. 粉煤灰的理化性质与农业化学行为的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3 (4): 341-348.
- [30] 赵宏胜, 冯霜, 赵杏花, 等. 乌拉特荒漠草原白刺属和锦鸡儿属植物群落生物量分析 [J]. 西部林业科学, 2021, 50 (2): 62-70.
- [31] Yin T, Zhao C X, Yan C R, et al. Inter-annual changes in the aggregate-size distribution and associated carbon of soil and their effects on the straw-derived carbon incorporation under long-term no-tillage [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17 (11): 2546-2557.
- [32] 曹良元, 张磊, 蒋先军, 等. 长期垄作免耕对不同大小土壤团聚体中几种氮素形态分布的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (4): 824-830.
- [33] Wang Y, Zhang Y, Zhou S, et al. Meta-analysis of no-tillage effect on wheat and maize water use efficiency in China [J]. Science of the Total Environment, 2018, 635: 1372-1382.